

BIM (Building Information Modeling) á Íslandi:

- hver er ávinningur af notkun aðferðafræðinnar í komandi framtíð? -

	Háskólinn á Akureyri
	Viðskiptadeild
Námskeið	Lokaverkefni – LOK 2106
Heiti verkefnis	BIM (Building Information Modeling) á Íslandi: -hver er ávinningur af notkun aðferðafræðinnar í komandi framtíð?
Verktími	Nóvember 2012 - maí 2013
Nemendur	Benedikt E. Pálsson 160681-4039
Leiðbeinandi	Guðmundur Magnússon
Blaðsíðufjöldi	126 (137)
Fjöldi viðauka	2
Útgáfa- og notkunarréttur	Frjáls með tilvísun í höfund

Yfirlýsingar

Ég lýsi því yfir að ég Benedikt E. Pálsson er einn höfundur þessa verkefnis og það er afrakstur eigin rannsóknar.

Benedikt E. Pálsson

Það staðfestist að þetta verkefni fullnægir að mínum dómi kröfum til prófs í námskeiðinu Lokaverkefni 2106 (LOK2106).

Guðmundur Magnússon

Þakkarorð

Ég vil byrja á að þakka Háskólanum á Akureyri fyrir þrjú frábær ár og öllum þeim góðu kennurum sem hafa kennt mér á þeim tíma.

Leiðbeinandi minn, Guðmundur Magnússon, fær sérstakar þakkir fyrir góða og gagnlega leiðsögn. Þá vil ég þakka Þóri Jónssyni hjá Framkvæmdasýslu ríkisins fyrir alla þá hjálp sem hann hefur veitt. Einnig vil ég þakka þeim Benedikt Magnússyni, Friðriki Ólafssyni, Ingibjörgu Birnu Kjartansdóttur og Jóhanni Erni Guðmundssyni fyrir ómetanlega aðstoð. Kærastan mín, María Jonný Sæmundsdóttir, fær ástarþakkir fyrir yfirlestur og einstakt umburðarlyndi á meðan skrifum stóð. Einnig fær elskuleg mágkona mín, Björg Sæmundsdóttir, þakkir fyrir yfirlestur og gagnlegar ábendingar. Sérstakar þakkir fá viðmælendur rannsóknarinnar fyrir að hafa gefið sér tíma til þess að tala við mig. Að lokum þakka ég fjölskyldu minni, tengdafjölskyldu, vinum og vinnuveitanda fyrir ómældan stuðning og þolinmæði.

Útdráttur

Til umfjöllunar í þessu verkefni er umhverfi og ferli mannvirkjagerðar á Íslandi. En greinin hefur mátt þola gagnrýni hvað varðar; skipulagningu, mistakakostnað, slakar áætlanir og fleira. Með tilkomu nýrrar aðferðafræði, *Building Information Modeling* (BIM) sem hefur fengið íslensku þýðinguna „upplýsingalíkan mannvirkja“, stendur greinin á krossgötum. BIM hefur verið að ryðja sér til rúms í heiminum með góðum árangri, en BIM er ætlað að bæta upplýsingaflæði milli aðila, draga úr mistökum og bæta skipulag við mannvirkjagerð og fleira. Á Íslandi er innleiðing á BIM nú þegar hafin á opinberum vettvangi undir forystu Framkvæmdasýslu ríkisins.

Í verkefninu var leitast við að svara eftirfarandi spurningum; **a)** Hver er helsti ávinningur verkkaupa, verktaka og hönnuða í íslenskri mannvirkjagerð af innleiðingu BIM upplýsingalíkana? **b)** Getur innleiðing BIM upplýsingalíkana í mannvirkjagerð á Íslandi leitt til lægri byggingarkostnaðar?

Til að svara þessu var nauðsynlegt að skoða mannvirkjagerð á Íslandi án BIM. Því snýr fræðileg umfjöllun verkefnisins annars vegar að umhverfi, ferli og mistökum mannvirkjagerðar og hins vegar að aðferðafræðinni BIM. Til að meta mannvirkjagerð betur var jafnframt gerð forathugun og arðsemismat tilbúinnar framkvæmdar reiknað. Aðal rannsókn verkefnisins er þó viðtalsrannsókn sem gerð var meðal íslenskra aðila sem þekkja og hafa unnið eftir aðferðafræðinni BIM.

Helstu niðurstöður voru þær að innleiðing á BIM á Íslandi er á réttri leið meðal hönnuða en aðrir aðilar eru lítið farnir að nýta sér aðferðafræðina. BIM getur veitt töluverðan ávinning bæði í tíma og peningum en það ræðst af því hversu vel aðilum innan mannvirkjagerðar tekst að tileinka sér aðferðafræðina. Þar sem BIM eru nýir starfshættir innan mannvirkjagerðar er innleiðingarferlið tímafrek og kostnaðarsöm aðgerð. Því er mikilvægt að sýna þolinmæði af því að til lengri tíma litið kemur innleiðing á BIM alltaf til með að borga sig.

Lykilorð: BIM.- Mannvirkjagerð.- Áætlanagerð.- Ávinningur.- Hagsmunaaðila.

Efnisyfirlit

INNGANGUR.....	- 1 -
UPPBYGGING VERKEFNIS	- 3 -
1 BYGGINGARIÐNAÐUR OG MANNVIRKJAGERÐ Á ÍSLANDI.....	- 5 -
1.1 MARKAÐSGREINING, STÆRÐ MARKAÐARINS OG UMFANG HANS	- 6 -
1.2 MARKAÐURINN	- 9 -
2 FERLI MANNVIRKJAGERÐAR.....	- 11 -
2.1 ÁÆTLANAGERÐ	- 11 -
2.1.1 Frumhönnun	- 12 -
2.1.2 Verkhönnun.....	- 12 -
2.1.3 Útboðsgögn	- 13 -
2.1.4 Áætlanir.....	- 13 -
2.1.5 Undirbúningur og útboð	- 17 -
2.1.6 Framkvæmd, eftirlit, afhending og rekstur.....	- 18 -
2.2 MISTÖK Í FERLI MANNVIRKJAGERÐAR	- 19 -
2.2.1 Kostnaður vegna mistaka og ástæður þeirra.....	- 20 -
2.2.2 Íslensk lokaverkefni um mistök í mannvirkjagerð	- 22 -
3 BREYTINGAR.....	- 24 -
4 BUILDING INFORMATION MODELING (BIM).....	- 26 -
4.1 HVAÐ ER BIM OG HVERNIG ER ÞAÐ NOTAÐ?	- 27 -
5 ÁHRIF BIM Á ÚTBOÐS-, ÁÆTLANAGERÐ OG HÖNNUN.....	- 31 -
5.1 HÖNNUN.....	- 31 -
5.2 ÚTBOÐ.....	- 35 -
5.3 ÁÆTLANIR.....	- 35 -
5.3.1 Kostnaðar- og fjármagnsáætlun (5D).....	- 35 -
5.3.2 Verk- og tímaáætlun (4D)	- 40 -
6 ÁHRIF BIM Á FRAMKVÆMD OG REKSTUR.....	- 44 -
6.1 FRAMKVÆMD	- 44 -
6.2 REKSTUR OG VIÐHALD.....	- 46 -

7	ÁHRIF BIM Á VERKKAUPA	- 48 -
8	FYRRI RANNSÓKNIR Á VIÐFANGSEFNINU.....	- 50 -
8.1	SAMANTEKT Á FYRRI RANNSÓKNUM.....	- 53 -
9	DÆMI.....	- 55 -
9.1	FORSENDUR FYRIR ÍMYNDAÐ LEIGUFÉLAG	- 56 -
9.2	LEIGUFÉLAGIÐ (LAUSN 1).....	- 59 -
9.3	SEINKUN Á SKILUM OG MISTÖK VIÐ FRAMKVÆMD (LAUSN 2)	- 61 -
9.4	LÆKKUN Á BYGGINGARKOSTNAÐI UM 10% (LAUSN 3).....	- 63 -
9.5	SAMANTEKT Á LAUSNUM.....	- 65 -
10	FORATHUGUN.....	- 67 -
10.1	RANNSÓKNARAÐFERÐ OG FRAMKVÆMD.....	- 67 -
10.2	ÞEKKIR ÞÚ AÐFERÐAÐFRÆÐINA BIM?	- 67 -
10.3	HVAÐ ER MIKILVÆGAST Í MANNVIRKJAGERÐ?	- 68 -
10.4	HVER ER LYKILLINN AÐ HINU FULLKOMNA FRAMKVÆMDAÐFERLI?	- 69 -
10.5	HEFUR YTRA UMHVERFI EINHVER ÁHRIF Á MANNVIRKJAGERÐ?	- 69 -
10.6	HVAÐ VELÐUR ÞVÍ AÐ ÁÆTLANIR STANDAST EKKI?	- 70 -
11	RANNSÓKNARAÐFERÐ.....	- 73 -
11.1	TILGANGUR.....	- 73 -
11.2	AÐFERÐ	- 73 -
11.3	ÞÁTTTAKENDUR.....	- 74 -
11.4	FRAMKVÆMD.....	- 74 -
12	VIÐTALSRANNSÓKN	- 75 -
12.1	AF HVERJU VÖLDUÐ ÞIÐ BIM?	- 75 -
12.2	INNLEIÐING	- 75 -
12.3	VERKKAUPAR	- 78 -
12.4	HÖNNUN	- 80 -
12.5	FRAMKVÆMD OG STJÓRNUN	- 82 -
12.6	BIM VANDAMÁL.....	- 85 -
13	GREININGAR/MAT	- 88 -
14	TILLÖGUR	- 91 -

14.1	RAFLAGNAHLUTI (1).....	- 91 -
14.2	HAGSMUNAAÐILAR (2)	- 92 -
14.2.1	Almennir verkkaupar (2).....	- 92 -
14.2.2	Verktakar (2)	- 93 -
14.2.3	Hönnuðir (2).....	- 95 -
14.2.4	Aðrir hagsmunaaðilar (2)	- 95 -
14.3	RANNSÓKNIR (3).....	- 96 -
15	UMRÆÐA.....	- 98 -
16	NIÐURSTÖÐUR.....	- 102 -
16.1	VERKKAUPAR (A).....	- 102 -
16.2	VERKTAKAR (A).....	- 102 -
16.3	HÖNNUÐIR (A)	- 103 -
16.4	FJÁRHAGSLEGUR ÁVINNINGUR (B)	- 103 -
16.5	INNLEIÐING (A-B).....	- 105 -
17	HAGNÝTT GILDI.....	- 107 -
	TILVÍSANIR / HEIMILDALISTI	- 109 -
	RITAÐAR HEIMILDIR	- 109 -
	RAFRÆNAR HEIMILDIR	- 111 -
	MUNNLEGAR HEIMILDIR.....	- 119 -
	VIÐAUKI 1 – SPURNINGALISTI.....	- 120 -
	VIÐAUKI 2 – ÚTREIKNINGAR DÆMI (KAFLI 9).....	- 121 -

Myndayfirlit

MYND 1. SÝNIR ÞRÓUN Í FJÖLDA BYGGINGA Á ÍSLANDI 2007 TIL 2011.	- 7 -
MYND 2. YFIRLIT, HÚSNÆÐI FULLGERT/TEKIN Í NOTKUN Í REYKJAVÍK 2006-2007.	- 10 -
MYND 3. SÝNIR WACC OG CAPM FORMÚLURNAR.	- 16 -
MYND 4. SÝNIR AÐFANGAKEÐJU MANNVIRKJAGERÐA.	- 19 -
MYND 5. SÝNIR AÐFERÐAFRÆÐINA BIM.	- 26 -
MYND 6. SÝNIR ÞROSKASTIG BIM Á AÐFERÐAFRÆÐINN BIM	- 29 -
MYND 7. ÁHRIF BIM Á MANNVIRKJAGERÐ.	- 31 -
MYND 8. SÝNIR STIG NÁKVÆMNI (LOD) BIM HÖNNUNAR.	- 32 -
MYND 9. SÝNIR LÍKAN E. PIHL OG SON A. S AF JÁRNAGRIND VERKEFNISINS Í BIM.	- 34 -
MYND 10. SÝNIR VINNSLUFERLIÐ Í VICO SOFTWARE.	- 36 -
MYND 11. SÝNIR COST EXPLORER Í VICO SOFTWARE.	- 38 -
MYND 12. SÝNIR FJÁRMAGNSFLÆÐI VERKEFNISINS.	- 39 -
MYND 13. SÝNIR FLÆÐIRIT VICO SOFTWARE.	- 40 -
MYND 14. SÝNIR MISMUNAND SKÝRSLUR ÚR VICO SOFTWARE.	- 42 -
MYND 15. SÝNIR VIEWER FRÁ AUTODESK.	- 44 -
MYND 16. SÝNIR NOTKUN BIM Í VIÐHALDI OG REKSTRI EFTIR FRAMKVÆMD.	- 46 -
MYND 17. SÝNIR 2D VS 3D.	- 48 -
MYND 18. ÁVÖXTUNARKRAFA Á MÓTI NPV MIÐAÐ VIÐ IRR.	- 60 -
MYND 19. ÁVÖXTUNARKRAFA Á MÓTI NPV MIÐAÐ VIÐ IRR.	- 62 -
MYND 20. ÁVÖXTUNARKRAFA Á MÓTI NPV MIÐAÐ VIÐ IRR.	- 64 -
MYND 21. ÚTSKÝRING Á UMMÆLUM VIÐMÆLENDNA UM RAFLAGNAHÖNNUN Í BIM.	- 87 -

Töfluyfirlit

TAFLA 1. SÝNIR NIÐURSTÖÐUR RANNSÓKNAR Á 10 BIM VERKEFNUM.	- 51 -
TAFLA 2. SÝNIR HLUTFALL SPARNAÐAR AF HEILDARVELTU MANNVIRKJAGERÐA 2008 OG 2012. SPARNAÐURINN ER JAFNFRAMT UMREIKNADUR Í FJÖLDA MEÐALSTÓRRA ÍBÚÐA.	- 54 -
TAFLA 3. REKSTRARNIÐURSTAÐA (EBITDA, EBIT, HAGNAÐ EFTIR SKATT, CF OG CF-AFBORGUN) LAUSN 1.	- 59 -
TAFLA 4. REKSTRARNIÐURSTAÐA (EBITDA, EBIT, HAGNAÐ EFTIR SKATT, CF OG CF-AFBORGUN) LAUSN 2.	- 61 -
TAFLA 5. REKSTRARNIÐURSTAÐA (EBITDA, EBIT, HAGNAÐ EFTIR SKATT, CF OG CF-AFBORGUN) LAUSN 3.	- 64 -

Inngangur

Húsaskjól er ein grunnþarfa mannsins og því engin furða að mannvirkjagerð hafi fylgt Íslendingum allt frá landnámi. Mikið vatn hefur runnið til sjávar frá landnámi en nú á tímum eru gerðar strangar kröfur til mannvirkjagerðar og þau verða sífellt flóknari, auk þess ýtir hraðinn í samfélaginu enn frekar undir framkvæmdahraða mannvirkja.

Í augum okkar flestra eru mannvirki sjálfsagður hlutur af tilveru okkar en mannvirki eru margvísleg, svo sem hús, brýr, virkjanir og fleira. Líkja má mannvirkjagerð við ísjaka þar sem einungis toppurinn sést, en segja má að mannvirkið sjálft sér toppurinn á ísjakanum en það sem við sjáum ekki er sá gríðarlegi undirbúningur og sú þrotlausa vinna sem liggur að baki hvers mannvirkis. Að mannvirkjagerð koma margir aðilar, bæði hugsuðir og vinnandi hendur, en þeir eiga það sameiginlegt að vera hluti af aðfangakeðju mannvirkjagerðar. Samkvæmt Samtökum iðnaðarins (2009) er mannvirkjagerð viðkvæm fyrir umhverfisbreytingum og helst sveifla greinarinnar oftast en ekki í hendur við efnahagsástand landsins hverju sinni.

Bygging á nýju mannvirki er mjög kostnaðarsöm og tímafrek aðgerð og því lykilatriði að framkvæmdin sé vel skipulögð og undirbúin, þar sem mikið er í húfi. En samkvæmt Fung og Wong (1997, bls. 1-17) hefur greinin oftast en ekki verið ásökuð um skipulagsleysi og slakan undirbúning sem leiðir af sér hærri byggingarkostnað, lakari gæði, meiri mistök, slakar áætlanir og framkvæmdahraði er oft mikill. Því má segja að verið sé að kasta krónunni fyrir aurinn þegar skipulags- og undirbúningsleysi einkenna undirbúning og framkvæmd mannvirkja.

Building Information Modeling (BIM) er aðferðafræði sem hefur verið að ryðja sér til rúms í mannvirkjagerð. Markmið hennar er að auka skilvirkni aðila sem koma að mannvirkjagerð með það að leiðarljósi að bæta ferlið og gæði framkvæmda í heild sinni. Aðferðafræðin hefur fengið íslensku þýðinguna; upplýsingalíkan mannvirkja. BIM er þrívíddar upplýsingalíkan af mannvirki sem er hlutbundið og því mögulegt að ná í mikið magn upplýsinga úr því. Allir helstu framleiðendur á hönnunarforritum hafa útbúið svonefnd BIM forrit. Kostir BIM forrita eru þeir að hægt er að flytja upplýsingalíkön og gögn óháð

framleiðendum sem IFC skrá/staðli (e. *format*), til dæmis getur burðarþolshönnuður verið að vinna í *Tekla* (BIM forrit) og arkitekt í *Revit* (BIM forrit) forriti. En með því að senda líkanið á milli sín sem IFC skrá geta þeir sett líkönin saman í eitt líkan sem saman stendur þá af lagnakerfinu og arkitektúr af húsinu og fleira.

Tilgangur verkefnisins er því að fjalla um og varpa ljósi á ávinning nýrra starfshátta (BIM) innan mannvirkjagerðar. Á þeim grundvelli voru eftirfarandi rannsóknarspurningar mótaðar: **a)** Hver er helsti ávinningur verkkaupa, verktaka og hönnuða í íslenskri mannvirkjagerð af innleiðingu BIM upplýsingalíkana? **b)** Getur innleiðing BIM upplýsingalíkana í mannvirkjagerð á Íslandi leitt til lægri byggingarkostnaðar?

Uppbygging verkefnis

Það er mikilvægt að gera sér grein fyrir því strax í upphafi að aðferðafræðin BIM er ekki forrit eða notkun á forritum. Heldur er hún fyrst og fremst vinnuaðferð sem felst í þátttöku allra aðila verkefnisins sem hafa sameiginlegan vettvang, það er mannvirkni (BIM líkanið).

Til að glöggva sig frekar á viðfangsefninu, mannvirkjagerð og BIM, var gerð forathugun til að verkefnið endurspeglaði raunverulega mannvirkjagerð sem best. Viðmælendur í forathugun, sem allir hafa mikla reynslu af hinum ýmsu störfum innan mannvirkjagerðar, töldu helstu ástæður þess að áætlanir við mannvirkjagerð standist ekki, væru slakt skipulag og óraunhæfar tímaáætlanir sem geta leitt af sér lakari gæði og fleiri viðbótarverk (aukaverk). Auk þess töldu þeir að efnahagslegt umhverfi spili veigamikið hlutverk í mannvirkjagerð og nefndu í því samhengi óhagstætt gengi íslensku krónunnar, hækkandi verðlag og dýrt lánsfé sem eru greininni erfið. Í ljósi þeirra atriða sem fram komu í forathuguninni var ákveðið að fyrstu tveir kaflar verkefnisins myndu fjalla um og skýra frá raunverulegum aðstæðum mannvirkjagerðar á Íslandi, umhverfi þess, ferli og mistök.

Megin markmið verkefnisins er þó að fjalla um og varpa ljósi á ávinning nýrra starfshátta (BIM) innan mannvirkjagerðar. En BIM er meðal annars ætlað að bæta skipulag, undirbúning, draga úr aukaverkum, lækka kostnað og fleira. Til þess að átta sig á því hvort að BIM geti leyst vandamál mannvirkjagerðar á Íslandi er því mikilvægt að byrja á því að skoða hvernig umhverfi og ferli mannvirkjagerðar er í raun og veru, án BIM.

Í upphafi verkefnisins er umhverfi mannvirkjagerðar skoðað, með tilliti til hagsmunaaðila, efnahagslegs umhverfis og byggingarkostnaðar. Næst er farið ofan í saumana á ferli mannvirkjagerðar og hversu umfangsmikið slíkt ferli er í raun og veru. Auk þess verður farið yfir helstu mistök sem geta komið upp í ferlinu en slík mistök leiða meðal annars af sér hærri byggingarkostnað. Í kafla þrjú er farið yfir breytingar en innan allra atvinnugreina getur eitthvað gerst sem skapar hvata eða þrýsting á breytingar hjá öllum innan viðkomandi greinar. Ástæður slíkra breytinga geta til dæmis verið vegna tækniþróunar en BIM er einmitt dæmi um slíkan breytingarkraft sem kallar jafnframt á nýja

starfshætti. Einnig er farið yfir hvernig skipulagsheildir geta brugðist við breytingum og hvernig best sé að haga breytingarferlinu.

Í kjölfar kaflans um breytingar fylgir umfjöllun um aðferðafræði BIM, þar sem hún er vandlega kynnt, sem og þeir möguleikar sem BIM hefur upp á að bjóða. Til að sýna áhrif hækkandi og lækkandi byggingarkostnaðar á sjóðstreymi og rekstur fyrirtækja voru útbúin þrjú dæmi um byggingu fjölbýlishúss fyrir ímyndað leigufélag. Í fyrstu lausn gengur framkvæmdin eðlilega fyrir sig, í lausn tvö eru áhrif mikilla mistaka og seinkunnar skoðuð og í lausn þrjú eru áhrif þess að ná fram sparnaði við framkvæmdina skoðuð.

Í lok verkefnisins er að finna bæði forathugun sem gerð var meðal fjögurra aðila sem hafa mikla reynslu af mannvirkjagerð og viðtalsrannsókn við sex einstaklinga sem hafa reynslu af því að nota BIM. Á eftir viðtalsrannsókninni koma síðan greining/mat, tillögur, umræður, hagnýtt gildi verkefnisins og að síðustu eru niðurstöður verkefnisins.

1 Byggingariðnaður og mannvirkjagerð á Íslandi

Árið 1943 setti Abraham H. Maslow fram kenninguna um þarfapíramídan (e. *hierarchy of needs*) en samkvæmt henni er húsaskjól ein af grunnþörfum mannsins (Seitel, 2011, bls. 99). Þar sem húsaskjól er ein af grunnþörfum okkar er ekki furða að mannvirkjagerð hafi fylgt Íslendingum allt frá landnámi, það er í rúmlega 1.100 ár. Mikið vatn hefur þó runnið til sjávar í mannvirkjagerð síðan frá landnámi (Dennis Jóhannesson, Hjörleifur Stefánsson, Málfríður Kristjánsdóttir, Nikulás Másson og Sigríður Ólafsdóttir, 2000, bls. 9-15). Ferlið við mannvirkjagerð er sífellt að verða flóknara og kröfurnar meiri (Bryde, Broquetes og Volm, 2013, bls. 1-10). Nú er svo komið að verðmæti fasteigna á Íslandi er í kringum fimm þúsund milljarða króna en út frá því má ætla að um 70-80% allra eigna íslensku þjóðarinnar séu bundnar í fasteignum (Björn Karlsson, 2012, bls. 9). En heildar velta mannvirkjagerðar var tæplega 120 milljarðar króna árið 2012 sem er mun minna en árið 2007-2008 þegar veltan var rúmlega 250 milljarðar króna (Hagstofa Íslands, e.d-m-n).

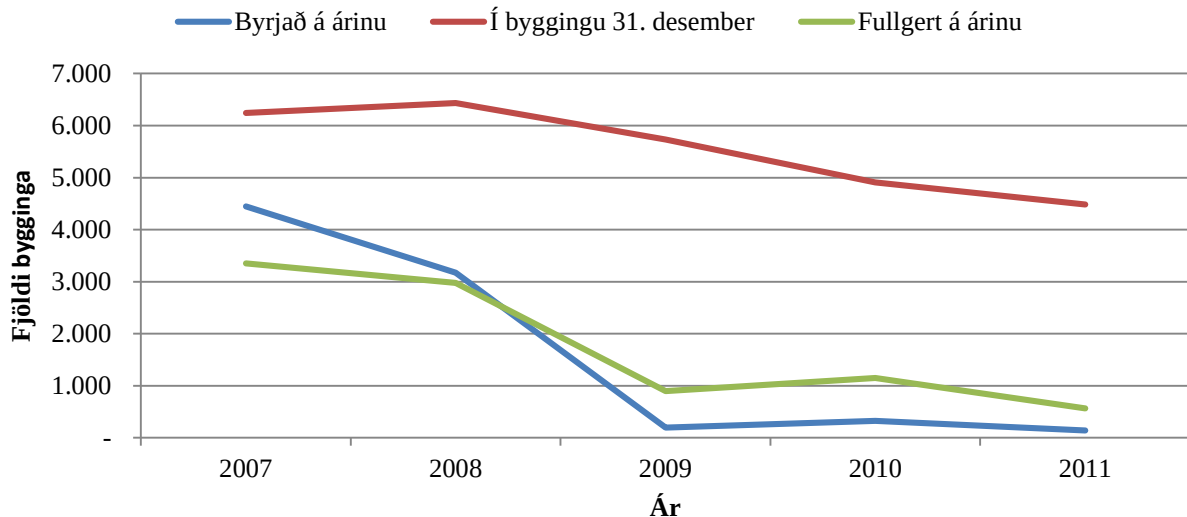
Iðnaður á við um hvoru tveggja handiðnað og verksmiðjuíðnað þar sem efni, vélar og önnur tæki eru notuð til að framleiða vörur og efni í atvinnuskyni. Því samanstendur byggingariðnaður af mörgum mismunandi löggiltum iðngreinum. Mannvirki er gert af manna höndum þar sem margir mismunandi einstaklingar koma að framkvæmdinni, en með mannvirkjagerð er átt við jarðfastar framkvæmdir þar sem til dæmis húsum, virkjunum og fleira er varanlega skeytt við land (Páll Sigurðsson, 2008, bls. 207 og 275).

1.1 Markaðsgreining, stærð markaðarins og umfang hans

Umhverfi byggingariðnaðar og mannvirkjagerðar á Íslandi er sveiflukennt og helst það oftast í hendur við efnahagsástand landsins hverju sinni. Þegar samdráttur verður er það oftast en ekki byggingariðnaður og mannvirkjagerð sem fær fyrst að finna fyrir því (Samtök iðnaðarins, 2009).

Samkvæmt Hagstofu Íslands eru Íslendingar rúmlega 319 þúsund talsins og um helmingur þeirra eða rúmlega 167 þúsund eru á vinnumarkaði við hin ýmsu störf en atvinnuleysi mælist nú tæplega 5% (Hagstofa Íslands, e.d-a-b-c). Við mannvirkjagerð starfa um 10 þúsund manns eða tæp 6% starfsfólks á vinnumarkaði en þeim hefur fækkað um tæplega 4% frá árinu 2008 (Hagstofa Íslands, e.d-d-e). Samkvæmt Samtökum iðnaðarins (e.d-a) er það ákveðin þumalputtaregla að áætla að fyrir hvert starf í mannvirkjagerð skapist að minnsta kosti tvö önnur störf í öðrum atvinnugreinum til dæmis verslun, þjónustu og framleiðslu.

Það eru margir mismunandi hagsmunaaðilar sem koma að byggingu mannvirkja og viðhaldi á þeim. Hagsmunaaðilar standa innan sem utan við greinina eða ákveðin verkefni, en hagsmunir þeirra eru misjafnir eftir stöðu þeirra og verkinu sjálfu (Johnson, Whittington og Scholes, 2011, bls. 139-143). Á meðal hagsmunaaðila eru arkitektar, verkfræðingar, byggingafræðingar, tæknifræðingar, iðnaðarmenn, verkamenn, verkkaupar og fleiri. Aðrir hagsmunaaðilar koma óbeint að þessum framkvæmdum eins og til dæmis byggingarvöruverslanir, heildsölur, bankar, ríkið og fleiri (Eastman, Liston, Sacks og Teicholz, 2008, bls. 3). Stærsta starfsstéttin sem byggir afkomu sína af beinum almennum framkvæmdum eru iðnaðarmenn en þeir eru 20 þúsund á Íslandi (Hagstofa Íslands, e.d-f). Starfandi verkfræðingar á Íslandi eru rúmlega 3 þúsund, þó ber að hafa í huga að þeir koma ekki allir að mannvirkjahönnun (Verkfræðingafélag Íslands, e.d). Aðrir starfandi hönnuðir sem koma að mannvirkjagerð á Íslandi eru um 1.700 talsins en þá má helsta nefna tæknifræðinga, byggingafræðinga og arkitekta (Tæknifræðingafélag Íslands, e.d.; Byggingafræðingafélag Íslands, e.d.; Félag sjálfstætt starfandi arkitekta, 2010).



Mynd 1. Sýnir þróun í fjölda bygginga á Íslandi 2007 til 2011.
(Hagstofa Íslands, e.d-h).

Efnahagshrunið hefur haft mikil áhrif á byggingariðnaðinn og mannvirkjagerð. Eins og sjá má á mynd 1. hrynur markaðurinn gjörsamlega milli árana 2008 og 2009 (Hagstofa Íslands, e.d-h). Vegna efnahagshrunsins hefur vísitala neysluverðs stökkbreyst og er nú í 411 stigum en var 260,6 stig árið 2006 og hefur því hækkað um tæplega 56%. Verðbólga milli ára síðustu tíu ár hefur verið að meðaltali rúmlega 6% en það þýðir að verðtryggð lán og vöruverð hafa hækkað til muna (Hagstofa Íslands, e.d-g). En vísitölu neysluverðs er ætlað að mæla breytingar á verðlagi einkaneyslu milli tímabila (Páll Sigurðsson, 2008. bls. 300).

Gengi krónunnar gagnvart helstu gjaldmiðlum hefur rúmlega tvöfaldast frá því er best lét árin 2006 og 2007 (Seðlabanki Íslands, e.d). Óhagstætt gengi krónunnar hefur hækkað verð innfluttra vara sem hefur meðal annars haft mikil áhrif á byggingariðnað og mannvirkjagerð þar sem efnið sem notað er í húsbyggingar er að miklu leyti innflutt (Arnaldur Kristjánsson og Stefán Ólafsson, 2012, bls. 18).

Ekki nóg með að gengi hafi hækkað og helstu vísitölur hækkað, þá hefur heimsmarkaðsverð á hráefni sem notað er í mannvirkjagerð einnig hækkað. Dæmi um það er hækkun heimsmarkaðsverðs á kopar milli áranna 2008 og 2009 en hækkunin nam tæplega 50% (Rannsóknasetur verslunarinnar, 2009, bls. 1-3). Einnig hafa skatta- og gjaldhækkunir verið tíðar á Íslandi síðustu ár

en gerðar hafa verið yfir 100 breytingar á kerfinu hér sem snert hafa bæði heimili og fyrirtæki á neikvæðan hátt (Viðskiptaráð Íslands, 2011. bls. 3). Mikill samdráttur hefur verið í fjarfestingu á Íslandi og hefur hlutfallið aldrei verið lægra af vergri landsframleiðslu landsins eða tæplega 15% (Arion banki, e.d-a). Ennfremur má nefna að vísitala launa sem mælir breytingu á launakjörum milli tímabila (Páll Sigurðsson, 2008. bls. 242), hefur hækkað um tæplega 100 stig á síðastliðnum árum. Það hefur orðið þess valdandi að launakostnaður fyrirtækja hækkar, sem annað hvort taka hækkunina á sig eða hækka útselda vinnu (Hagstofa Ísland, e.d-j-k).

Öll þau atriði sem nefnd hafa verið hér að ofan hafa haft mikil áhrif á byggingarvísitöluna. En hún sýnir breytingu á byggingarkostnaði við mannvirkjagerð á mismunandi tímabilum (Páll Sigurðsson, 2008. bls. 72). Ef byggingarvísitala er reiknuð frá grunnári 1987 er hún rúmlega 580 stig árið 2013 og hefur hækkað um tæplega 230 stig milli áranna 2007 og 2013 eða um tæplega 66% (Hagstofa Íslands, e.d-l).

Til að setja þessar staðreyndir í samhengi við raunveruleikann má nefna að byggingarkostnaður við Hörpuna var 30 milljarðar króna (Jón Gnarr, 2013). Gefum okkur að framkvæmdum við Hörpuna (Harpa 1) hefði lokið árið 2007 og byggingarkostnaður hefði verið sá sami og gefum okkur jafnframt að Hafnafjarðarbær ákveði að byggja nákvæmlega eins mannvirki (Harpa 2) árið 2013. Þar sem byggingarvísitalan hefur hækkað um 66% (milli áranna 2007 og 2013) er byggingarkostnaður við Hörpuna 2 um 50 milljarðar eða tæplega 20 milljörðum krónum hærri en við Hörpu 1, 6 árum áður. Gefum okkur nú að Harpa 1 hafi verið fjármögnuð með verðtryggðu íslensku láni árið 2007 en eins og fram hefur komið hefur vísitala neysluverðs hækkað um 50% á þeim tíma (Hagstofa Íslands, e.d-g). Ef Harpan 1 (byggingarkostnaður/stofnkostnaður 30 milljarðar króna) hefði verið fjármögnuð að fullu með 50 ára verðtryggðu húsnæðisláni (árlegar afborganir 900 milljónir króna) og vextir af því væru 3,5% (Íslandsbanki, 2013) mætti áætla að lánið stæði í tæplega 40 milljörðum króna í lok árs 2013.

Byggingarreglugerð eru stjórnsýslufyrirmæli um hvernig skal háttta byggingarmálum á Íslandi og tilheyrir hún undir umhverfisráðuneytið (Páll Sigurðsson, 2008. bls. 72). Í samtali við Friðrik Ólafsson forstöðumanns

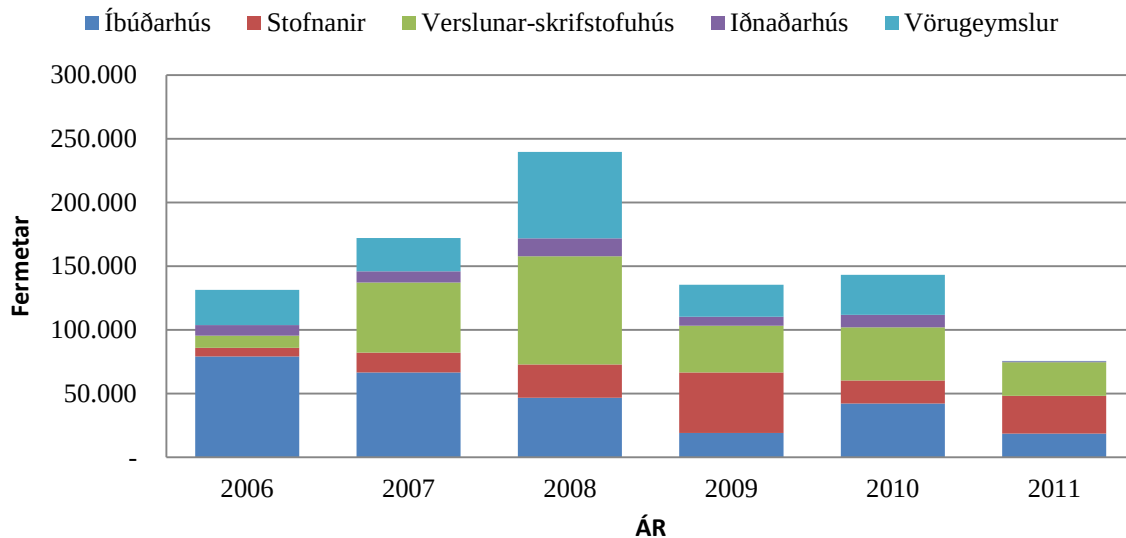
byggingarsviðs Samtaka iðnaðarins kemur fram að nýlega tók í gildi ný byggingarreglugerð númer 112/2012. Samtök iðnaðarins gerði úttekt á þessari reglugerð á síðasta ári. Í úttekt þeirra var miðað við mannvirki sem samþykkt og byggt var á árunum 2008 og 2009, uppfyllti eldri reglugerð langt yfir lágmarkskröfur og var kostnaðargreint miðað við að uppfylla nýja reglugerð. Niðurstaðan var sú að byggingakostnaður myndi hækka um 9,6%. Vegna þessa ákvað ráðherra að breyta stærstu kostnaðaraukandi liðum fyrir lok árs 2012. Jafnframt ákvað ráðherra að framlengja bráðabirgðaákvæði til 15. apríl 2013 sem veitir heimild til að gefa út byggingarleyfi á grundvelli eldri reglugerðar, að uppfylltum skilyrðum. Ráðherra skipaði einnig nefnd til að fara yfir nýja reglugerð og helstu breytingar hennar. Því er óljóst á þessum tímapunkti hver framvinda mála verður og hvort byggingarkostnaður komi til með að hækka eða ekki af völdum nýrrar byggingarreglugerðar (Friðrik Ólafsson munnleg heimild, 31. janúar 2013).

1.2 Markaðurinn

Byggingarkostnaður er einn af lykilþáttum í byggingu mannvirkja en hann er í grunninn samansettur úr launakostnaði, efniskostnaði og lóðaverði. Byggingarkostnaður tekur ekki tillit til áhrifa ýmissa kostnaðarþátta líkt og fjármagnskostnaðar, kostnaðar við frágang á lóð og fleiri liða sem hækka heildarbyggingarkostnað um 15-20%. Markaðsverð fasteigna er það verð sem kaupendur eru tilbúnir að borga fyrir ákveðna fasteign, því skiptir munurinn á þessu tvennu miklu máli þegar mannvirki eru byggð. Þegar heildar byggingarkostnaður er jafn markaðsverði fasteigna verður hagnaður þeirra sem byggja fasteignina enginn. Ef heildar byggingarkostnaður er lægri en markaðsverð þá er hagnaður af framkvæmdinni en ef það er öfugt þá eru þeir sem byggja að borga með framkvæmdinni. Frá árinu 2009 til 2012 hefur byggingarkostnaður verið hærri eða jafn og markaðsverð sem einfaldlega þýðir að ekki er hægstætt að ráðast í framkvæmdir. Fyrir 2009 var staða mála önnur en þá var byggingarkostnaður 30% lægri en markaðsverð eigna (Arion banki, 2012. bls., 2-29).

Eins og áður hefur komið fram þá eru margar íbúðir ókláraðar á landinu og spurningin er hversu langt er þangað til að þær verði full kláraðar og seldar og

hvenær þurfi þá að ráðast aftur í framkvæmdir. Samkvæmt spá greiningardeildar Arion banka munu verktakar ekki sjá sér hag í að reisa nýbyggingar ef ástandið helst óbreytt, því ekki er nægjanlegur munur á milli heildar byggingarkostnaðar og markaðsverðs. Þetta þýðir að mögulega verður húsnæðisskortur á Íslandi á næstu árum (Arion banki, 2012. bls. 28-31).



Mynd 2. Yfirlit, húsnæði fullgert/tekin í notkun í Reykjavík 2006-2007. (Reykjavíkurborg, 2012. bls. 8).

Mynd 2. sýnir yfirlit Reykjavíkurborgar á fullgerðum mannvirkjum sem tekin voru í notkun á árunum 2006 til 2011 þar sem markaðinum er skipt í fimm undirflokkka. Eins og sjá má hefur verið umtalsverð fækkun á fermetrum sem hafa verið fullkláraðir í Reykjavík á síðust árum. Úr myndinni má lesa að framkvæmdir á íbúðarhúsnæði hefur dregist mest saman sem styður spá Arion banka um hugsanlegan húsnæðisskort á markaði næstu ár. Þegar borin eru saman gögn Hagstofu Íslands og Reykjavíkurborgar um fullgerð íbúðarhúsnæði er rúmlega 26% af öllum nýbyggingum byggðar í Reykjavík miðað við landið allt. (Reykjavíkurborg, 2012, bls. 8). Ástæða þess að ríkið hélt að sér höndum á þenslutímum er sú að tilboð í verk þeirra voru langt fyrir ofan kostnaðaráætlun og jafnvel var ekki einu sinni boðið í verkefni (Óskar Valdimarsson, e.d). Þetta gerist vegna ójafnvægis á markaði þar sem eftirspurn eftir verktökum var meiri en framboð og verktakar gátu valið úr verkefnum. Þar sem hagnaður af íbúðarhúsnæði var 30% á þenslutímanum var meiri hluti markaðarins þar (Arion banki, 2012, bls 28).

2 Ferli mannvirkjagerðar

Bygging á nýju mannvirki flokkast undir fjárfestingu þess sem hyggst ráðast í slíka framkvæmd. Fjárfesting á nýjum mannvirkjum er kostnaðarsöm og tímafrek aðgerð sem bindur mikið fjármagn hjá þeim sem ræðst í slíka framkvæmd. Það getur reynst erfitt að hætta við slíka fjárfestingu eftir að framkvæmdir eru hafnar. Því er mikilvægt að áætlanagerð og fjármögnun hjá þeim sem ráðast í slíkar framkvæmdir takist vel og séu vel ígrundaðar þar sem mikið er í húfi (Ágúst Einarsson, 2007, bls. 377-393).

2.1 Áætlanagerð

Forsendur áætlanagerðar eru þær að vita hvert er stefnt og hvernig á að komast að settu marki. Til að ná árangri og fylgja settri stefnu er nauðsynlegt að hafa skýra áætlun þar sem markmið eru skýr og öllum auðskilin (Anthony og Govindarajan, 2007, bls. 382).

Í upphafi þarf að gera frumathugun á þörfum, umfangi og helstu forsendum þess verkefnis sem skoðað er. Fleiri möguleikar á lausnum vandamálsins eru jafnframt skoðaðir með tilliti til kostnaðar, til dæmis að kaupa notað mannvirki eða leigja. Næstu skref eru forathugun og frumáætlun. Við forathugun er verkefninu lýst og markmið þess sett fram. Gera þarf þarfagreiningu á rýmisþörf viðkomandi mannvirkis með tilliti til þeirra sem hyggjast nota það. Tillögur eru gerðar um hugsanlega lausn verkefnisins og gerð er gróf kostnaðaráætlun fyrir hina ýmsu þætti framkvæmdarinnar. Að forathugun lokinni er gerð frumáætlun þar sem gerð er frumteikning af mannvirkinu og fyrri kostnaðaráætlun skoðuð (Fjármála- og efnahagsráðuneytið, 2002). Við gerð kostnaðaráætlunar við frumáætlun á næmni hennar að vera 25%, en þegar talað er um næmni í þessu sambandi er verið að tala um frávik frá endanlegri kostnaðaráætlun framkvæmdarinnar (Benedikt Magnússon munnleg heimild, 15. febrúar 2013). Að lokinni frumáætlun er áætlanagerð formlega hafin. Markmið áætlanagerðarinnar er að leggja fram nákvæmar forsendur fyrir framkvæmdina (Fjármála- og efnahagsráðuneytið, 2002).

2.1.1 Frumhönnun

Við upphaf áætlanagerðar að nýju mannvirki er skipaður verkefnastjóri og eftirlitsmaður sem vinna í umboði verkkaupa. Mismunandi er hvernig arkitekt er fenginn í verkefnið en það getur til dæmis verið með hönnunarsamkeppni eða öðru. Önnur hönnun við mannvirkið er yfirleitt boðin út (Benedikt Magnússon munnleg heimild, 15. febrúar 2013). Við frumhönnun eru hlutverk skilgreind og skipaður er hönnunarstjóri og samræmingaraðili en þeir eiga að sjá um að samræma teikningar milli mismunandi kerfa. Samkvæmt byggingarreglugerð bera arkitektar ábyrgð á samræmingu hönnunar, það er að ekki komi upp árekstrar milli misjafnra kerfa. Við frumhönnun á mannvirkinu eru lögð fyrstu drög að húsinu og fyrstu teikningarnar líta dagsins ljós. Gerð eru frumdrög að burðarvirki, lagnakerfi og öðrum kerfum sem tengjast mannvirkinu. Einnig er gerð kostnaðaráætlun og hún borin saman við þá áætlun sem gerð var við frumathugun (Fjármála- og efnahagsráðuneytið, 2002). Næmni kostnaðaráætlunar við frumhönnun á að vera 15% (Benedikt Magnússon munnleg heimild, 15. febrúar 2013). Að frumhönnun koma einnig þeir sem koma til með að nota mannvirkið, þetta er gert til að hanna húsið að þörfum þeirra sem nota það að lokinni framkvæmd (Fjármála- og efnahagsráðuneytið, 2002).

2.1.2 Verkhönnun

Á frumstigum verkhönnunar á hönnunarþáttur mannvirkisins að vera tilbúinn. Hönnuðir eiga að vera tilbúnir með fullbúnaðar teikningar og allar upplýsingar sem æskilegar eru til að hægt sé að ljúka við framkvæmdina. Við verkhönnun búa hönnuðir til verklýsingu og tilboðsskrá og áætla kostnað við útboð á sínum verkhlutum. Þessi áætlun er nefnd framkvæmda-kostnaðaráætlun en hún er reiknuð án óvissu. Kostnaðaráætlunin á að vera byggð á reynslutölum og skulu þær að lokum vera bornar saman við fyrri kostnaðaráætlanir (Fjármála- og efnahagsráðuneytið, 2002).

2.1.3 Útboðsgögn

Á þessu stigi áætlanagerðarinnar eru búin til útboðsgögn fyrir framkvæmdina. Gerð er krafa til hönnuða að bæði verklýsingar, teikningar og magntölur séu nákvæmar. Verkkaupi gerir útboðsskilmála sem hönnuðir aðlaga að hverju og einu verkefni. Þegar útboðsgögnin eru tilbúin eiga hönnuðir að skila greinargerð um hönnunarferlið, fullbúnum útboðsgögnum og greinargerð um kostnaðaráætlun og verk- og tímaáætlun sem síðan eru bornar saman við fyrri áætlanir (Fjármála- og efnahagsráðuneytið, 2002).

2.1.4 Áætlanir

Framkvæmdaáætlun við byggingu nýs mannvirkis samanstendur af nokkrum undiráætlunum sem eru bundnar órjúfanlegum tengslum og hafa áhrif á heildaráætlanir starfseminnar. Þannig að ef ein áætlun skekkist hefur það áhrif á allar hinar (Berglind Hallgrímsdóttir, Karl Friðriksson, Jón Hreinsson, e.d. bls. 10). Því nákvæmari sem áætlun verkefnisins er því auðveldara verður að sjá hvort markmið og árangur náist við framkvæmdina. Ef áætlanir eru ekki réttar er mikilvægt að vita það til að hægt sé að grípa inn í og koma verkinu aftur á áætlun með tilheyrandi ráðstöfunum (Samtök iðnaðarins, e.d-b).

2.1.4.1 Kostnaðaráætlun

Með kostnaðaráætlun eru fjárpörfum verkefnisins gerð skil. Yfirleitt er það hönnunarstjóri eða verkefnastjóri sem útbúa kostnaðaráætlunina. Í henni skal tekið mið af öllum kostnaðarliðum sem tengjast framkvæmdinni, það er undirbúnings- og framkvæmdakostnaði, kostnaði við búnað sem þarf að vera til staðar í mannvirkinu og ófyrirséðum kostnaði. Aðrir kostnaðarliðir sem þarf að taka tillit til eru kostnaður við hönnun, eftirlitskostnaður, tryggingar, útboðskostnaður og fleira (Fjármála- og efnahagsráðuneytið, 2002). Við kostnaðaráætlun er mikilvægt að vanmeta ekki kostnaðarliði verkefnisins og taka inn alla kostnaðarliði, jafnt smáa sem stóra, til að vita nákvæma fjárpörf verkefnisins (Ársæll Valfells, Sigurður Steingrímsson, e.d, bls. 30). Þó kostnaðaráætlun eigi að vera án óvissu er yfirleitt lagt um það bil 8% ofan á hana til að gera ráð fyrir ófyrirséðum kostnaði (Benedikt Magnússon munnleg heimild, 15. febrúar 2013).

2.1.4.2 Tíma- og verkáætlun

Við mannvirkjagerð er það eðlileg krafa verkkaupa að vita hvenær mannvirkið skal afhent. Við framkvæmd er nauðsynlegt að brjóta verkáætlun upp í ákveðna verkþætti. Þetta er gert til að einfalda yfirsýn á hvort markmið og árangur náist. Með vandaðri verk- og tímaáætlun myndast grundvöllur fyrir betra skipulag og auðveldar um leið stjórnun á verkefninu (Samtök iðnaðarins, e.d-b). Verkáætlanir í sinni einföldustu mynd lýsa því hvað á að gera og hvenær á að gera það. Verkáætlun er ætlað að raða aðföngum og verkþáttum í rökrétta röð eftir því hvernig verkefnið á að vinnast. Jafnframt á að koma fram hver á að gera hvað og hvernig heildin á að vinna saman. Tímaáætlun er áætlun sem raðar ákveðnum verkefnum við framkvæmdina með tilliti til þess hvenær best sé að vinna þau. Verk- og tímaáætlanir tiltekins verkefnis eru oftast settar fram saman á myndrænan hátt. Þær myndrænu framsetningar sem oftast eru notaðar við að lýsa verk- og tímaáætlun eru framkvæmdarkort, *Gantt* kort og flæðirit. Með myndrænni framsetningu er orsaka- og afleiðingarsambandi aðskildra verkþátta lýst með tilliti til tímaraðar. Verkefnastjóri á að fylgjast með framvindu verkefnisins meðan það er í vinnslu og gera samanburð á raunstöðu og þeirri verkáætlun sem lagt var upp með. Á verkfundum er síðan farið yfir framvindu verkefnis á verkstaðnum sjálfum með reglulegu millibili (Berglind Hallgrímsdóttir, o.fl., e.d. bls. 10-22).

2.1.4.3 Aðfangaáætlun

Eins og fram hefur komið er góð verk- og tímaáætlun grundvallarforsenda að frekara skipulagi, eins og aðfangaáætlunum. Þeim má skipta í fimm áætlanir, það er teikninga- og verklýsingaáætlun, mannaflaáætlun, vél- og tækjaáætlun og innkaupa- og birgðaáætlun. Teikninga- og verklýsingaáætlun er unnin er í samræmi við verkáætlun og miðar að því að teikningar séu afhentar á réttum tíma. Mannaflaáætlun og vél- og tækjaáætlanir eiga að sýna út frá verk- og tímaáætlun hvenær þörf er á að ákveðinn tækjabúnaður og verktakar verði á staðnum. Þetta er gert til að verktakar geti tryggt nauðsynlegan mannskap og tækjabúnað þegar þörf er á þeim. Innkaupa- og birgðaáætlun sýnir efnisþörf verkefnisins og hvenær æskilegt er að panta efnið. Innkaupa- og birgðaáætlun gefur stjórnendum góða yfirsýn yfir hvað þarf til að vinna verkið og hvenær þarf að panta það (Samtök iðnaðarins, e.d-b). Þar sem kostnaður getur verið

mikill af birgðahaldi er nauðsynlegt að hafa áætlun um hvenær á að panta til að spara lagerpláss og minnka kostnað. *Just in time* er þekkt hugmyndafræði innan gæðastjórnunar þar sem leitast er við að minnka sóun. Eitt af aðalsmerkjum *just in time* eru vandlega tímasettar pantanir á efni sem kemur nákvæmlega á þeim tíma þegar þess er þörf og með því er hægt að lækka kostnað (Anthony, o.fl., 2007, bls. 300).

2.1.4.4 Fjárhagsáætlun

Öllum fyrirtækjum er skylt að gera ársreikning sem inniheldur rekstrar- og efnahagsreikning, sjóðstreymi og skýringar. Samkvæmt lögum á að skila ársreikningi árlega (Páll Sigurðsson, 2008. bls. 46). Rekstrarreikningur sýnir hreyfingar á rekstrartekjum og gjöldum á einu ári og er niðurstaðan annað hvort hagnaður eða tap. Efnahagsreikningur skiptist í eignir, skuldir og eigið fé. Sjóðstreymi skýrir innstreymi og útstreymi peninga á tilteknu tímabili (Lög um ársreikninga nr. 3/2006). Í ársreikningi liggja fyrir mikilvægar tölur um fyrirtækið sem sýna stöðu þess og afkomu. Þessar upplýsingar eru mikilvægar við áætlanagerð fyrirtækja og eru notaðar sem spágildi fyrir framtíðina (Brigham og Houston, 2007, bls. 101-102).

Fjárhagsáætlun samanstendur af fjórum áætlunum; fjárfestingar, rekstrar, greiðslu og efnahags. Rekstraráætlun er byggð á rekstrarreikningi þar sem gerð er spá um líklega rekstrarniðurstöðu næstu ára (Ágúst Einarsson, 2007. bls. 144-145). Í fjárfestingaráætlun á að koma fram áætlun um fjárfestingar og fjármögnun þeirra. Efnahagsáætlun er byggð á efnahagsreikningi og leitast við að áætla þróun eigna og skulda (Gunnlaugur Júlíusson, e.d). Greiðsluáætlun er ætlað að útskýra inn- og útborgarnir á komandi tímabili, það er að spá fyrir um sjóðstreymi fyrirtækisins. Greiðsluáætlun samanstendur af fjárfestingaráætlun og áætlaðri greiðslustöðu vegna rekstursins sem tvinnuður er saman við áætlaðan efnahagsreikning og þannig er hægt sjá hvert áætlað heildar fjármagnsflæði er (Horngren, Datar og Rajan, 2012. bls. 211). Niðurstaða rekstrar- og efnahagsáætlunar lýsir áætlaðri fjárþörf fyrirtækisins, því er mikilvægt að vanda til verks (Ágúst Einarsson, 2007. bls. 364). Við lok framkvæmda á nýju mannvirki skal gera rekstraráætlun að lágmarki til fimm ára, en í henni skal koma fram núverandi rekstrarkostnaður til samanburðar við

áætlanir um rekstarkostnað eftir að mannvirkið er tekið í notkun (Fjármála- og efnahagsráðuneytið, 2002).

Í grunninn eru fjárfestingar byggðar á þremur hlutum, fjárhæð fjárfestingar (kostnaður/fjárþörf), innborgun og útborgun. Fjárfestingar eru venjulega greiddar með lánsfé eða eigin fé eða með eins hagstæðri blöndu af þessu tvennu og hægt er. Fjármögnunin skiptist í annars vegar ytri fjármögnun, það er skammtímalán og langtímalán og hins vegar innri fjármögnun, eigin fjármögnun og kyrrsettan hagnað (Ágúst Einarsson, 2007. bls. 364 og 393). Í upphafi er framkvæmdin yfirleitt fjármögnuð með skammtímaláni eða eigin fé, sem breytist í langtímafjármögnun á framkvæmdartíma þegar lánveitandi getur tekið veð í mannvirkinu (Benedikt Magnússon munnleg heimild, 15. febrúar 2013). En fjármagnskostnaður (vextir) af skammtímalánum eru mun hærri en af langtímalánum (Íslandsbanki, 2013). Ólíkt mörgum öðrum löndum eru flest íslensk húsnæðislán (langtímalán) verðtryggð en það þýðir að lánveitandi er tryggður fyrir verðbólguveiflum og fær því alltaf raungildi lánsfjárhæðarinnar til baka, það er afborgunina að viðbættum svonefndum verðbótum og vöxtum (Efnahags- og viðskiptaráðuneytið, 2011, bls. 9).

Til að reikna út fjármagnskostnað fyrir framkvæmdina er hægt að nota tvær formúlur, annars vegar veginn meðalkostnað fjármagns (WACC) og hins vegar CAPM (e. *Capital Asset Pricing Model*) en þær má sjá á mynd 3. hér að neðan (Brigham og Houston, 2007 bls., 336 og 343-345).

WACC = $W_{\text{lán}} * r_{\text{lán}} (1 - T) + W_{\text{eigið fé}} + r_{\text{eigið fé}}$		CAPM = $r_{\text{RF}} + (r_{\text{m}} - r_{\text{RF}}) * b = r$	
$W_{\text{lán}}$	Hlutfall lánsfjár í fjármögnun	r_{RF}	Áhættulausir vextir
$r_{\text{lán}}$	Vextir af lánsfé	r_{m}	Markaðsvextir
T	Skattur	r	Ávöxtunarkrafa
$W_{\text{eigið fé}}$	Hlutfall eigin fjár í fjármögnun	b	Beta
$r_{\text{eigið fé}}$	Ávöxtunarkrafa á eigin fé		

Mynd 3. Sýnir WACC og CAPM formúlurnar.

Með WACC og CAPM formúlum geta fjárfestar fundið hagstæðustu samsetningu fjármagns með tilliti til fjármagnkostnaðar verkefnisins. CAPM lýsir þeirri ávöxtunarkröfu sem eigendur eða hluthafar gera á fjármagn sitt, en hún er yfirleitt hærri en vextir af lánum. WACC formúlunni er lýst hér að ofan.

Hún tekur mið af ávöxtunarkröfu eigin fés og hlutfall þess í fjármögnuninni og vaxtaþrósentunni af skuldinni (lán, skuldabréf o.fl.) og hlutfalli lánsins í fjármögnun verkefnisins með tilliti til skatts. Þeir hlutar WACC sem hægt er að stjórna er fjármagnsskiptan, arðsemisstefna og fjárfestingarstefna en ekki er hægt að stjórna vöxtum af skuldum og skattaþrósentu. Því lægra sem WACC er því minni verður fjármagnskostnaður af fjárfestingunni (Brigham og Houston, 2007, bls. 336 og 343-345).

Það eru til nokkrar aðferðir við arðsemismat á fjárfestingu eins og núvirðisaðferð (e. *NPV: Net Present Value*) en með henni er greiðsluflæði fjárfestingar afvaxtað fram til upphafs áætlunartíma (til dagsins í dag). Til að hægt sé að nota núvirðisaðferð þarf fjárfestir að áætla lokavirði (hrakvirði) fjárfestingar auk þess þarf hann að gefa sér ávöxtunarkröfu sem þarf að vera hærri en veginn meðalkostnaður fjármagns (WACC). Ef núvirt sjóðstreymi (NPV) er yfir núlli er fjárfestingin arðsöm, annars ekki. Afkastavextir (e. *IRR: Internal Rate of Return*) er önnur aðferð við arðsemismat en hún tekur mið af greiðsluflæði líkt og núvirðisaðferð og segir fjárfestum hvenær núvirt sjóðstreymi (NPV) er jafnt og núll. Ef afkastavextir eru lægri en fjármagnskostnaður verkefnisins, það er veginn meðalkostnaður fjármagns, tapar fjárfestirinn á framkvæmdinni (Brigham og Houston, 2007, bls. 360-395).

2.1.5 Undirbúningur og útboð

Á undirbúningsstigi er lögð lokahönd á útboðsgögn og samningar þess efnis búnir til. Því næst er verkefnið boðið út þar sem verktökum gefst kostur á að gera tilboð í verkefnið. Tilboð verktaka er gert eftir magntölum, verklýsingu og teikningu þess hluta sem hann hyggst bjóða í. Að útboðstíma loknum er farið yfir þau tilboð sem berast og einu tekið. Í kjölfar er gerður bindandi verksamningur milli verkkaupa og verktaka um þann þátt framkvæmdar sem verktaki mun sjá um (Fjármála- og efnahagsráðuneytið, 2002). Jafnframt er skipaður verkefnastjóri og byggingastjóri sem koma úr röðum aðalverktaka, en aðalverktaki ræður (velur úr tilboðum) í kjölfarið til sín undirverktaka til að sinna ákveðnum verkþátt til dæmis raflagnahlutan, pípulagnahluta og svo framvegis (Benedikt Magnússon munnleg heimild, 15. febrúar 2013). Eins og áður hefur komið fram er jafnframt skipaður verkefnastjóri og eftirlitsmaður úr

röðum verkkaupa við upphaf ferlisins sem gætir hagsmuna hans (Fjármála- og efnahagsráðuneytið, 2002). Til að hægt sé að hefja framkvæmdir er nauðsynlegt að afla byggingarleyfis frá byggingarfulltrúa þess sveitafélags sem mannvirkið á að rísa í eða frá Mannvirkjastofnun í undantekningartilvikum, samanber lög um mannvirki (160/2010). Meðal þess sem þarf að gera til að hægt sé að hefja framkvæmd (fá byggingarleyfi) þarf byggingarstjóri að vera búinn að undirrita ábyrgðaryfirlýsingu sem og þeir iðnmeistarar sem bera ábyrgð á ákveðnum verkþáttum. Auk þess þarf hönnunarstjóri að hafa lagt fram yfirlit með innra eftirliti vegna hönnunarhlutans, ásamt því að tilgreina ábyrgðarsvið ákveðinna hönnuða. Einnig þurfa hönnunargögn að vera samþykkt til að hægt sé að hefja framkvæmdir, ásamt því að búið sé að greiða byggingarleyfisgjöld (Lög um mannvirki nr. 160/2010).

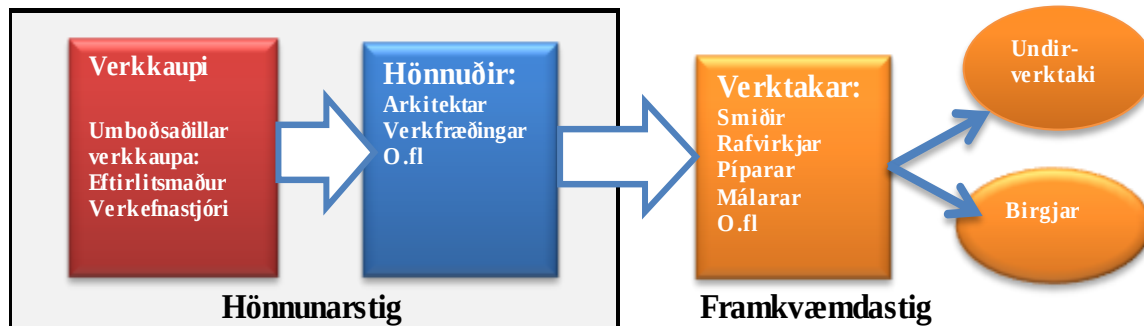
2.1.6 Framkvæmd, eftirlit, afhending og rekstur

Á þessu stigi hefst framkvæmdin sjálf. Markmiðið sem verkkaupi ætlast til að ná er að fá mannvirkið afhent á tilskyldum tíma, að kostnaðaráætlun standist og að gæði mannvirkisins séu í samræmi við það sem fyrir var ákveðið. Hlutverk eftirlitsmanns og verkefnastjóra við framkvæmd er að tryggja hagsmuni verkkaupa. Þeir eiga að fylgjast með framvindu verksins, gæðum, vinnubrögðum, hafa umsjón með breytingum og fleira. Þeir gera mánaðarlegar framvinduskýrslur sem og verklokaskýrslu og afhenda þær verkkaupa. Sá aðili sem er hæst ráðandi á framkvæmdastað er byggingarstjóri (Benedikt Magnússon munnleg heimild, 15. febrúar 2013). Í lok verks er mannvirkið tekið út og í kjölfar úttektar (öryggisúttekt og lokaúttekt) er verkkaupa afhent mannvirkið (Fjármála- og efnahagsráðuneytið, 2002; Lög um mannvirki nr. 160/2010). Þegar búið er að taka mannvirkið í notkun er það síðan eiganda eða verkkaupa að huga að viðhaldi þess í framtíðinni (Benedikt Magnússon munnleg heimild, 15. febrúar 2013).

2.2 Mistök í ferli mannvirkjagerðar

Mannvirkjagerð hafa oftast en ekki verið ásökuð um slök gæði, háan kostnað, litlar öryggisráðstafanir, slakar áætlanir og mikinn framkvæmdahraða (Fung og Wong, 1997, bls. 1-17).

Aðfangakeðja mannvirkjagerðar



Mynd 4. Sýnir aðfangakeðju mannvirkjagerða.
(Fung. P, Wong. A, 1997, bls. 17).

Á mynd 4. má sjá aðfangakeðju mannvirkjagerðar en þar eru þeir aðilar sem tengjast framkvæmdinni á beinan hátt. Þar sem keðjan er samsett af mörgum hagsmunaaðilum geta slök vinnubrögð eða sinnuleysi eins aðila haft áhrifa á alla aðra. Markmið allra innan keðjunnar, nema verkkaupa, er að leitast við að hámarka hagnað. Það er markmið verkkaupa að lágmarka kostnað og verktíma til að mannvirkið skili tekjum sem fyrst. Eins og áður hefur komið fram eru verk í mannvirkjagerð oft boðin út sem er eitt af séreinkennum mannvirkjagerða, þar sem verkkaupi velur eitt tilboð með tilliti til kostnaðar. Því er oft um skammtímasamband að ræða, á milli aðila í aðfangakeðju mannvirkjagerðar við ákveðið verkefni, þar sem allir hugsa um sinn hag. Oft eru verktakar með mörg verkefni í gangi í einu sem getur haft áhrif á áreiðanleika þeirra gagnvart verkkaupa. Mismunandi markmið hagsmunaaðila geta leitt til árekstra sem skila sér í lakari gæðum, áætlunum sem standast ekki, hærri kostnaði og fleiru (Fung og Wong, 1997, bls. 1-17).

2.2.1 Kostnaður vegna mistaka og ástæður þeirra.

Þegar talað er um mistök í þessu samhengi er átt við um frávik frá tilætluðum árangri (áætlun), það er að eitthvað fer úrskeiðis af völdum manna, tækni, efnisgalla eða stjórnunar sem leiðir til þess að tilætlaður árangur næst ekki. (Edward, Goh, Lopaz, Love, 2012, bls. 100-110). Mistök innan mannvirkjagerða geta leitt til þess að viðhald verður meira á mannvirkinu fljótlega eftir framkvæmd, þar sem gæðum er ábótavant. Jafnframt geta mistök leitt af sér lengri framkvæmdartíma á verkefninu. Það er auðvitað best ef hægt er að koma í veg fyrir mistök en því seinna sem mistökin uppgötvast því meiri verður kostnaðurinn við að laga þau (Ferdinand Hansen, e.d).

Í umfjöllun Óskars Valdimarssonar um gæðastjórnun við mannvirkjagerð í Verktækni kemur fram að Norðmenn og Danir hafa gert rannsóknir á mistökum í mannvirkjagerð. Niðurstöður þeirra rannsókna benda til þess að áætla megi að 10% af veltu byggingarmarkaðar sé hægt að rekja til mistaka eða galla. Samkvæmt Byggforsk í Noregi má rekja 4% mistakakostnaðar byggingarmarkaðar til skorts á upplýsingafæði og stjórnunar verkkaupa og þeirri ytri umgjörð sem hann skapar framkvæmdinni. Samkvæmd Byggforsk má rekja 2% af mistakakostnaði byggingarmarkaðar til hönnunarmistaka en niðurstaða annarrar norskrar rannsóknar gaf einnig til kynna að 5% af veltu mætti rekja til hönnunarmistaka. En samkvæmt rannsóknarstofnun danska byggingariðnaðarins SBi er talið að um 10% af heildarveltu megi rekja til mistaka (Óskar Valdimarsson, 2006. bls. 1). Samkvæmt Edward og fleirum (2012, bls 100-110) má rekja mörg hönnunarmistaka til óskilvirs skipulags og stjórnunarvenja sem ríkir innan mannvirkjagerða.

Með því að heimfæra framangreindar niðurstöður Norðmanna og Dana á íslenska mannvirkjagerð má áætla að rúmlega 25 milljörðum króna hafi verið eytt í mistakakostnað árið 2008 og rúmlega 12 milljörðum króna árið 2012 (Hagstofa Íslands, e.d-m-n). Til að setja þessar tölur í samhengi má til fróðleiks geta þess að rekstrarkostnaður Landspítalans árið 2012 var áætlaður 39 milljarðar króna (Velferðarráðuneytið, 2012).

Einnig var gerð rannsókn á mistakakostnaði í Svíþjóð á árunum 1986 til 1990 þar sem sjö verkefni af mismunandi stærðargráðu voru skoðuð með tilliti til mistakakostnaðar. Helstu niðurstöður rannsóknarinnar voru þær að kostnaður

við lagfæringar á mistökum á vinnusvæðum nam 4,4% af heildarkostnaði verkefnanna. Samkvæmt niðurstöðunum voru 34 mínútum að meðaltali eytt á dag, af þeim átta klukkustundum sem unnar voru, í að laga mistök. Orsök mistakanna má í helmingi tilvika rekja til hönnunarmistaka og slakrar stjórnunar. Helstu hönnunarmistök voru ósamræmdar og ófullnægjandi teikningar. Útskýra má hinn helming mistakanna til slæmra vinnubragða verktaka, mistaka við afhendingu efnis og breytinga hjá verkkaupa eftir framkvæmd. Niðurstöður rannsóknarinnar leiddu ennfreður í ljós að megin ástæður mistakanna væru vegna sinnuleysis aðila sem tengdust verkinu, þekkingarleysis og skorts á samskiptum og upplýsingum. Í ljós kom að Pareto lögmálið 80/20 átti við rök að styðjast við framkvæmdirnar, það er 20% mistaka ollu 80% af heildar mistakakostnaði. Annmarkar á rannsókninni voru þeir að einungis var mistakakostnaður rannsakaður á meðan framkvæmd stóð því má telja líklegt að kostnaðurinn hafa hækkað eftir að mannvirkin voru tekin í notkun sökum slæmra gæða (Josephson, 1990, bls. 1-15). En eins og fram kom hér að ofan uppgötvast ekki öll mistök við framkvæmdina sjálfa en viðgerðir við slík mistök eru jafnframt hluti af mistakakostnaði (Ferdinand Hansen, e.d). Í sænsku rannsókninni voru slík mistök ekki rannsökuð sem hefði líklega hækkað heildarmistakakostnað framkvæmdanna (Josephson, 1990, bls. 1-15).

Breytingar á hönnun eru algengar eftir að framkvæmdir hefjast en ástæðu þess má rekja til þess hversu lítinn tíma hönnuðum er gefinn (Fung og Wong, 1997. bls 1-17). Eins og fram kom í kafla 2.1 eru þeir sem nota mannvirki oft hafðir í ráðum við frumhönnun að mannvirkjum. Þessir aðilar eru yfirleitt ekki faglærðir og eiga því oft erfitt með að sjá mannvirkið fyrir sér á blaði, það er að segja á tvívíddar teikningum. Robert Snyder hjá Bentley bendir á að um það bil 90% af fólki kunni ekki að lesa úr tvívíddar teikningum. Því er ekki skrítið að breytingar séu framkvæmdar þegar mannvirkið tekur á sig mynd og notendur sjá framkvæmdina í nýju ljósi (Robert Snyder, 2012, bls. 10).

Mikið af því efni sem notað er við mannvirkjagerðir eru stórir hlutir og í miklu magni sem taka mikið pláss og eru að jafnaði dýrir. Því er mikilvægt að efnið komi nákvæmlega á réttum tíma. Ef efnið kemur of snemma er ljóst að það þarf að geyma það annað hvort á framkvæmdastað eða í geymsluhúsi með

tilheyrandi kostnaði. Í ljósi þess að framkvæmdir eru fjármagnaðar með skammtímalánum eða eigin fé í upphafi getur ónákvæm tímapöntun á efni hækkað fjármagnskostnað umtalsvert. Ef efni kemur of seint hefur það að jafnaði áhrif á aðra verkþætti til seinkunnar (Benedikt Magnússon munnleg heimild, 15. febrúar 2013).

2.2.2 Íslensk lokaverkefni um mistök í mannvirkjagerð

Mistök í mannvirkjagerð og hvað veldur mistökum við áætlanagerð, hafa því miður ekki verið nægjanlega vel rannsökuð hérlandis. Þó eru nokkur lokaverkefni við íslensku háskólana sem hafa leitast við að rannsaka viðfangsefnið. Hér að neðan verður lauslega komið inn á niðurstöður tveggja verkefna.

Samkvæmt niðurstöðum meistararitgerðar Guðjónu Bjarkar Sigurðardóttur (2008, bls. 95-130) sem ber nafnið *Gæðastjórnun verktaka í mannvirkjagerð á Íslandi*, voru viðmælendur hennar sammála um að kostnaðar- og tímaáætlanir stæðust nánast aldrei og væru jafnframt óraunhæfar. Ennfremur töldu þeir að sá stutti tími sem verkkaupi gefur hönnuðum skili sér í hönnunarmistökum sem bitna síðan á verkáætluninni. Verkáætlunin er síðan ekki leiðrétt í samræmi við það og álagið við að reyna að ljúka verkinu á tíma eykst. Samkvæmt viðmælendum Guðjónu hafa miklir fjármunir farið í súginn vegna ofsahraða, stutts verktíma og lélegs undirbúnings. Samkvæmt niðurstöðum hennar skortir stjórnendur í mannvirkjagerð menntun á sviði stjórnunar. Jafnframt skortir millistjórnendur, sem lýsir sér í því að verkstjórar þurfa að taka á sig aukna ábyrgð á hlutum sem þeir hafa ekki nægjanlega þekkingu á. Skammtíma sjónarmið eru einnig alls ráðandi í mannvirkjagerð þar sem orðið „*þetta reddast*“ er mjög lýsandi fyrir viðhorf innan greinarinnar. Allir viðmælendur Guðjónu voru sammála um að kostnaður vegna galla og endurvinnu væri mjög hár.

Í viðtalsrannsókn sem Garðar Örn Þorvarðarson (2010, bls. 48-52) gerði meðal stjórnenda hjá sex stórum byggingarfyrirtækjum (ÍAV, ÍSTAK o.fl.) komu nokkrir áhugaverðir þættir fram. Í rannsókninni var kannað hvernig verkefnastjórnun var háttað innan mannvirkjagerðar á Íslandi. Samkvæmt niðurstöðum hans var almennur skortur á þekkingu innan fyrirtækja á

verkefnastjórnun, en það má ef til vill rekja til þess að ekki er nægjanlega vel farið yfir slíka hluti innan menntastofnana. Annar áhugaverður punktur í niðurstöðum Garðars var að viðmælendur hans töldu að sóun innan greinarinnar lægi einhverstaðar á bilinu 20 til 30%. Þetta er mun hærri tala en niðurstöður rannsókna nágrannalanda okkar segja til um, þar sem áætlað var að sóun væri 10%. Þeir þættir sem viðmælendur töldu orsaka sóun mest voru skortur á skipulagi, slök birgðastjórnun, skortur á auðlindum, samskiptaleysi og stuttur verktími. Þeir vilja meina að stuttur tími og pressa, leiði til þess að of margir aðilar séu að vinna á sama svæðinu, sem eykur hættuna á mistökum.

3 Breytingar

Innan allra atvinnugreina getur eitthvað gerst sem hefur áhrif á æviskeið hennar, þar sem einhverjir kraftar í innra eða ytra umhverfinu valda því að æviskeið hennar hliðrast. Slíkir kraftar eru kallaðir kraftar sem breyta atvinnugreinum, en þeir skapa hvata eða þrýsta á breytingar hjá öllum í greininni. Áhrif slíkra krafta eru varanlegar breytingar á atvinnugreininni en dæmi um slíkar breytingar eru tæknibreytingar, vöruþróun, markaðsnýjungar og fleira. Æviskeiði atvinnugreina má skipta í fimm hluta sem eru; þróun (e. *Development*), vöxtur (e. *Growth*), afhristi skeið (e. *Shake-out*), þroski (e. *Maturity*) og hnignun (e. *Decline*). Með slíkum kröftum hliðrast æviskeið atvinnugreinarinnar, til dæmis fer atvinnugreinin frá þroska aftur í þróun eða vöxt og þurfa fyrirtæki því að bregðast við slíkum kröftum (Johnson, o.fl. 2011. bls. 54-65). Árið 1982 komu fyrstu teikniforrit á markað sem er einmitt dæmi um kraft sem breytti hönnunarþætti mannvirkjagerðar varanlega en fyrir það teiknuðu hönnuðir á blaði, vopnaðir blýanti, strokleðri og reglustiku (Autodesk, e.d).

„Við tökum einugis eftir því sem breytist en ekki því sem breytist ekki, sem er nánast allt í kringum okkur“ (Mintzberg, 2011. bls. 189).

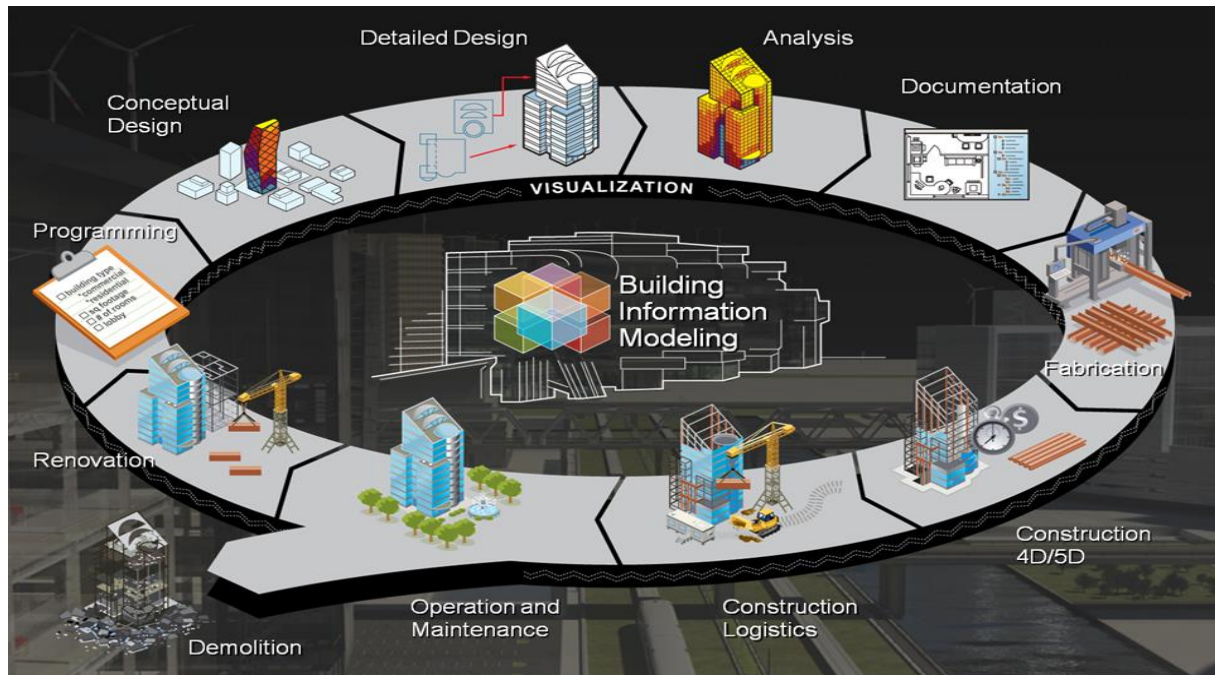
„Allir hlutir breytast einhvern tímann en það er eitthvað sem allir verða að sætta sig við“ (Mintzberg, 2011. bls. 189).

Ástæður breytinga geta verið margvíslegar, til dæmis endurskipulagning, samrunar, yfirtökur, tækni, framþróun og fleira (Raineri, 2011, bls. 266-272). Flest allir stjórnendur þurfa á einhverjum tímapunkti að breyta einhverju innan fyrirtækisins en breytingum má skipta í skipulags-, tæknilegar- og mannabreytingar (Coulter og Robbins, 2007, bls. 360-361). Það er hlutverk stjórnandans að leiða starfsmenn í gegnum breytingar, en eitt helsta verkefni þeirra er að virkja alla starfsmenn innan fyrirtækisins til að aðlögunin takist sem best (Heifetz og Laurie, 1997, bls.124-134). Algeng mistök í breytingaferli eru til dæmis þegar fyrirtæki fara of hratt í sakirnar og fá ekki nægjanlega marga starfsmenn með sér og þegar upplýsingaflæði er ábótavant (Kotter og

Schlesinger, 2008. bls. 130-139). Starfsmenn fyrirtækja sem ganga í gegnum breytingar óttast yfirleitt mest að þeir tapi einhverju og hræðast þá helst þá óvissu og óöryggi sem oft myndast við slíkar aðstæður en eru þó ekki endilega á móti breytingunum sjálfum (Heifetz og Linsky, 2002, bls. 121-123). Starfsmenn eru misjafnlega móttækilegir fyrir breytingum og aðlagast misvel, sumir taka breytingum sem tækifærum frekar en ógn. Ef rétt er staðið að breytingunni er hægt að fá flesta starfsmenn til að byrja að vinna og afkasta áður en langt um líður (Syracuse University, 2009). En Íslendingum hefur einmitt oft verið lýst sem nútímalegri, nýjungagjarnri og tæknivæddri þjóð (Forsætisráðuneytið, 2008, bls. 22). Til dæmis hefur orðið mikil tæknivæðing í hefðbundnum atvinnugreinum eins og álframleiðslu, sjávarútvegi og landbúnaði (Samtök iðnaðarins, 2005, bls. 5).

Til að minnka líkurnar á andstöðu og ótta meðal starfsmanna er mikilvægt að hafa góða fræðslu auk þess sem upplýsingaflæði þarf að vera gott frá upphafi. Mikilvægur þáttur í því að breytingar gangi vel er að bjóða upp á fræðslu, starfsþjálfun, vinnufundi, starfsmannafundi, starfsmannasamtöl og námskeið (Kotter og Schlesinger, 2008. bls. 130-139). Til að fræðslan skili sér er nauðsynlegt að hafa nokkur atriðið á hreinu. Þróunar-, þjálfunar- og fræðsluþættir þurfa að vera vel skilgreindir og skýrir. Starfsmenn þurfa að taka virkan þátt í öllum ferlum auk þess sem nauðsynlegt er að láta þá leysa hermidæmi áður en af breytingunum verður. Ásamt því er nauðsynlegt að bjóða starfsmönnum upp á endurmenntun til að efla og styrkja kunnáttu sína (HR Council for the Nonprofit Sector, e.d). Í flestum tilvikum tekur breytingaferlið langan tíma og er að jafnaði kostnaðarsöm aðgerð fyrir fyrirtækið (Johnson, o.fl. 2011. bls 474). Að sjálfsögðu er markmið allra breytinga að bæta frammistöðu fyrirtækisins en til skemmri tíma getur hún hins vegar versnað. Yfirleitt skilar breytingin sér þó í betri frammistöðu til lengri tíma lítið þó ekki alltaf eins góðri og vonast var til. Sú áhætta er alltaf fyrir hendi að breytingin mistakist sem getur haft í för með sér fjárhagslegt tap og tapaðan tíma (Fedor og Harold, 2008, bls. 89).

4 Building information modeling (BIM)



Mynd 5. Sýnir aðferðafræðina BIM.
(Buildipedia, e.d).

Building Information Modeling eða BIM er aðferðafræði sem er að ryðja sér til rúms í byggingar- og mannvirkjagerð í heiminum. Aðferðafræðin hefur fengið íslensku þýðinguna „upplýsingalíkan mannvirkja“. Með innleiðingu á BIM í mannvirkjagerð er stefnt að því að sameina krafta allra þeirra aðila sem koma að mannvirkjagerð, það er verkkaupa, hönnuða, framkvæmdaaðila, efnissala og fleirum, með það að leiðarljósi að bæta ferlið og gæði framkvæmda í heild sinni (Óskar Valdimarsson, 2006, bls. 12). Mynd 5. sýnir aðferðafræðina BIM en henni er ætlað að samþætta allt ferli mannvirkjagerðar allt frá forathugun til líftímastjórnunar á mannvirkinu (Buildipedia, e.d).

4.1 Hvað er BIM og hvernig er það notað?

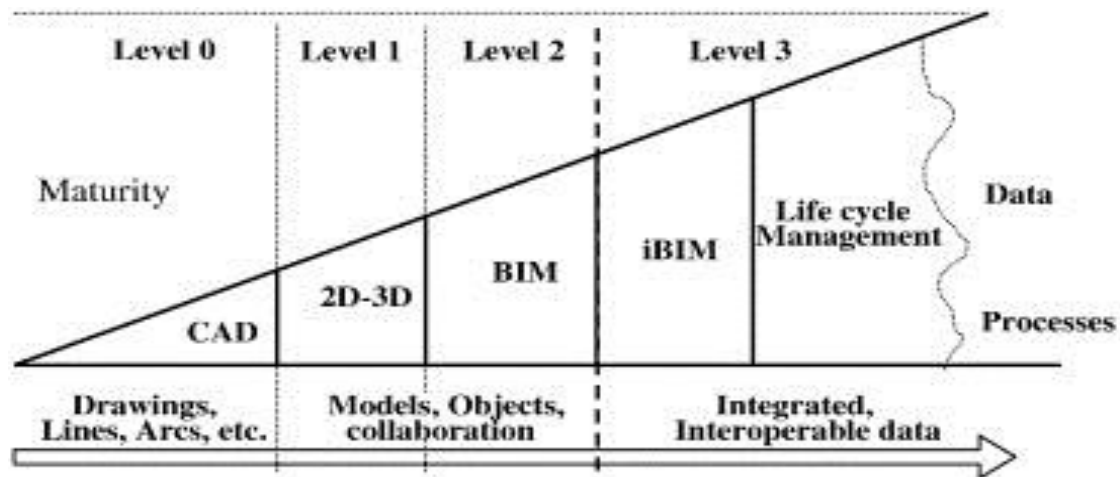
BIM er stafræn framsetning á hlutbundnum eiginleikum mannvirkis sem sameinar og geymir upplýsingar um það út líftíma þess. Grundvallar forsenda BIM er samstarf mismunandi hagsmunaaðila sem koma að mannvirkinu á líftíma þess (Smith og Deke, 2007, bls. 12). BIM líkön eru gerð með því að búa til þrívíddarlíkan af mannvirkinu sem er hlutbundið forritun (e. *Object-oriented programming*). Þetta þýðir að hver byggingarhluti/klasi (e. *Objects*) í BIM líkönum (BIM forritum) af mannvirkinu er skilgreindur og veit þannig úr hverju hann er gerður og hversu stór hann er, sem gerir mögulegt að ná í mikið magn upplýsinga í líkanið. Þar sem líkanið er í þrívídd er auðvelt fyrir hagsmunaaðila að átta sig á mannvirkinu og er í raun hægt að ganga um það í tölvugerðu líkani í þrívídd og skoða mismunandi verkþætti/fasa mannvirkisins (Harald Ingvarsson, 2009).

Þar sem hönnuðir nota oft mismunandi forrit (BIM forrit) frá mismunandi framleiðendum til að hanna sinn hluta mannvirkisins, er notast við IFC (e. *Industry foundation classes*) sem er hlutlaust og hlutamiðað kerfi til að hægt sé að flytja upplýsingar milli mismunandi aðila sem nota mismunandi BIM forrit (Building Smart, 2008, bls. 1-12). IFC *format* er orðið að staðal sem heitir ISO 16739: 2013, þau þrívíddarlíkön sem ekki uppfylla ISO 16739: 2013 (til dæmis geta ekki skipst á eða deilt gögnum eða byggjast ekki á hlutbundinni hönnun) teljast ekki til BIM forrita (ISO, e.d).

IFC gerir það að verkum að hægt er að flytja upplýsingalíkön og gögn óháð framleiðendum í bæði tví- og þrívídd. Því er hægt að setja upp verkefnavef þar sem hægt er að geyma öll gögn tengd mannvirkinu og allir hagsmunaaðilar hafa aðgang að. BIM líkön geta geymt allar upplýsingar um mannvirkið frá hönnun, framkvæmd og rekstri þeirra (Building Smart, 2008, bls. 1-12). Það er þó ekki algilt að líkönin geti geymt allar upplýsingar en það ræðst af því hvernig staðið er að hönnun (módelering) þeirra (Jóhann Örn Guðmundsson munnleg heimild, 21. mars 2013). Líkanið er því orðið miðlægt þar sem allir hagsmunaaðilar komast í sömu gögnin og upplýsingaflæðið eykst til muna, sem svo eykur gæði og minnkar líkur á mistökum. Líkanið í BIM getur innihaldið alla hönnunarhluta, það er byggingarhluta, raflagna- og lagnahönnunarhluta og alla aðra hluti sem eru innan mannvirkisins, en kerfið

býður einnig upp á árekstrarprófun milli mismunandi fagsviða. Í líkaninu er einnig hægt að fá grunnupplýsingar um magn og fleira sem hjálpar verkkaupum og verktökum við áætlanagerð. Upplýsingar sem þessar munu koma að góðum notum í rekstri mannvirkisins um ókomna tíð (Building Smart, 2008, bls. 1-12).

Eins og fram hefur komið hér að framan styður BIM bæði við tví- og þrívíddar teikningar, en báðar þessar víddir snúa aðallega að hönnun mannvirkja. Fyrstu tvær víddirnar eru 2D sem eru hefðbundnar teikningar og 3D er hlutbundin teikning í þrívídd. Mikil framþróun hefur verið í hugbúnaðarlausnum fyrir BIM aðferðafræðina síðastliðin ár, sem hefur leitt af sér fleiri sérhæfðar víddir til að auðvelda skipulag og umsjón með framkvæmdum. Þær víddir sem koma á eftir 3D eru nefndar n-víddir (nD). Með nD víddum er átt við framlengingu á 2D og 3D en með því að samþætta allar hönnunarupplýsingar er hægt að nýta þær í mismunandi greiningar og mat á mannvirkinu. Þau nD sem notuð eru í dag eru 4D þar sem hægt er að vinna með tíma- og verkáætlun og 5D sem ætlað er að vinna með kostnaðar- og fjármagnsáætlun (Succar og Bilal, 2009, bls. 357-375) og 6D sem snýr að líftímastjórnun mannvirkja (Becerik, Calis og Jazziadeh, 2012, bls. 431-442). Til að hægt sé að gera nákvæma framkvæmdaáætlun á frumstigum verkefnis í nD víddum þarf hönnunarferlið að vera vel unnið, þar sem nD notar gögn úr BIM líkaninu (Succar og Bilal, 2009, bls. 357-375). Talið er að næstu viðbætur á nD líkönum verði 7D vistvæn hönnun og innkaup (Harald Ingvarsson, 2009).



Mynd 6. Sýnir þroskastig BIM á aðferðafræðinni BIM .
(Hewage og Porwal, 2012).

Þegar byrjað er að nota aðferðafræðina BIM eru fjögur þroskastig sem hagsmunaaðilar þurfa í raun að fara í gegnum til þess að ná fullkomnu valdi á aðferðafræðinni, en þau má sjá á mynd 6. Stig núll er stigið áður en BIM er innleitt en þá eru einungis notuð 2D gögn til að lýsa 3D veruleika. Fyrsta stig innleiðingar er að nota BIM hugbúnað að hluta til en upplýsingaflæði og samskipti á milli hagsmunaaðila er enn ábótavant. Annað stig er að samstarf mismunandi hagsmunaaðila (hönnuða) verður virkari og þeir eru farnir að samþætta og setja saman snið úr ólíkum forritum. Á stigi þrjú eru samskipti milli hagsmunaaðila (hönnuðir, framkvæmdaaðilar, verkkaupi o.fl.) þó enn ósamstillt og þeir hafa enn takmarkað hlutverk í ferlinu. Á lokastigi innleiðingar er samþætting og samskipti milli allra hagsmunaaðila orðin góð og hægt að gera eins og áður hefur komið fram, flóknar nD greiningar á frumstigi. Upplýsingar úr líkaninu er hægt að nota áfram í rekstri mannvirkisins (Succar og Bilal, 2009, bls. 357-375; Hewage og Porwal, 2012).

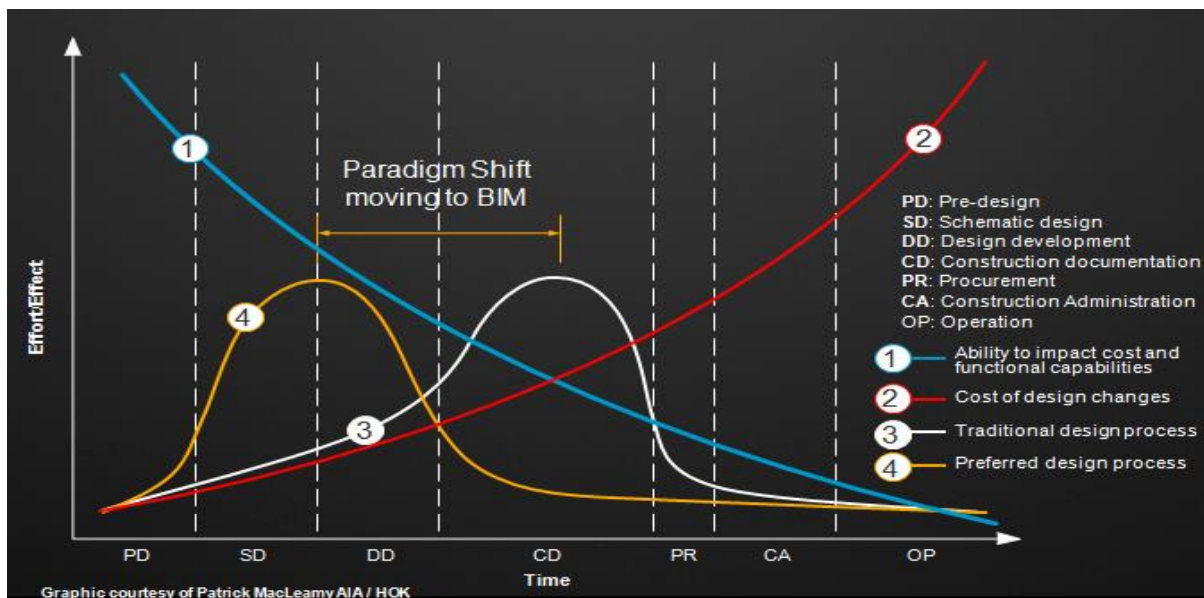
Samkvæmt meistaraverkefni Ingibjargar Birnu Kjartansdóttur (2011, bls. 51-52) í framkvæmdarstjórnun við háskóla Reykjavíkur, þar sem innleiðing á BIM á Íslandi var til skoðunar kom í ljós að 40% aðila við mannvirkjagerð á Íslandi (arkitektum, verkfræðingum og verktökum) nota aðferðafræðina BIM. Samkvæmt niðurstöðu rannsóknar hennar kom í ljós að 53% arkitekta, 50% verkfræðinga og 50% verkkaupa á Íslandi eru að nota BIM forrit en enginn verktaki nýtir sér BIM. Samkvæmt niðurstöðum rannsóknarinnar eru Íslendingar staddir einhverstaðar á milli þroskastigs 1 og 2 við innleiðingu á BIM.

Það eru margir framleiðendur á forritum sem styðja aðferðafræði BIM en áherslur þeirra geta verið á mismunandi hluti fyrir mismunandi aðila sem koma að mannvirkjagerð (CAD, e.d; SmartMarket Report, 2012, bls. 6). Sem dæmi má nefna þá sérsníða *Vico Software* sinn hugbúnað að nD víddunum en ekki að hönnunareiginleikum 2D og 3D (Vico software, e.d). Tekjur af árlegri sölu og þjónustu af BIM hugbúnaðarlausnum á heimsvísu námu 1.8 billjónum bandaríkjadala fyrir árið 2012 og er því spáð að þessi tala verði orðin 6.5 billjónir bandaríkjadala árið 2020 (Pike Research, 2012).

5 Áhrif BIM á útboðs-, áætlanagerð og hönnun

Mannvirkjagerð er sífellt að verða flóknari og þar af leiðandi orðið erfiðara að stjórna og halda utan um framkvæmdir. Það eru margir ólíkir hagsmunaaðilar sem koma að slíkum framkvæmdum og strangari kröfur gerðar til mannvirkja sem gerir ferlið enn flóknara. Í ljósi þessa hefur orðið mikil tækniframför á hugbúnaðarlausnum til að einfalda ferlið og áætlanagerð við mannvirkjagerðir. Aðferðafræðin BIM er dæmi um framþróun á hugbúnaðarlausnum sem snerta áætlanagerð að nýju mannvirki á ótal vegu (Bryde, Broquetes og Volm, 2013, bls. 1-10).

5.1 Hönnun



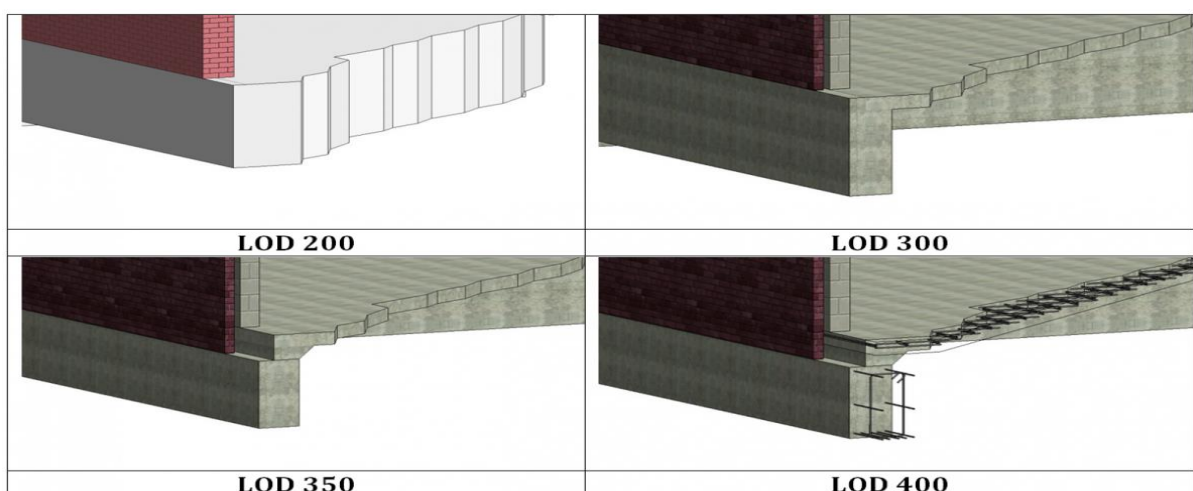
Mynd 7 Áhrif BIM á mannvirkjagerð.
(Eastman o.fl., 2008, bls. 153; Revittize, 2011).

Á mynd 7. má sjá þau áhrif sem gott og nákvæmt BIM hönnunarferli hefur á allt framkvæmdarferlið (Ferli 4). Á myndinni má sjá á y-ás hversu mikið aðilar þurfa að leggja á sig (e. *Effort/Effect*) en x-ás miðast við tíma sem er jafnframt skiptur upp í aðgerðarferli fyrir frumathugun/frumáætlun (PR), frumhönnun (SD), verkhönnun (DD), útboðsgögn (CD), öflun útboðsgagna (PR), skipulagning/undirbúningur framkvæmdar (CA) og framkvæmdin sjálf (OP). Á myndinni má sjá ferli 1. (*Ability to impact cost and functional capabilities*) og ferli 2. (*Cost of design changes*) en eins og sést er hægt að hafa mikil áhrif á byggingarkostnað í báðum ferlunum. Í ferli 1. sýnir hvernig unnt er að hafa

sem mest áhrif á byggingarkostnað og eiginleika mannvirkis á fyrstu stigum mannvirkjagerðar en ferli 2. sýnir aftur á móti hvernig kostnaður vegna hönnunarbreytinga og mistaka eykst eftir því sem líður á seinni stig mannvirkjagerðar.

Ferli 4. sýnir ákjósanlegan byggingarmáta með hlutbundinni aðferð (BIM) en þá er hönnunarvinnan umfangsmeiri á fyrri stigum mannvirkjagerðar. Ferli 3. sýnir aftur á móti hefðbundinn byggingarmáta (Eastman o.fl., 2008, bls. 153) en þá er hönnunarvinnan umfangsmeiri á seinni stigum mannvirkjagerðar. En eins og sjá má á ferli 4. er meiri vinna lögð í hönnunarferlið strax í upphafi sem skilar sér í því að tími annarra eykst og þeir geta því skipulagt sig betur (Eastman o.fl., 2008, bls. 153; Revittize, 2011).

Til að BIM aðferðafræðin skili sem bestum árangri er nauðsynlegt að upplýsingaflæði milli hagsmunaaðila sé gott, en líkja má BIM við keðju þar sem keðjan er aldrei sterkari en veikasti hlekkur hennar (Succar og Bilal, 2009, bls. 357-375). Þegar notast er við BIM aðferðafræðina þarf að eyða mun meiri tíma í hönnunarvinnu fyrr í ferlinu, þar sem mikill munur er á þeim tíma sem fer í að útbúa annars vegar BIM líkan og hins vegar 2D teikningar. Til lengri tíma litið borgar sá aukatími sig sem lagður er í BIM líkön þar sem aðferðafræðin minnkar líkurnar á hönnunarmistökum til muna (Jóhann Örn Guðmundsson munnleg heimild, 21. mars 2013).

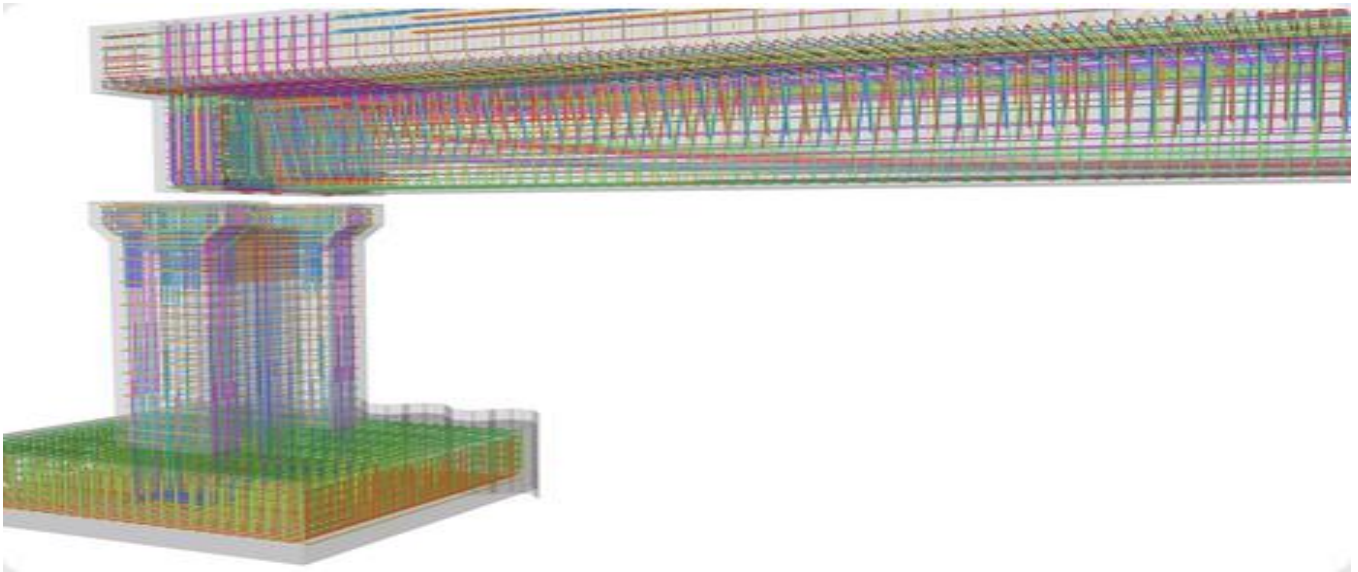


Mynd 8. Sýnir stig nákvæmni (LOD) BIM hönnunar. (Autodesk, e.d-a).

Í upphafi hönnunarferlisins er mikilvægt að skilgreina þörf á nákvæmni í hverjum fasa/stigi verkefnisins. Bandaríska arkitektasambandið hefur útbúið skala þar sem stig nákvæmni (LOD. e. *Level of details*) eru skilgreind en alls eru stigin frá LOD 100 – LOD 500. Hér á mynd 8. má sjá mun á nákvæmni milli stiga en eins og sést er mikil munur á stigi 200 og 400. Því er nauðsynlegt að aðilar sem koma að hönnuninni viti á hvaða stigum ætlast er til að þeir vinni á (Autodesk, e.d-a).

BIM leitast við að samþætta allt hönnunarferlið ásamt því að samhæfa hönnunargögn en með því eykur BIM áreiðanleika og nákvæmni á hönnunarstigi verkefnisins. En með því að samþætta hönnunarferlið og auðvelda samskipti meðal hönnuða eru allar ákvarðanir færðar frammar í hönnunarferlið þar sem aðgengi að upplýsingum verður mun betra (BIM Ísland, e.d). BIM er meðal annars gætt þeim eiginleika að til dæmis þegar hönnuðir þurfa að breyta hönnun á mörgum hlutum sem eru eins í mannvirkinu er nóg að breyta einum hlut og forritið sér síðan um að breyta þeim á öllum öðrum teikningum. Þetta er mikill tímasparnaður fyrir hönnuði þar sem oft koma upp breytingar í hönnunarferlinu. Auk þess er auðvelt að kalla fram sniðmyndir af hinum ýmsu verkþáttum við framkvæmdina (Jóhann Örn Guðmundsson munnleg heimild, 30. janúar 2013).

Með BIM er hægt að framkvæma árekstraprófanir milli fagaðila, en með því er til dæmis hægt að vita strax hvort pípulagnir og raflagnabúnaður rekist á. Þetta eru fyrirbyggjandi aðgerðir til að koma í veg fyrir vandamál á framkvæmdastigi og geta því lækkað ófyrirséðan kostnað (Azhar, Hein og Sketo, 2010, bls. 1-11). Við byggingu á nýju 484 þúsund fermetra Hilton hóteli í Atlanta fylki í Bandaríkjunum var notast við BIM en verkefnið í heild kostaði 46 milljónir dollara. Með árekstraprófun í BIM var hægt að finna 590 árekstra á hönnunarstigi sem hægt var að laga áður en framkvæmdin hófst. Verðmæti þessa 590 árekstra voru 200 þúsund dollarar auk þess hefði það tekið 1.143 klukkustundir að laga þá. Samkvæmt rannsókninni var kostnaðurinn af notkun BIM hugbúnaðarins 90 þúsund dollarar eða 0,2% af heildar kostnaði verkefnisins, því nam sparnaðurinn af árekstraprófuninni einni 110 þúsund dollurum (Azhar, 2011, bls. 244).



Mynd 9. Sýnir líkan E. Pihl og Son A. S af járnagrind verkefnisins í BIM.
(Pihl, e.d).

BIM aðferðafræðin býður hönnuðum upp á að búa til ítarlegri teikningar þar sem hægt er að aðgreina hvern verkþátt í sér líkani. Sem dæmi um slíkt má nefna undraverðan árangur E. Pihl og Son A. S við brúarframkvæmdir í Gautaborg. Brúin var 442 metrar á lengd en framkvæmdinni var skipt í 18 áfanga. Fyrirtækið smíðaði BIM líkanið upp úr fyrirliggjandi 2D teikningum af járnagrindinni (sem sjá má á mynd 9.) en ástæða þess er sú að bæði er járnagrind verkefnisins flókin, mikið járn er í plötunni og því miklar líkur á árekstri. Með nákvæmu BIM líkani af járnagrindinni var hægt að forvinna járneið, bæði með því að klippa það í réttar lengdir, beygja það rétt og flytja það síðan rétt merkt á framkvæmdastað. Þar sem BIM líkanið er í því átt að auðveldar það jafnframt framkvæmdaraðilum á verkstað að vinna verkeið. Með nákvæmu BIM líkani af járnagrindinni náðu Pihl og Son að útrýma árekstrum og nýta bæði járneið og tíma betur. Við fyrsta áfanga var 23 dögum eytt í vinnu en með tilkomu BIM líkansins náðu þeir að klára einn áfanga á 7-9 dögum. Eins og fram hefur komið var verkefnið framkvæmt í 18 áföngum sem þýðir að með BIM tók heildar framkvæmdin 126 – 162 daga en án BIM hefði heildar framkvæmdin tekið 414 daga. Þar að auki náðu þeir að nýta járneið mun betur þar sem það var forklipt og því nýttist hver járnstöng mun heldur en ef hún hefði verið klippt á staðnum (E. Pihl og Son A. S, e.d).

5.2 Útboð

Með BIM aukast gæði hönnunargagna til muna, sem skilar sér í nákvæmari magntölu sem skilar sér svo aftur í betri og nákvæmari útboðsgögnum (BIM Ísland, e.d). Nákvæmar magntölur og 3D líkön að mannvirkinu gerir verktökum auðveldar fyrir að meta það verkefni sem þeir hyggjast bjóða í. En með BIM líkönum er jafnframt hægt að aðgreina ákveðna verkþætti, til dæmis væri hægt að skoða einungis lagnakerfi eða einungis burðarvirki. Þetta auðveldar verktökum að átta sig á umfangi verkefnisins og þeim tæknilegu atriðum sem nauðsynlegt er að leysa við framkvæmdina (Eastman o.fl., 2008, bls. 250-251). Við gerð verk- og tímaáætlunar í BIM er hægt að sjá hversu margir aðilar eru nauðsynlegir við framkvæmd á ákveðnum verkþætti á ákveðnum tíma, en nánar verður fjallað um það hér að neðan. Með þessum upplýsingum geta verktakar til dæmis áttað sig á hvort þeir hafa mannafla til að leysa verkefnið (Vico Software, e.d-g).

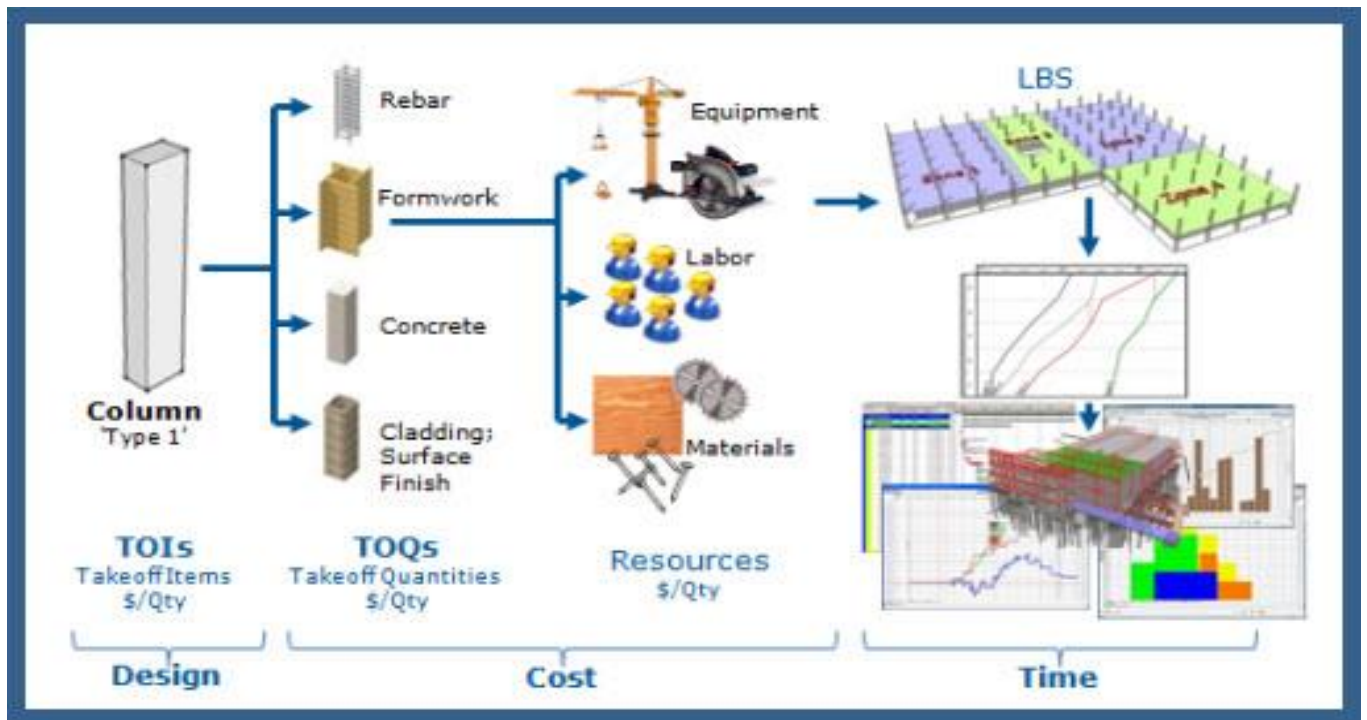
5.3 Áætlanir

Með tilkomu svo nefndra n- vídda, sem er framlenging á BIM aðferðafræðinni, hefur skapast grundvöllur fyrir nákvæma verk- og tímaáætlun (4D) og kostnaðar- og fjármagnsáætlun (5D) fyrr í hönnunarferlinu. Þó ber að hafa í huga að n-víddir byggja á fyrirbyggjandi gögnum úr heildarlíkani mannvirkisins, því er mikilvægt að vandað sé til verks við hönnunarvinnu á heildarlíkaninu til að skekkja ekki n-víddirnar (Succar og Bilal, 2009, bls. 357-375).

5.3.1 Kostnaðar- og fjármagnsáætlun (5D)

Þegar búið er að gera kostnaðaráætlun er ljóst hver fjárþörf verkefnisins er það er hvað framkvæmdin kostar (Fjármála- og efnahagsráðuneytið, 2002). En verkkaupi þarf í kjölfarið að fjármagna fjárþörfina, það er að útvega það fjármagn sem nauðsynlegt er til að geta staðið á bak við kostnað framkvæmdarinnar. Þegar fjárþörfin er ljós er nauðsynlegt fyrir verkkaupa að gera greiðsluáætlun fyrir verkið til að tryggja að hann hafi fjármagn á reiðum höndum þegar þess er krafist (Ágúst Einarsson, 2007, bls. 363-365). Kostur BIM líkana er sá að hér er um hlutbundna hönnun að ræða sem þýðir líkanið veit (eða les) úr hverju hver byggingarhluti er gerður og hversu stór hann er.

Því er auðvelt að fá upplýsingar úr líkaninu, dæmis til um magn og fleira (Azhar, Hein og Sketo, 2010, bls. 1-11).



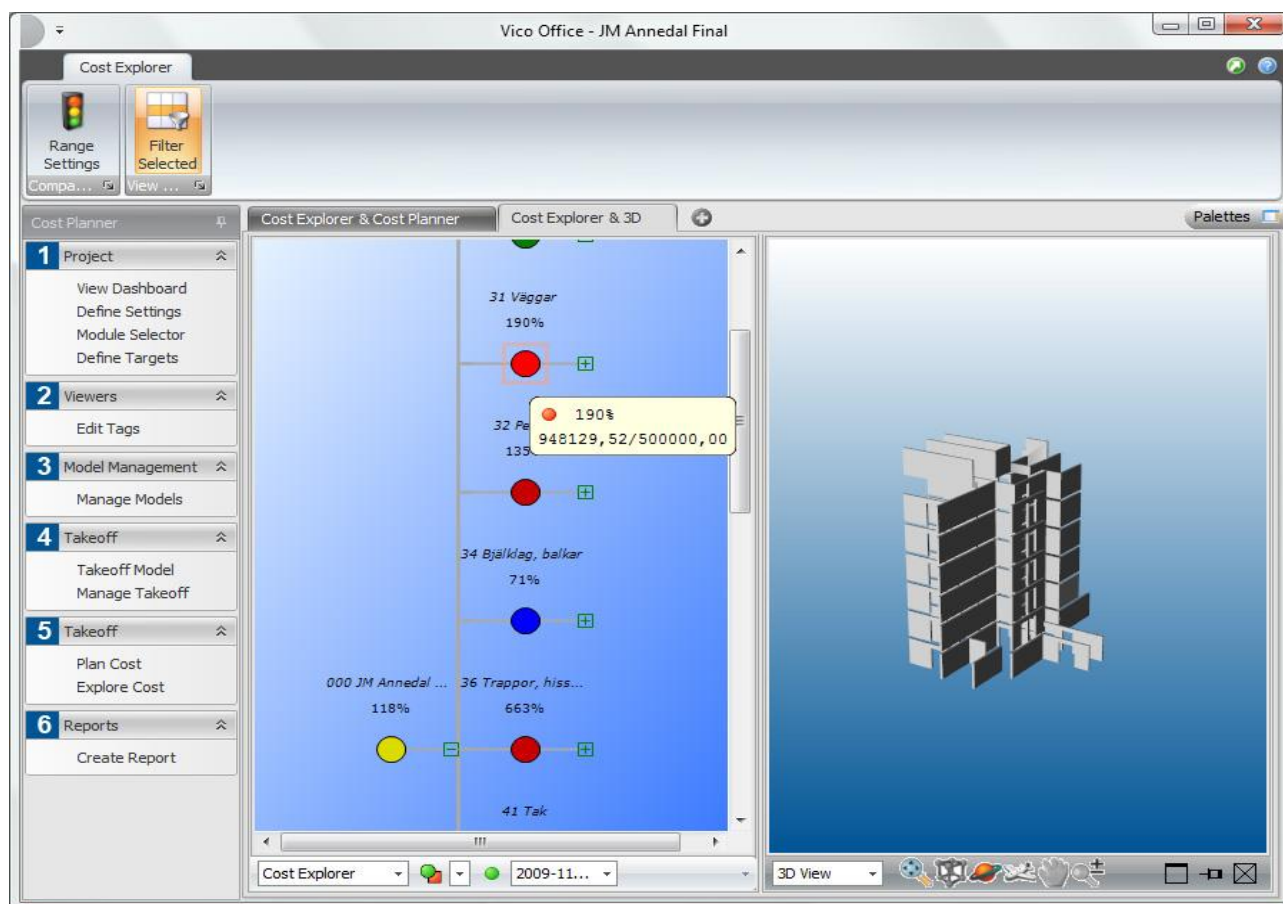
Mynd 10. Sýnir vinnsluferlið í Vico Software.
(Vico Software, e.d-e).

Hér að neðan verður farið lauslega yfir gerð kostnaðar- og fjármagnsáætlunar (5D) og verk- og tímaáætlunar (4D) í BIM hugbúnaði. Fyrir valinu varð *Vico Software* hugbúnaðurinn sem hefur náð þó nokkurri fótfestu, en hann getur tekið við öllum gerðum BIM líkana. Á mynd 10. má sjá ferli við upplýsingavinnslu úr BIM líkönum yfir í *Vico Software*. Eins og myndin sýnir þá er BIM líkanið tekið inn í forritið sem les magntölur úr líkaninu, en það er grundvöllur frekari úrvinnslu. Þegar magntölur eru ljósar er hægt að búa til nákvæma kostnaðaráætlun sem byggir á einingaverði og þeim vinnustundum sem fara í hvern verkþátt. Að lokum er hægt að búa til nákvæma verk- og tímaáætlun út frá fyrirbyggjandi upplýsingum um magn, einingaverð og tíma (Vico Software, e.d-e). Þess ber þó að geta að fleiri forrit bjóða upp á svipaða eða sambærilega möguleika (BIM Ísland, e.d).

Við gerð kostnaðaráætlunar út frá BIM líkani er hægt að ná í líkanið sem IFC (*format*) sem er hlutlaust og hlutamiðað kerfi, óháð framleiðendum. Það gerir það að verkum að hægt er að flytja upplýsingalíkön á milli aðila þar sem allir

hönnunarhlutar eru komnir inn í líkanið. Með því að nota *Takeoff manager* í *Vico Software* er hægt fá allar upplýsingar um líkanið strax. Upplýsingarnar birtast vinstra megin á skjánum, en hægra megin er líkanið sjálft. Forritið keyrir út magntölur úr líkaninu ásamt því að láta vita ef eitthvað í magntölunum stemmir ekki. Því er auðvelt að finna vandamálið þar sem forritið beinir beint á það í líkaninu hægra megin á skjánum, en þetta er gert til að kostnaðaráætlun verði eins nákvæm og mögulegt er. Í *Takeoff manager* er jafnframt hægt að prenta út nákvæma magntöluskrá og færa gögnin yfir í *excel* (*Vico Software*, e.d-a).

Magntölurnar úr *Takeoff manager* eru í kjölfarið notaðar til að búa til kostnaðaráætlunina sjálfa í *Cost planner* í *Vico Software*. *Cost planner* tekur mið af einingaverði og þeim klukkustundum sem tekur að vinna tiltekna verkþætti. Jafnframt er hægt að keyra út mismunandi gerðir af kostnaðaráætlun fyrir hluta mannvirkisins, til dæmis bara fyrir fyrstu hæðina. Auk þess er hægt að breyta verði til að sjá áhrif þess á áætlunina og áætla nýtingu á efni við hvern verkþátt (*Vico Software*, e.d-a).

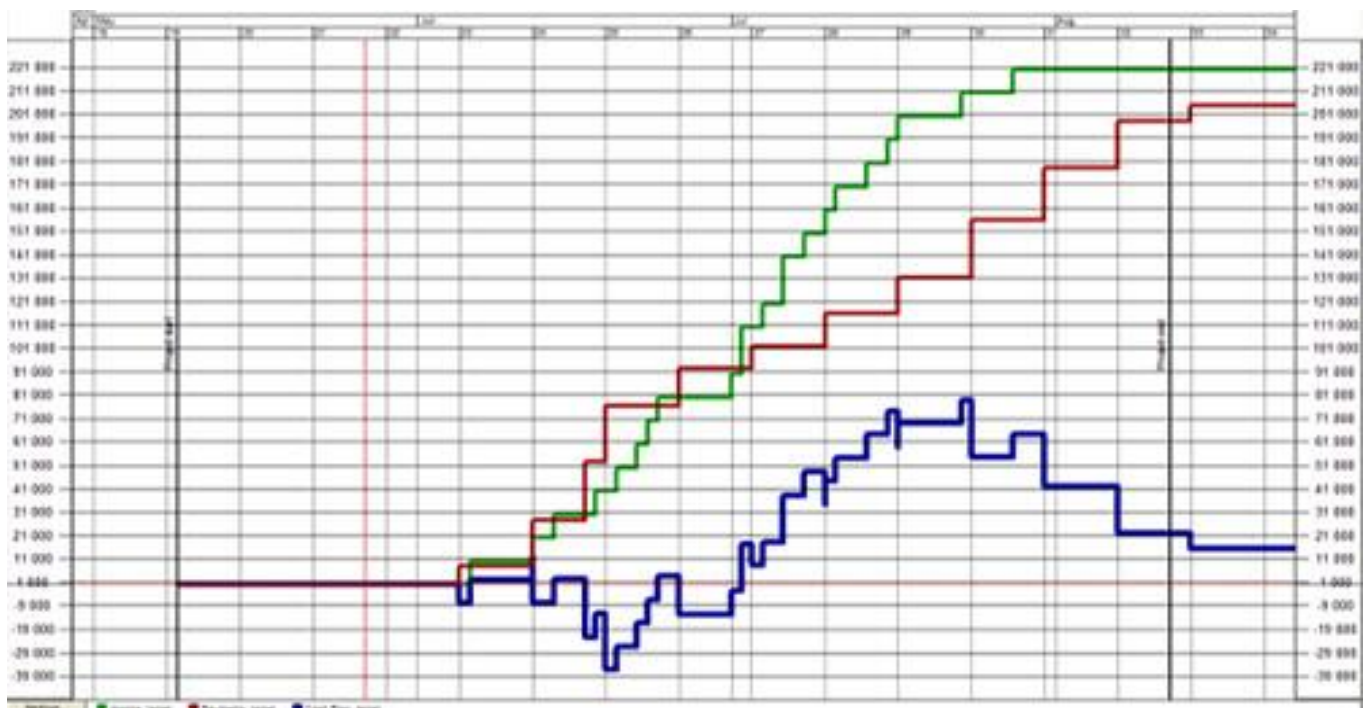


Mynd 11. Sýnir Cost explorer í Vico Software.
(Vico Software, e.d-i).

Með fyrirbyggjandi gögn frá *Takeoff manager* og *Cost planner* er hægt að rannsaka kostnað enn frekar en í *Cost explorer*. Í *Cost explorer* er hægt að bera saman kostnaðaráætlun og raunverulegan kostnað eða tvær útgáfur af kostnaðaráætlun fyrir verkið. Hér á mynd 11. má sjá uppsetningu á *Cost explorer* í Vico Software. Vinstra megin á myndinni má sjá *Cost explorer* en eins og sjá má eru punktar sem sýna hvort áætlunin standist eða ekki og þannig er auðvelt að komast að rót vandans. Hægra megin má sjá líkanið og þann hluta sem verið er að skoða og að lokum má sjá kostnaðaráætlunina neðst á skjánum. Með *Cost explorer* er hægt að sjá hvort að heildar kostnaðaráætlunin standist eða ekki, auk þess er hægt að athuga hvern verkþátt fyrir sig og sjá hvort kostnaður er undir eða yfir áætlun. Með þessu er hægt að komast að því hvað veldur því að kostnaðaráætlun stenst ekki og hvaða verkþættir það eru sem valda skekkjunni (Frávik) (Vico Software, e.d-a).

Það sem BIM líkön hafa fram yfir hefðbundna hönnun er að þegar breytingar eru gerðar á líkaninu breytast upplýsingar eins og magntölur sjálfkrafa í

kjölfarið. Þetta auðveldar alla yfirsýn auk þess sem auðvelt er að greina orsök og afleiðingar af breytingunum sem gerðar eru á líkaninu. Samkvæmt Azhar, Hein og Sketo (2010, bls. 1-10) er skekkjumörk (frávik) kostnaðaráætlana sem byggðar eru á upplýsingum úr BIM líkönum innan við 3% auk þess sem aðferðafræðin sparar tíma við gerð kostnaðaráætlunar um allt að 80%. Þó BIM líkön auki yfirsýn er það þó ekki sjálfgefið að hægt sé að útrýma öllum hönnunarmistökum og fá alltaf 100% nákvæmar magntölur þar sem erfitt er að hafa yfirsýn með öllum hönnunarhlutum þó BIM líkön hjálpi vissulega mikið til (Jóhann Örn Guðmundsson munnleg heimild, 21. mars 2013).

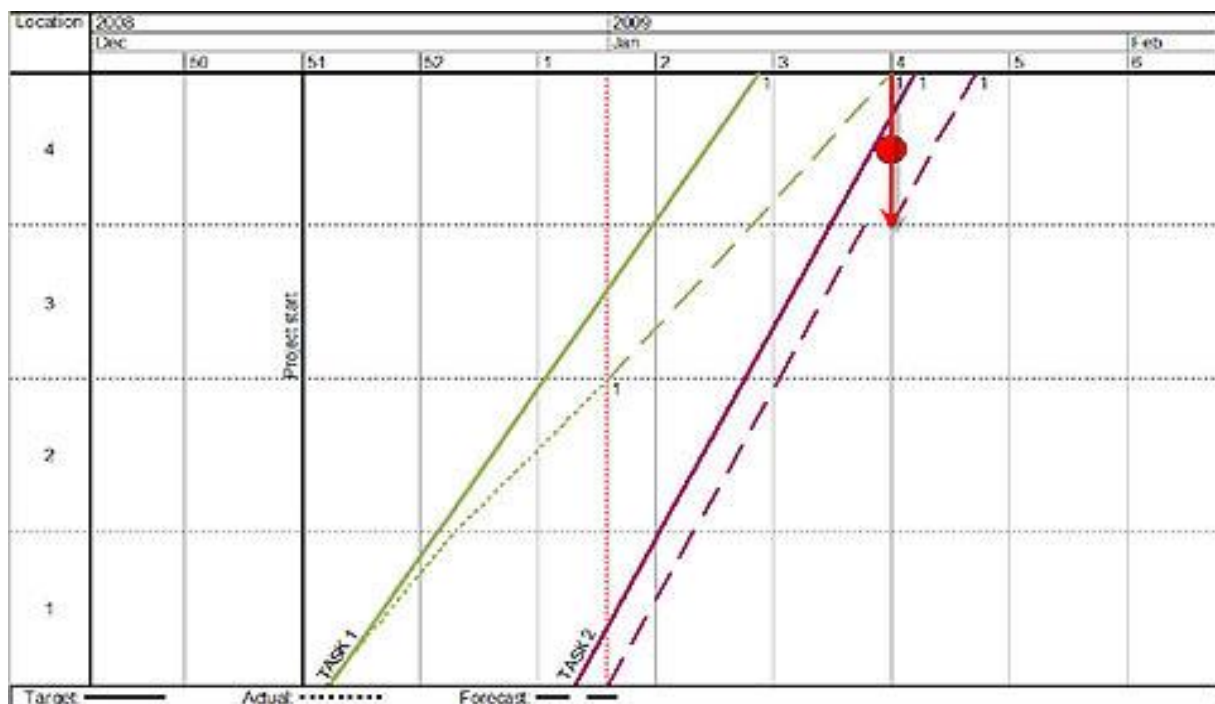


Mynd 12. Sýnir fjármagnsflæði verkefnisins.
(Vico Software, e.d-c).

Hægt er að gera nákvæma greiningu á greiðsluflæði með upplýsingum frá BIM líkönum en þær er hægt að gera hvenær sem er á framkvæmdatímanum. Á mynd 12. hér að ofan má sjá slíka greiningu. Rauða línan táknar útstreymi fjármagns, græna línan táknar innstreymi fjármagns og bláa línan táknar handbært fé. Eins og sjá má er greiðsluflæðið miðað út frá peningum og tíma þegar þeirra er þörf í framkvæmdinni. Því er hægt að búa til nákvæma greiðsluáætlun sem gerð er út frá kostnaðaráætlun og verk- og tímaáætlun (Vico Software, e.d c-d).

5.3.2 Verk- og tímaáætlun (4D)

Eins og fram hefur komið er mannvirkjagerð sífellt að verða flóknari þar sem kerfi eru mörg og margir hagsmunaaðilar koma að framkvæmdinni, því getur stjórnun og skipulag verkefnisins reynst verkefnastjóra afar erfið (Bryde, Broquetes og Volm, 2013, bls. 1-10). Það er því lykilatriði að vanda til verk- og tímaáætlana þar sem þær eru grundvöllur fyrir frekara skipulag til dæmis mannafla- og efnisþarfaáætlun (Samtök iðnaðarins, e.d).



Mynd 13. Sýnir flæðirit Vico Software.
(Vico Software, e.d-f).

Til að búa til góða verk- og tímaáætlun er nauðsynlegt að skipta mannvirkinu upp í ákveðin svæði, til dæmis eftir hæðum og nota upplýsingar úr líkaninu um magn og vinnustundir miðað við hvert svæði. Í kjölfarið er verkþáttum raðað í rökrétta framvindu inn í flæðirit verkefnisins en hér á mynd 13. má sjá flæðirit úr Vico Software. Eins og sést á myndinni skiptir flæðiritið verkþáttum niður þar sem hver lína táknar ákveðin verkþátt sem miðuð eru út frá svæðum og tíma, en í Vico Software er Gantt rit búið til úr upplýsingum úr flæðiritinu. Með því að skipta mannvirkinu upp í svæði auk þess að nota áætlað magn og verktíma eftir svæðum verður verk- og tímaáætlunin nákvæm og raunhæfari, miðað við fyrirliggjandi áætlun. Á myndinni má sjá verkþátt (e. *task*) 1. og 2. en þar táknar óbrotna línan áætlunina. Síðan eru tvær gerðir af brotalínum sem

tákna annars vegar raunverulega framvindu og hins vega spá um verklok ákveðins þáttar, miðað við raunverulega framvindu. Eins og sjá má á myndinni voru verklok á verkþætti 1. áætluð í viku þrjú en miðað við raunverulega framvindu er þeim spáð í lok viku fjögur. En þannig hjálpar flæðiritið stjórnendum, verkkaupa og framkvæmdaraðilum og fleirum að greina áætlaða framvindu verkefnisins. Með flæðiritum er hægt að tryggja nákvæma verk- og tímaáætlun auk þess að tryggja að verkþættir rekist ekki á. Við gerð verk- og tímaáætlunar með *Vico Software* er hægt að færa ákveðna verkþætti (línu í flæðiritinu) en þá er línan færð handvirkrt á ákveðinn stað til að áætlunin gangi upp. En við slíkar tilfærslur segir forritið hversu miklum mannskap nauðsynlegt er að bæta við til að það tilfærslan gangi upp. Ennfremur er hægt að búa til áhættuþætti inn í flæðiritið, til dæmis áhrif veðurs á framkvæmd og fleira, en með því er hægt að gera áætlunina enn raunhæfari. Jafnframt sýnir forritið nauðsynlegan mannafla til að verkefnið standist áætlun (*Vico Software, e.d-g*).

Eins og fram hefur komið er hægt að bera saman upprunalega verk- og tímaáætlun á móti raunverulegri framvindu og líklegum afleiðingum hennar á verklok (sjá mynd 13). Þetta auðveldar stjórnendum og verkkaupa að átta sig á hvað þarf að gera til að verkefnið haldi áætlun, til dæmis með því að bæta við starfsmönnun, auka vinnustundir og fleira. Þá er einnig hægt að nota upplýsingarnar á vikulegum verkfundum þar sem farið er yfir framvindu verkefnisins með hagsmunaaðilum (*Vico Software, e.d-g*). Auk þess sem hægt er að búa til hermi (e. *Simulation*) á verk- og tímaáætlun þar sem mannvirkið byggist upp í réttri tímaröð eftir framvindu verkþátta á tölvuskjánum sem auðveldar mönnum að sjá framkvæmdina í heild sinni. Með BIM hermi er auðvelt að átta sig á mistökum í verkáætlun þar sem hægt er að sjá framvindu þess í þrívídd. Hermun í BIM getur hjálpað mikið til í samskiptum mismunandi hagsmunaaðila sem koma að ferlinu og þannig hjálpað til við ákvarðanatöku (*Vico Software, e.d-h*).



Mynd 14. Sýnir mismunand skýrslur úr Vico Software.
(Vico Software, e.d-b).

Kostir þess að útbúa kostnaðar- og fjármagnsáætlun og verk- og tímaáætlun í sama forritinu eru þeir að hægt er að samkeyra mismunandi skýrslur innan kerfisins. Hér á mynd 14. má sjá dæmi um slíkar skýrslur úr *Vico Software* en efst á myndinni má sjá flæðirit verkefnisins og fyrir neðan má sjá *Gantt* rit verkefnisins. Fyrir neðan *Gantt* ritið er skýrsla sem sýnir nauðsynlegan mannafla sem þarf að vera til staðar á hverjum tímapunkti fyrir sig sem jafnframt er skipt eftir verkþáttum. Neðsta skýrslan á myndinni sýnir greiðsluflæði verkefnisins, það er innborganir, útborganir og handbært fé. Ef verk- og tímaáætlun er breytt hefur það áhrif á hinar skýrslurnar og nýjar niðurstöður birtast með tilliti til breytinganna (Vico Software, e.d-g).

Kostir þess að nota BIM við verkefnastjórnun eru þeir að hægt er að uppfæra breytingar strax og sjá hver áhrif þeirra verða bæði á verk- og tímaáætlun og kostnaðar- og fjármagnsáætlun verkefnisins. Ennfremur er hægt að nota BIM til að panta efni fyrir verkefnið og hægt er að breyta pöntun ef verk- og tímaáætlun stenst ekki (Bryde, Broquetes og Volm, 2013, bls. 1-10) og þannig

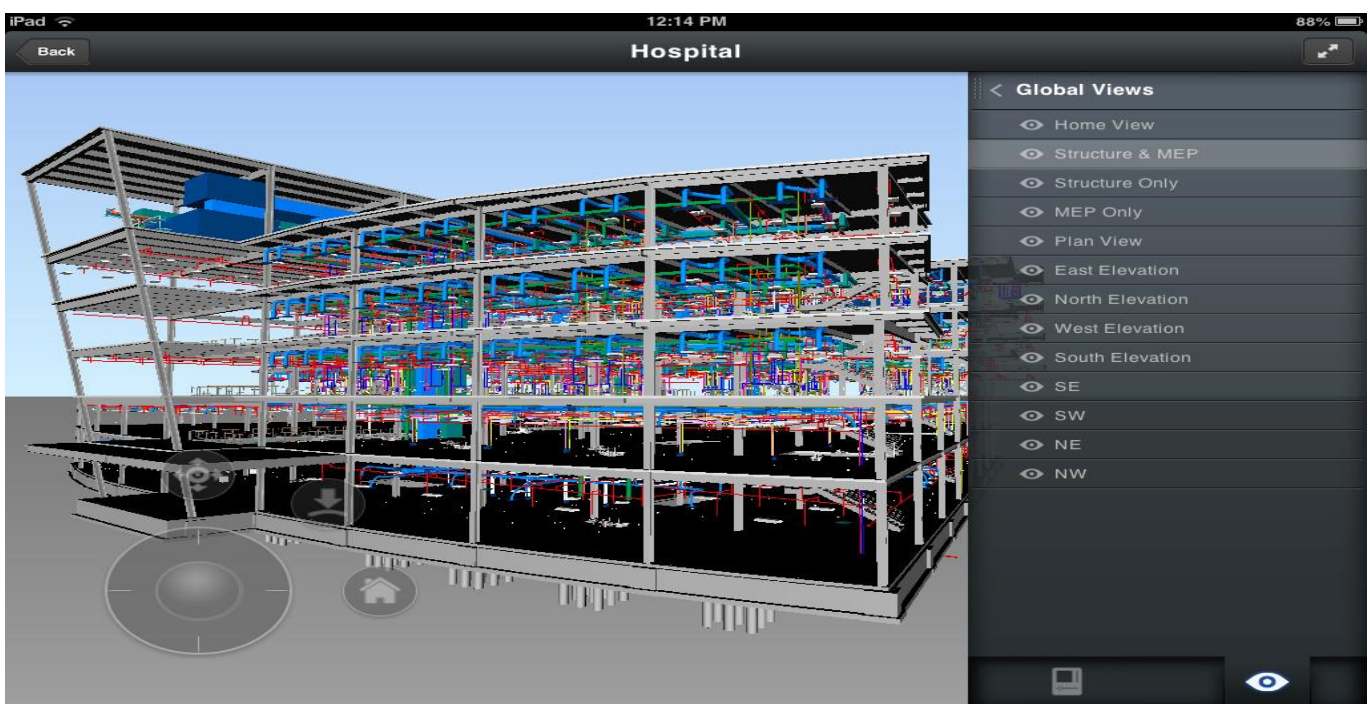
leiðir BIM til færri ótímabærra pantana eða um allt að 40 – 90% (Fischer og Kunz, 2004, bls. 5). Einnig eykur BIM upplýsingaflæði milli hagsmunaaðila sem tengjast verkefninu og eykur því jafnframt yfirsýn verkefnastjóra (Bryde, Broquetes og Volm, 2013, bls. 1-10). En með góðu skipulagi er einnig hægt að spara launakostnað við framkvæmdina þar sem gott skipulag leiðir af sér færri heildar tíma (Akcamete, Akinci, Atasoy, Kiziltas og Leite, 2011, bls. 601-609).

Þar sem BIM inniheldur efnishluta mannvirkisins býður það upp á nákvæmar birgðapantanir með tilliti til verk- og tímaáætlunar. Þannig býður BIM upp á að efnið sé pantað á réttum tíma sem skilar sér meðal annars í lægri birgðahalds, - og fjármagnskostnaði. Jafnframt telja þeir Irizarry, Karan og Jalaei að framþróun verði mikil á sviði pantana með hjálp BIM. Þeir telja að framleiðendur og söluaðilar fari í auknum mæli að nýta sér BIM til að selja vörur sínar með því að útbúa gagnagrunna sérsniðna að BIM (Irizarry, Karan og Jalaei, 2013, bls. 241-254). Næstum allir framleiðendur á forsteyptum einingum í Noregi og Finnlandi útbúa sín eigin *Tekla* (BIM forrit) líkön fyrir framleiðsluna (Jóhann Örn Guðmundsson munnleg heimild, 21. mars 2013).

6 Áhrif BIM á framkvæmd og rekstur

Í þessum kafla verður farið yfir þann ávinning sem BIM getur náð við framkvæmdina sjálfa og rekstur mannvirkisins. Þess ber þó að geta að allt það sem komið hefur fram hér að ofan (það er að hægt sé að gera nákvæmar áætlanir í BIM og hönnunarferlið verður betra sem leiðir af sér nákvæmari útboðsgögn) nýtist við framkvæmdina sjálfa. Kaflinn skiptist í tvo undirkafla, annars vegar framkvæmd og hins vegar rekstur.

6.1 Framkvæmd



Mynd 15. Sýnir viewer frá Autodesk.
(Autodesk, e.d-b).

Á mynd 15. má sjá BIM viewer (*Autodesk BIM 360 Glue*) en hægt er að nálgast viewer bæði í *app store* í snjallsímum og spjaldtölvum eða með því að niðurhala (e. *download*) forritinu í tölvu. Í verkefni þessu er *Autodesk BIM 360 Glue* notað til útskýringa á viewer en hægt er að nálgast aðra BIM viewer frá öðrum framleiðendum. Myndin hér að ofan sýnir annars vegar uppbyggingu (e. *structure*) og hins vegar vélar, raflögn og lagnakerfi (e. *MEP*) mannvirkisins. Þó er hægt að skoða önnur kerfi innan mannvirkisins með því að ýta á takka hægra megin, til dæmis bara skoða uppbyggingu (e. *structure*) eða annað (sjá hægra megin á myndinni). Í grunninn er BIM viewer forrit sem getur tekið við

IFC skrá (e. *format*) og þannig hægt að skoða BIM líkön hvar sem er og hvenær sem er. Eins og nafnið gefur til kynna er einungis hægt að skoða BIM líkön í BIM *viewer*, þar sem það er ekki hönnunarforrit er ekki hægt að breyta hönnun í því. Því má segja að BIM *viewer* sé hlutbundið þrívíddar teikningarsett af mannvirkinu sem jafnframt hefur að geyma mikið magn upplýsinga, til dæmis um kerfi, hæðir, lengdir og fleira. Segja má að BIM *viewer* sé næsta kynslóð af gömlu góðu tvívíddar teikningarsettunum og því ljóst að BIM *viewer* einfaldar mikið teikningalestur. Auk þess er hægt að sjá öll kerfi innan mannvirkisins sem hjálpar verktökum og verkkaupa að átta sig á flækjustigi verkefnisins.

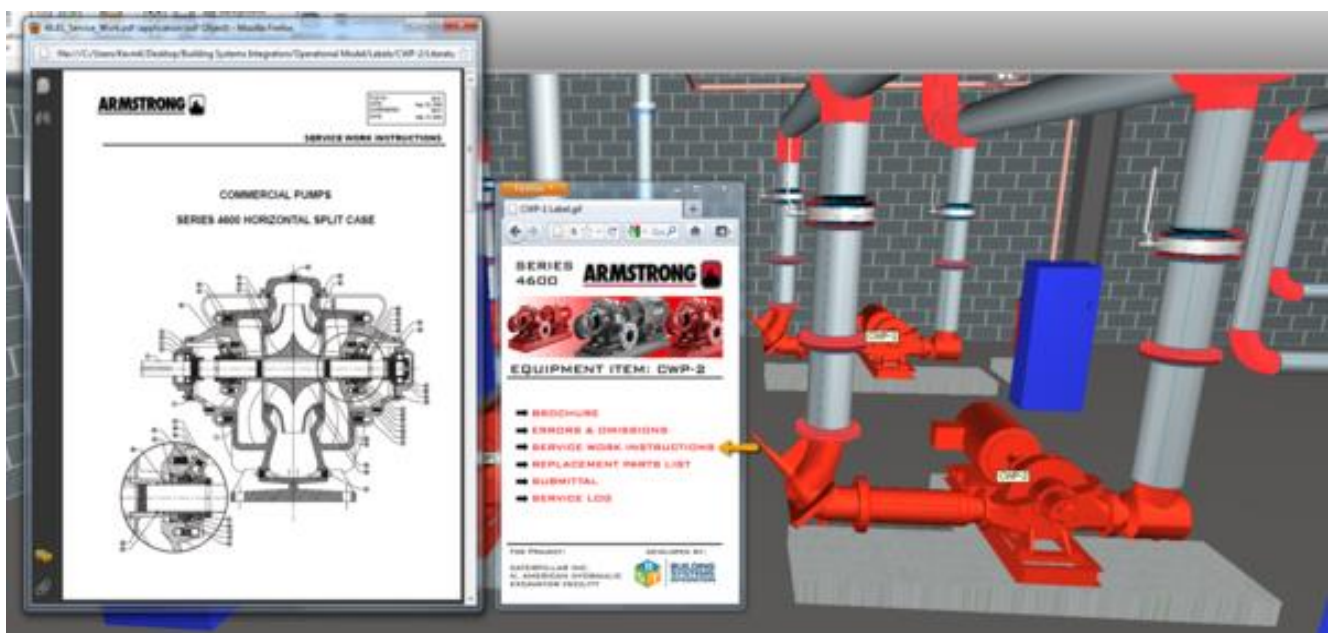
Í *viewer* birtist líkanið á skjánum sem hægt er að grandskoða með því að ganga um líkanið, skoða ákveðin svæði, kerfi og fleira. Með því að ýta á ákveðinn hlut birtast samstundis upplýsingar um hann vinstra megin á skjánum. Með *viewer* er jafnframt auðvelt fyrir mismunandi aðila að eiga samskipti sín á milli með skilaboðum eða hlekkjum (e. *link; added view*) sem viðtakandi ýtir á og kemst þannig beint á þann stað í mannvirkinu sem hinn aðilinn er að benda honum á. En *viewer* er ætlað að auka upplýsingaflæði á milli aðila (Autodesk, e.d-b).

Eins og komið hefur fram eykur BIM gæði hönnunar og skipulags við mannvirkjagerð sem allir hagsmunaaðilar njóta góðs af. Með góðum áætlunum er hægt að koma í veg fyrir soun á bæði efni og tíma við framkvæmdina sjálfa sem aftur eykur gæði og nýtingu á aðföngum (Eastman, o.fl., 2008, bls 261). Við framkvæmd hafa verktakar aðgang að betri og nákvæmari 3D teikningum sem einnig geta verið á stafrænu formi (Eastman, o.fl., 2008, bls. 255). Þar sem allt áætlanagerðarferlið hliðrast (eins og komið var inn á í kafla 4.1.1) gefur það verktökum kost á að koma fyrr að framkvæmdinni, en með því geta þeir lagt sitt af mörkum til að bæta ferlið og skipulagt sig betur fyrir komandi framkvæmd (Eastman, o.fl., 2008, bls. 207). Jafnframt geta verktakar haldið mun betur utan um verkefnið með því að nota greiningar sem gerðar eru úr BIM, til dæmis við gerð kostnaðaráætlunar, framvindu verkefnisins, mannaflapörf, pantað eftir *just in time* og svo framvegis (Vico Software, e.d-a-g). Skanska sem er sænskt 126 ára alþjóðlegt byggingarfyrirtæki notað BIM í sínum verkefnum með frábærum árangri. BIM hefur til að mynda hjálpað

Skanska við að panta efni á réttum tíma (e. *just in time*) í sínum verkefnum, útbúa nákvæmar áætlanir og fleira (Skanska, 2010, bls. 29).

6.2 Rekstur og viðhald

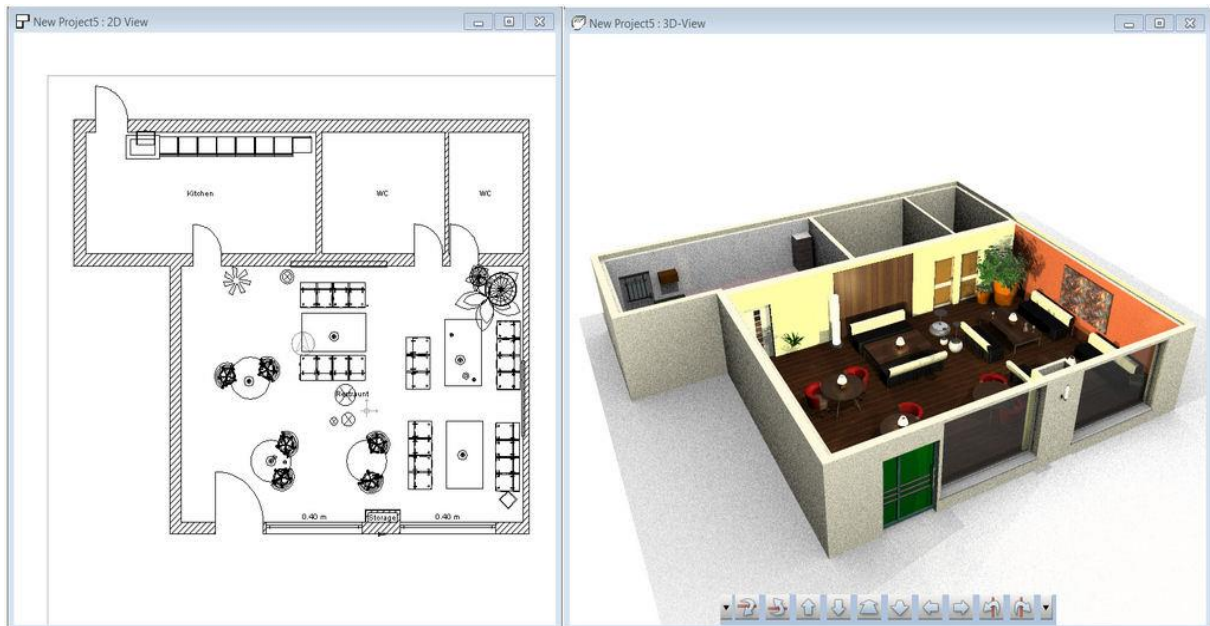
Eins og fram hefur komið eru mannvirki jarðfastar framkvæmdir þar sem til dæmis húsum, virkjunum og fleira er varanlega skeytt við land (Páll Sigurðsson, 2008. bls. 275). Framkvæmdum við Alþingi Íslendinga lauk árið 1881 eða fyrir tæplega 132 árum síðan. Miklar endurbætur, viðhald og breytingar hafa orðið á húsinu síðan og því hefur rekstur þess staðið yfir í hátt í eina og hálfa öld (Alþingi Íslands, e.d-a). Talið er að viðhaldskostnaður mannvirkja sé 1-5% af heildarbyggingarkostnaði á hverju ári, til að setja þess tölu í samhengi má áætla að ef mannvirkið hafi kostað 500 milljónir króna þá sé viðhaldskostnaður af því á bilinu 5 – 25 milljónir króna á ári. Viðhaldspörf ræðst að mörgu leyti af álagi og notkun en viðhaldskostnaður getur einnig verið mismikill milli tímabila, en í flestum tilvikum vex slíkur kostnaður með árunum (Grétar J. Guðmundsson, 1998). Því er ljóst að þó mannvirkjagerðinni sjálfri sé lokið, það er mannvirkið tilbúið til afhendingar, er rekstur þess rétta að hefjast. BIM getur spilað veigamikið hlutverk í líftímastjórnun mannvirkisins (e. *Facilities management*) (viðhald, breytingar og fleira).



Mynd 16. Sýnir notkun BIM í viðhaldi og rekstri eftir framkvæmd.
(Behance, e.d).

Hér á mynd 16. má sjá dæmi um það hversu auðvelt er að nálgast mikilvægar upplýsingar um mannvirkið, en á henni eru upplýsingar um pípulagnakerfi. Með þessu er hægt að auðvela eigendum viðhald og rekstur mannvirkisins. BIM upplýsingalíkön bjóða einnig verkkaupum/eigendum upp á þann möguleika að nota líkanið við rekstur og viðhald þegar framkvæmd er lokið með svo nefndri líftímastjórnun. Upplýsingum sem safnað hefur verið í gegnum BIM ferlið eru komið fyrir í sérstökum gagnagrunni fyrir mannvirkið. Í gagnagrunninum er hægt að geyma upplýsingar um til dæmis gæðaeftirlit, gangsetningar á búnaði, orkustjórnun (hita og rafmagn), viðhald, viðgerðir, upplýsingar um búnað og svo framvegis. Með BIM líftímastjórnun hefur verkkaupi betri yfirsýn með rekstri mannvirkisins og getur jafnframt sýnt fyrirbyggju og sparað fyrir líklegu viðhaldi. Auk þess geta upplýsingar úr BIM um mannvirkið auðvelað iðnaðarmönnum vinnuna við viðhald, til dæmis geta þeir fengið upplýsingar um hvaða lagnaefni er notað, hvar það er keypt og fleira (Becerik, Calis og Jazziadeh, 2012, bls. 431-442).

7 Áhrif BIM á verkkaupa



Mynd 17. Sýnir 2D VS 3D.
(Visualbuilding, e.d).

Á mynd 17. má sjá muninn á 2D og 3D teikningum (Visualbuilding, e.d) en í BIM líkön (3D) er hægt að ganga um mannvirkið og því auðvelt fyrir alla að átta sig á útliti þess og eiginleikum (Harald Ingvarsson, 2009). Að frumhönnun nýs mannvirkis koma til dæmis verkkaupi, starfsmenn og fleiri aðilar sem hyggjast nota mannvirkið, en þeir eru hafðir með í ráðum til að skipulag mannvirkisins sé sem best (Fjármála- og efnahagsráðuneytið, 2002). Talið er að einungis 10% fólks kunni að lesa úr tvívíddar teikningum og því ljóst að margir þeirra sem koma að frumhönnun eiga í miklum erfiðleikum með að átta sig á skipulagi mannvirkisins á blaði. Hugsanlegt er að þessir aðilar ættu mun auðveldara með að átta sig á mannvirkinu í þrívíddarlíkani og geta þannig komið með breytingartillögur strax við frumhönnun, í stað þess að átta sig á breytingum þegar framkvæmdin er hafin (Robert Snyder, 2012. bls. 10).

Clarke og Rajendran (2011, bls. 44-51) benda á að einnig sé hægt að nota BIM líkön til að bæta öryggismál í og við mannvirkið. Þeir nefna að hægt sé að nota þau í margvíslegum tilgangi, til dæmis við öryggisþjálfun og fræðslu fyrir starfsmenn. Með BIM líkönum geta öryggissérfræðingar áttað sig betur á þeim hættum sem leynast í umhverfinu og jafnframt komið með breytingartillögu við hönnun á mannvirkinu til að gera það öruggara. Til að mynda væri hægt að

kanna hvort að lýsing á göngustígum umhverfis mannvirkið uppfylli öryggiskröfur og þess háttá. BIM getur aukin heldur bætt öryggi starfsmanna við framkvæmdina sjálfa, þar sem auðvelt er að átta sig á hugsanlegum slysagildrum og koma þannig í veg fyrir slys. Byggingarfyritækið Skanska hefur notað BIM módel mikið til að auka öryggi á verkstað (Skanska, 2009, bls. 56).

Eins og fram kom hér að ofan getur aðferðafræðin BIM lækkað byggingarkostnað og stýtt verktíma. Kostnaðaráætlanir eru nákvæmari með BIM heldur en með hefðbundinni hönnun en það auðveldar verkkaupa að taka upplýstar ákvarðanir um hvernig eigi að fjármagna verkið og hvort hreinlega eigi að ráðast í framkvæmdina (Azhar, Hein og Sketo, 2010, bls. 1-11). Auk þess auðveldar BIM yfirsýn verkkaupa á verkinu þar sem hægt er að frá skýrslur um framvindu, kostnað, greiðsluflæði, allan verktímann og getur þar að auki bætt öryggismál á vinnustað (Vico Software, e.d a-g). Ennfremur býður BIM verkkaupa upp á að nota fyrirbyggjandi líkan í rekstri á mannvirkinu, það er viðhaldi og breytingum um ókomna tíð (Eastman o.fl., 2008, bls. 1).

8 Fyrri rannsóknir á viðfangsefninu

Í þessum kafla ber að hafa í huga þá staðreynd að lánskjör í heiminum eru misjöfn. Munurinn á íslenskum húsnæðislánum og erlendum er sá að þau íslensku eru verðtryggð en það tíðkast að jafnaði ekki annars staðar (Efnahags- og viðskiptaráðuneytið, 2011, bls. 9).

Bryde, Broquetas og Volm (2013, bls. 1-10) tóku saman gögn sem spönnuðu niðurstöður 35 verkefna frá 7 mismunandi löndum (Bandaríkin, Bretland, Þýskaland, Kína, Frakkland, Kanada og Mið-Austurlönd) þar sem notast var við BIM aðferðafræðina. Verkefnin voru öll unnin á tímabilinu 2002-2011 og voru af mismunandi stærð, en það stærsta var 380 þúsund fermetrar og það minnsta 1.700 fermetrar. Heildarkostnaður þeirra var þar af leiðandi misjafn, jafnframt voru mannvirkin mismunandi, sem dæmi mætti nefna; skrifstofubyggingar, heilsugæslustöðvar, rannsóknarstöð, safn, flugstöð, verslunarhúsnæði og fleira.

Helstu niðurstöður voru þær að BIM lækkaði kostnað í 60% verkefnanna og í einhverjum verkefnum nam sparnaðurinn 9 - 9,8% af heildar kostnaðaráætlun. Einnig reyndist BIM hafa jákvæð áhrif á samskipti hagsmunaaðila en þau mældust jákvæðari í 37% verkefnanna. Í 34% tilvika mældust jákvæð áhrif á milli BIM og tímalengdar verkefna, þar sem þátttakendur voru almennt þeirrar skoðunar að kerfið hefði haft áhrif á að verkið væri á áætlun eða jafnvel á undan henni. Þess ber þó að geta að í tæplega 9% tilvika mældust neikvæð áhrif milli BIM og tíma. Einnig virtist BIM hafa jákvæð áhrif á gæði verkefnanna og betri ákvarðanatöku. Í 20% verkefna komu upp vandamál með BIM kerfið en dæmi um slíkt er til dæmis skortur á þekkingu og reynslu, ekki hægt að skiptast á gögnum og fleira. Samkvæmt niðurstöðum rannsóknarinnar skipti stærð og gerð mannvirkja ekki máli hvað varðar ávinning af BIM. Þó ber að geta þess að þegar talað eru um minni verkefni í þessu samhengi er átt við mannvirki sem eru á bilinu 1.770-10.000 fermetrar (Bryde, Broquetas og Volm 2013, bls. 1-10).

Til að setja stærðina í samhengi við íslensk mannvirki má til fróðleiks nefna að Bauhaus er 22.000 fermetrar og Harpan er 28.000 fermetrar (Bauhaus, e.d; Harpan, e.d). Til að setja fermetra tölur í samhengi við íslensk fjölbýlishús er

11 hæða turninn í Skuggahverfinu í Reykjavík rúmlega 4.000 fermetrar en íbúðir turnsins eru 31 talsins (101 Skuggahverfi, e.d).

Tafla 1. Sýnir niðurstöður rannsóknar á 10 BIM verkefnum.

	Heildarkostnaður	Kostnaður v/BIM	%	Beinn sparnaður	%	Nettó sparnaður	%	BIM ROI
verk1	3.690.000.000 kr.	615.000 kr.	0,017%	16.605.000 kr.	0,45%	15.990.000 kr.	0,43%	2600%
verk2	6.642.000.000 kr.	14.760.000 kr.	0,222%	48.585.000 kr.	0,73%	28.536.000 kr.	0,43%	193%
verk3	5.781.000.000 kr.	527.424 kr.	0,009%	61.500.000 kr.	1,06%	60.972.576 kr.	1,05%	11560%
verk4	1.968.000.000 kr.	1.230.000 kr.	0,063%	9.116.760 kr.	0,46%	7.886.760 kr.	0,40%	641%
verk5	10.824.000.000 kr.	177.120 kr.	0,002%	1.845.000 kr.	0,02%	842.550 kr.	0,01%	476%
verk6	5.781.000.000 kr.	11.070.000 kr.	0,191%	98.400.000 kr.	1,70%	87.330.000 kr.	1,51%	789%
verk7	7.134.000.000 kr.	467.400 kr.	0,007%	24.600.000 kr.	0,34%	24.132.600 kr.	0,34%	5163%
verk8	10.086.000.000 kr.	2.460.000 kr.	0,024%	8.302.500 kr.	0,08%	5.842.500 kr.	0,06%	238%
verk9	1.722.000.000 kr.	615.000 kr.	0,036%	246.000.000 kr.	14,29%	245.385.000 kr.	14,25%	39900%
verk10	3.936.000.000 kr.	123.000 kr.	0,003%	40.590.000 kr.	1,03%	40.467.000 kr.	1,03%	32900%
Meðaltal	5.756.400.000 kr.	3.204.494 kr.	0,056%	55.554.426 kr.	2,02%	51.738.499 kr.	1,95%	634%

Í töflu 1. má sjá niðurstöður samantektar Azhar (2011, bls. 249) á 10 verkefnum en verkin voru unninn á árunum 2005-2007 í Bandaríkjunum. Í töflunni má sjá heildarkostnað framkvæmdanna 10 og kostnað þess við að nota BIM kerfið sem og þann sparnað sem náðist með notkun kerfisins. Til að sýna tölurnar í íslenskum krónum í töflunni er miðað við að gengi íslensku krónunnar sé 123 krónur á móti 1\$ Bandarískum dal (li.is, e.d). Eins og sjá má er mjög misjafnt hversu mikill sparnaður náðist sem rekja má beint til BIM en að meðaltali er sparnaðurinn tæplega 2% eða rúmlega 50 milljónir króna. En eins og sést næst mesti sparnaðurinn fram í verkefni 9 eða rúmlega 14% eða tæplega 233 milljónir króna en samkvæmt rannsókninni var BIM mest notað við verkefni 9 (Azhar, 2011, bls. 249). Til að setja sparnaðinn sem náðist í verkefni 9 í samhengi, væri hægt að kaupa fyrir hann þrettán 80 fermetra íbúðir á höfuðborgarsvæðinu (Þjóðskrá Íslands, 2013-a). Þess ber að geta að í hinum verkefnunum voru þátttakendur ekki komnir jafn langt í innleiðingu á BIM en sumir þeirra voru einungis að nota kerfið að hluta til við framkvæmdina. En samt sem áður eru öll verkefni að skila einhverjum sparnaði (Azhar, 2011, bls. 249).

Arðsemi fjárfestinga (ROI) er hlutfall hagnaðar (nettó sparnaður) og þeirra eigna (Fjárfesting í BIM búnaði) sem notaðar eru við hagnaðarmyndunina (Anthony o.fl., 2007. bls. 270-289). Eins og sést á mynd 18. var það í öllum tilvikum arðbært að ráðast í fjárfestingar á BIM búnaði en ROI er hlutfall milli

fjárfestingar á BIM búnaði á móti nettó sparnaði sem BIM skilaði. Eins og sjá má er ROI mest 39.900% í tilfelli verkefnis 9 en samkvæmt rannsókninni á þessum verkefnum var meðaltal ROI 634% og því greinilegt miðað við niðurstöður rannsóknarinnar að innleiðing skilar sér í fjárhagslegum ávinningi.

Samkvæmt SmartMarket Report (2012, bls. 4-32) sem gerði rannsókn á BIM notkun í Bandaríkjunum árið 2012 var ROI jákvætt í 67% tilvika, það er fjárfestingin á BIM búnaði skilaði auknum hagnaði. Rannsóknin náði einungis til aðila sem voru að nota BIM, það eru verkkaupar, hönnuðir og framkvæmdaraðilar. Samkvæmt niðurstöðum rannsóknarinnar var helsti ávinningurinn af BIM sá að minna var um breytingar og gæði mannvirkisins jukust. Einnig kom í ljós að þeir sem höfðu meiri reynslu af BIM voru að ná 50% eða hærra ROI. En lesa má út úr skýrslu SmartMarket Report að mikilvægt sé öðlast reynslu í notkun á BIM búnaði áður en hægt sé að sjá mjög hátt ROI.

Þeir Barlish og Sullivan (2012, bls. 149-159) benda á að hönnun mannvirkja sé sífellt að verða flóknari, krafist er mikils framkvæmdahraða, nauðsynlegt sé að draga úr kostnaði og erfiðara að sjá fyrir breytingar. Því kalla breyttir tímar á breyttar aðferðir til að bregðast við breyttu umhverfi í mannvirkjagerð. Kostir BIM eru margir og því nauðsynlegt fyrir framkvæmdaraðila að átta sig á þeim ávinningi sem BIM getur skilað með því að prófa aðferðafræðina í áföngum. Niðurstöður rannsóknar þeirra voru þær að sparnaður við BIM af framkvæmdinni var 6% af annarri en 5% af hinn en þar sem hönnunarkostnaður hækkaði á móti var heildarsparnaður 2% í annarri en 1% í hinn. En þess ber að geta að fyrirtækið sem var skoðað var á fyrsta stigi í innleiðingarferlisins. Því borgaði BIM prófunin sig auk þess sem fyrirtækið varð reynslunni ríkara. Þeir Barlish og Sullivan (2012, bls. 149-159) telja að árangur af notkun BIM velti á mörgum þáttum, til dæmis stærð verkefnisins, færni hlutaðila á BIM og samskipti hagsmunaaðila. En þannig er árangur og velgengni BIM miðað við ákveðin verkefni og skipulag þeirra. Samkvæmt Eastman og fleirum (2008, bls. 153) skiptir liðsvinna og hæfni hlutaðila mestu máli til að ávinningur af notkun BIM verði sem mestur. Ef samskipti eru ekki nægilega góð mun innleiðing ekki endilega leiða til betri árangurs í verkefnum þar sem aðferðafræðin er notuð.

Samkvæmt Azhar og fleirum (2010, bls. 1-11) er líkleggra að áætlanir standist með því að nota BIM aðferðafræðina. Í grein sinni fjalla þeir um rannsókn sem gerð var á vegum Stanford University árið 2007 á 32 stórum BIM verkefnum en í 40% tilvika var hægt að útrýma breytingum sem voru ekki inn í áætlun, sem leiða af sér hækkun á kostnaðaráætlun. Í þessum 32 verkefnum var frávik milli raunverulegs heildar byggingarkostnaðar og kostnaðaráætlana innan við 3%. Þar að auki var hægt að ná fram allt að 10% sparnaði á byggingarkostnaði og draga úr verktíma um allt að því 7%. En eins og fram kom hér að ofan á fólki oftast en ekki í vandræðum með að lesa 2D teikningar og þar sem BIM er í 3D er unnt að gaumgæfa mannvirkið strax á undirbúningsstigum og þannig hægt að koma í veg fyrir breytingar sem gætu leitt af sér aukaverk þegar framkvæmdin er hafin (Robert Snyder, 2012. bls. 10). Því seinna sem breytingar uppgötvast því meiri er kostnaðurinn við þær (Ferdinand Hansen, e.d). Samkvæmt SmartMarket Report (2012, bls. 22) töldu verkkaupar (e.Owners) í Bandaríkjunum stærstan ávinning af BIM vera hversu mikið kerfið næði að draga úr viðbótaverkum og að áætlanir stæðust, en afleiðingar breytinga á áætlunum leiddu af sér hærri byggingakostnað og seinkun á afhendingu.

8.1 Samantekt á fyrri rannsóknum

Eins og sést í þessum rannsóknum er sparnaðurinn sem BIM er að ná fram misjafn, það er frá undir 0,5% upp í 14%. Í rannsókn Azhar (2011, bls. 249) á 10 verkefnum náðist sparnaður umfram þann kostnað sem lagður var í fjárfestingu á BIM búnaði. ROI var á bilinu 193% upp í 39.900% sem er umtalsverður sparnaður, en meðalsparnaður þessa verka var tæplega 2%. Eins og fram hefur komið voru þátttakendur í rannsókn Azhar (2011, bls. 249) misjafnlega langt komnir í innleiðingu á BIM og voru að nota kerfið mismikið. Í rannsókn Barlish og Sullivan (2012, bls. 149-159) á tveimur verkefnum þar sem þátttakendur voru að prófa BIM í fyrsta sinn náðist fram 1% og 2% sparnaður á heildarbyggingakostnaði.

Tafla 2. Sýnir hlutfall sparnaðar af heildarveltu mannvirkjagerða 2008 og 2012. Sparnaðurinn er jafnframt umreiknaður í fjölda meðalstórra íbúða.

	2008	2012	Íbúðir 2008	Íbúðir 2012
1%	2.500.000.000 kr.	1.200.000.000 kr.	136	65
2%	5.000.000.000 kr.	2.400.000.000 kr.	272	130
3%	7.500.000.000 kr.	3.600.000.000 kr.	408	196
4%	10.000.000.000 kr.	4.800.000.000 kr.	543	261
5%	12.500.000.000 kr.	6.000.000.000 kr.	679	326

Til að setja niðurstöður sparnaðarrannsóknanna í samhengi við íslenska mannvirkjagerð var tafla 2. útbúin. Í henni má sjá hver sparnaðurinn væri í krónum ef hann hefði náðst í allri mannvirkjagerð á Íslandi 2008 og 2012, en eins og áður hefur komið fram var heildarvelta mannvirkjagerðar rúmlega 250 milljarðar króna árið 2008 og tæplega 120 milljarðar íslenskra króna árið 2012 (Hagstofa Íslands, e.d-m-n). Til að átta sig enn betur á þessum tölum var sparnaðurinn líka metinn í 80 fermetra íbúðum á höfuðborgarsvæðinu en verð þeirra er tæplega 19 milljónir króna (Þjóðskrá Íslands, 2013-a). Þeir þátttakendur í rannsóknunum sem voru að prófa BIM í fyrsta sinn voru að ná fram 1 til 2% sparnaði, ef þessi sparnaður næðist hjá öllum í mannvirkjagerð á Íslandi hefði sparnaðurinn verið 1,2 -1,4 milljarðar króna árið 2012 og jafnframt mun hærri árið 2008 eða 2,5 til 5 milljarðar króna. En til dæmis hefði verð hægt að kaupa 136 – 272 áttatíu fermetra íbúðir fyrir sparnaðinn árið 2008 og 65 – 130 íbúðir fyrir sparnaðinn árið 2012. Ef 12% sparnaður hefði náðst árið 2008 hefði hann numið 30 milljörðum króna sem er það sama og Harpan kostaði (Jón Gnarr, 2013). Því er ljóst að lítill sparnaður í prósentutölu er umtalsverður sparnaður í peningum eins og glögglega sést í töflu 2.

9 Dæmi

Eins og fram kom í kafla 2.1.4.4 er mikilvægt að útbúa rekstraráætlun til að lágmarki 5 ára þegar skoða á þann möguleika að fara í mannvirkjagerð til að athuga hvort reksturinn standi undir þeim skuldbindingum sem stofnað er til vegna framkvæmdanna. Rekstraráætlunin er unnin út frá líklegum tekjum og gjöldum sem unninn er út frá markaðs- og söluáætlun fyrirtækisins. Út frá niðurstöðum rekstraráætlunar er búið til sjóðstreymi en út frá sjóðstreyminu er hægt að áætla hagnað eða tap hvers árs út frá gefnum forsendum. Að lokum er útbúin greiðsluáætlun fyrir fjármögnun verkefnisins út frá því langtímaláni sem líklegt er talið að fyrirtækið þurfi til að greiða heildar byggingakostnað framkvæmdarinnar. Með því er hægt að áætla hvort reksturinn ráði við afborganir, vexti og verðbætur af langtímalánum sem nauðsynlegt er að stofna til vegna framkvæmdanna (Ársæll Valfells, 2008. bls. 20-31).

Til að setja áætlanagerð fyrir mannvirkjagerð í samhengi ákvað skýrsluhöfundur að útbúa ímyndað leigufélag til að varpa ljósi á þá staðreynd hversu nauðsynleg góð og raunhæf áætlun er í fjárhagslegu tilliti. Ástæða þess að fyrirtækjaformið leigufélag var notað er sú að auðvelt er að áætla tekjur af starfseminni þar sem ljóst er hvert leiguverð er á hvern fermetra samkvæmt opinberum tölum. Til að sýna mikilvægi þess að halda byggingarkostnaði í lágmarki reiknaði skýrsluhöfundur þrjár mismunandi lausnir af dæminu. Eins og sjá má í dæmunum hefur hækkandi byggingarkostnaður ekki bara áhrif á heildar fjárþörf verkefnisins heldur líka rekstrarumhverfi fyrirtækisins næstu árin. En ástæða þess er sú að í dæmunum er mannvirkið fjármagnað af hluta til með 50 ára verðtryggðu láni sem þýðir að fjármagnskostnaður er breytilegur þar sem hann er tengdur við vísitölu neysluverðs.

9.1 Forsendur fyrir ímyndað leigufélag

Skýrsluhöfundur ákvað að gera áætlun um byggingu 24 íbúða fjölbýlishús þar sem íbúðirnar verða breytilegar að stærð; átta íbúðir eru 60 fermetrar, átta íbúðir eru 80 fermetra og átta íbúðir eru 100 fermetrar. Ákveðið var að sameign væri 15% ofan á fermetra tölu íbúða og er því heildarfermetrafjöldi mannvirkisins áætlaðir 2.208 fermetrar. Samkvæmt skýrslu Arion banka er áætlað að byggingarkostnaður á hvern fermetra sé 305.000 krónur en innifalið í því verði er fjármagnskostnaður, lóðaverð, byggingarkostnaður á lóðaverði og sölu- og markaðskostnaður (Arion banki, 2012. bls. 12; Hannarr, e.d).

Til að áætla rekstrartekjur verkefnisins var notast við tölur frá Þjóðskrá Ísland sem gefur upp meðalleiguverð á fermetra (Þjóðskrá Íslands, 2013). En þar sem um er að ræða nýtt mannvirki og rekstrarkostnurður við sameign er innifalinn í leiguverðinu, gaf skýrsluhöfundur sér að verðið væri 15% yfir meðalverði. Þess ber að geta að leiguverðið sem tilgreint er hér að neðan er notað fyrir öll árin. Jafnframt er gert ráð fyrir að leiguverðið hækki í samræmi við vísitölölu neysluverðs hvers árs í dæminu.

- Leiguverð á mánuði miðað við 60 fermetra íbúð er 131.100 krónur.
- Leiguverð á mánuði miðað við 80 fermetra íbúð er 163.360 krónur.
- Leiguverð á mánuði miðað við 100 fermetra íbúð er 169.360 krónur.

Samkvæmt þessu má áætla að rekstartekjur séu rúmlega 44,5 milljónir á ári miðað við 100% nýtingu en ólíklegt verður að teljast að nýtingin sé alltaf 100% og því gefur skýrsluhöfundur sér að nýtingin næstu 10 ár verði að meðaltali 90%. Til að áætla rétt kostnaðarhlutfall var haft samband við aðila sem er framkvæmdarstjóri leigufélags en nafn hans verður ekki gefið upp vegna heitins trúnaðar. Í ársreikningi viðkomandi fyrirtækis er framlegðarhlutfall (EBITDA hlutfall) 60% og því ljóst að kostnaðarhlutfall án tillits til afskrifta, skatta og fjármagnskostnaðar er því 40%. Því er notast við 40% kostnaðarhlutfall til að finna út framlegð (EBITDA) í öllum lausnum (X munnleg heimild, 12. maí 2013). Þó ber að hafa í huga að fjármagnskostnaður breytist í dæmunum vegna breytinga á langtímaláni sem hefur áhrif til hækkunar og lækkunar á heildarkostnaði. Afskriftir eru misjafnar eftir lausnum þar sem miðað er við 2% afskriftir af stofnverði (byggingarkostnaði) (Lög um

ársreikninga nr. 3/2006). Bæði rekstrartekjur og rekstrargjöld í dæminu eru tengd vísitölu neysluverðs sem þýðir að báðir liðir hækka milli ára. Í áætluninni er gert ráð fyrir að tekjuskattur sé 20% öll árin (Rsk, 2012).

Við gerð greiðsluáætlunar fyrir fjárfestinguna er gert ráð fyrir að hún sé annars vegar fjármögnuð með 70% verðtryggðu 50 ára láni þar sem vextir eru 3,5% og hins vegar með 30% af eigin fé en ávöxtunarkrafa þess er 5%. Við útreikning á ávöxtunarkröfu var gert ráð fyrir að áhættulausir vextir á markaði væru 2%, markaðsvextir 4% og áhættustuðull (beta) væri 1,5 (Íslandsbanki, 2013). Þó skýrsluhöfundur notist við þessa blöndu fjármögnunar í öllum lausnum hér að neðan þarf að hafa í huga að landslag fjárfestingarinnar breytist með mismunandi fjárfestingaleiðum. Miðað við þessar forsendur er fjármagnskostnaður, það er veginn meðalkostnað fjármagns (WACC) af verkefninu 3,46%. Verðbólga hefur verið að meðaltali 4,7% síðustu 10 ár, en skýrsluhöfundur ákvað að taka árið 2008 ekki inn í meðaltalið þar sem verðbólga var tæplega 18% það árið (Hagstofa Íslands, e.d-g).

Til að finna líklegt söluverð á fasteign leigufélagsins eftir 10 ár var ákveðið að skoða hver þróunin var síðustu 10 ár, það er frá 2004 til 2013. Eins og sagt er frá í kafla 1.2 er áætlað að það megi bæta 15-20% ofan á byggingarkostnað til að fá heildar byggingarkostnað, þar sem ekki er tekið mið af til dæmis fjármagnskostnaði, lóðafrágangi og fleiru. En heildar byggingarkostnaður var 305 þúsund krónur á hvern fermetra með öllu í lok árs 2012 (Arion banki., 2012. bls. 28-31).

Til að finna raunverulegt söluverð á fasteigninni eftir 10 ár var notast við byggingarvísitölu áranna 2004 (288 stig) og 2013 (581 stig) en tæplega 102% hækkun var á milli þessara ára (Hagstofa Íslands, e.d-l). Samkvæmt Hagstofu Íslands (e.d-o) var byggingarkostnaður árið 2004 rúmlega 95 þúsund krónur á fermetrann en þar sem áætla má að heildar byggingarkostnaður sé 20% hærri má gera ráð fyrir að hann hafi verið 114 þúsund krónur á fermetrann árið 2004 (Arion banki, 2012. bls. 28-31). Með því að reikna heildar byggingarkostnað milli áranna 2004 og 2013 miðað við byggingarvísitöluna hefði heildar byggingarkostnaður átt að vera tæplega 230 þúsund krónur í byrjun árs 2013 en var 305 þúsund krónur, sem gerir skekkju (frávik) upp á tæplega 33%. Því var áætlað að heildar byggingarkostnaður milli upphafsárs og söluárs væri 102%

eins og á milli áranna 2004 og 2013 sem var svo leiðréttur um 33% vegna skekkju (frávikin) milli reiknaðs heildar byggingarkostnaðar og raunverulegs byggingarkostnaðar. Því var áætlað að heildar byggingarkostnaður á söluári væri 413 þúsund krónur á fermetrinn sem þýðir að heildar virði fasteignar leigufélagsins er því rúmlega 900 milljónir króna.

Til að vera viss um að þetta væri líklegt söluverð var jafnframt notast við vísitölu neysluverðs á sama tímabili, það er 2004 (227 stig) og 2013 (409 stig) (Hagstofa Íslands, e.d-g). Auk þess var söluverð á almennum fasteignamarkaði athugað samhliða því. Samkvæmt Þjóðskrá Íslands (2013-a) er meðalfermetraverð (söluverð á fasteign) í fjölbýlishúsi tæplega 230 þúsund krónur en samkvæmt Þjóðskrá Íslands (2004) var meðal fermetraverð árið 2004 tæplega 166 þúsund krónur. Ef reiknuð er spá fyrir árið 2013 miðað við vísitölu neysluverðs árið 2004 til 2013 og fermetraverð árið 2004 ætti fermetraverðið árið 2013 að vera 300 þúsund krónur. Raunverulegt söluverð á íbúð í fjölbýlishúsi var 230 þúsund krónur á fermetrinn árið 2013, sem þýðir að reiknað fermetraverð er tæplega 31% hærra en raunverulegt fermetraverð. En í tilviki heildar byggingarkostnaðar er það öfugt, það er raunverulegt fermetraverð er tæplega 33% hærra en reiknað fermetraverð. Af því að dæma má áætla að 900 milljónir króna séu raunhæft söluverð fyrir fasteign leigufélagsins sem verður notuð í öllum lausnum. Í lausnunum hér að neðan verður heildar byggingarkostnaður kallaður byggingarkostnaður, sem þýðir að búið er að taka mið af fjármagnskostnaði, frágangi lóða og fleiru. Í viðauka 2 má sjá betri útskýringar á arðsemismati leigufélagsins. Hér að neðan eru skilgreiningar helstu hugtaka sem notuð eru í dæminu;

- EBITDA er rekstrarhagnaður (tekjur – gjöld) áður en búið er að draga frá afskriftir, fjármagnskostnað og skatta (Brigham og Houston, 2007. bls. 74).
- EBIT er rekstrarhagnaður (tekjur – gjöld - afskriftir) áður en búið er að draga frá fjármagnskostnað og skatta (Brigham og Houston, 2007. bls. 74).
- Hagnaður eftir skatt (tekjur-gjöld-afskriftir-fjármagnskostnaður-skattur) þýðir að búið er að taka tillit til afskrifta, fjármagnskostnaðar og skatta (Brigham og Houston, 2007. bls. 73).
- Greiðsluflæði (CF) er hagnaður eftir skatt að viðbættum afskriftum (Brigham og Houston, 2007. bls. 393).

- CF-afborganir þýðir að búið er að draga afborganir af langtímaláni frá greiðsluflæðinu.
- Í kafla 2.1.4.4 (fjárhagsáætlun) er að finna fræðilegar skilgreiningar á; vegnum meðalkostnaði fjármagns (WACC), núvirtu sjóðstreymi (NPV) og afkastavöxtum (IRR).

9.2 Leigufélagið (lausn 1)

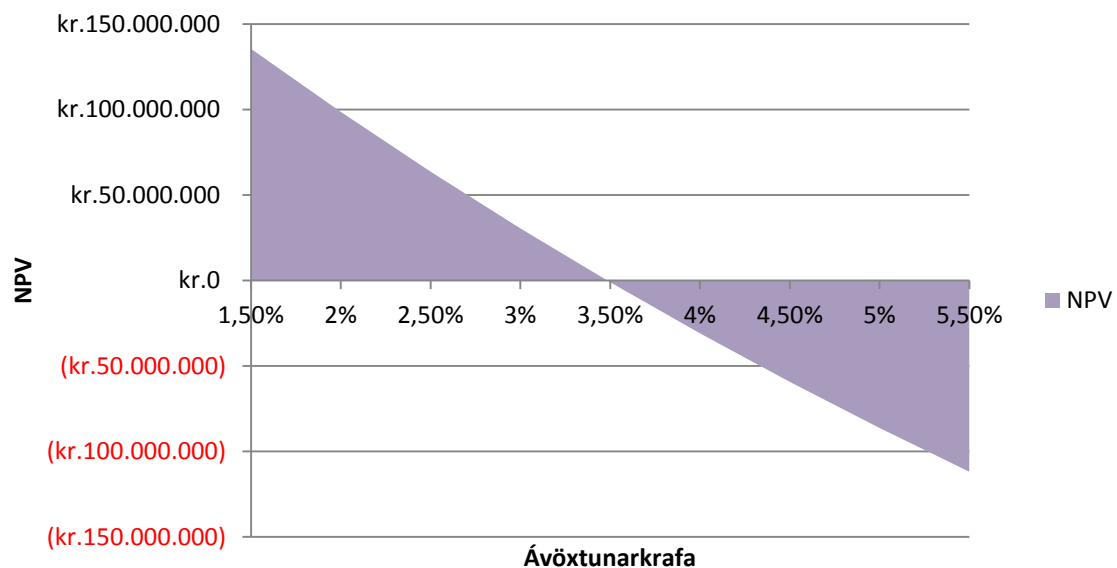
Í lausn 1 er miðað að því að allt gangi eðlilega fyrir sig og ekki komi upp nein mistök en jafnframt tekst ekki að lækka byggingarkostnað. Í lausn 1 er miðað við að byggingarkostnaður á hvern fermetra sé 305.000 krónur sem þýðir að heildar byggingarkostnaður við framkvæmdina er tæplega 673 milljónir króna. Það er rúmlega 471 milljón króna fjármögnuð með langtímaláni á móti 202 milljónum króna með eigin fé. Í lausninni er notast við þær forsendur sem kynntar voru hér að ofan.

Tafla 3. Rekstrarniðurstaða (EBITDA, EBIT, hagnað eftir skatt, CF og CF-afborgun) lausn 1.

	EBITDA	EBIT	Hagnaður e. skatt	CF	CF - afborgun
Ár1	25.190.637 kr.	11.721.837 kr.	- 5.996.033 kr.	7.472.767 kr.	- 1.955.393 kr.
Ár2	27.614.203 kr.	14.145.403 kr.	- 4.486.597 kr.	8.982.203 kr.	- 445.957 kr.
Ár3	28.912.071 kr.	15.443.271 kr.	- 4.128.822 kr.	9.339.978 kr.	- 88.182 kr.
Ár4	30.270.938 kr.	16.802.138 kr.	- 3.736.432 kr.	9.732.368 kr.	304.208 kr.
Ár5	31.693.672 kr.	18.224.872 kr.	- 3.306.961 kr.	10.161.839 kr.	733.679 kr.
Ár6	33.183.275 kr.	19.714.475 kr.	- 2.837.793 kr.	10.631.007 kr.	1.202.847 kr.
Ár7	34.742.889 kr.	21.274.089 kr.	- 2.326.144 kr.	11.142.656 kr.	1.714.496 kr.
Ár8	36.375.804 kr.	22.907.004 kr.	- 1.769.056 kr.	11.699.744 kr.	2.271.584 kr.
Ár9	38.085.467 kr.	24.616.667 kr.	- 1.163.390 kr.	12.305.410 kr.	2.877.250 kr.
Ár10	39.875.484 kr.	39.875.484 kr.	10.370.393 kr.	840.814.553 kr.	831.386.393 kr.

Í töflu 3. má sjá helstu niðurstöður miðað við gefnar forsendur en þar má sjá EBITDA, EBIT og hagnað eftir skatt. Einnig má sjá hreint greiðsluflæði (CF) frá rekstri en inn í þá tölu er búið að reikna skatt og fjármagnskostnað miðað við gefnar forsendur. Ennfremur má sjá afborganir af langtímaláni án fjármagnskostnaðar dregnar frá hreinu greiðsluflæði (CF) frá rekstri. Ástæða þess að notaðar eru afborganir án fjármagnskostnaðar er sú að búið er að taka tillit til þeirra í gjaldalið sjóðstreymis. Eins og sjá má er rekstrarhagnaður eftir skatt í öllum tilvikum neikvæður en þegar búið er að bæta aftur við afskriftum er greiðsluflæði frá rekstri jákvætt öll árin. Fyrstu 3 ár rekstursins er

greiðsluflæði lægra en afborganir af langtímaláni en næstu 7 ár er nokkur afgangur á milli afborgana og greiðsluflæðis.



Mynd 18. Ávöxtunarkrafa á móti NPV miðað við IRR.

Á mynd 18. má sjá áhrif hækkandi og lækkandi ávöxtunarkröfu á núvirt sjóðstreymi i (NPV) fyrir gefnar forsendur. Það er neikvætt samband milli ávöxtunarkröfu og verðs (núvirt sjóðstreymi í þessu tilviki) sem þýðir að þegar ávöxtunarkrafan hækkar þá lækkar verðið og öfugt (Bodie, Marcus og Kane, 2009. bls. 454). Samkvæmt núvirðisaðferð þar sem núvirt var 10 ára sjóðstreymi rekstursins sem miðast við að fjárfestar sætti sig við að ná einungis upp í fjármagnskostnað, það er veginn meðalkostnað fjármagns (WACC) að umfangi 3,46% er niðurstaðan tæp 1,5 milljónir króna. Eins og sjá má á mynd 18. er núllpunktur ávöxtunarkröfu (IRR) 3,48% en fjármagnskostnaður WACC af verkefninu er 3,46% sem þýðir að ávöxtunarkrafan má liggja á milli þessara tveggja gilda. Ef ávöxtunarkrafan fer yfir 3,48% verður núvirt sjóðstreymi (NPV) neikvætt en ef ávöxtunarkrafan fer undir 3,46% nær verkefnið ekki upp í fjármagnskostnað. Miðað við gefnar forsendur gengur verkefnið upp en þó ber að hafa í huga að munurinn á vegnum meðalkostnaði fjármagns (WACC) og afkastavaxta (IRR) er einungis 0,02% sem þýðir að ekki má mikið útaf að bregða til að verkefnið nái ekki upp í fjármagnskostnað. Bókhaldslegur hagnaður af sölunni í lausn 1. er eftir 10 ár rúmlega 278 milljónir króna, það er munurinn á bókfærðu virði eignarinnar og söluverðsins.

9.3 Seinkun á skilum og mistök við framkvæmd (lausn 2)

Í kafla 2.2.1 er farið yfir rannsóknir sem Norðmenn og Danir gerðu um mistakakostnað í mannvirkjagerð en til umfjöllunar þar voru þrjár rannsóknir. Allar gáfu þær sömu niðurstöðu, það er að 10% af heildarveltu megi rekja til mistaka (Óskar Valdimarsson, 2006. bls. 1). Í kafla 2.2 kemur fram að í mannvirkjagerð er algengt að áætlanir standist ekki og mannvirkjum sé ekki skilað á réttum tíma (Fung og Wong, 1997, bls. 1-17). Í ljósi þessa staðreynda var ákveðið að breyta eftirfarandi atriðum og sjá hver áhrif þeirra væru á rekstur, sjóðstreymi og fjárfestingu leigufélagsins:

- Skilum á mannvirkinu seinkaði um þrjá mánuði sem þýðir að leigufélagið varð af þriggja mánaða leigutekjum (11.138.808 króna).
- Vegna mistaka hækkar byggingarkostnaður um 10%. Því hækkaði skýrsluhöfundur áætlaðan kostnað á fermetra úr 305.000 krónum í 337.560 krónur. Það þýðir að heildar fjárþörfin fyrir verkefnið er rúmlega 745 milljónir króna sem er tæplega 100 milljónum dýrari framkvæmd en í dæminu hér að ofan (lausn 1). Þannig eru tæplega 522 milljónir fjármagnaðar með langtímaláni á móti 223 milljónum með eigin fé.
- Við þetta hækkaði fjármagnskostnaður af langtímaláni um rúmlega 23 milljónir króna það er vegna seinkunar og mistaka.

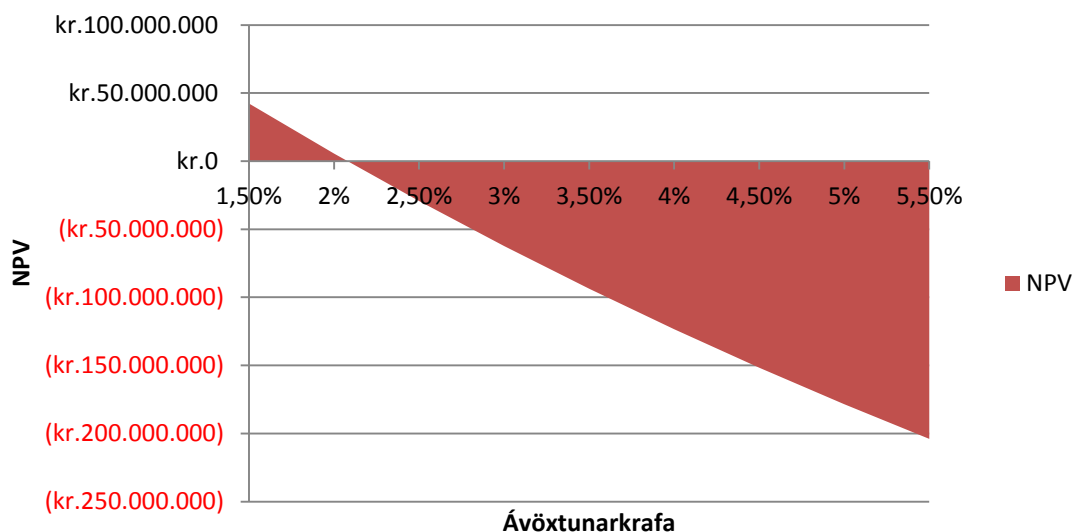
Tafla 4. Rekstrarniðurstaða (EBITDA, EBIT, hagnaður eftir skatt, CF og CF-afborgun) lausn 2.

	EBITDA	EBIT	Hagnaður e. skatt	CF	CF - afborgun
Ár1	14.694.538 kr. -	212.112 kr. -	19.821.436 kr. -	4.914.787 kr. -	15.349.442 kr.
Ár2	27.614.203 kr.	12.707.553 kr. -	7.913.489 kr.	6.993.161 kr. -	3.441.494 kr.
Ár3	28.912.071 kr.	14.005.421 kr. -	7.656.073 kr.	7.250.577 kr. -	3.184.078 kr.
Ár4	30.270.938 kr.	15.364.288 kr. -	7.366.858 kr.	7.539.792 kr. -	2.894.863 kr.
Ár5	31.693.672 kr.	16.787.022 kr. -	7.043.422 kr.	7.863.227 kr. -	2.571.428 kr.
Ár6	33.183.275 kr.	18.276.625 kr. -	6.683.190 kr.	8.223.460 kr. -	2.211.195 kr.
Ár7	34.742.889 kr.	19.836.239 kr. -	6.283.415 kr.	8.623.235 kr. -	1.811.420 kr.
Ár8	36.375.804 kr.	21.469.155 kr. -	5.841.176 kr.	9.065.473 kr. -	1.369.182 kr.
Ár9	38.085.467 kr.	23.178.817 kr. -	5.353.366 kr.	9.553.283 kr. -	881.371 kr.
Ár10	39.875.484 kr.	39.875.484 kr.	8.071.978 kr.	850.306.504 kr.	839.871.850 kr.

Hér í töflu 4. má sjá hver áhrif þessara breytinga (þriggja mánaða seinkun á skilum og mistök vegna framkvæmda að verðmæti 10% af byggingarkostnaði) eru á rekstur og greiðsluflæði. Eins og sjá má hefur hagnaður eftir skatt orðið enn neikvæðari en í lausn 1 en ástæða þess er tvíþætt, annars vegar verður

fyrirtækinu af þriggja mánaða tekjum og hins vegar hafa fjármagnsgjöld hækkað vegna hækkunar á langtímaláni. Greiðsluflæði frá rekstri er neikvætt fyrsta árið en verður jákvætt næstu 9 árin. Eins og sjá má ræður reksturinn ekki við afborgun af langtímaláni 9 ár í röð sem þýðir að dæmið gengur ekki upp og líklega fer fyrirtækið í þrot fljótlega ef ekkert verður að gert. Ef tapið væri fært milli ára, það er mismunur á greiðsluflæði (CF) og afborgunum, liti reksturinn enn verr út og ljóst að dæmið gengi engan veginn upp.

Við útreikning á núvirtu sjóðstreymi (NPV) var einungis ætlast til að verkefnið skili fjármagnskostnaði til baka, það er 3,46% alveg eins og í hinum lausnunum tveimur. Samkvæmt niðurstöðu er núvirt sjóðstreymi af verkefninu (lausn 2) miðað við breyttar forsendur neikvætt um rúmlega 91 milljón króna sem þýðir að verkefnið er ekki álitlegur kostur fyrir fjárfesta.



Mynd 19. Ávöxtunarkrafa á móti NPV miðað við IRR.

Hér á mynd 19. má sjá niðurstöðu arðsemismats á fjárfestingunni út frá afkastavöxtum (IRR). Eins og sjá má eru afkastavextir (IRR) verkefnisins 2,08% sem þýðir að afkastavextir (IRR) eru lægri en fjármagnskostnaður; það er veginn meðalkostnað fjármagns (WACC) verkefnisins að umfangi 3,46%. Þetta þýðir að núllpunktur núvirts sjóðstreymis (NPV) miðað við ávöxtunarkröfu er jafnt og afkastavextir (IRR) sem aftur þýðir að verkefnið er 1,4% undir fjármagnskostnaði þess. Miðað við niðurstöður arðsemismats afkastavaxta (IRR) og núvirtu sjóðstreymi (NPV) er fjárfesting miðað við

Þessar forsendur ekki arðbær og ætti því ekki að ráðast í hana. Ennfremur stendur reksturinn ekki undir sér eins og sést hér í töflu 4. Bókhaldslegur hagnaður af sölunni eftir 10 ár er rúmlega 231 milljónir króna sem er tæplega 41 milljón krónum lægra en í lausn 1.

9.4 Lækkun á byggingarkostnaði um 10% (lausn 3)

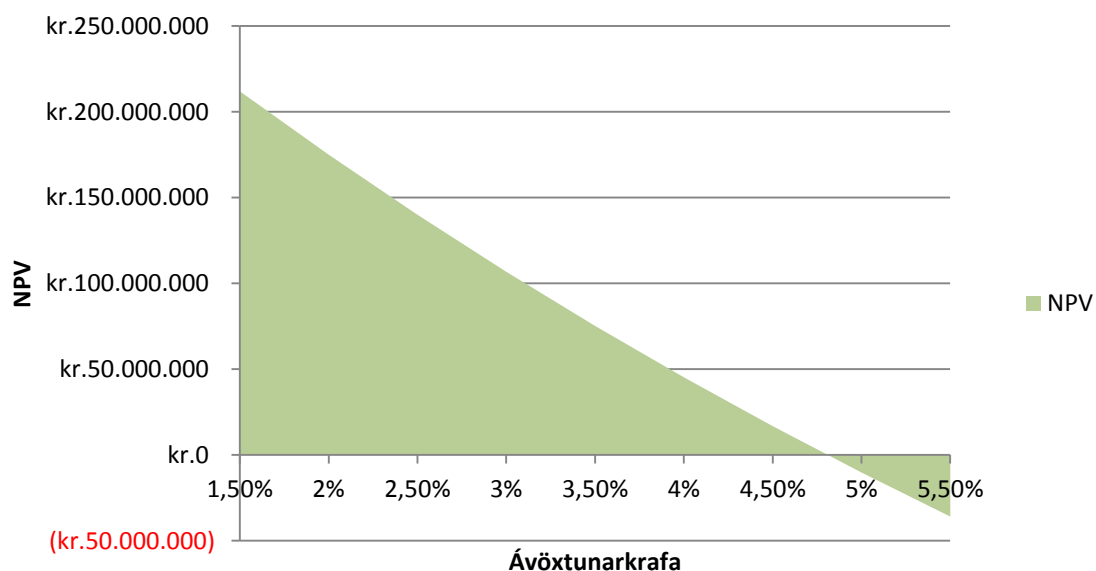
Í kafla 8. er farið yfir árangur sem náðst hefur með notkun BIM við mismunandi gerðir af mannvirkjum. Í þeim rannsóknum sem voru skoðaðar kom í ljós að hægt var að ná allt að 10-14% sparnaði (Bryde, Broquetes og Volm, 2013, bls. 1-10; Azhar, 2011, bls. 249). Eins og fram kom í kafla 1. hér að ofan er umhverfi mannvirkjagerðar sveiflukennt og margir þættir sem geta haft áhrif á það, til dæmis verðbólga, gengissveiflur, hækkun á heimsmarkaðsverði á hráefni og fleira. En umhverfi mannvirkjagerðar í dag er erfitt og því mikilvægt að leita allra leiða til að spara og draga úr sóun.

Í ljósi þessara staðreynda var ákveðið að reikna dæmið upp á nýtt þar sem einungis einni forsendu var breytt, það er byggingarkostnaður var lækkaður um 10%. Sú lækkun hafði einnig áhrif á rekstrargjöld þar sem fjármagnskostnaður verkefnisins hefur lækkað. En fjármagnskostnaður í lausn 3 er fyrir 10 ára tímabilið rúmlega 199 milljónir króna sem er tæplega 23 milljónum króna lægra en í lausn 1 og tæplega 45 milljónum krónum lægra en í lausn 2. Áhrif þess að byggingarkostnaður lækki um 10% þýðir að heildar fjárþörf verkefnisins er 606 milljónir króna. Þannig eru 424 milljónir króna fjármagnaðar með langtímaláni á móti 182 milljónum króna með eigin fé. Þetta þýðir að lausnin er rúmlega 67 milljónum ódýrari en upprunalega lausnin (lausn 1) og tæplega 140 milljón krónum ódýrari en lausn 2.

Tafla 5. Rekstrarniðurstaða (EBITDA, EBIT, hagnaður eftir skatt, CF og CF-afborgun) lausn 3.

	EBITDA	EBIT	Hagnaður e. skatt	CF	CF - afborgun
Ár1	25.190.637 kr.	13.068.717 kr.	- 2.877.366 kr.	9.244.554 kr.	759.210 kr.
Ár2	27.614.203 kr.	15.492.283 kr.	- 1.276.517 kr.	10.845.403 kr.	2.360.059 kr.
Ár3	28.912.071 kr.	16.790.151 kr.	- 824.733 kr.	11.297.187 kr.	2.811.843 kr.
Ár4	30.270.938 kr.	18.149.018 kr.	- 335.695 kr.	11.786.225 kr.	3.300.881 kr.
Ár5	31.693.672 kr.	19.571.752 kr.	154.482 kr.	12.276.402 kr.	3.791.058 kr.
Ár6	33.183.275 kr.	21.061.355 kr.	611.451 kr.	12.733.371 kr.	4.248.027 kr.
Ár7	34.742.889 kr.	22.620.969 kr.	1.104.608 kr.	13.226.528 kr.	4.741.184 kr.
Ár8	36.375.804 kr.	24.253.884 kr.	1.636.344 kr.	13.758.264 kr.	5.272.920 kr.
Ár9	38.085.467 kr.	25.963.547 kr.	2.209.197 kr.	14.331.117 kr.	5.845.773 kr.
Ár10	39.875.484 kr.	39.875.484 kr.	12.523.392 kr.	831.923.136 kr.	823.437.792 kr.

Hér í töflu 5. er sýnd rekstrarniðurstaða lausnar 3. en eins og sjá má er hagnaður eftir skatt neikvæður fyrstu 4 árin en í hinum lausnunum voru öll ár, að undanskildu söluári, neikvæð. Greiðsluflæði (CF) frá rekstri er jákvætt öll árin og jafnframt mun hærri en í hinum lausnunum. Þegar greiðsluflæðið er dregið frá afborgun á langtímaláni er afgangur þar á milli sem þýðir að miðað við gefnar forsendur, það er að lækka byggingarkostnað um 10%, stendur leigufélagið vel að vígi og ljóst að sá sparnaður sem náðist hefur haft góð áhrif á rekstarumhverfi fyrirtækisins.



Mynd 20. Ávöxtunarkrafa á móti NPV miðað við IRR.

Arðsemisútreikningarnir fyrir þetta verkefni eru bestir við þessa lausn (lausn 3.) en núvirkt sjóðstreymi (NPV) er að skila tæplega 78 milljónum króna. Á mynd 20. má sjá niðurstöðu miðað við afkastavextir (IRR) en afkastavextir

(IRR) er samkvæmt lausninni 4,81% sem er mun hærra en fjármagnskostnaður það er veginn meðalkostnað fjármagns (WACC) verkefnisins sem er eins og áður 3,46%. Því eru munurinn á milli IRR og vegins meðalkostnaðar fjármagns (WACC) 1,35% og því er verkefnið að skila fjármagnskostnaði til baka og gott betur, en það veitir aðeins meira svigrúm ef einhverjar forsendur breytast á komandi árum. Munurinn á bókfærðu verði og söluverði er rúmlega 322 milljónir króna sem er tæplega 44 milljónum krónum hærra en lausn 1. gaf og tæplega 91 milljón króna meira en lausn 2. Miðað við að núvirt sjóðstreymi (NPV) sé 78 milljónir, afkastavextir (IRR) séu 1,35% yfir vegnum meðalkostnaði fjármagns (WACC) og reksturinn að standa undir sér lítur þessi fjárfesting ágætlega út, að minnsta kosti mun betur en hinar tvær lausnirnar.

9.5 Samantekt á lausnum

Hér að ofan má sjá niðurstöður sjóðstreymisútreikninga (arðsemismat) fyrir þrjár mismunandi aðstæður og ljóst er að lítið má útaf bregða til að framkvæmdin hafi ekki íþyngjandi áhrif á rekstur fyrirtækisins.

Samkvæmt lausn 1. stendur reksturinn undir sér og núvirt sjóðstreymi (NPV) og afkastavextir (IRR) eru jákvæðir, en lítið má út af bregða til að fjárfestingin standi ekki undir sér.

Í lausn 2 var mikið af mistökum (10% hækkun á byggingarkostnaði) sem urðu til seinkunnar á skilum (um þrjá mánuði) og langtímalánið hækkaði sem leiddi til hærri fjármagnskostnaðar (rekstrargjalda) en allt hefur þetta íþyngjandi áhrif á rekstur fyrirtækisins. Auk þess var núvirt sjóðstreymi (NPV) neikvætt og afkastavextir (IRR) náðu ekki upp í fjármagnskostnað verkefnisins sem þýðir að ekki er skynsamlegt að ráðast í fjárfestinguna.

Í lausn 3 náðist að lækka byggingarkostnað (um 10%) sem skilar sér í lægra langtímaláni. Þetta hafði þau áhrif að fjármagnskostnaður (rekstrargjöld) lækkuðu miðað við hinar lausnirnar tvær og skilaði því meiri rekstrarhagnaði. Auk þess sem núvirt sjóðstreymi (NPV) og afkastavextir (IRR) voru hæst við lausn 3. sem þýðir að lausn 3. er besti fjárfestingarkosturinn. Jafnframt var bókhaldslegur hagnaður af sölu fasteignarinnar hæstur í lausn 3.

Eins og sést á lausnunum er það gríðarlega mikilvægt í mannvirkjagerð að áætlanir standist og að ekki komi upp atriði sem hækka byggingarkostnað sem verkkaupi/eigandi var ekki búinn undir. En sú var raunin í lausn 2. þar sem mörg voru mistökin og byggingarkostnaður hækkaði um 10% eða 67 milljónir miðað við eðlilegan byggingarkostnað í lausn 1. Ekki nóg með að fjármagnskostnaður hækki um komandi framtíð þá þarf jafnframt að fjármagna þessar 67 milljónir sem upp á vantar og ekkert sjálfgefið að það sé hægt. En samkvæmt Azhar og fleirum (2010, bls. 1-11) standast áætlanir í BIM mun frekar og í rannsókn sem þeir vitna í stóðust áætlanir í 40% tilvika auk þess sem frávik eru innan við 3%.

Því er ljóst að miðað við þessa útreikninga eru miklir fjárhagslegir hagsmunir í húfi og því mikilvægt að halda byggingarkostnaði niðri þar sem rekstur fyrirtækja er oftar en ekki lagður að veði við fjárfestingar sem þessar.

10 Forathugun

Í upphafi var gerð forathugun á viðfanginu en tilgangurinn með henni var tvíþættur. Annars vegar að athuga hvernig umhverfi, ferli og starfshættir mannvirkjagerðar eru. Hins vegar hvort aðilar í mannvirkjagerð þekki BIM aðferðafræðina og ef svo er hvort þeir væru þá farnir að nýta sér aðferðafræðina.

10.1 Rannsóknaraðferð og framkvæmd

Við forathugun var stuðst við eigindlega rannsóknaraðferð þar sem tekin voru viðtöl við nokkra útvalda einstaklinga. Í kafla 11.2 má sjá fræðilega útskýringu á eigindlegri rannsóknaraðferð.

Til að fá betri innsýn inn í ferli mannvirkjagerðar var ákveðið að hafa uppi á reynslumiklum aðilum sem hafa fjölbreytta reynslu af störfum innan greinarinnar. Allir aðilarnir hafa gengt margvíslegum hlutverkum við mannvirkjagerð, svo sem verið verktakar, hönnuðir, verkkaupar, stjórnendur og iðnaðarmenn. Þessir aðilar verða aðgreindir sem **A, B, C, D** en vegna trúnaðar verða þeir hvorki nafngreindir né aðgreindir. Viðtölin fóru öll fram á vinnustöðum viðmælenda og tóku hvert um 30 – 50 mínútur. Þess ber þó að geta að ummæli viðmælenda um mistök í mannvirkjagerð eiga ekki við allar framkvæmdir, en ferlið getur oft gengið vel fyrir sig. Spurningar fyrir forathugun má sjá í viðauka 1.

10.2 Þekkir þú aðferðafræðina BIM?

Allir viðmælendur sögðust hafa heyrt um BIM en enginn þeirra hafði notað aðferðafræðina. Það var allur gangur á því hversu vel þeir þekktu til BIM en greinilegt var að sumir vissu meira en aðrir. Þeir aðilar sem þekktu ágætlega til BIM nefndu nokkrar ástæður fyrir því hvers vegna þeir væru ekki að nýta sér aðferðina:

„...Forritið og tölvubúnaðurinn er dýr auk þess er það tímafrekt að læra á búnaðinn (A).“

„...Það er lítil þörf á 3D teikningum á verkstað þar sem verkefni á Íslandi eru yfirleitt frekar lítil og því auðvelt að taka á vandamálum á verkstaðnum sjálfum (D).“

10.3 Hvað er mikilvægast í mannvirkjagerð?

Allir viðmælendur voru sammála um að skipulag væri gríðarlega mikilvægt ef verkefnin ættu að ganga vel. Einnig voru allir sammála um að stjórnun væri mikilvæg til að fyrirfram ákveðnar áætlanir stæðust. Það er hlutverk verkefnastjóra að stýra ferlinu strax frá upphafi og er það á hans ábyrgð að allir aðilar tengist rétt. Flestir töluðu um að mikilvægt væri að verkefnastjóri væri vel að sér í öllu ferlinu til að geta bæði tengt saman mismunandi aðila og sýna fyrirhyggju hvað varðar framvindu á verkefninu. Mikilvægt er að verkefnastjóri taki eftir og bregðist rétt við, ef vart verður við skekkjur í verk- og tímaáætlunum, til að draga úr skaða. Því þurfa verkefnastjórar og aðrir stjórnendur að vera reynslumiklir og vel menntaðir til að geta haldið utan um stór og flókin verkefni. Viðmælendur voru sammála um ofangreint og komust tveir þeirra svo að orði:

„...Það sem er kannski mikilvægast í þessu öllu er það að verkefnastjórnun og önnur stjórnun verður að vera gríðarlega góð til að allt gangi upp og að allir tengist rétt. En þeir þurfa að vera mjög reynslumiklir og menntaðir til að vera starfi sínu vaxnir (C).“

„...Það sem er það mikilvægasta er að þetta sé vel skipulagt og hannað þannig að þetta renni án þess að það komi upp stór atvik sem eru ekki í lagi. Verkefnastjórinn gegnir lykilhlutverki og ef hann er lélegur gengur þetta ekki (B).“

10.4 Hver er lykillinn að hinu fullkomna framkvæmdaferli?

Allir viðmælendur voru sammála um að lykillinn að góðu framkvæmdaferli væri gott skipulag og raunhæfar áætlanir, stýrðar af góðum stjórnendum. Auk þess er mikilvægt að allir sem koma að ferlinu séu hæfir. Ummæli tveggja viðmælenda um hið fullkomna ferli eru eftirfarandi:

„...Ef þú leggur af stað í upphafi með raunhæfa tímaáætlun, gott skipulag og góðan mannskap þá er þetta ekkert mál, það er bara svoleiðis (B). „

„...Góð og raunhæf aðgerðaráætlun sem er vel skipulögð og unninn er af góðum starfsmönnum og stýrð er af góðum stjórnendum er málið (C).“

10.5 Hefur ytra umhverfi einhver áhrif á mannvirkjagerð?

Allir viðmælendur voru sammála um að ytra umhverfi á Íslandi hefði mikil áhrif á mannvirkjagerð. Þeir voru sammála um að mikill óstöðugleiki væri erfiður fyrir mannvirkjagerð þar sem mikið af hráefni er innflutt og auk þess eru verðtryggingin og hátt vaxtarstig fyrirtækjum erfið:

„...Það er bara svo einfalt við þurfum að losna við íslensku krónuna þar sem þetta er handónýtur gjaldmiðill (D).“

„...Þegar maður er að bjóða í verk veit maður ekkert hversu mikið aðföng eiga eftir að hækka á þeim tíma sem líður þangað til framkvæmdin er að hefjast. Maður þarf að vera mikill spámaður til að átta sig á þróuninni (B).“

Efnahagsumhverfið hefur jafnframt haft áhrif á heildverslanir en viðmælandi **B** hafði eftirfarandi um það að segja: „fyrir hrun var nánast allt til á lager en í dag er raunin önnur, þar sem nánast þarf að sérpanta allt með löngum fyrirvara“. Fyrirtæki fjármagna framkvæmdir með skammtímalánum sem eru mjög kostnaðarsöm. Það hefur þau áhrif að reynt er að hraða framkvæmdum eins mikið og hægt er til að geta endurfjármagnað framkvæmdina með langtímaláni. Viðmælendur **A** og **C** komust svo að orði:

„...Fjármagnskostnaður af skammtímaláni er mjög mikill þess vegna er það svo mikilvægt að keyra framkvæmdina áfram til að hægt sé að skipta sem fyrst yfir í langtímalán (A).“

„...Svona fyrir það fyrsta tekur fæðing á verkefnum langan tíma og ákvarðanatökur frekar þungar en það er yfirleitt vegna þess að það eru einhver vandræði með fjármögnun (C).“

Þar sem mannvirki eru sífellt að verða flóknari og strangari kröfur gerðar til þeirra er mikilvægt að mannskapurinn sem kemur að framkvæmdunum sé góður. Einn viðmælandi nefndi að margir góðir starfsmenn, bæði iðn- og tæknimenntaðir væru fluttir úr landi, sem hafi vissulega haft áhrif á markaðinn. Þá telur annar viðmælandi að margir þeirra sem fóru til útlanda séu að koma aftur heim.

10.6 Hvað veldur því að áætlanir standast ekki?

Viðmælendur voru á einu orði varðandi það að þó hlutaðeigandi væru mjög meðvitaðir um hvernig ferlið ætti að vera, væri raunin oftast en ekki sú að áætlanir stæðust ekki. Meðal ástæðna sem þeir nefndu var skipulagsleysi og að hönnuðum og framkvæmdaaðilum væri ekki gefinn nægur tími. Einn viðmælenda komst svo að orði:

„...Vitlaus tímafactor á verkum, lélegt skipulag en það er nú bara þannig að allir verkþættir þurfa bara sinn tíma sem oft gleymist (B).“

Í mannvirkjagerð er lokadagsetning oft ákveðin strax við frumáætlun óháð því hvort hönnunarferlið eða annað skipulag sé hafið. Þetta stýttir dýrmætan tíma sem hönnuðir og framkvæmdaaðilar hafa:

„...Oft er lokadagsetning ákveðin strax í upphafi ferlisins. Svo líður óralangur tími án þess að skipulagning sé hafin en samt er alltaf sama lokadagsetningin, þannig þegar loksins kemur go á verkefnið er tíminn orðin svo stuttur fyrir hönnun, skipulagningu og framkvæmd (C).“

Mannvirkjagerð er að mörgu leyti ólík öðrum atvinnugreinum, til dæmis eru verkefni boðin út. En við slík útboð bjóða framkvæmdaaðilar í ákveðna verkhluta út frá verklýsingu og teikningum. Oft gefa menn sér ekki nógu langan tíma í skipulagningu og hreinlega bjóða verkið út þegar það er hálf hannað og margir hlutir enn óljósir. Einn viðmælandi benti á að hönnunarhlutinn er oft boðinn út, sem veldur því að hönnuðir reyna að komast upp með að gera sem minnst og ýta þannig hönnuninni yfir á verktakana. Allir viðmælendur voru sammála um að oft vantar mikið upp á útboðsgögn. Jafnframt nefndi einn viðmælandi að oft væru menn að ganga að óraunhæfum kröfum í stað þess að stíga niður fætinum og heimta meiri tíma til að geta skilað af sér góðu verki. Eftirfarandi ummæli voru höfð um ofangreint:

„...Það er svo mikilvægt að verkkaupi skaffi verktökum almennileg gögn, því betri sem gögnin eru því betri verður niðurstaðan. Til dæmis ef verkkaupi á að afhenda framkvæmdaaðila verklýsingu upp á 100 blaðsíður og 200 teikningar en afhendir honum einungis helminginn af hvoru er ljóst að mikið er ennþá óljóst. Þetta leiðir oft af sér að verkefnið seinkar eða stoppar vegna of lítilla upplýsinga og verður dýrara þar sem mikið er af viðbótaverkum (C). „

„...Verkkaupi gefur oft hönnuðum ekki nægjanlegan tíma til að klára sitt og furðar sig svo í lok framkvæmdar hversu mikið var af aukaverkum (A). „

„...Menn eru oft að flýta sér svo mikið sem skilar sér í slakari gögnum og verri skipulagningu sem aftur leiðir af sér hærri byggingarkostnað, verri gæði og meira af mistökum sem væri hægt að koma í veg fyrir ef menn hefðu gefið sér betri tíma í skipulagningu (C). “

Mikill byggingarhraði getur leitt til þess að mannvirkið verður illa unnið sem getur haft miklar afleiðingar varðandi viðhalds og breytingakostnað síðar meir. En auðvitað eiga slíkir hlutir ekki að þekkjast með ný mannvirki. Viðmælandi C sagði:

„...Það er nú bara þannig ef verkin eru unninn hratt og illa leiðir það af sér að viðhaldskostnaður eykst, en raunin er sú að það er alltof mikið viðhald á húsum strax eftir skil, það er bara strax komið viðhald, breytingar og lagfæringar sem eiga ekki að þekkjast (C). „

11 Rannsóknaraðferð

11.1 Tilgangur

Þegar gera á eigindlega rannsókn er mikilvægt að skilgreina í upphafi tilganginn með rannsókninni (Merriam, 2009, bls. 3). Tilgangurinn með þessari rannsókn var að athuga hvernig innleiðing BIM aðferðafræðinnar gengur á Íslandi, sem og að athuga hver upplifun hlutaðeigandi á innleiðingarferlinu er. Megin tilgangurinn var sá að fá reynslusögur, bæði góðar og slæmar, til að átta sig á hvort að BIM sé framtíðin í mannvirkjagerð á Íslandi, það er hvort raunverulegur ávinningur fylgi aðferðafræðinni eða ekki.

11.2 Aðferð

Það rannsóknarform sem notað var nefnist eigindleg rannsóknaraðferð (e. *Qualitative research*) en með henni er efni rannsóknar valið, því næst útbúnaðar spurningar, gögnum aflað með viðtölum og þau síðan greind. Með eigindlegri rannsókn er leitað djúpt eftir upplýsingum hjá viðmælendum til að fá innsýn inn í reynsluheim þeirra á viðfangsefninu. Þar er aðleiðsla notuð, en með því er átt við að raunverulegar aðstæður eru skoðaðar og í kjölfarið settar fram kenningar um viðfangsefnið. Við gerð slíkrar rannsóknar leggur rannsakandinn ekki upp með fyrirfram ákveðna kenningu, heldur setur fram kenningu eftir að hafa aflað sér gagna (Merriam, 2009, bls. 3-19). Í viðtalsrannsókninni var notast við hálfopin viðtöl en ástæða þess eru sú að slíkar spurningar bjóða rannsakandanum upp á möguleika á samræðum við viðmælendur sína (Beck og Perry, 2008. 2-3). Það úrtaksform sem skýrsluhöfundur notaðist við er nefnt tilgangsúrtak, leitast er eftir viðmælendum sem þekkja viðfangsefnið. Eins og fram hefur komið byggjast eiginlegar rannsóknir á skoðunum og upplifunum viðmælenda en í ljósi þeirra staðreynda er ekki hægt að alhæfa niðurstöðu rannsóknarinnar yfir á þýðið (Merriam, 2009, bls. 3-78).

11.3 Þátttakendur

Viðmælendur í rannsókninni voru sex aðilar með mismunandi bakgrunn sem eiga það þó allir sameiginlegt að hafa reynslu af BIM aðferðafræðinni. Þátttakendur hafa notað BIM við mismunandi verkferla en viðmælendur voru ýmist verk- og tæknifræðingar, byggingarfræðingar eða arkitektar. Til að halda trúnaði við viðmælendur verða þeir ekki aðgreindir frekar en **A, B, C, D, E, F**. Ástæða þess er hve litlum hóp viðfangsefnið tengist. Þegar viðmælendur tala um vandamál við BIM verður ekki vísað í beina tilvísun í orð þeirra til að tryggja trúnað. Áður en viðtölin hófust var viðmælendum tilkynnt að farið yrði með allar upplýsingar og gögn sem trúnaðarmál. Viðmælendur féllust allir strax á að taka þátt í rannsókninni þegar haft var samband við þá.

11.4 Framkvæmd

Í upphafi var haft samband við viðmælendur símleiðis þar sem rannsóknin var kynnt og þeir spurðir hvort þeir hefðu áhuga á að taka þátt. Allir viðmælendur tóku vel í það og í kjölfarið var ákveðinn tími til þess að hittast. Viðtölin voru tekin á tímabilinu 23.-26. apríl 2013 á vinnustöðum viðmælenda, lengd viðtalanna var frá 30 mínútum upp í 1 klukkustund. Öll viðtölin voru tekin upp á Iphone og í kjölfarið voru þau greind. Spurningar fyrir viðtalsrannsóknina má sjá í viðauka 1.

12 Viðtalsrannsókn

12.1 Af hverju völduð þið BIM?

Í fyrstu voru viðmælendur spurðir af hverju þeir (fyrirtækin þeirra) hefðu valið að innleiða BIM og hvort einhver sérstök ástæða lægi þar að baki. Ástæður innleiðingarinnar voru misjafnar. Nokkrir viðmælendur sögðu megin ástæðu fyrir innleiðingu vera kröfur frá verkkaupum um að verkefni væru hönnuð í BIM. Einn viðmælandi sagði:

„...Já eiginlega vegna þess að verkefni voru farin að krefjast þess að menn væru með BIM og hanna í BIM, þannig urðum við að innleiða kerfið til að eiga möguleika í þau verkefni (A).“

Þó voru ekki allir á sama máli um að kröfur verkkaupa hafi ýtt þeim út í innleiðingu á kerfinu. Einn viðmælandi nefndi að þeir (fyrirtækið) keppist við að vera fyrstir til að tileinka sér nýja tækni. Aðrar ástæður innleiðingar voru til dæmis að bæta vinnuaðferðir.

12.2 Innleiðing

Allir voru sammála um að innleiðingin hafi gengið þokkalega þó hún hafi verið tímafrek, en til að þjálfa upp starfsfólk sitt var notast við námskeið og hermiverkefni. Í flestum tilvikum voru haldin námskeið á vegum umboðsaðila *Revit* á Íslandi til að kenna starfsfólkinu. En til nánari útskýringar er *Revit* vinsælasta BIM forrit landsins samkvæmt viðmælendum en forritið er framleitt af Autodesk. Auk þess fóru einhverjir á endurmenntunarnámskeið þar sem þeim var kennt á kerfið. Jafnframt voru önnur fyrirtæki, sem lengra voru komin í innleiðingu, fengin til að hjálpa þeim sem voru að hefja ferlið. Vegna færri verkefna í kjölfar hrunsins ákvað eitt fyrirtæki að fara í þróunarverkefni þar sem gamalt hús var endurhannað í BIM. Viðmælendur voru allir á sama máli um að innleiðingin tæki töluverðan tíma en að með tíð og tíma yrðu menn alltaf færari og færari á forritið eins og viðmælandi **D** lýsti svo skemmtilega. Af orðum viðmælanda **D** að dæma þá hefur þeim farið mikið fram á síðastliðnum árum við notkun á BIM og séu sífellt að ná betri tókum á aðferðafræðinni:

„...Við byrjuðum að nota þetta fyrir nokkrum árum, þegar maður skoðar þau verkefni og maður hélt að maður væri alveg æðislegur þá, en ef maður skoðar þau í dag þá er bara himinn og haf á milli þess sem við erum að gera í dag og sem við vorum að gera þá (D).“

„...Margt sem maður hefði gert öðruvísi í verkum sem eru að klárast núna ef maður væri að byrja í þeim núna (B).“

Viðmælendur voru á einu máli um að innleiðingarferlið væri dýrt þar sem það krefðist bæði þjálfunar á starfsmönnum, sem er kostnaðarsamt, auk þess eru hugbúnaðarleyfi og tækjabúnaður væru dýr. Viðmælendur sögðu að til þess að vera löglegur væri nauðsynlegt að vera með leyfi, en slíkt kostar um það bil 1,5 – 2 milljónir króna, auk þess þarf að bæta tækjabúnað en það kostar um 1,5 milljón króna. Túlka má orð viðmælenda þannig að nauðsynlegt sé að innleiða kerfið þrátt fyrir mikinn tilkostnað, þar sem kerfið muni hafa góð áhrif til lengri tíma lítið. Allir gátu viðmælendur sammælt um að innleiðingin hafi veitt þeim ákveðið samkeppnisforskot á þá sem ekki nota BIM. Eftirfarandi ummæli eru lýsandi:

„...Þjálfunin getur verið dýr, þá bæði innri og ytri þjálfun, en til að innleiða BIM þarf að uppfæra tækjabúnað auk þess eru BIM forrit og leyfið mjög dýrt. En fyrir okkur er þetta eitthvað sem við ætlum að nota í framtíðinni (B).“

„...Stærsti kostnaðurinn í þessu er ekki að ná þér í hugbúnað eða tæki heldur er það að þjálfar og vera með góðan mannskap sem kann á þetta, BIM forrit eru hörku verkfæri en það þarf líka að kunna á þau (F).“

Þeir sögðu að það hafi verið persónubundið hvernig starfsmenn tóku breytingunum. BIM eru nýir starfshættir og því eðlilegt að sumir starfsmenn séu hræddir við að takast á við slíkar breytingar en það er mjög einstaklingsbundið hversu opið fólk er fyrir breytingum. Einn viðmælandi taldi það mikinn kost að fáir aðilar væru að vinna hjá fyrirtækinu sem einfaldaði innleiðingarferlið mikið, auk þess voru starfsmenn jákvæðir í garð

breytinganna, sem viðmælandi taldi mikilvægt. Annar viðmælandi sagði sitt fyrirtækið hafa byrjað innleiðingu á BIM fyrir mörgum árum, en þá voru allir starfsmenn sendir á námskeið, sem var svipað innleiðingarferlinu þegar tölvuteikningar voru teknar upp á sínum tíma. Því er greinilegt að fyrirtæki og starfsmenn þeirra eru fljót að tileinka sér nýja tækni. Einn viðmælanda sem lengi hefur teiknað í 3D tók breytingunum fegins hendi, þó aðrir starfsmenn hafi tekið þeim misvel. Þeir sem nota BIM virðast þó almennt mjög ánægðir með það. Allir voru sammála um að fyrsta verkefnið í BIM tæki lengri tíma en við hefðbundna hönnun. Viðmælandi **A** komst svo að orði:

„...Fyrsta verkefnið tók náttúrulega einhvern tíma og menn líta á það sem fórnarkostnað en auðvitað þurfa menn einhverstaðar að byrja (A).“

Þeir viðmælendur sem voru komnir hvað lengst í innleiðingu og jafnframt orðnir góðir í BIM forritum (*Revit*) sögðust ekki vera tilbúnir að skipta aftur yfir í 2D forrit. Þeir sögðu að þegar menn væru búnir að ná tökum á þessu væru þeir að spara sér dýrmætan tíma í grunnhönnun sem gæfi þeim meiri tíma fyrir hugmyndavinnu. Eftirfarandi ummæli eru lýsandi:

*„...Núna nota ég bara BIM forrit (*Revit*) í öllum verkefnum sem ég vinn, þó aðrir hönnuðir séu ekki að nota BIM forrit. En sú reynsla sem ég hef á BIM hefur skilað sér í því að ég er eftirsóttari starfskraftur fyrir virkið (C).“*

*„...Maður er mun fljótari að teikna í *Revit* (BIM forrit) þegar þú ert búinn að læra á það, en það tekur tíma (E).“*

Þegar spurt var hvar þeir teldu Ísland vera statt í innleiðingu á BIM voru flestir á því að hönnunarhlutinn væri á réttri leið. Sumir viðmælendur töldu íslenska hönnuði standa á pari eða jafnvel framar en marga hönnuði erlendis sem hefur jafnframt gefið þeim tækifæri á að fá verkefni erlendis. Aðrir töldu að Íslendingar væru lagðir af stað í innleiðingu á BIM en væru langt frá því að vera búnir. Eins og flestir nefndu eru verktakar ekkert farnir að nýta sér BIM og aðeins ríkið sem verkkaupi væri að nýta sér kerfið svo þeir vissu. Einn viðmælandi taldi að Íslendingar væru á réttri leið og að mörgu leyti mætti

þakka íslenska ríkinu fyrir að hafa staðið sig vel við að innleiða BIM. Einn viðmælandi taldi að Íslendingar tækju allt með trompi og það væri mikill hugur í mönnum hvað varðar innleiðingu á BIM. Sá taldi jafnframt að þegar byrjað væri að nota aðferðafræðina þá væri hægara sagt en gert að ætla að fara að nota 2D teikningarnar aftur, sama hversu einföld verkin væru. Hann hafði eftirfarandi um þetta að segja:

„...Við tökum allt með trompi það er dálítið þannig, það er allavega mikill hugur í mönnum að vera í þessu. Þeir sem fara inn í þetta kerfi fara ekkert svo glatt út úr því jafnvel þó verkin séu einföld (B). „

12.3 Verkkaupar

Þegar viðmælendur voru spurðir hvort verkkaupar vissu af BIM aðferðafræðinni töldu þeir að flestir stórir verkkaupar vissu af BIM en fáir minni verkkaupar eða einstaklingar. Einn sagði:

„...Það má vel vera að þeir viti að BIM sé til en þeir vita kannski ekki alveg hvað þetta er (A). „

Allir voru sammála um að ávinningur af BIM væri mikill fyrir verkkaupa þar sem það býður upp á gott skipulag, lágmarkar mistök og hjálpar til við áætlanagerð. Allir viðmælendur töluðu sérstaklega um árekstraprófanir og hversu mikilvægar þær væru til að koma í veg fyrir hönnunarmistök. En með því er hægt að gera nákvæma kostnaðaráætlun sem skilar sér í nákvæmari fjárþörf sem svo auðveldar upplýsta ákvarðanatöku um fjármögnun verkefnisins. Þegar líkanið er tilbúið getur verkkaupi athugað hver áhrif mismunandi efnis eru á heildarkostnað, til dæmis hvort hagstæðara sé að nota timburstoðir heldur en álstoðir og svo framvegis. Það er mikill kostur að verkkaupi geti séð mannvirkið í þrívídd og þar af leiðandi áttað sig betur á útlit þess. Auk þess taldi einn viðmælenda það mikinn kost fyrir verkkaupa að geta nýtt sér líftímastjórnun þar sem hægt er að fylgjast með viðhaldi, orkukostnaði og fleiru:

„...Verkkaupi situr á fundum með arkitektum og hönnuðum við forhönnun að einhverju verkefni og það er verið að sýna honum innréttingu á blaði (2D) en það er ekki fyrr en innrétting er sett upp að verkkaupi áttar sig raunverulega á því hvernig þetta lítur út allt saman (A). „

„...Þegar maður er kominn með gott líkan í hendurnar getur maður farið að prófa að breyta um efni til að sjá hver áhrifin eru á heildarkostnað verkefnisins (E). “

Í flestum tilvikum er verkkaupi ekki að nýta sér módelið (BIM líkan) þó hönnuðir hafi afhent þeim BIM líkanið. Þó það sé eðlilegast að verkkaupi nýti líkanið við framkvæmdaferlið getur hann einnig notað það við líftímastjórnun mannvirkisins. Einn viðmælandi nefndi að forritaframleiðendur væru í auknum mæli farnir að stíla inn á að nota BIM líkön við rekstur mannvirkjanna eftir að þau eru tekin í notkun. Eftirfarandi eru ummæli tveggja viðmælenda:

„...Við höfum skilað af okkur módelum en ég veit ekki til þess að þeir (verkkaupar) hafi notað þau ennþá (D). “

„...Ég held að það muni verða þannig að verkkaupi komi til með að þurfa skoða líkanið meira til að hafa áhrif á hönnunina og sjá hvort hönnunin sé á réttri leið (B). “

Aðspurðir sögðu viðmælendur BIM nýtast best í stórum og flóknum verkefnum. Þó voru margir sammála um að aðferðafræðin nýttist í öllum verkefnum, þó ávinningur væri kannski ekki eins mikill í litlu verkefnum, þó hann væri alltaf einhver. Einn viðmælandi sagði:

„...Því flóknari og stærri verkefni því meiri ávinningur þó það sé alltaf ákveðin ávinningur af notkun BIM í minni verkefnum líka (C). “

Þess ber að geta að viðmælendur voru í flestum tilvikum að tala um ávinning af BIM fyrir verkkaupa, en töldu jafnframt að ekki væri komin nægilega mikil reynsla á hversu mikill ávinningurinn er í raun og veru. Ástæða þess er sú að aðferðafræðin er ung á Íslandi og engar rannsóknir hafa verið gerðar á notkun

BIM á Íslandi. Þó er ljóst að ávinningur af BIM er mun skýrari annars staðar í heiminum þar sem ákveðin verkefni hafa verið rannsökuð, eins og sjá má í fræðilegri umfjöllun verkefnisins. Einn viðmælandi bendir jafnframt á að verkkaupi verði að ákveða hvort BIM hönnunar sér krafist eða ekki. En aðspurður segist hann ekki vita til þess að BIM verkefni hafi verið unnið á Íslandi af einkaaðila en hins vegar séu flest verkefni hins opinbera unnin út frá aðferðafræðinni í dag. Einn viðmælandi kemst svo að orði;

„...Mestur ávinningur er fyrir eigandann af mannvirkinu, vegna þess að hann fær betra verk á styttri tíma og gæðin verða meiri auk þess getur hann notað líkanið til að viðhalda mannvirkinu (E).“

12.4 Hönnun

Almennt voru viðmælendur sammála um að BIM bæti gæði hönnunar og ferlisins í heild. Þar sem aðferðafræðin er í þrívídd eykur hún yfirsýn, auðveldar hönnuðum vinnu sína sem skilar sér í nákvæmari útboðsgögnum og færri hönnunarmistökum, og býður upp á betra skipulag. Þrír viðmælenda komu með áhugaverðan punkt í þessu sambandi, það er að BIM forrit eru verkfæri þeirra sem nota þau, sem þýðir að hagsmunaaðilar (verkkaupar, hönnuðir, verktakar og stjórnendur) þurfa að læra á og nota BIM til að það nýtist þeim. Viðmælendur voru sammála um að BIM bjóði upp á ótrúlega möguleika fyrir alla hagsmunaaðila en það er að sjálfsögðu þeirra að nýta sér það. Ummæli tveggja viðmælenda um ofangreint voru:

„...Gæði hönnunar ræðst af því hversu góður hönnuðurinn er, en BIM er klárlega frábært verkfæri til að auðvelda honum vinnuna. Það er kannski rauði þráðurinn í þessu að BIM er frábært verkfæri en það er auðvitað í höndum verkkaupa, hönnuða, verktaka og stjórnenda að nýta það sem best (C).“

„...Erfiðast er að læra á verkfæri hvort sem þú ert með hamar eða BIM, þú þarfst að læra að beita því rétt til að það sé orðið efféktíft fyrir þig. Þú sem manneskja stjórnar þessu, ekki forritið (E).“

Viðmælendur voru almennt á því að hægt væri að hefja hönnun mun fyrir þegar aðferðafræðin væri notuð, en þegar arkitekt er búin að draga út vegg og skilgreina hæðir þá geta aðrir aðilar strax hafist handa við grunnhugmyndir. Jafnframt eru kostir BIM þeir að þegar hönnuðir breyta til dæmis vegg á einni teikningu þá breytist hann á öllum öðrum teikningum. Ummæli tveggja viðmælenda lýsa þessu vel:

„...Mikill kostur fyrir hönnuði að hægt er að breyta til dæmis vegg á einni teikningu sem sjálfkrafa breytir öllum hinum, til dæmis ef þessi veggur er á 50 teikningum þá þyrfti ég að fara að breyta honum á öllum. Þegar ég uploda nýrri teikningu á verkefnavefinn þá fá aðrir hönnuðir meldingu um þessa breytingu (E).“

„...Menn geta byrjað miklu miklu fyrir í hönnunarvinnunni til dæmis um leið og arkitekt er búin að draga út vegg og skilgreina hæðir þá ertu kominn með rúmmál á öllum hlutum. Þá er strax hægt að fara að áætla stofna fyrir hitaveitu, loftræstingu og allskonar þættir sem menn voru vanalega að bíða með (F).“

Sumir viðmælendur töldu að margt ynnist betur í BIM en annað, en ástæða þess er sú að BIM er í stöðugri þróun og því ekki fullkomið. Aðrir töldu að það væri hægt að gera allt í BIM og þeir hafi ekki rekið sig á nein vandamál við notkun þess. Enn aðrir vildu meina að BIM væri lengst komið fyrir arkitekta en væri ekki komið jafn langt í öðrum kerfum, þá sérstaklega í raflagnahönnun. Þó voru ekki allir á sama máli um það. En líklega verður að teljast rökrétt að BIM væðing hefjist hjá arkitektum þar sem þeir koma fyrstir að hönnuninni. Viðmælendur voru að nota BIM við allskonar hönnun, allt frá því að teikna sólþalla, sumarþústaði og minni mannvirki upp í að teikna stór mannvirki eða

deiliskipulag og allt þar á milli. Ljóst er á svörum nokkurra viðmælenda að innleiðing BIM hefur veitt fyrirtækjum aukið forskot í samkeppni við önnur sem og veitt starfsfólki kost á að vinna að verkefnum erlendis þar sem kunnáttu á BIM er krafist.

„...Við höfum getað tekið þátt í útboðum sem þess (BIM) er krafist bæði hér heima og erlendis (A).“

12.5 Framkvæmd og stjórnun

Samkvæmt viðmælendum eru framkvæmdaaðilar nánast ekkert að nota BIM, þrátt fyrir að það bjóði bæði verktökum og stjórnendum upp á marga hagnýta möguleika, til dæmis skipulagningu og yfirsýn. Viðmælendur voru almennt á því að þessir aðilar væru hræddir við að prófa þetta og væru hreinlega ekkert að nýta sér upplýsingar úr líkaninu. Einn viðmælandi komst svo að orði:

„...Verktakar eru oft mjög þverir og finnst þetta eiginlega bara asnalegt og eru hvorki móttækilegir eða jákvæðir fyrir að prófa BIM (C).“

Erlendis er BIM mikið notað meðal allra aðila, það er verkkaupa, hönnuða og framkvæmdaaðila og hefur reynst þeim vel. Ummæli tveggja viðmælenda lýsa þessu vel:

„...Ef þetta væri svona mikið vesen af hverju eru þá allir á Norðurlöndunum, Bandaríkjunum og Evrópu að gera þetta eins og ekkert sé. Af hverju standa smiðir með Ipad að skoða 3D teikningar út í heimi ef þetta virkar ekki (E).“

„...Verktakarnir sem hafa náð virkilegum tókum á þessu á Norðurlöndunum, þeir eru að ná fram miklum sparnaði sem er bara auka hagnaður fyrir þá og að veita þessum aðilum gríðarlegt samkeppnisforskot og þeir vaxa og vaxa. Þessir aðilar eru að spara svo mikið í sóun á efni og tíma (F).“

Viðmælendur voru sammála um að verktakar og stjórnendur gætu notað BIM líkön í marga hluti, til dæmis við áætlanagerð, skipulagningu, náð í magntölur, í innkaupum og fleira. Þar sem BIM líkön eru í þrívídd er auðvelt fyrir bæði verktaka og stjórnendur að átta sig á hvernig mannvirkið á að vera í raun og veru, auk þess að geta séð betur næstu skref í ferlinu. Auðvelt er að taka ákveðin snið af mannvirkinu til að sjá hvort kerfin passi saman og einnig er hægt að velja mismunandi kerfi saman í líkaninu, til dæmis lagnakerfi og raflagnir:

„...Eins og með innkaup þá er það algjör óþarfi að vera að setja á stað eitthvað peningaflæði við framkvæmdir þegar þess er ekki þörf þannig er mikilvægt að fá efnið á réttu, tíma, sem verk- og tímaáætlun í BIM hjálpar til við (F).“

„...Með því að leysa vandamál í BIM áður en að framkvæmdinni kemur er verið að tryggja að margir aðilar stoppi á verkstað þar sem búið er að leysa vandamálið (E).“

Nokkrir viðmælendur nefndu að hægt væri að búa til mun nákvæmari útboðsgögn þar sem magntölur úr BIM væru mjög nákvæmar, ef líkanið væri vel unnið. Einn viðmælandi sagði jafnframt að líklega yrði líkanið í viewer afhent sem útboðsgagn í komandi framtíð. Með því geta verktakar áttað sig betur á umfangi og flækjustigi verkefnisins og þannig tekið upplýsta ákvörðun um hvort þeir ráði við það eða ekki. Ef þeir fá síðan verkefnið geta þeir strax hafist handa við að skipuleggja sig þar sem líkanið er uppfyllt af hagnýtum upplýsingum fyrir þá. Viðmælandi **B** og **E** komust svo að orði:

„...Þeir eiga að geta séð hlutina miklu betur, þeir geta náttúrulega séð það hvernig þetta á raunverulega að vera og hvað sér framundan (B).“

„...Þau eru nákvæmari en þau eru náttúrulega bara eins nákvæm og líkanið sjálft er, ef líkanið er ekki vel gert eru útboðsgögnin ekkert skárri. Ef einn veggur gleymist í líkaninu verður hann alltaf aukaverk þar sem hann kom ekki fram á útboðsgögnum (E).“

Til að verktakar og stjórnendur geti nýtt sér upplýsingar úr BIM þurfa þeir að tileinka sér nýja tækni og fjárfesta í nýjum tækjabúnaði. Þetta getur því verið kostnaðarsamt þar sem bæði þarf að kenna starfsmönnum að nýta sér upplýsingarnar, kaupa búnað og jafnvel forrit. Þó nefndu viðmælendur að hægt væri að fá fría *viewera* á netinu en með þeim er hægt að skoða BIM líkön. Með *viewer* er hægt að skoða ýmis snið af mannvirkinu, ákveðin kerfi, ákveðna hluta mannvirkisins og fleira. **D** sagði eftirfarandi:

„...Hægt er að exporta líkaninu yfir í viewer en þeir sjá líkanið í viewer, núna geta þeir til dæmis klikkað á einhvern vegg og þá fá þeir allt um hann, lengd, breidd, fermetra, rúmmetra og fleira. Segjum að þeir séu að fara að steypa þá geta þeir pantað steypu eftir rúmmetratölunni í viewer en þurfa ekki að fara að reikna eins og í gamla daga (D).“

Viðmælendur voru sammála um að BIM gæti hjálpað mikið til við stjórnun og skipulagningu. Hægt er að nota upplýsingar úr BIM við að búa til verk- og tímaáætlun sem og kostnaðaráætlanir, en til þess þurfa stjórnendur að fjárfesta í búnaði og læra á hann. Eftirfarandi eru ummæli þriggja viðmælenda um þetta:

„...Ef verkefnastjórinn hefur rænu á að skoða líkönin og nota upplýsingar úr þeim til að búa til áætlanir þá virkar þetta, annars ekki (C).“

„...Stóri hluturinn í þessu fyrir framkvæmdaaðila er hversu góðar áætlanir hann getur gert (F).“

„...Ef verktakinn er ekki að nýta sér það að geta skoðað líkanið í viewer, þá er verkefni sem unnið er í BIM kannski ekki að nýtast eins og skyldi, framkvæmdalega séð (A).“

12.6 BIM vandamál

Viðmælendum bar ekki saman um ókosti eða vandræði sem þeir höfðu upplifað við notkun BIM. Fyrst ber að nefna að margir viðmælendanna nefndu að oft væri erfitt að setja líkanið saman, en ástæða þess er sú að hönnuðir eru að vinna sín líkön í mismunandi forritum, til dæmis teiknar arkitektinn í *Revit*, burðarþolshönnuðir teikna í *Tekla* og svo framvegis. Margir viðmælenda sögðust hafa lent í vandræðum með að setja saman og senda á milli IFC skjöl (e. *format*). Sumir aðilar töldu ástæðu þess vera að forritaframleiðendur eins og Autodesk stæðu vísvitandi fyrir því, þar sem þeir vildu að allir aðilar væru að nota forrit (*Revit*) frá þeim. Aðrir töldu ástæðuna vera að of stórar IFC skrár væru sendar á milli manna, sem gæti valdið því að skekkja kæmi í líkanið. Þegar talað er um „létta“ IFC skrá er átt við til dæmis þegar arkitekt sendir líkanið sem IFC skjal til lagnahönnuða, þá getur sá fyrrnefndi tekið út hluti sem skipta þann síðarnefnda ekki máli, til að tryggja að líkanið skekkist ekki. Aðrir sögðust ekki hafa lent í neinum vandræðum með slíkar samsetningar (móttöku á IFC skjölum), þetta hefði verið vandamál hér áður fyrr en væri ekki vandamál í dag. Einhverjir töluðu um að það væri mikill kostur að allur hönnunarhlutinn væri unninn af sama hönnunarfyrirtækinu á meðan aðrir töldu það ekki skipta neinu máli.

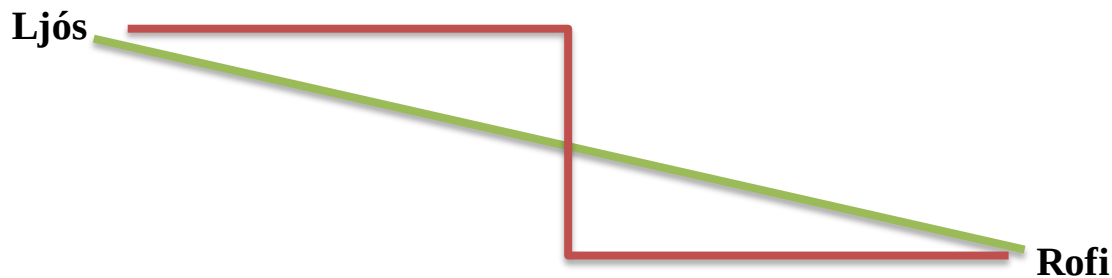
Ekki voru allir á sama máli um hvað hægt væri að gera í BIM og hvað ekki. Einn taldi BIM ekki nægjanlega fullkomið á ákveðnum sviðum, en sagði það þó vera í stöðugri þróun. Hann lýsti nokkrum vandamálum sem ekki væri hægt að leysa í BIM. Þegar þessi vandamál voru borin undir annan viðmælenda sagði hann þetta ekkert mál og sýndi jafnframt hvernig slík vandamál væru leyst í forritinu. Í kjölfarið var sá hinn sami spurður hvers vegna hann teldi þetta ósamræmi vera á milli viðmælenda, en hann taldi reynsluleysi útskýra hluta þess og einnig að fólk væri of fljótt að gefast upp ef hlutirnir „*virka ekki*“ strax.

Einn viðmælandi sagði það geta tekið langan tíma að leysa árekstra sem upp koma í líkaninu en að jafnaði eru margir hönnuðir sem koma að líkaninu sem gerir það enn tímafrekara. Nokkrir viðmælendur nefndu að við árekstrarprófun í BIM komi oft melding um árekstur sem er í raun og veru „*eðlilegur*“, það er

hann leiðir ekki af sér aukaverk eða breytingar við framkvæmd. Sem dæmi nefndi einn viðmælandi að við fyrstu árekstrarprófun hans var melding um mjög marga árekstra og hann sagðist alveg hafa fengið „sjokk“ en þegar betur var að gáð kom í ljós að margir þeirra voru einungis „eðlilegir“. Jafnframt töldu nokkrir aðilar að ekki megi treysta magntöku efnis úr líkaninu í blindni og nauðsynlegt sé að athuga hvort þær séu ekki örugglega réttar.

Nokkrir viðmælendur töldu að það vantaði meira af íhlutum frá framleiðendum til að setja beint inn í líkönin. Þegar talað er um íhluti í þessu sambandi er átt við vörur frá framleiðendum, sem verða notaðar í mannvirkin. Sem dæmi um íhluti mætti nefna; ljós, loftræstisamstæðu, töfluskápa, dreifara, innréttingar og fleira. Þegar slíkir íhlutir eru ekki til þurfa hönnuðir að teikna þá sjálfir en með því að fá þá frá framleiðendum er hægt að setja þá beint inn í líkanið sem auðveldar hönnuðum vinnuna. Einn viðmælandi sagði þó að framleiðendur væru í auknum mæli farnir að bjóða upp á slíkt en að þeir væru misjafnlega langt komnir í þessum efnum. Einn viðmælandi nefndi í þessu sambandi að það vantaði einingarverð á efni miðað við íslenskan markað í Revit (BIM forrit) en það myndi auðvelda gerð kostnaðaráætlunar.

Raflagnahluti mannvirkjagerðar á Íslandi er að mörgu leyti ólíkur frágangi á rafmagni annarstaðar í heiminum, en mun strangari kröfur eru gerðar til þess á Íslandi. Til dæmis leggja íslenskir rafvirkjar í flestum tilvikum fyrst rör sem svo eru dregin í vír eða strengur, þó það sé undantekning á því til dæmis þegar strengur eru lagðir á strengstiga, lagðir í rennu og fleira. Víða erlendis notast rafvirkjar ekki við rör heldur leggja bara streng. Þessir mismunandi starfshættir og kröfur hafa valdið nokkrum vandamálum þegar kemur að raflagnahönnun í BIM.



Mynd 21. Útskýring á ummælum viðmælenda um raflagnahönnun í BIM.

Til að útskýra betur vandamál raflagnahlutans var mynd 21. hér að ofan útbúin en henni er ætlað að útskýra vandamálið sem viðmælendur töluðu um. Þegar rör/vír/strengur er teiknaður er teiknuð lína á milli tveggja staða til dæmis rofa og ljóss eins og á myndinni hér að ofan. Í flestum tilvikum líta lagnaleiðir (rör/vír/strengur) út á teikningum eins og rauða línan á mynd 21. en þegar rafvirkinn leggur rörið/vír/strenginn fer hann stystu leið, það er grænu línuna á myndinni. Samkvæmt viðmælendum hefur þetta verið vandamál með magntökur á raflagnahluta BIM þar sem rör/vír/strengur í líkaninu er meiri en í raun er notað, sem þýðir að magntölur skekkjast. Einn viðmælandi taldi að hægt væri að teikna raflögnina stystu leið en raflagnahönnuðir séu samt ekki að nýta sér það. Þegar annar viðmælandi var spurður hvort hægt væri að teikna rörin stystu leið taldi hann að magnið myndi týnast.

Eins og fram hefur komið eru kröfur ólíkar eftir löndum hvað varðar raflagnir. Þetta nefndu viðmælendur sem annað vandamál við magntöku í BIM þar sem ein lína táknar út í heimi bara streng en á Íslandi táknar ein lína bæði rör og vír/strengur og því ekki hægt að magntaka bæði rör og vír/strengur. Þó viðmælendur hafi nefnt þetta vandamál voru þeir þó á því að BIM hjálpi þeim mikið við magntöku á öðrum hlutum, til dæmis dósum, strengstigum og fleira. Auk þess er til dæmis hægt að fá upplýsingar um kveikingar á ljósum og fleira, ásamt því að geta árekstraprófað raflagnalíkanið.

13 Greiningar/mat

Niðurstaða rannsóknarhlutans er sú að innleiðing á BIM meðal hönnuða er á réttri leið, þó er nokkuð ljóst að viðmælendur (hönnuðir) voru misjafnlega langt komnir. Það sést best á ósamræmi í svörum viðmælenda hvað varðar vandamál sem snúa að BIM forritum, en það sem einn talaði um sem vandamál hefur annar ekki upplifað. Til dæmis töluðu nokkrir um að IFC (setja líkönin saman) væri vandamál á meðan aðrir höfðu ekki upplifað það, sumir töldu að þeir væru fljótari að hanna í BIM á meðan aðrir töluðu um að þeir væru lengur.

Allir viðmælendur voru sammála um að innleiðing á nýjum starfsháttum (BIM) væri dýr, það er hugbúnaðarleyfi, tækjabúnaður, forrit og námskeið/þjálfun og töldu kostnaðinn vera í kringum 3 - 3,5 milljónir króna án þjálfunar/námseiðskostnaðar á hverja starfsstöð innan fyrirtækisins. Af svörum viðmælenda má greina að það taki nokkurn tíma að ná færni á BIM (forrit) og vitnuðu þeir þá í gömul verkefni sem þeir höfðu gert og hvað þeir hefðu getað gert betur ef þeir væru að hefja hönnunarferlið í dag. En auðvitað er það þannig að menn öðlast reynslu með hverju verkefninu auk þess sem BIM forrit verða sífellt fullkomnari og aðgengilegra að læra á og nota.

Samkvæmt viðmælendum er hægt að hefja hönnunina mun fyrr þegar aðferðafræðin BIM er notuð og einhverjir þeirra töldu jafnframt að þegar arkitekt væri búinn að draga út vegg og skilgreina hæðir gætu aðrir hönnuðir hafist handa fyrr. Það þýðir að aðrir aðilar (verkkaupi, verktakar, stjórnendur) gætu hafið skipulagningu og undirbúning fyrir ef aðferðafræðin væri notuð. Jafnframt töldu viðmælendur um það sem mikinn kost í BIM forritum að þegar breyta á til dæmis einum vegg væri nóg að gera það á einni teikningu og forritið sér síðan um að breyta því á öðrum teikningum.

Almennt voru viðmælendur sammála um að helsti kostur BIM væri svonefnd árekstrarprófun milli fagaðila en með henni væri hægt að koma í veg fyrir mörg viðbótarverk (aukaverk). Einnig töldu viðmælendur BIM geta bætt skipulag, hjálpað til við áætlanagerð, aukið nákvæmni útboðsgagna, aukið yfirsýn, aukið gæði, hjálpað til við stjórnun á verkefnum sem og hægt væri að nota BIM í rekstri og viðhaldi á mannvirkinu. Viðmælendur vissu ekki til þess að framkvæmdaraðilar (verktakar) og almennir verkkaupar á Íslandi væru

farnir að nýta sér BIM. En margir þeirra töldu að ávinningur, þá bæði í tíma og peningum, væri mestur fyrir framkvæmdaraðila og verkaupa. Þá töldu þeir jafnframt að BIM forrit væru fyrst og fremst frábært verkfæri en nauðsynlegt væri að kunna á þau og þekkja aðferðafræðina til að ná tilætluðum árangri með þeim.

Í kafla 8 var farið yfir erlendar rannsóknir á ávinningi af notkun BIM. Samkvæmt Bryde, Broquetas og Volm (2013, bls. 1-10) sem tóku saman gögn úr 35 BIM verkefnum víðsvegar úr heiminum kom í ljós að í 60% tilfella náðist fram sparnaður með BIM á byggingarkostnaði eða um allt að 9-9,8%. Í mörgum verkefnunum reyndist BIM hafa jákvæð áhrif á samskipti milli hagsmunaaðila auk þess sem verk-og tímaáætlanir stóðust betur.

Niðurstaða samantektar Azhar (2011, bls. 249) á 10 verkefnum leiddi í ljós að meðal sparnaður sem náðist fram með notkun BIM var tæplega 2% en þess ber þó að geta að þátttakendur voru að nota BIM mis mikið og voru mis langt komnir í innleiðingunni. En til dæmis náðist 14% sparnaður í einu af verkefnunum sem þeir skoðuðu. Í samantektinni var jafnframt metin arðsemi fjárfestingar (ROI) það er hlutfall nettó sparnaðar sem náðist með BIM á móti fjárfestingu á BIM búnaði. Niðurstaðan var sú að meðal ROI var 634% í verkefnunum, lægst var það 193% en hæst var ROI 39.900% og því ljóst að fjárfesting margborgaði sig í öllum tilvikum.

Samkvæmt SmartMarket Report (2012, bls. 4-32) mældist ROI jákvætt í 67% tilvika í úttekt sem gerð var á BIM í Bandaríkjunum árið 2012. Niðurstaða rannsóknar Barlish og Sullivan (2012, bls. 149-159) á tveimur BIM verkefnum þar sem þátttakendur voru að prófa aðferðafræðina í fyrst sinn náðist fram 1-2% sparnaður á byggingarkostnaði.

Í grein Azhar og félaga (2010, bls. 1-11) var fjallað um rannsókn sem gerð var á vegum Stanford University árið 2007 á 32 stórum BIM verkefnum. Í 40% verkefnanna stóðst áætlunin fullkomlega, það er engar breytingar voru gerðar á áætlunum þessara verkefna. Í verkefnunum var frávik milli raunverulegrar niðurstöðu og kostnaðaráætlunar innan við 3% og í sumum tilvikum náðist allt að 10% sparnaður á byggingarkostnaði auk þess í sumum tilvikum náðist einnig að draga úr verktíma. Þess ber að geta að BIM forrit verða alltaf

fullkomnari með hverju árinu eins og gerist og gengur með tölvuforrit (Jóhann Örn Guðmundsson munnleg heimild, 30. janúar 2013).

Í rannsókninni var eingöngu talað við íslenska hönnuði en ástæða þess er sú að framkvæmdaaðilar (verktakar) og almennir verkkaupar eru ekki farnir að nota BIM. Því væri það mikil einföldun að halda að BIM aðferðafræðin sé bara *Revit* (BIM forrit) en því miður eru aðrir aðilar á Íslandi ekki farnir að nota aðferðafræðina, nema ríkið (Framkvæmdarsýsla ríkisins) og þá aðallega í hönnunarferli verkefna sinna.

Áætlað er að byggingarkostnaður af nýja Landspítalanum sé 45 milljarðar króna (Velferðarráðuneytið, 2012). Með því að heimfæra niðurstöður erlendra rannsókna, að hægt sé að ná fram umtalsverðum sparnaði á byggingarkostnaði, myndi 2% nettó sparnaður á byggingarkostnaði með BIM við byggingu spítalans nema 900 milljónum króna.

Viðmælendur í viðtalsrannsókninni töldu að kostnaður við BIM „pakkann“ (hugbúnaðarleyfi, tækjabúnaður, forrit) væri í kringum 3,25 (meðaltal milli svara 3-3,5) milljónir króna án þjálfunar. Ef BIM væri notað við byggingu á nýja spítalanum, það er hægt að ná sama árangri og erlendar rannsóknir benda til væri hægt að kaupa 277 BIM „pakka“ miðað við 2% nettó sparnað á byggingarkostnaði. Gefum okkur að ríkið myndi fjárfesta í 30 BIM „pökkum“ að verðmæti tæplega 100 milljóna króna í tengslum við byggingu nýs Landspítala. Arðsemi fjárfestingarinnar ROI væri þá 923% miðað við 2% sparnað.

Í ofangreindu er ekki tekið tillit til fjármagnskostnaðar en eins og fram kom í dæmi leigufélagsins (kaflí 9) er mikið hagræði í því að ná fram sparnaði í byggingarkostnaði til að lækka fjármagnskostnað af langtímaláni. Það er að segja ef ríkið í þessu tilvik myndi fjármagna framkvæmdina með langtímaláni.

14 Tillögur

Af viðtalsrannsókninni að dæma voru það helst þrjú atriði sem skýrsluhöfundur fannst þurfa að bæta.

Í fyrsta lagi **(1)** er það vandamálið vegna raflagnahlutans, en það er tvíþætt; annars vegar ónákvæmrar magntöku þar sem raflagnir eru ekki lagðar eins og þær eru teiknaðar sem myndar frávik milli raunverulegrar notkunar og áætlaðrar notkunar. Hins vegar eru það ólíkar kröfur milli landa þar sem íslenskir rafvirkjar leggja rör og draga svo í það vír/streng á meðan erlendir rafvirkjar leggja bara streng. Vandamálið er að ein lína (rör/strengur) í líkaninu táknað erlendir bara streng en á Íslandi þarf línun að tákna bæði rör og vír/strengur, sem gerir magntöku úr raflagnalíkaninu erfiða.

Í öðru lagi **(2)** er það að virkja aðra hagsmunaaðila aðfangakeðju mannvirkjagerðar, það er verktaka, almenna verkkaupa, hönnuði sem ekki hafa hafið innleiðingu og aðra óbeina hagsmunaaðila. Í raun er tillagan einföld, það er að hvetja ofangreinda aðila til að hefja innleiðingu á BIM og kynna sér aðferðafræðin og þá kosti sem hún hefur upp á að bjóða. En með því væru þeir jafnframt að hjálpa öðrum sem nú þegar hafa innleitt BIM að ná enn lengra.

Í þriðja lagi **(3)** vantar íslenskar rannsóknir (e.*Case studies*) á raunverulegu íslensku BIM verkefni.

14.1 Raflagnahluti (1)

Þar sem skýrsluhöfundur er ekki tæknimenntaður raflagnahönnuður er ljóst að hann er ekki rétti aðilinn til að finna lausnina á vandamáli raflagnahlutans í BIM. Það væri þó verðugt verkefni fyrir rafmagnsverkfræðinga, tæknifræðinga eða iðnfræðinga að rannsaka vandamálið og mögulega finna einhverjar lausnir á því. Eins og komið hefur fram er vandamál raflagnahlutans tvíþætt, það er annars vegar frávik frá raunverulegri magn notkun og áætlaðri notkun og hins vegar vegna strangari krafna sem gerðar eru til raflagna á Íslandi.

14.2 Hagsmunaaðilar (2)

Það væru draumórar að halda því fram að nóg væri að kaupa 25 þúsund spjaldbólur, BIM forrit og tölvur og dreifa því á tækni- og iðnaðarmenn landsins og ætlast til að morguninn eftir væru öll vandamál mannvirkjagerðar úr sögunni. En eins og komið hefur fram tekur innleiðing á BIM langan tíma, þar sem aðferðafræðin krefst þess að aðilar tengdir mannvirkjagerð tileinki sér nýja starfshætti.

Samkvæmt viðmælendum rannsóknarinnar, sem allir eru tæknimenntaðir (hönnuðir), er aðferðafræðin BIM eitthvað sem mun nýtast vel í framtíðinni. Ennfremur telja þeir að margir hönnuðir á Íslandi séu orðnir færir í hönnun og vinnslu á BIM líkönum en því til vitnisburðar eru margar íslenskar hönnunarstofur farnar í útrás vegna góðrar þekkingar á BIM.

Í ljósi þess er nauðsynlegt að aðrir hagsmunaaðilar (almennir verkkaupar, verktakar, o.fl.) fylgi í kjölfarið og nýti sér þá hæfni, þekkingu og þann árangur sem hönnuðir hafa náð á síðustu árum með því að innleiða aðferðafræðina. Því er erfitt að átta sig á því af hverju enginn nema ríkið hafi áhuga á að nýta sér aðferðafræðina, þrátt fyrir margir hönnuðir séu hæfir til að útbúa nákvæm og hagnýt BIM líkön.

Því eru tillögur skýrsluhöfundar skýrar hvað innleiðingu varðar, það er að verktakar, almennir verkkaupar og aðrir hagsmunaaðilar fylgi hönnuðunum og ríkinu og nýti sér aðferðafræðina BIM og þá tækni og þann ávinning sem hún hefur upp á að bjóða.

14.2.1 Almennir verkkaupar (2)

Það er ljóst að ávinningur af innleiðingu BIM fyrir verkkaupa er mikill en allir viðmælendur rannsóknarinnar töldu einmitt svo vera. Því er mikilvægt að hinn almenni verkkaupi styðji við innleiðingu á BIM en það er bæði hans hagur og annarra hagsmunaaðila. Innleiðing á BIM er að mörgu leiti í höndum verkkaupa þar sem hann getur einn krafist þess að BIM sé notað við framkvæmdina. Með því að krefjast þess að BIM sé notað er hann jafnframt að hjálpa hönnuðum að ná enn meiri reynslu, færni og hraða í því að útbúa BIM líkön. Auðvitað þarf verkkaupi eða þeir aðilar sem eru að vinna í hans umboði

að læra á BIM en ljóst er að það getur tekið tíma og mikilvægt að skipuleggja innleiðingarferlið vel þar sem eitt skref er tekið í einu. Það sem verkkaupar þurfa jafnframt að hafa í huga er að hægt er að nota BIM líkön við líftímastjórnun á mannvirkinu, þannig má verkkaupi ekki hugsa að hann hafi ekkert við BIM líkön að gera þó hann hafi ekki getu til að nýta sér þau í dag. En eins og fram hefur komið benda erlendar rannsóknir til þess að hægt sé að ná talsverðum fjárhagslegum ávinningi með BIM auk þess sem áætlanir standast betur þegar aðferðafræðin er notuð. Eins og fram kom í viðtalsrannsókn og fræðilegri umfjöllun (kafli 5.1) er jafnframt hægt að hefja hönnunarferlið fyrr.

Tillögur að innleiðingu fyrir almenna verkkaupa eru þær að þeir fari hægt í sakirnar og gefi sér tíma til að læra á aðferðafræðina. Um leið og innleiðing er hafin er ávinningur verkkaupa strax mikill, bæði við framkvæmdina sjálfa og við líftímastjórnun (viðhald og rekstur). Í ljósi þess að margar íslenskar hönnunarstofur er fullfærar um að útbúa slík líkön er það tillaga skýrsluhöfundar að almennir verkaupar fari að krefjast BIM hönnunar.

14.2.2 Verktakar (2)

Eins og fram hefur komið eru verktakar á Íslandi ekki að nýta sér BIM líkön, hvorki við skipulagningu né við framkvæmdir. Margir viðmælendur viðtalsrannsóknarinnar töldu ávinning verktaka vera mikinn en vissu þó ekki til þess að þeir væru að nota BIM á nokkurn hátt. Nokkrir viðmælendur nefndu dæmi þess að verktakar á Norðurlöndunum væru að ná ótrúlegum sparnaði og samkeppnisforskoti vegna BIM notkunar.

Því er það skrítið að verktakar á Íslandi séu ekki byrjaðir að innleiða BIM. Í kafla 2.2 er farið yfir aðfangakeðju mannvirkjagerðar en þar er talað um mismunandi markmið aðila innan keðjunnar og séreinkenni mannvirkjagerða, það er útboð og skammtímasambönd á milli aðila. Auk þess eru skammtíma sjónarmið oftari en ekki alls ráðandi í mannvirkjagerð (sjá kafla 2.2.2) og efnahagslegt umhverfi sveiflukennt (sjá kafla 1). Út frá þessu má álykta að vegna skammtíma sjónarmiða innan greinarinnar séu verktakar almennt ekki með nein langtíma markmið. Þeir hugsa frekar um eitt verkefni í einu og sjá því ekki hag í því að fjárfesta í dýrum búnaði og námskeiðum sem eru tímafrek

og kostnaðarsöm, þar sem hugsanlega gæti ekkert verið að gera hjá viðkomandi fyrirtæki eftir til dæmis eitt ár. Þeir líta því svo á að þeir séu hreinlega að henda fjármunum með því að kaupa búnað og þjálfa starfsmenn sem nýtist þeim síðan ekki neitt, það er ef engin verkefni verða í boði. Einnig er sá möguleiki fyrir hendi að verktakar hreinlega vilji ekki útrýma aukaverkum þar sem þau hafa í för með sér tekjumissi. En flest verkefni eru tilboðsverk og því leggjast greiðslur fyrir aukaverk ofan á tilboðið.

Að mati skýrsluhöfundar eru verktakarnir í allri aðfangakeðju mannvirkjagerðar (verkkaupi, hönnuðir, verktakar) erfiðastir viðureignar við innleiðingu á BIM, en þeir eru jafnframt stærsti hópurinn sem kemur að mannvirkjagerðinni og því ljóst að vanda þarf til verks við innleiðingu hjá þeim. Eins og fram kom í kafla 3 (breytingar) er það hlutverk stjórnenda verktakafyrirtækjanna að leiða innleiðingu á BIM og fá aðra starfsmenn með sér og passa sig á að fara ekki of hratt í sakirnar.

Því leggur skýrsluhöfundur til að verktakar sýni þolinmæði og gefi sér góðan tíma í innleiðinguna og átti sig á að ekki er raunhæft að innleiða BIM í einum hveli. Til dæmis voru viðmælendur í rannsókninni (hönnuðir) komnir með 4-6 ára reynslu af BIM en þrátt fyrir það töluð þeir flestir um að þeir væru ekki búnir að ná fullkomnum tókum á aðferðafræðinni. Því er mikilvægt fyrir verktaka að innleiða BIM í áföngum, til dæmis senda einn starfsmann á námskeið eða ráða einn aðila með þekkingu á BIM og gefa starfsmanni tíma til að læra á aðferðafræðina.

Dæmi um lítil skref í innleiðingu hjá verktökum væri að prófa að búa til verk- og tímaáætlun og kostnaðaráætlun og nota *viewer* á verkstað í minni verkefnum en þar væri auðveldara að átta sig á hvað betur mætti fara. Íslendingar eru gjarnan óþolinmóðir og vilja helst að allt gerist strax en það virkar ekki svoleiðis við innleiðingu á BIM, þar sem mikillar þolinmæði og tíma er krafist.

Það verktakafyrirtæki sem verður fyrst að tileinka sér tæknina á eftir að ná miklu samkeppnisforskoti á aðra, að minnsta kosti ef litið er til Norðurlandanna. Spá greiningardeildar Arion banka er sú að húsnaðisskortur

verði á Íslandi á næstu árum (sjá kafla 1.2). Það þýðir að nauðsynlegt er að fara að hefja framkvæmdir aftur en það væri afar gott fyrir íslenska mannvirkjagerð.

14.2.3 Hönnuðir (2)

Það eru ekki allar hönnunarstofur landsins byrjaðar eða búnar að innleiða aðferðafræðina BIM. En tillögur til þeirra aðilar eru að hefja innleiðingu eins fljót og auðið er. En tillögur til þeirra er að innleiða BIM á svipaðan hátt og aðrir hönnuðir hafa gera það eins og fram kom í kafla 12.1. Skýrsluhöfundur var mjög hrifinn af aðferð eins viðmælenda síns við innleiðingu á BIM þar sem notast var við hermidæmi, það er gamalt verkefni var endurhannað í BIM til að öðlast reynslu. Auk þess eru skólar í auknum mæli farnir að kenna á BIM forrit (t.d. *Revit*) sem eru jákvæðar fréttir fyrir markaðinn, þar sem útskrifaðir hönnuðir eru komnir með grunn þekkingu á aðferðafræðinni.

14.2.4 Aðrir hagsmunaaðilar (2)

Aðrir hagsmunaaðilar sem skýrsluhöfundur leggur til að styðji við innleiðinguna eru til dæmis fjármálastofnanir, tryggingarfélög, skólar og framleiðendur.

Við forathugun töldu margir viðmælendanna rót vanda mannvirkjagerðar vera tilkomna vegna slæmra fjármögnunarleiða á Íslandi. Því leggur skýrsluhöfundur til að fjármálastofnanir sýni innleiðingu áhuga og reyni með einhverju móti að örva verkkaupa til að innleiða BIM. Til dæmis gætu fjármálastofnanir boðið langtímalán strax í upphafi eða boðið lægri vexti á skammtímalánum hjá þeim sem nota BIM.

Það er einnig hagur tryggingarféлага að gæði við mannvirkjagerð séu höfð í hávegum þar sem það eru þeir sem þurfa að bæta fyrir tjón af völdum mistaka sem upp koma eftir framkvæmd. Til dæmis ef pípulagnarör gefur sig vegna ófaglegs frágangs við framkvæmdina löngu eftir að mannvirkið hefur verið tekið í notkun þá eru það vanalega tryggingarfélögin sem þurfa að bæta tjónið. Jafnframt bæta þeir hönnunarmistök þar sem hönnuðum er skylt að vera með hönnunartryggingu. Því er lagt til að þeir komi að innleiðingu með einhverjum hætti, til dæmis með því að bjóða verkkaupa og verktökum sem nota BIM hagstæðari tryggingar á framkvæmdartímanum.

En eins og fram kom í kafla 7 er jafnframt hægt að nota BIM líkan til að bæta öryggi starfsmanna við framkvæmdina sjálfa og þegar mannvirkið hefur verið tekið í notkun. Það eru jákvæð tíðindi fyrir tryggingarfélög ef hægt væri að koma í veg fyrir vinnuslys við framkvæmdina og þegar búið er að taka mannvirkið í notkun. Því er ljóst að það er einnig hagur tryggingarfélaga að BIM sé innleitt.

Einnig er lagt til að aðferðafræðin BIM verði kynnt fyrir iðnaðarmönnum framtíðarinnar, bæði í iðnskólum landsins og í meistarskólanum. En samkvæmt viðmælendum rannsóknarinnar er BIM gerð góð skil í háskólum landsins meðal tæknigreina en það er mjög jákvætt.

Jafnframt er lagt til að framleiðendur (t.d. þeir sem búa til forsteyptar einingar, innréttingarframleiðendur og fleiri) og verslanir (t.d. rafmagnsheildverslanir) á Íslandi kynni sér BIM en með því að geta skaffað íhluti sem hönnuðir geta notað í BIM forritum gæti það aukið sölu hjá þeim. Því er mikilvægt fyrir íslenska framleiðendur að huga að þessum möguleika til að stuðla að samkeppnisforskoti og jafnvel geta herjað á erlenda markaði.

14.3 Rannsóknir (3)

Framkvæmdasýsla ríkisins hefur unnið mikið og gott starf með því að innleiða BIM þó því sé hvergi nærri lokið. Gagnlegt væri ef Framkvæmdasýsla ríkisins myndi útbúa skýrslu með niðurstöðum þeirra verkefna sem þeir ljúka með aðferðafræðinni. Í henni gætu þeir bæði farið yfir það sem vel fór og það sem miður fór til að hægt verði að læra af mistökunum og gera enn betur næst. En best væri ef skýrslan væri í kjölfarið opinberuð til að hvetja og styðja enn frekar við innleiðingu á aðferðafræðinni á Íslandi.

Það verkefni sem væri hvað áhugaverðast að fylgjast með væri Hús íslenskra fræða sem er BIM verkefni á vegum Framkvæmdasýslunnar. Það sem gerir þetta verkefni áhugavert er að þetta er í fyrsta sinn sem BIM verður notað á framkvæmdarstað. Aðalverktaki verður krafinn um notkun á BIM bæði við áætlanagerð og á verkstað. Þetta er í raun í fyrsta sinn sem þessa er krafist af verktökum á Íslandi. Þetta þýðir að BIM verður notað í öllu ferlinu, það er við hönnunarhlutann, framkvæmdarhlutann og verkkaupahlutann (ríkið er verkkaupi í þessari framkvæmd).

Með því að krefjast umfangsmeiri notkunar á BIM í verkefninu (Húsi íslenskra fræða) má segja að Framkvæmdasýslan sé að hraða framþróun í mannvirkjagerð. Því er gríðarlega mikilvægt að rannsaka verkefnið vel til að geta nýtt niðurstöðurnar við næstu verkefni. Eins og komið hefur fram er 45 milljarða króna framkvæmd við nýjan Landspítala á teikniborðinu hjá ríkinu, því er mikilvægt fyrir Framkvæmdasýsluna að átta sig á hvað megi betur fara í við framkvæmd á Húsi íslenskra fræða.

Því leggur skýrsluhöfundur til að gerð verði ítarleg úttekt og rannsókn á öllu ferlinu við framkvæmdir á Húsi íslenskra fræða eða í því verkefni á vegum ríkissins sem notast verður við BIM í öllu ferlinu.

15 Umræða

Eftir að hafa greint viðfangsefni ritgerðarinnar ítarlega er skýrsluhöfundi það ljóst að mannvirkjagerð er mjög flókin og umfangsmikill grein. Í kafla 2 er farið ítarlega yfir ferlið, það er allt frá því að þörfin kviknar til reksturs á mannvirkinu, því má segja að ferlinu ljúki í raun aldrei. Mikil tækniþróun hefur orðið í mannvirkjagerð á síðustu árum á tækjabúnaði, vöruþróun á hráefni, vélbúnaði og fleiru sem auðveldar aðilum vinnu sína. Á sama tíma hafa kröfur til mannvirkja aukist mikið en dæmi um það er ný byggingarreglugerð. Eins og áður hefur komið fram eru mannvirki sífellt að verða flóknari og framkvæmdahraði stöðugt að aukast. Mannvirkjagerð er ólík mörgum öðrum greinum að því leiti að verkefni eru vanalega boðin út sem þýðir að oftar en ekki er um skammtíma samband að ræða milli aðila í aðfangakeðju mannvirkjagerðar. Auk þess eru markmið hagsmunaaðila innan aðfangakeðjunnar ólík þar sem hönnuðir og verktakar eru að reyna að hámarka hagnað sinn á meðan verkkaupi er að reyna að lágmarka kostnað og verktíma. Mismunandi markmið hagsmunaaðila geta leitt til árekstra sem skila sér í lakari gæðum, áætlunum sem standast ekki, hærri kostnaði og fleiru.

Miklar sveiflur eru í umfangi mannvirkjagerðar sem tilkomnar eru vegna efnahagslegs umhverfis landsins en frá hrúni hefur ytra umhverfi mannvirkjagerðar verið mjög erfitt. Vaxtastig og verðbólga hafa verið há síðast liðin ár, gengi íslensku krónunnar hefur verið eins óhagstætt og hugsast getur og til að bæta gráu ofan á svart hefur heimsmarkaðsverð á hráefni hækkað til muna. Þetta hefur haft þau áhrif að byggingarvísitalan hefur hækkað gríðarlega mikið sem einfaldlega þýðir að byggingarkostnaður á Íslandi er orðinn mjög hár (Sjá kafla 1-9).

Í forathugun kom fram að uppskriftin að hinu fullkomna ferli er raunhæf tímaáætlun, gott skipulag, hæfir starfsmenn og góðir og reynslumiklir stjórnendur. Raunin er hins vegar sú að ferlið er nánast aldrei fullkomið þar sem alltaf koma upp einhver mistök, þó mismunandi mikil.

Í köflum 2.2.1 og 2.2.2 kemur fram að áætlað sé að kostnaður mistaka og galla innan mannvirkjagerða sé 10–30% af heildarveltu greinarinnar en því má áætla að mistakakostnaður hafi verið 12-36 milljarðar króna árið 2012. Ljóst er að

hvorki íslenskt samfélag né aðilar tengdir mannvirkjagerð hafa efni á að kveikja í slíkum fjármunum og því mikilvægt að leita allra leiða til að lækka þennan kostnað, til dæmis með BIM.

Aðferðafræðinni BIM er ætlað að draga úr mistökum, auka upplýsingaflæði, búa til góðar áætlanir og hönnunarferlið hefst fyrr sem þýðir að aðrir aðilar hafa meiri tíma til skipulagningar, auka nákvæmni hönnunargagna og margt fleira. Mannlegi þátturinn spilar veigamikil hlutverk í aðferðafræðinni en til að ná tilætluðum árangri er nauðsynlegt að allir í keðjunni (hagsmunaaðilar) skili því sem ætlast er til af þeim. Hafa ber í huga að keðja er aldrei eins sterk og veikast hlekkur hennar, því getur einn aðili haft slæm áhrif á aðra aðila innan keðjunnar. En gott upplýsingaflæði og góð samvinna er lykilinn að farsælu verkefni ásamt færni og þekkingu eintaklinga á aðferðafræðinni. Að öðlast færni, þekkingu og reynslu á BIM tekur langan tíma eins og viðmælendur viðtalsrannsóknar nefndu, því er lykilatriðið að sýna þolinmæði. En BIM er nýtt af nálinni og því ljóst að aðilar innan greinarinnar þurfa að byrja einhvers staðar og því ekki hægt að ætlast til að aðilar verði heimsmeistarar í sínu fyrsta BIM verkefni.

Erlendar rannsóknir (kafli 8) hafa sýnt fram á að hægt er að ná töluverðum sparnaði á byggingarkostnaði eða allt á bilinu 0,5-14%. Til dæmis var nettó meðal sparnaður við notkun BIM tæplega 2% af heildar byggingarkostnaði (Azhar, 2011, bls. 249). Jafnframt benda niðurstöður rannsóknar þeirra Barlish og Sullivan (2012, bls. 149-159) til þess að hægt sé að ná fram 1 - 2% nettó sparnaði á heildar byggingarkostnaði. Í báðum rannsóknum voru þátttakendur að hefja innleiðingu á BIM, en sú er einmitt staðan í íslenskri mannvirkjagerð í dag.

Skýrsluhöfundur telur það óraunverulegt að gera ráð fyrir að hægt sé að ná fram 10 – 14% nettó sparnaði á heildar veltu íslenskrar mannvirkjagerðar með notkun BIM. En ástæðan er sú að innleiðing á BIM á Íslandi er rétt að hefjast og því er í raun ekki hægt að ætlast til slíks sparnaðar. Þó er líklegt að með tímanum geti slíkur sparnaður orðið að raunveruleika. Jafnvel væri hægt að ná fram 10-14% nettó sparnaði í einstökum verkefnum þar sem aðilar hafa náð góðum tókum á aðferðafræðinni. En eins og fram hefur komið ræðst árangur við notkun BIM fyrst og fremst af því hvernig aðilum gengur að tileinka sér

aðferðafræðina. Hins vegar telur skýrsluhöfundur það raunhæft að áætla að hægt væri að ná fram 2% nettó sparnaði á heildar byggingarkostnaði að meðaltali með innleiðingu á BIM við íslenskar framkvæmdir.

Til rökstuðnings bendir skýrsluhöfundur á umfjöllun Óskars Valdimarssonar (2006. bls. 1) í tímaritinu Verktækni en þar er áætlað að rekja megi 2 – 5% mistakakostnað til hönnunarmistaka (það er heildar veltu mannvirkjagerðar á Íslandi) (sjá kafla 2.2.1). Þar sem íslenskir hönnuðir eru alltaf að verða færari og færari í BIM hönnun (sjá kafla 12,13,14) má áætla að hægt sé að draga verulega úr hönnunarmistökum. En samkvæmt erlendum rannsóknum er það raunin, til dæmis með árekstrarprófun milli fagaðila (hönnuða) (Azhar, 2011, bls. 244).

Í ljósi ofangreindra upplýsinga telur skýrsluhöfundur það gerlegt að ná fram 2% nettó sparnaði á heildar byggingarkostnaði að meðaltali í íslenskri mannvirkjagerð (heildar veltu greinarinnar) með innleiðingu á BIM. Slíkur sparnaður hefði numið 2,4 milljörðum króna árið 2012, það er 2% af heildar veltu greinarinnar (mannvirkjagerðar á Íslandi). Í kafla 13 var sýndur 2% nettó sparnaður af einu verkefni (nýr Landspítali) en ef hægt væri að ná fram 2% sparnaði myndi hann nema 900 milljónum króna.

Í kafla 9 voru sýnd áhrif hækkandi og lækkandi byggingarkostnaðar á mannvirki en hár byggingarkostnaður hefur íþyngjandi áhrif á rekstur. Íslenskt efnahagsumhverfi er mjög sveiflukennt og flest mannvirki eru fjármögnuð með langtímalánum sem eru að jafnaði verðtryggð (ólíkt öðrum löndum í heiminum). Mikil hækkun á byggingarkostnaði getur haft íþyngjandi áhrif á rekstrarumhverfi lántaka (fyrirtækja) þar sem fjármagnskostnaður (rekstrargjöld) af láninu er háður vísitölu neysluverðs. En með því eru lántakar að skuldbinda sig og rekstur sinn næstkomandi ár til að borga vexti og verðbætur af láninu sem í raun er ómögulegt að spá fyrir um þróunina á milli tímabila (ára). Til dæmis kom 18% verðbóluskot í kjölfar hrunsins árið 2008 sem einfaldlega þýðir að verðtryggð lán stökkbreyttust, það er 100 milljón króna lán varð að 118 milljón króna láni.

Í ljósi fjármögnunarmöguleika sem lýst var hér að ofan má segja að fjárhagslegur ávinningur af innleiðingu BIM sé meiri hér en annarstaðar í

heiminum. Hér að ofan voru færð rök fyrir því að hægt væri að ná fram 2% nettó sparnaði á heildar byggingarkostnaði með innleiðingu á BIM. Í ljósi fjármagnsmöguleikans sem lýst var hér að ofan er fjárhagslegur ávinningur af 2% nettó sparnaði í raun meiri en annarstaðar í heiminum. Þar sem aðilar tengdir aðfangakeðju mannvirkjagerða erlendis þurfa ekki að glíma við hátt vaxtastig og verðtryggð húsnæðislán er ljóst að ávinningurinn fyrir kollega þeirra hér á landi er mun meiri. Til rökstuðnings bendir skýrsluhöfundur á kafla 9 þar sem sýnd voru áhrif hækkandi og lækkandi byggingarkostnaðar á rekstur leigufélagsins vegna verðtryggs húsnæðisláns. En því hærri sem lánsupphæðin er því hærri verður fjármagnskostnaður út lánstímann.

Í viðtalsrannsókninni sem gerð var kom á óvart hversu færir margir íslenskir hönnuðir eru í aðferðafræðinni. Í nokkrum viðtalanna gáfu viðmælendur sér tíma til að sýna skýrsluhöfundi aðferðafræðina á tölvum sínum. Þá var eitt viðtal sem stóð upp úr hvað þetta varðar, en samhliða því að svara spurningum undirstrikaði viðmælandi orði sín með því að sýna hvernig hlutirnir eru gerðir í BIM. Við vinnslu verkefnisins hefur skýrsluhöfundur lesið mikið magn greina um BIM og horft á fjölmörg myndbönd um efnið. Því var ánægjulegt að sjá hversu góð tók sumir íslenskir hönnuðir höfðu náð á BIM. Það styður við þau rök að hægt sé að ná fram 2% nettó sparnaði af heildar veltu mannvirkjagerða á Íslandi með innleiðingu á BIM, þar sem hönnuðir eru færir um að út búa BIM líkön sem aftur dregur út líkum á hönnunarmistökum.

16 Niðurstöður

Megin tilgangur verkefnisins var að athuga hvernig staðan á innleiðingu á BIM er á Íslandi og hvort aðferðafræðin sé framtíðin í mannvirkjagerð hérlandis. Með öðrum orðum að varpa ljósi á ávinning nýrra starfshátta (BIM) innan mannvirkjagerðar. Í verkefninu var leitast við að svara eftirfarandi spurningum; **a)** Hver er helsti ávinningur verkkaupa, verktaka og hönnuða í íslenskri mannvirkjagerð af innleiðingu BIM upplýsingalíkana? **b)** Getur innleiðing BIM upplýsingalíkana í mannvirkjagerð á Íslandi leitt til lægri byggingarkostnaðar?

16.1 Verkkaupar (a)

Að mati margra viðmælenda rannsóknarinnar eru það verkkaupar sem græða einna helst á innleiðingu BIM. Allir viðmælendur töldu árekstrarprófun milli fagaðila í BIM geta komið í veg fyrir mikið af hönnunarmistökum, sem er öllum hagsmunaaðilum til bóta en þó líklega mest verkkaupum. Aðrir kostir sem viðmælendur nefndu voru meðal annars þeir að BIM býður upp á gott skipulag og hjálpar til við áætlanagerð. Jafnframt töldu viðmælendur að BIM auðveldi aðkomu verkkaupa að hönnun þar sem líkanið er í þrívídd auk þess að hönnunarferlið getur hafist mun fyrr með BIM en með hefðbundinni hönnun. Auk þess er hægt að nota líkanið við líftímastjórnun, það er rekstur og viðhald, sem býður upp á mikla möguleika fyrir verkkaupa. En svör viðmælenda voru í takt við þær erlendu rannsóknir sem farið var fyrir í kafla 8. Samkvæmt þeim er hægt að ná fram töluverðum sparnaði á byggingarkostnaði auk þess sem áætlanir standast frekar sem unnar eru í BIM og frávík kostnaðaráætlana minnka. En samkvæmt viðmælendum rannsóknarinnar eru verkkaupar á Íslandi almennt ekki að nýta sér BIM.

16.2 Verktakar (a)

Samkvæmt viðmælendum rannsóknarinnar eru íslenskir verktakar nánast ekkert farnir að nýta sér BIM þrátt fyrir að ávinningur þeirra af innleiðingu kerfisins væri mikill. Til dæmis hafa verktakafyrirtæki eins og Pihl og Son og Skanska náð frábærum árangri með BIM. Með BIM líkönum geta verktakar náð í mikið magn upplýsinga um mannvirkið sem hjálpar þeim til dæmis við

skipulagningu verkefnisins og eykur nákvæmni áætlana. Auk þess er mun auðveldara að átta sig á flækjustigi verkefna í þrívídd og verktakar átta sig betur á hvort þeir ráði við verkefnið eða ekki. Það er yfirleitt í höndum aðalverktaka að sjá um verkefnastjórn við framkvæmdina en eins og fram kom í forathugun er verkefnastjórinn gríðarlega mikilvægur. Með upplýsingum úr BIM getur verkefnastjórinn haft mun betri yfirsýn með verkinu og séð hvort það sé á áætlun eða ekki.

16.3 Hönnuðir (a)

Samkvæmt viðmælendum býður BIM upp á marga kosti fyrir hönnuði, til dæmis er hægt að hefja hönnunarferlið fyrr þar sem aðrir hönnuðir geta strax hafist handa. Því fyrr sem hönnunarferlið hefst því betra er það fyrir aðra aðila sem koma að mannvirkjagerðinni þar sem þeir geta þá fyrr byrjað skipulagningu og undirbúning. Einnig töldu viðmælendur það mikinn kost að hægt væri að breyta einum hlut á einni teikningu og um leið breyttist hann á öðrum teikningum. Ef líkanið er vel unnið er hægt að ná í nákvæmar magntölur til að nota við gerð útboðsgagna sem er mikill tímasparnaður. Jafnframt nefndu nokkrir hönnuðir það kost að forritið væri í þrívídd sem eykur yfirsýn og auðveldar þeim þannig vinnu sína. Þar sem BIM er hlutbundið forrit er hægt að taka inn íhluti frá framleiðendum inn í líkanið sem getur sparað hönnuðum vinnu þar sem þeir þurfa ekki að teikna slíka hluti. Samkvæmt erlendum rannsóknnum eykst upplýsingaflæði milli hagsmunaaðila með notkun BIM. En þeir þættir sem nefndir voru hér að ofan, til dæmis árekstrarprófun milli fagaðila, nákvæmari áætlanagerð og fleira, eiga að sjálfsögðu líka við hönnuði eins og aðra aðila. Því er ljóst að ávinningur hönnuða af notkun BIM er mikill en þeir viðmælendur sem höfðu reynslu af BIM sögðu að það yrði erfitt að snúa til baka þegar hönnuðir er byrjaðir að nota BIM forrit.

16.4 Fjárhagslegur ávinningur (b)

Í verkefninu er varpað ljósi á umhverfi, ferli og þau mistök sem geta átt sér stað í mannvirkjagerð. Efnahagslegt umhverfi hefur verið greininni afar óhagstætt síðastliðin ár þar sem byggingarvísitala og vísitala neysluverðs hafa hækkað gríðarlega mikið. Ferli mannvirkjagerðar er umfangsmikið þar sem margir

ólíkir aðilar koma saman með mismundandi markmið, en slíkar aðstæður kalla á mikið skipulag.

Frændur okkar Norðmenn og Danir hafa rannsakað mistakakostnað í greininni og ef þær niðurstöður eru heimfærðar á Ísland má áætla að kostnaður vegna mistaka hafi numið 12 milljörðum króna árið 2012. Ennfremur kemur fram í rannsóknum Norðmanna og Dana að í kringum helming mistakakostnaðar meggi rekja til hönnunarmistaka. Því má áætla að kostnaður vegna hönnunarmistaka í íslenskri mannvirkjagerð árið 2012 hafi numið 2,4 milljörðum króna (2% af heildar veltu) – 6 milljarða króna (5% af heildar veltu).

Samkvæmt erlendum rannsóknum er hægt að ná fram umtalsverðum sparnaði með aðferðafræðinni BIM eða 0,5 – 14% á byggingarkostnaði. Hjá þátttakendum sem voru að prófa aðferðafræðina í fyrsta skipti var að nást 0,5-2% sparnaður á byggingarkostnaði. Viðmælendur í viðtalsrannsókninni voru sammála því að hægt væri að ná fram sparnaði með BIM, til dæmis með árekstrarprófun milli fagaðila sem minnka líkurnar á hönnunarmistökum seinna í ferlinu og að hönnunarferlið hefist fyrr. Í kafla 5.1 var farið yfir frábæran árangur sem náðist við árekstrarprófun (koma í veg fyrir hönnunarmistök) við byggingu Hilton hótels í USA þar sem komið var í veg fyrir 590 árrekstra en með þessu náðist bæði að spara fjármagn og tíma.

Samkvæmt viðtalsrannsókn verkefnisins eru margir íslenskir hönnuðir komnir vel á veg við innleiðingu á BIM og margir þeir orðnir færir í að útbúa BIM líkön. Eins og sjá má hér að ofan má áætla að hönnunarmistök séu 2-5% af heildar veltu greinarinnar en hægt er að koma í veg fyrir mikið af hönnunarmistökum með árekstrarprófunum í BIM. Auk þess benda niðurstöður erlendra rannsókna til þess að hægt sé að ná fram 0,5-2% sparnaði á byggingarkostnaði hjá þeim sem eru að hefja innleiðingu. Því má færa góð rök fyrir því út frá ofangreindum upplýsingum að með innleiðingu á BIM í íslenska mannvirkjagerð væri hægt að ná fram 2% nettó sparnaði á byggingarkostnaði að meðaltali (sjá kafla 2.2.2 – 8- 15). Ef slíkur sparnaður næðist hjá öllum í greininni hefði hann numið 2,4 milljörðum króna árið 2012.

Með tíð og tíma gæti sparnaðurinn hins vegar orðið meiri, en eins og fram hefur komið, bæði í viðtalsrannsókninni og í niðurstöðum erlendra rannsókna, ræðst sparnaður af BIM á því hversu vel aðilar innan aðfangakeðju mannvirkjagerðar ná að tileinka sér aðferðafræðina. Slíkt sést best á niðurstöðum erlendra rannsókna þar sem sum verkefni hafa náð fram miklum sparnaði (10-14%) á meðan önnur hafa náð „litlum“ sparnaði (0,5-2%) (sjá kafla 8).

Í flestum tilvikum eru mannvirki fjármögnuð með húsnæðisláni en munurinn á Íslandi og flestum öðrum löndum í heiminum er sá að íslensk húsnæðislán eru venjulega verðtryggð (sjá kafla 2.1.4.4-9). Til dæmis eru lán ekki verðtryggð í þeim löndum sem BIM var rannsakað í kafla 8 hér að ofan og því er „einungis“ fjárhagslegur ávinningur metinn í lækkun á byggingarkostnaði við framkvæmdina. Með því að ná fram sparnaði á byggingarkostnaði hérlandis lækkar lánsupphæðin sem skilar sér í lægri fjármagnskostnaði út lánstíma. En þetta sást glögglega í þeim þremur lausnum sem voru reiknaðar fyrir leigufélagið í kafla 9, þar sem gríðarlegur munur var á rekstrarumhverfi milli lausna vegna áhrifa fjármagnskostnaðar (vextir og verðbætur). Því má í raun segja að fjárhagslegur ávinningur íslenskra aðila væri meiri en hjá kollegum þeirra erlendis vegna hærri fjármagnskostnaðar (vextir og verðbætur) á Íslandi.

16.5 Innleiðing (a-b)

Samkvæmt viðmælendum er innleiðing á aðferðafræðinni BIM tímafrek aðgerð en til að ná tökum á BIM höfðu viðmælendur notast við námskeið og hermiðemi en það felur í sér kostnað. Þegar kostnaður við BIM búnað er settur í samhengi við þann sparnað sem hægt er að ná er hann hins vegar langt frá því að vera dýr (sjá kafla 13). Fyrir þá sem eru að huga að innleiðingu á BIM er nauðsynlegt að gefa sér góðan tíma og sýna þolinmæði þar sem BIM er ekki eitthvað sem hægt er að læra á einu kvöldi. En samkvæmt viðmælendum eru þeir stöðugt að læra af hverju verkefni sem þeir vinna að og verða betri í aðferðafræðinni. Eins og fram hefur komið (sjá kafla 3) tekur breytingarferlið langan tíma og er kostnaðarsöm aðgerð sem getur haft þau áhrif að frammistaða starfsmanna versnar til skamms tíma en til lengri tíma litið skilar breytingin sér í betri frammistöðu, sem skilar sér í betra mannvirki.

Samkvæmt viðmælendum eru aðrir aðilar (verktakar og almennir verkkaupar) ekki að nýta sér aðferðafræðina. Í ljósi þess má áætla að íslensk mannvirkjagerð sé á milli þroskastigs 1 og 2 við innleiðingu á BIM. En á fyrsta þroskastigi eru BIM forrit notuð að hluta til en upplýsingaflæði milli hönnuða er enn ábótavant en á þroskastig tvö er samstarf milli hönnuða orðið virkara og þeir jafnframt farnir að setja saman líkön sem búin eru til í mismunandi BIM forritum. Þetta er sama niðurstaða og Ingibjörg Birna Kjartansdóttir fékk í meistara verkefni sínu árið 2011 (sjá kafla 4.1). Því er ljóst að aðrir aðilar (verkkaupar og verktakar) þurfa að fara að nýta sér aðferðafræðina til að Ísland komist á þroskastig þrjú og fjögur.

Eins og fram kom í kafla 4.1 er talið að söluaukning á BIM forritum í heiminum komi til með að rúmlega fjórfaldast á næstu 7 árum. Því er lykilatriði fyrir aðila tengda mannvirkjagerð á Íslandi að hefja innleiðingu þar sem allt bendir til þess að BIM sé komið til að vera.

Hér að framan hefur verið gerð gein fyrir ávinningi af innleiðingu BIM og ljóst er að ávinningurinn er töluverður en hversu mikill hann er ræðst af því hversu vel fólki gengur að tileinka sér aðferðafræðina, læra á hana og nýta. En jafnframt þarf að hafa það í huga að aðferðafræðin kreftst mikils upplýsingaflæðis og samvinnu allra hagsmunaaðila til að hægt sé að ná hámarks árangri. Því er mikilvægt að velja réttu aðilana í verkefnið.

Aðferðafræðin BIM nýtist ekki bara verkkaupum heldur nýtist hún öllum þeim fjölmörgu aðilum sem koma að mannvirkjagerð. Nú hefur hvoru tveggja efnahagsumhverfi og ytra umhverfi mannvirkjagerðar breyst mikið á síðustu árum og standa því aðilar greinarinnar frammi fyrir nýjum og í raun óljósum tímum. En nýir tímar kalla á nýja og breytta starfshætti en þar kemur BIM sterkt til leiks og ætti að geta eflt greinina svo um munar til frambúðar.

17 Hagnýtt gildi

Í sinni einföldust mynd má segja að hagnýtt gildi þessa verkefnis sé að hjálpa þeim ótal mörgu hagsmunaaðilum mannvirkjagerðar að taka upplýsta ákvörðun um hvort aðferðafræðin BIM sé gagnleg í framþróun atvinnugreinar viðkomandi aðilar. Í verkefninu er BIM skoðað út frá sjónarhóli allra aðila sem tengjast mannvirkjagerð á beinan hátt, það er verkkaupa, hönnuða og verktaka. Auk þess ættu margir aðrir aðilar að geta nýtt sér verkefnið til að kynna sér aðferðafræðina betur svo sem framleiðendur, heildverslanir og fjöldi annarra aðila.

Í verkefninu er farið yfir sveiflukennt ytra umhverfi mannvirkjagerðar á Íslandi og það gríðarlega mikla ferli sem á sér stað þegar nýtt mannvirki er reist. Til að allt gangi upp þarf skipulag og undirbúningur að vera til mikillar fyrirmyndar, en ef því er ábótavant er voðinn vís.

Í verkefninu er kynnt til leiks ný aðferðafræði (BIM) við mannvirkjagerð sem ætlað er að stuðla að betri starfsháttum innan greinarinnar sem leiða jafnframt af sér ávinning í formi tíma- og peningasparnaðar. Einnig býður hún upp á frábæra möguleika í skipulags- og undirbúnings vinnu við framkvæmdarferli mannvirkjagerðar. Erlendar rannsóknir sem eru til umfjöllunar í verkefninu benda allar til þess ávinningur sé talsverður. En viðmælendur rannsóknar þessa verkefnis töldu aðferðafræðina geta bætt og stuðlað að betri starfsháttum innan greinarinnar og auk þess sparað tíma og peninga.

Eins og fram hefur komið þá er líklegt að fjárhagslegur ávinningur af innleiðingu BIM á Íslandi geti orðið mun meiri en annars staðar í heiminum þar sem lánakjör á Íslandi eru að jafnaði verri en annars staðar. Bæði eru vextir af skammtíma lánum mjög háir á Íslandi og langtíma lán eru verðtryggð. Því er afar mikilvægt að lækka byggingarkostnað við framkvæmdina en það leiðir jafnframt til að lærri fjármagnskostnaðar. Því ætti hvatinn til að innleiða BIM á Íslandi í raun að vera meiri en annars staðar í heiminum þar sem fjárhagslegur ávinningur yrði í raun meiri hér.

Í verkefninu er gerð rannsókn meðal hönnuða á Íslandi, þar sem farið er yfir kosti og ókosti BIM auk þess sem innleiðingarferlið er skoðað ítarlega. Þær

upplýsingar ættu að koma sér vel fyrir þá aðila sem eru að huga að innleiðingu á BIM. Auk þess er breytingaferli útskýrt nákvæmlega í kafla 3 og hvað beri að varast við innleiðingu. En bæði í viðtalsrannsókninni og breytingarkaflanum er farið yfir það hvernig best sé að haga breytingum sem fylgja innleiðingu á BIM, bæði fræðilega séð og af reynslu hönnuða á Íslandi.

Í verkefninu er farið yfir hvernig staðan á innleiðingu á BIM er á Íslandi. Niðurstöður viðtalsrannsóknarinnar gáfu til kynna að hönnuðir séu komnir vel á veg í innleiðingu á BIM. En eins og fram kom þar eru margar hönnunarstofur farnar að vinna að verkefnum erlendis þar sem BIM er krafist. Því er ljóst að margir hönnuðir á Íslandi eru orðnir færir í að útbúa BIM líkön sem eru jákvæð tíðindi fyrir aðra aðila. En ekki er hægt að innleiða BIM fyrir aðra aðila (verkkaupa og verktaka) ef hönnuðir eru ekki færir um að útbúa BIM líkön. Þess ber að geta að verkkaupar eru þeir einu sem geta krafist BIM en með því að gera það eru þeir í raun að gera bæði hönnuðum og verktökum greiða. Þetta er að minnsta kosti raunin þegar horft er til þess að þegar ríkið hefur krafist BIM hönnunar hefur það veitt þeim hönnuðum samkeppnisforskot á innlendum og erlendum mörkuðum þar sem BIM er skilyrði.

Verkefnið er meðal annars hagnýtt að því leiti að hér er um að ræða afar ítarlega yfirferð á öllu sem tengist BIM og hvernig það passar við íslenskt umhverfi. Því ætti það í raun að nýtast öllum þeim sem hyggjast taka aðferðafræðina í notkun, sama úr hvaða átt þeir koma.

Tilvísanir / Heimildalisti

Ritaðar heimildir

- Akcamete. A, Akinci. B, Atasoy. G, Kiziltas. S og Leite. F. (2011). Analysis of modeling Effort and impact of different levels of detail in building information models. *Automation in construction*, 20 (5), 601-609.
- Anthony, R.N, Govindarajan,V. (2007). *Managment control systems*. Singapore: McGraw-Hill.
- Azhar. S. (2011). Building information modeling (BIM): Trends, Benefits, Risk and Challenges for the AEC industry, *Leadership & management in engineering*, 11(3), 242-252.
- Azhar. S, Hein. M og Sketo. B. (2008). Building infromation modeling: benefits, risks and Challenges, *Auburn University*, 1-11
- Ágúst Einarsson. (2007). *Rekstarhagfræði*. Reykjavík: Mál og menning
- Arion banki. (2012). *Fasteignamarkaður á göngudeild:Horfur til 2014*. (Greiningardeild). Reykjavík: Arion banki.
- Barlish. K og Sullivan. K. (2012). How to measure the benefits of BIM – A case study Approach, *Automation in construction*, 24(1), 149-159.
- Beck. S.M og Perry. J.C. (2008). The definition and function of interview structure in Psychiatric and psychotherapeutic interviews. *Psychiatry*. 71(1), 1-12.
- Becerik. G.B, Calis. G og Jazzizadeh. F. (2012). Application areas and data requirements for BIM-Enabled facilities management, *Journal of construction Engineering and management – asce*, 138(3), 431-442.
- Bodie. Z, Marcus. A, Kane. A. (2009). *Investments*. New York: McGraw-Hill.
- Brigham, E.F og Houston, J.F. (2007). *Fundamentals of financial management*. Mason: South-western cengage learning.
- Bryde, D., Broquetas, M. og Volm, M. J. (2013). The project benefits of building infromation modelling. *Journal of Project Management*, 1-10
- Björn Karlsson (2012). Mikilvægt skref til framþróunar. *Verktækni*, 3(1), 9.
- Clarke. B og Rajendran. S. (2011). Building information modeling safety benefits & Opportunities. *Professional safety*. 55(10) 44-51.
- Coulter. M, Robbins. P. S. (2007). *Management*. New Jersey: Pearson education.
- Dennis Jóhannesson, Hjörleifur Stefánsson, Málfríður Kristjánsdóttir, Nikulás Másson,

- Sigríður Ólafsdóttir. (2000). *Leiðsögn um íslenska byggingarlist*. Reykjavík: Arkitektafélag Ísland.
- Eastman. C, Liston. K, Sacks. R og Teicholz. P. (2008). *BIM handbook – A guide to building Information modeling for owners, managers, designers, enginers, and contractors*. New Jersey: John Wiley & Sons, inc.
- Edward. D.J, Goh. Y.M, Lopez.R og Love.P. (2012). Error begat: Design error analysis and Prevention in social infrastructure projects. *Accident analysis and prevention*, 48(10), 100-110.
- Fedor. B. D, Herold. M. D. (2008). *Change the way you lead change leadership strategies That really work*. Stanford: Stanford business books
- Garðar Örn Þorvarðarson. (2010). *Verkefnastjórnun í byggingaiðnaði*. Óbirt B.s lokaverkefni: Háskólinn á Bifröst: Viðskiptafræði.
- Guðjóna Björk Siðgurðardóttir. (2008). *Gæðastjórnun verktaka í mannvirkjagerð á Íslandi*. Óbirt M.A lokaverkefni: Háskólinn á Bifröst. Hagnýt hagnýsindi.
- Heifetz, R. A. og Laurie, D. L. (1997). The Work of Leadership. *Harvard Business Review*, 75(1), 124-134.
- Heifetz, R. A. og Linsky, M. (2002). *Leadership on The Line Staying Alive through the Dangers of Leading*. Boston: Harvard Business School Publishing.
- Hewage og Porwal. (2012). *Building information modeling (BIM) partering framework for Public construction projects*. Automation in construction.
- Horngren. C.T, Datar.S.M, Rajan. M.V. (2012). *Cost accounting*. Essex: Person Education Limited.
- Ingibjörg Birna Kjartansdóttir. (2011). *BIM adoption in Iceland and Its relation to lean construction*. Óbirt M.S lokaverkefni: Háskólinn í Reykjavík: Framkvæmdastjórnun. Háskólinn á Bifröst: Viðskiptafræði.
- Irizarry. J, Karan. P.E og Jalaei. F. (2013). Intergrating BIM and GIS to improve the visual Monitoring of construction supply chain management. *Automation in Construction*, 31(1), 241-254
- Johnson. G, Whittington. Scholes. K. (2011). *Exploring Strategy*. Essex: Pearson Education Limited.
- Kotter, J. P. og Schlesinger, L. A. (2008). Choosing strategies for change. *Harvard Business Review*, 86(7,8), 130-139.

Lög um ársreikninga nr. 3/2006.

Lög um mannvirki nr. 160/2010.

Merriam, B.S. (2009). *Qualitative research – A guide to design and implementation*.

San Francisco: Wiley

Mintzberg, H. (2011). *Managing*. San Francisco: Berrett-Koehler Publishers

Seitel, F.P. (2011). *The Practice of Public Relaton*. New Jersey: Person Education.

Smith, Deke. (2007). An introduction to Building Information Modeling (BIM), *Journal of Builing Information Modeling*. 10(1), 12.

Óskar Valdimarsson. (2006). Upplýsingalíkon – Ný nálgun við mannvirkjagerð.

Verktækni, 10(1), 12-16.

Páll Sigurðsson. (2008) *Lögfræðiorðabók með skýringum*. Reykjavík: CODEX .

Raineri, A.B. (2011). Change management pratices: Impact og perceived change results.

Journal of business research. 64(3), bls 266-272.

Robert Snyder. (2012). *Closing thoughts: Marking sense of it all*.

Chicago: McCormick Northwestern engineering.

Succar, Bilal. (2009). Building information modelling framework: A research and delivery

Foundation for industry stakeholders, *Automation In construction*, 18 (3), 357-375.

Rafrænar heimildir

Alþingi Íslands. (e.d-a). *Um Alþingishúsið*. Sótt þann 1. maí. 2013 af

http://www.althingi.is/vefur/um_hus.html

Autodesk. (e.d). *About Autodesk*. Sótt þann 22. janúar 2013 af

<http://usa.autodesk.com/company/>

Autodesk. (e.d-a). *Level of development*. Sótt þann 22. apríl 2013 af

<http://bimcurriculum.autodesk.com/lesson/lesson-3-things-consider-when-modeling>

Autodesk. (e.d-b). *Autodesk BIM 360 Glue* . Sótt þann 24. apríl 2013 af

<http://www.youtube.com/playlist?list=PL71F6A665981BE491>

Arion banki. (e.d-a). *Markaðspunktar*. Sótt þann 7. febrúar 2013 af

http://www.arionbanki.is/library/Skrar/Greiningar/onnur-efnahagsmal/140512_hagvoxtur.pdf

Arnaldur Kristjánsson, Stefán Ólafsson. (2012). *Umfang kreppunnar og afkoma ólíkra Tekjuhópa*. Reykjavík: Sótt þann 30. janúar. 2013 af

http://www.velferdarraduneyti.is/media/rit-og-skyrslur2012/Skyrsla_I-Umfang_kreppunnar_og-afkoma_olikra_tekjuhopa--Lokautgafa.pdf

- Ársæll Valfells, Sigurður Steingrímsson. (e.d). *Gerð viðskiptaáætlana*. Sótt þann 22. janúar. 2013. af <http://nmi.is/media/4533/GerdVidskiptaa%C3%A6tlana.pdf>
- Bauhaus. (e.d). *Forsíða*. Sótt þann 10. maí. 2013 af <http://www.bauhaus.is/>
- Behance. (e.d). *BIM Facility management (6D BIM)*. Sótt þann 3. maí. 2013 af [http://www.behance.net/gallery/BIM-Facility-Management-\(6D-BIM\)/2671795](http://www.behance.net/gallery/BIM-Facility-Management-(6D-BIM)/2671795)
- Berglind Hallgrímsdóttir, Karl Friðriksson, Jón Hreinsson. (e.d). *Verkefnastjórnun – að gera Hlutina rétt*. Sótt þann 10. Febrúar. 2013 af <http://www.nmi.is/media/13844/Verkefnastj%C3%B3rnun.pdf>
- BIM Ísland. (2011). *Upplýsingalíkön Mannvirkja*. Sótt þann 7. febrúar 2013 af <http://www.fsr.is/lisalib/getfile.aspx?itemid=7060>
- Buildipedia. (e.d). *The daily life of building information modeling (BIM)*. Sótt þann 14. mars 2013 af <http://buildipedia.com/aec-pros/design-news/the-daily-life-of-building-information-modeling-bim?print=1&tmpl=component>
- Building smart. (2008). *Notendahandbók*. Sótt þann 6. febrúar. 2013 af <http://www.fsr.is/lisalib/getfile.aspx?itemid=7061>
- Byggingafræðingafélag Íslands. (e.d). *Félagaskrá*. Sótt þann 30. janúar. 2013 af <http://www.bfi.is/sidur/felagatal>
- CAD addict. (e.d). *List of BIM software and providers*. Sótt þann 6. febrúar. 2013 af <http://www.cad-addict.com/2010/03/list-of-bim-software-providers.html>
- Efnahags- og viðskiptaráðuneytið. (2011). *Skýrsla nefndar sem kanni forsendur verðtryggingar á Ísland*. Sótt þann 4. mars. 2013 af <http://www.atvinnuvegaraduneyti.is/media/Acrobat/Skyrsla-nefndar-umverdtryggingu.pdf>
- E. Pihl & Son A. (e.d). *E.Pihl & Søn Bridge BIM project*. Sótt þann 16. apríl 2013 af <http://www.youtube.com/watch?v=65hv1kOSLZM>
- Ferdinand Hansen. (e.d). *Er gæðastýringu verktaka ábótavant?* Sótt þann 14. mars. 2013 af <http://www.si.is/si-docs/greinar/03.pdf>
- Félag sjálfstætt starfandi arkitekta. (2010). *Arkitektar á Íslandi haustið 2010*. Sótt þann 30. janúar. 2013 af <http://www.fssa.is/files/bcjjahhjee/Stada-arkit-haust-2010-20-okt.pdf>
- Fischer. M og Kunz. J. (2004). *The scope and role of information technology in construction*. Sótt 4. Maí. 2013 af <http://cife.stanford.edu/sites/default/files/TR156.pdf>
- Fjármála- og efnahagsráðuneytið. (2002). *Verklagsreglur um tilhögun frumathugunar, Áætlunargerðar og verklegrar framkvæmdar við opinberar framkvæmdir*. Sótt þann 8. febrúar. 2013 af http://www.fjarmalaraduneyti.is/log_og_reglugerdir/nr/15935

- Forsætisráðuneytið. (2008). *Ímynd Íslands – Styrkur staða og stefna*. Sótt þann 20. mars. 2013 af http://www.forsaetisraduneyti.is/media/Skyrslur/Forsaetisr_arsskyrsla_END2.pdf
- Fung, P, Wong, A, (1997). *TMQ in the construction industry in Hong Kong a supply chain Management perspective*. Sótt þann 12. febrúar. 2013. Af http://www.library.ln.edu.hk/eresources/etext/hkibs/hkws_0014.pdf
- Grétar J. Guðmundsson. (1998). *Húsnæðisrannsóknir*. Sótt þann 2. maí. 2013 af <http://www.mbl.is/greinasafn/grein/397643/>
- Gunnlaugur Júlíusson. (e.d). *Gerð fjárhagsáætlunar. Hlutverk sveitastjórnar og nefnda*. Sótt þann 11. febrúar. 2013 af <http://www.samband.is/media/namskeid-fyrir-sveitarstjornarmenn/Fjarhagsaaetlun-GAJ.pdf>
- Hagstofa Íslands. (e.d-a). *Forsíða*. Sótt þann 30. janúar. 2013 af <http://hagstofan.is/>
- Hagstofa Íslands. (e.d-b). *Mannfjöldi eftir kyni, aldri og sveitafélögum 1998-2012*. Sótt þann 30. janúar. 2013 af <http://hagstofan.is/?PageID=2593&src=/temp/Dialog/varval.asp?ma=MAN02001%26ti=Mannfj%F6ldi+eftir+kyni%2C+aldri+og+sveitarf%E9l%F6gum+1998%2D2012+%2D+Sveitarf%E9lagaskipan+hvers+%E1rs++++++%26path=../Database/mannfjoldi/sveitarfelog/%26lang=3%26units=Fj%F6ldi>
- Hagstofa Íslands. (e.d-c). *Fjöldi starfandi eftir starfsstéttum, kyni og landssvæðum 1991-2011 1998-2012*. Sótt þann 30. janúar. 2013 af <http://hagstofan.is/?PageID=2594&src=/temp/Dialog/varval.asp?ma=VIN01101%26ti=Fj%F6ldi+starfandi+eftir+starfsst%E9ttum%2C+kyni+og+landssv%E6%F0um+1991%2D2011+++%26path=../Database/vinumarkadur/rannsoknir/%26lang=3%26units=Fj%F6ldi>
- Hagstofa Íslands. (e.d-d). *Starfandi eftir atvinnugreinum, kyni og búsetu 1991-2008, ÍSAT95 (NACE Rev.1)*. Sótt þann 30. janúar. 2013 af <http://hagstofan.is/?PageID=2594&src=/temp/Dialog/varval.asp?ma=VIN01102%26ti=Starfandi+eftir+atvinnugreinum%2C+kyni+og+b%FAsetu+1991%2D2008%2C+%CDSAT95+%28NACE+Rev%2E+1%29+%26path=../Database/vinumarkadur/rannsoknir/%26lang=3%26units=Fj%F6ldi>
- Hagstofa Íslands. (e.d-e). *Starfandi eftir atvinnugreinum, kyni og búsetu 2008-2011, ÍSAT95 (NACE Rev.2)*. Sótt þann 30. janúar. 2013 af <http://hagstofan.is/?PageID=2594&src=/temp/Dialog/varval.asp?ma=VIN01102%26ti=Starfandi+eftir+atvinnugreinum%2C+kyni+og+b%FAsetu+1991%2D2008%2C+%C>

[DSAT95+%28NACE+Rev%2E+1%29+%26path=../Database/vinnumarkadur/rannsoknir/%26lang=3%26units=Fj%F6ldi](http://hagstofan.is/?PageID=2594&src=/temp/Dialog/varval.asp?ma=VIN01101%26ti=Fj%F6ldi+starfandi+eftir+starfsst%2C+kyni+og+landssv%2E+1991%2D2011+++%26path=../Database/vinnumarkadur/rannsoknir/%26lang=3%26units=Fj%F6ldi)

Hagstofa Íslands. (e.d-f). *Fjöldi starfandi eftir starfsstéttum, kyni og landsvæðum 1991-2011.*

Sótt þann 30. janúar. 2013 af

<http://hagstofan.is/?PageID=2594&src=/temp/Dialog/varval.asp?ma=VIN01101%26ti=Fj%F6ldi+starfandi+eftir+starfsst%2C+kyni+og+landssv%2E+1991%2D2011+++%26path=../Database/vinnumarkadur/rannsoknir/%26lang=3%26units=Fj%F6ldi>

Hagstofa Íslands. (e.d-g). *Breytingar á vísitölu neysluverðs frá 1988.* Sótt þann 30. janúar.

2013 af

<http://hagstofan.is/?PageID=2599&src=/temp/Dialog/varval.asp?ma=VIS01000%26ti=Breytingar+%E1+v%EDsit%F6lu+neysluver%F0s+fr%E1+1988%26path=../Database/visitotur/neysluverd/%26lang=3%26units=V%EDsit%F6lur%20og%20hlutf%F6ll>

Hagstofa Íslands. (e.d-h). *Byggingar íbúðarhúsa ó öllu landinu 1970-2011.* Sótt þann 30.

janúar. 2013 af

<http://hagstofan.is/?PageID=670&src=/temp/Dialog/varval.asp?ma=IDN03001%26ti=Bygging+%EDb%FA%F0arh%FAsa+%E1+%F6llu+landinu+1970%2D2011+%26path=../Database/idnadur/byggingar/%26lang=3%26units=Fj%F6ldi/r%F6lur>

Hagstofa Íslands. (e.d-i). *Gjaldþrot fyrirtækja eftir mánuðum og bálkum atvinnugreina 2008-*

2012 . Sótt þann 31. janúar. 2013 af

<http://hagstofan.is/?PageID=2595&src=/temp/Dialog/varval.asp?ma=FYR03001%26ti=Gjald%FERot+fyrirt%E6kja+eftir+m%E1nu%F0um+og+b%E1lkum+atvinnugreina+2008%2D2012%26path=../Database/fyrirtaeki/gjaldthrot/%26lang=3%26units=Fj%F6ldi>

Hagstofa Íslands. (e.d-j). *Breytingar mánaðarlegra launavísitölu 1989-2012.* Sótt þann 3.

febrúar. 2013 af

<http://hagstofan.is/?PageID=2599&src=/temp/Dialog/varval.asp?ma=VIS04000%26ti=Breytingar+m%E1na%F0arlegrar+launav%EDsit%F6lu+1989%2D2012++++++%26path=../Database/visitotur/launavisitala/%26lang=3%26units=V%EDsit%F6lur>

Hagstofa Íslands. (e.d-k). *Laun fullvinnandi launamanna á almennum vinnumarkaði eftir*

Starfsstétt og kyni 1998-2011 . Sótt þann 3. febrúar. 2013 af

<http://hagstofan.is/?PageID=2594&src=/temp/Dialog/varval.asp?ma=VIN02010%26ti=Laun+fullvinnandi+launamanna+%E1+almennum+vinnumarkaði+eftir+starfsst%2C+kyni>

[E9tt+og+kyni+1998%2D2011+%26path=../Database/vinnumarkadur/fulllaun/%26lang=3%26units=%DE%FAsundir%20kr%F3na](http://hagstofan.is/?PageID=2599&src=/temp/Dialog/varval.asp?ma=VIS03001%26ti=Byggingarv%EDsitala+1939%2D2013%26path=../Database/visitulur/byggingavisitala/%26lang=3%26units=V%EDsit%F6lur)

Hagstofa Íslands. (e.d-l). *Byggingarvísitala 1939-2013*. Sótt þann 11. Febrúar 2013 af

<http://hagstofan.is/?PageID=2599&src=/temp/Dialog/varval.asp?ma=VIS03001%26ti=Byggingarv%EDsitala+1939%2D2013%26path=../Database/visitulur/byggingavisitala/%26lang=3%26units=V%EDsit%F6lur>

Hagstofa Íslands. (e.d-m). *Heildarvelta eftir atvinnugreinum og tímabilum 2010-2012*. Sótt þann 15. Febrúar 2013 af

<http://hagstofan.is/?PageID=2595&src=/temp/Dialog/varval.asp?ma=FYR04101%26ti=Heildarvelta+eftir+atvinnugreinum+og+t%EDmabilum+2010%2D2012%26path=../Database/fyrirtaeki/veltutolur/%26lang=3%26units=Millj%F3nir%20kr%F3na>

Hagstofa Íslands. (e.d-n). *Heildarvelta eftir atvinnugreinum og tímabilum 2001-2010*. Sótt þann 15. Febrúar 2013 af

<http://hagstofan.is/?PageID=2595&src=/temp/Dialog/varval.asp?ma=FYR04202%26ti=Heildarvelta+eftir+atvinnugreinum+og+t%EDmabilum+2001%2D2010++++%26path=../Database/fyrirtaeki/veltutolur/%26lang=3%26units=Millj%F3nir%20kr%F3na>

Hagstofa Íslands. (e.d-o). *Rúmmetra- og fermetraverð í byggingarvísitöluhúsi frá 1987*. Sótt þann 15. maí 2013 af

<http://hagstofan.is/?PageID=2599&src=/temp/Dialog/varval.asp?ma=VIS03304%26ti=R%FAMmetra%2D+og+fermetraver%F0+%ED+byggingarv%EDsit%F6luh%FAsi+fr%E1+1987%26path=../Database/visitulur/byggingavisitala/%26lang=3%26units=Kr%F3nur>

Hannar. (e.d). *Reiknilíkan byggingarkostnaður* . Sótt þann 1. febrúar. 2013 af

<http://hannarr.com/index.php?id=18&activemenu=menu2>

Harald Ingvarsson. (2009). *BIM fyrir byrjendur*. Sótt þann 7. febrúar. 2013 af

<http://www.bim.is/Grein/tabid/77/smid/404/ArticleID/15/reftab/76/t/BIM%20%20fyrir%20byrjendur/Default.aspx>

Harpan. (e.d). *Byggingin*. Sótt þann 10. maí. 2013 af

<http://harpa.is/harpa/um-horpu/byggingin>

HR Council for the Nonprofit Sector. (e.d.). *Learning, Training & Development*. Sótt þann 9. apríl 2013 af <http://hrcouncil.ca/hr-toolkit/learning-implementing.cfm>

ISO. (e.d). *ISO 16739: 2013*. Sótt þann 16. maí. 2013 af

http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=51622

Íslandsbanki. (2013). *Vaxtatafla*. Sótt þann 18. febrúar 2013 af

<http://skjol.islandsbanki.is/servlet/file/store156/item5389/version119/20130201.pdf>

li.is, (e.d). *Forsíða*. Sótt þann 29. apríl. 2013 af <http://www.landsbankinn.is/>

Josephson. E. (1990). *Defects and defect costs in construction – A study of seven building*

Projects in Sweden. Sótt þann 20. febrúar. 2013 af <http://p2sl.berkeley.edu/2009-09-09/Josephson%201998%20Defects%20and%20Defect%20Costs%20in%20Construction.pdf>

Jón Gnarr. (2013). *Segir Hörpu kosta 17,5 milljarða*. Sótt þann 10. maí. 2013 af

http://www.mbl.is/frettir/innlent/2013/01/20/segir_horpu_kosta_17_5_milljarda/

Óskar Valdimarsson. (2006). *Gæðastjórnun við mannvirkjagerð*. Sótt þann 16. febrúar 2013

af <http://www.fsr.is/lisalib/getfile.aspx?itemid=2047>

Óskar Valdimarsson. (e.d). *Við stígum inn þegar kreppir að einkageiranum*. Sótt þann 20.

febrúar. 2013 af <http://www.fsr.is/lisalib/getfile.aspx?itemid=4080>

Pihl. (e.d). *Complex reinforcement in 3D*. Sótt þann 16. apríl 2013 af

<http://www.pihl-as.com/press/news/complex-reinforcement/>

Pike Research. (2012). *Building information modeling market to reach \$6.5 billion worldwide By 2020*. Sótt þann 7. febrúar 2013 af

<http://www.navigantresearch.com/newsroom/building-information-modeling-market-to-reach-6-5-billion-worldwide-by-2020>

Rannsóknasetur verslunarinnar. (2009). *Hagtölur rafgreina*. Sótt þann 31. janúar. 2013 af

http://www.sart.is/files/%7B5F5E2FC4-3CDD-4512-944B-D5391376198B%7D_Hagt%C3%B6lur%20rafgreina%20ma%C3%AD%2009.pdf

Reykjavíkurborg. (2011). *Ársskýrsla 2011 yfirlit um starfsemi og byggingarframkvæmdir í Reykjavík*. Sótt þann 31. janúar. 2013 af

http://reykjavik.is/Portaldata/1/Resources/skipbygg/byggingarmal/um_embaetti_bftr/rssk_rsla_2011.pdf

Revittize. (2011). *Photos and revit*. Sótt þann 19. apríl 2013 af

http://revittize.blogspot.com/2011_03_01_archive.html

Rsk. (2012). *Álagningarseðill og forsendur 2012*. Sótt þann 8. apríl 2013 af

<http://www.rsk.is/atvinnurekstur/framtal-og-alagning/alagningarsedill-og-forsendur/2012/nr/114>

Samtök iðnaðarins. (2009). *Byggingariðnaður má ekki stöðvast*. Sótt þann 27. janúar 2013 af

- <http://www.si.is/starfsgreinahopar/mannvirkjagerd/frettir-af-mannvirkjagerd/nr/3681>
- Samtök iðnaðarins. (2005). *Hátækni iðnaður – framtíðarsýn og spá*. Sótt þann 20. apríl. 2013 af http://www.si.is/media/pdf/1.3.05_2005_hataekni-spa-framtidarsyn-2005-11.pdf
- Samtök iðnaðarins. (e.d-a). *Mannvirkjagerð*. Sótt þann 26. janúar 2013 af <http://www.si.is/starfsgreinahopar/mannvirkjagerd/>
- Samtök iðnaðarins. (e.d-b). *Samspil áætlana við mannvirkjagerð*. Sótt þann 14. febrúar 2013. af <http://www.si.is/si-docs/greinar/19.pdf>
- Seðlabanki Íslands. (e.d). *Gengisskráning*. Sótt þann 30. janúar 2013 af <http://www.sedlabanki.is/gengi/gengisskraning/>
- Skanska. (2009). *Annual Report 2009*. Sótt þann 10. maí. 2013 af http://www.group.skanska.com/Global/Investors/Reports/2009/Annual_report/Skanska_Annual_Report_2009.pdf
- Skanska. (2010). *Worldwide*. Sótt þann 10. maí. 2013 af <http://www.group.skanska.com/Global/Media/Worldwide/2010/Worldwide-2-2010.pdf>
- SmartMarket Report. (2012). *The business value of BIM for infrastructure*. Sótt þann 6. febrúar. 2013 af http://images.autodesk.com/adsk/files/business_value_of_bim_for_infrastructure_smartmarket_report_2012.pdf
- Syracuse University. (2009). *Managing through Change A Manual for Managers*. Sótt þann 9. apríl. 2013 af <http://extensionhr.osu.edu/resources/change/changemanual.pdf>
- Tæknifræðingafélag Íslands. (e.d). *Um TFÍ*. Sótt þann 30. janúar 2013 af <http://www.tfi.is/um-tfi/>
- Velferðarráðuneytið. (2012). *Ekki verður deilt um þörf fyrir nýjan Landspítala*. Sótt þann 30. apríl. 2013 af <http://www.velferdarraduneyti.is/frettir-vel/nr/33356>
- Verkfræðingafélag Íslands. (e.d). *Um VFÍ*. Sótt þann 30. janúar 2013 af <http://www.vfi.is/um-vfi/>
- Vico Software. (e.d). *The 5D BIM workflow in Vico office*. Sótt þann 6. febrúar 2013 af <http://www.vicosoftware.com/5D-BIM-Workflow-in-Vico-Office/tabid/223771/Default.aspx>
- Vico Software. (e.d-a). *Vico cost planner*. Sótt þann 16. apríl 2013 af <http://www.vicosoftware.com/products/vico-office-cost-planner/tabid/85288/Default.aspx>

- Vico Software. (e.d-b). *Vico adds two dimensions to the balfour beatty – Parsons brinckerhoff BIM storm*. Sótt þann 16. Apríl 2013 af http://www.vicosoftware.com/blogs/the_project_doctor/tabid/53688/bid/76331/Vico-Adds-Two-Dimensions-to-the-Balfour-Beatty-Parsons-Brinckerhoff-BIM-Storm.aspx
- Vico Software. (e.d-c). *Vico office client featurers & benefits*. Sótt þann 16. apríl 2013 af <http://www.vicosoftware.com/products/vico-office-client-features-benefits/tabid/90516/Default.aspx>
- Vico Software. (e.d-d). *Why change to LBMS?*. Sótt þann 16. apríl 2013 af <http://www.vicosoftware.com/location-based-management-system/updating-construction-planning-to-lbms/tabid/208045/Default.aspx>
- Vico Software. (e.d-e). *Vico software introduce Vico office R3*. Sótt þann 16. apríl 2013 af <http://www.vicosoftware.com/0/vico-office-R3-BIM-software-for-construction/tabid/229424/Default.aspx>
- Vico Software. (e.d-f). *Scheduling with lean principles*. Sótt þann 16. apríl 2013 af <http://www.vicosoftware.com/0/blogs/fit-and-finnish/tabid/51274/bid/9476/Scheduling-with-Lean-Principles-Part-1.aspx>
- Vico Software. (e.d-g). *Vico office demos*. Sótt þann 16. apríl 2013 af <http://www.vicosoftware.com/vico-office-demos-bim-for-dummies/tabid/306193/Default.aspx>
- Vico Software. (e.d-h). *Vico office 4D manager*. Sótt þann 20. apríl. 2013 af <http://www.vicosoftware.com/products/vico-office-4d-manager/tabid/220879/Default.aspx>
- Vico Software. (e.d-i). *Kalkylering – Vico cost planner*. Sótt þann 20. apríl. 2013 af http://www.vicosoftware.se/sidor/visuell_kalkyl_i_3d.aspx
- Viðskiptaráð Íslands. (2011). *Sagan endalausa: Ekki frekari skattahækkanir*. Sótt þann 30. janúar 2013 af http://www.vi.is/files/Sko%C3%B0un%20V%C3%8D%20-%20Sagan%20endalausa_464275770.pdf
- Visualbuilding. (e.d). *Site map*. Sótt þann 15. apríl. 2013 af <http://www.visualbuilding.co.uk/articles-site-map/12-user-profile>
- Þjóðskrá Íslands. (2013). *Upplýsingar um leiguverð íbúðarhúsnæðis*. Sótt þann 8. apríl 2013 af <http://www.skra.is/Markadurinn/Markadsfrettir/Frett/~NewsID/4931>
- Þjóðskrá Íslands. (2013-a). *Verðsjá fasteigna*. Sótt þann 12. maí. 2013 af <http://www.skra.is/default.aspx?pageid=812>
- Þjóðskrá Íslands. (2004). *Ársskýrsla 2004*. Sótt þann 12. maí. 2013 af

<http://www.skra.is/lisalib/getfile.aspx?itemid=3867>

101 Skuggahverfi. (e.d). *Lindargata 37*. Sótt þann 10. maí. 2013 af <http://www.101skuggi.is/>

Munnlegar heimildir

Benedikt Magnússon, Byggingafræðingur. (2013). *Viðtal um áætlanagerð í mannvirkjagerð*.

Viðtal, 4. Febrúar.

Friðrik Ólafsson, Forstöðumaður byggingarsviðs SI. (2013). *Um nýja byggingarreglugerð*.

Viðtal, 31. janúar.

Jóhann Örn Guðmundsson, Verkfræðingur hjá Reinertsen. (2013). *Um BIM*.

Viðtal, 21. mars.

X, Framkvæmdastjóri leigufélags. (2013). *Um líklega EBITDA hlutfall*. Viðtal, 12. maí.

Viðauki 1 – Spurningalisti

Rannsókn:

- Af hverju völduð þið BIM?
- Hvernig gekk ykkur að innleiða aðferðafræðina BIM?
- Var innleiðingarferlið kostnaðarsamt?
- Hvaða áhrif hafði innleiðingin á frammistöðu ykkar í vinnunni?
- Hefur fyrirtækið ykkar notið einhvers ávinnings af því að nota BIM?
- Vitið þið til þess að verkkaupi hafi notið einhvers ávinnings af notkun BIM?
- Hvernig ganga samskipti á milli hönnuða við að búa til BIM líkan fyrir ákveðið mannvirki?
- Notið þig upplýsingar úr BIM til að búa til áætlanir t.d. kostnaðaráætlun, verk-og tímaáætlun o.fl.?
- Vita verkkaupar almennt að BIM er til?
- Gefur verkkaupi ykkur meiri tíma við hönnun í BIM en hefðbundna hönnun?
- Hvernig gengur framkvæmdaraðilum að nota BIM t.d. verktökum o.fl.?
- Er BIM að koma í veg fyrir mistök og þannig sóun á tíma, efni, peningum o.fl.?
- Bætir BIM gæði hönnunar, útboðsgögn og framkvæmdar?
- Bætir BIM samskipti meðal hönnuða, verkkaupa og framkvæmdaraðila?
- Samkvæmt frumathugun voru menn almennt á því að skipulag og stjórnun væri oft á tíðum mjög ábótavant við mannvirkjagerð, heldur þú að BIM geti eitthvað hjálpað til við stjórnun og skipulag?
- Í hvernig verkefnum teljið þið að BIM gagnist best og af hverju?
- Hvar eru íslendingar staddir við innleiðingu á BIM?
- Er BIM gallalaust?

Forathugun:

- Þekkir þú aðferðafræðina BIM?
- Hvað er mikilvægast í mannvirkjagerð?
- Hver er lykillinn að hinu fullkomna framkvæmdarferli?
- Hefur ytra umhverfið einhver áhrif á mannvirkjagerð?
- Hvað velur því að áætlanir standast ekki?

Viðauki 2 – Útreikningar dæmi (kafli 9)

Á við um allar lausnir (1-2-3)

Heildarfjöldi íbúða	24
Fjöldi 100fermetra íbúða	800
Fjöldi 80fermetra íbúða	640
Fjöldi 60fermetra íbúða	480
Heildarfjöldi fermetra	1920
Sameign 15% af heild	2.208
Áætlað leiguverð á fermetur 100fm 3herb	1.636 kr.
Áætlað leiguverð á fermetur 80fm 2herb	2.117 kr.
Áætlað leiguverð á fermetur 60fm 2herb	2.185 kr.
leiguverð á mán	3.712.936 kr.
Heildar leiguverð á ári m.v 100% nýtingu	44.555.232 kr.

Afskriftahlutfall fasteignar	2%
Nýting íbúða í leigu	90%
EBITA Hlutfall	60%
Skattur	20%
Árlega verðbólguþá	4,7%
Vextir af húsnæðisláni	3,5%
Lengd húsnæðisláns	50 ár
Áhættulausir vextir á markaði	2%
Markaðsvextir	4%
Beta gildi	1,5
CAPM ávöxtunarkrafa af eigin féi	5%
Fjármagnað með lánsféi	70%
Fjármagnað með eiginféi	30%
WACC allra lausna	3,46%
Byggingarkostnaður (lausn 1) á fermetur	305.000 kr.
Byggingarkostnaður (lausn 2) á fermetur	337.560 kr.
Byggingarkostnaður (lausn 3) á fermetur	274.500 kr.

Þróun söluverðs á fasteignamarkaði milli áranna 2004 og 2013

Meðal VNV 2004	227
Meðal VNV 2013	409
Breyting 04-13	80%
Fermetraverð 2004	166.000
Reiknað fermetraverð 2013 miðað við VNV 04-13	299.093
Raunverulegt fermetraverð 2013	230.000
Munur milli raunverulegs og reiknaðs	30,04%

(Sjá heimildir í kafla 9)

Þróun á heildar byggingarkostnaði milli áranna 2004 og 2013

Heildar byggingarkostnaður árið 2013	305.000
Heildar byggingarkostnaður árið 2004	114.000
Uppreiknaður miðað við hækkun á byggingarvísitölu	229.822
Munur á reiknuðum fyrir 2013 og raunverulegum fyrir 2013	33%
Hækkun á byggingarvísitölu milli 2004 og 2013	102%
Reiknaður heildar byggingarkostnaður á söluári	413.741
Fermetrafjöldi leigufélagsins	2.208
Áætlað söluverð eftir 10 ár	913.540.248
Söluverð fasteignar leigufélagsins	900.000.000

Söluhagnaður af fasteign (Lausn 1)	
Byggingarkostnaður	673.440.000
Afskrifað	- 121.219.200
Bókfært verð	552.220.800 kr.
Lán stendur í	596.971.712 kr.
Söluverð greitt	900.000.000
Bókhaldslegur hagnaður /tap	347.779.200
Prósentuhækkun eða lækkun við sölu	- 69.555.840
Innborgað nettó (FCF) á 10 ári	830.444.160

Söluhagnaður af fasteign (Lausn 2)	
Byggingarkostnaður	745.332.480
Afskrifað	- 134.159.846
Bókfært verð	611.172.634 kr.
Lán stendur í	660.700.889 kr.
Söluverð greitt	900.000.000
Bókhaldslegur hagnaður /tap	288.827.366
Prósentuhækkun eða lækkun við sölu	- 57.765.473
Innborgað nettó (FCF) á 10 ári	842.234.527

Söluhagnaður af fasteign (Lausn 3)	
Byggingarkostnaður	606.096.000
Afskrifað	- 109.097.280
Bókfært verð	496.998.720 kr.
Lán stendur í	537.274.541 kr.
Söluverð greitt	900.000.000
Bókhaldslegur hagnaður /tap	403.001.280
Prósentuhækkun eða lækkun við sölu	- 80.600.256
Innborgað nettó (FCF) á 10 ári	819.399.744

Sjóðstreymi Lausn 1											
Visitala neysluverðs spá	410	429	449	471	493	516	540	565	592	620	649
	Ár 0	Ár 1	Ár 2	Ár 3	Ár 4	Ár 5	Ár 6	Ár 7	Ár 8	Ár 9	Ár 10
Byggingarkostnaður	- 673.440.000 kr.										
Bókfært verð		673.440.000	659.971.200	646.502.400	633.033.600	619.564.800	606.096.000	592.627.200	579.158.400	565.689.600	552.220.800
Afskriftir		- 13.468.800	- 13.468.800	- 13.468.800	- 13.468.800	- 13.468.800	- 13.468.800	- 13.468.800	- 13.468.800	- 13.468.800	- 13.468.800
Rekstartekjur		41.984.395	46.023.672	48.186.784	50.451.563	52.822.787	55.305.458	57.904.814	60.626.340	63.475.778	66.459.140
Kostnaður		-16.793.758	-18.409.469	-19.274.714	-20.180.625	-21.129.115	-22.122.183	-23.161.926	-24.250.536	-25.390.311	-26.583.656
EBITA		25.190.637	27.614.203	28.912.071	30.270.938	31.693.672	33.183.275	34.742.889	36.375.804	38.085.467	39.875.484
Afskriftir		- 13.468.800	- 13.468.800	- 13.468.800	- 13.468.800	- 13.468.800	- 13.468.800	- 13.468.800	- 13.468.800	- 13.468.800	- 13.468.800
EBIT		11.721.837	14.145.403	15.443.271	16.802.138	18.224.872	19.714.475	21.274.089	22.907.004	24.616.667	39.875.484
Vaxtagjöld		-17.717.870	-18.632.000	-19.572.093	-20.538.569	-21.531.833	-22.552.268	-23.600.232	-24.676.061	-25.780.057	-26.912.493
Hagnaður fyrir skatt		-5.996.033	-4.486.597	-4.128.822	-3.736.432	-3.306.961	-2.837.793	-2.326.144	-1.769.056	-1.163.390	12.962.991
Afstemming		-	-	-	-	-	-	-	-	-	- 12.962.991
Skattur		-	-	-	-	-	-	-	-	-	- 2.592.598
Hagnaður eftir skatt		- 5.996.033	- 4.486.597	- 4.128.822	- 3.736.432	- 3.306.961	- 2.837.793	- 2.326.144	- 1.769.056	- 1.163.390	10.370.393
Afskriftir		13.468.800	13.468.800	13.468.800	13.468.800	13.468.800	13.468.800	13.468.800	13.468.800	13.468.800	
Greiðsluflæði		7.472.767	8.982.203	9.339.978	9.732.368	10.161.839	10.631.007	11.142.656	11.699.744	12.305.410	10.370.393
Söluhagnaður af húsi											830.444.160
Sjóðstreymi CF	-673.440.000	7.472.767	8.982.203	9.339.978	9.732.368	10.161.839	10.631.007	11.142.656	11.699.744	12.305.410	840.814.553
Afborgun langtímaláns		- 9.428.160	- 9.428.160	- 9.428.160	- 9.428.160	- 9.428.160	- 9.428.160	- 9.428.160	- 9.428.160	- 9.428.160	- 9.428.160
CF-Afborgun		- 1.955.393	- 445.957	- 88.182	304.208	733.679	1.202.847	1.714.496	2.271.584	2.877.250	831.386.393
NPV	1.475.835 kr.	IRR	3,48%								

Sjóðstreymi Lausn 2											
Visitala neysliverðs spá	410	429	449	3	493	516	540	565	592	620	649
	Ár 0	Ár 1	Ár 2	Ár 3	Ár 4	Ár 5	Ár 6	Ár 7	Ár 8	Ár 9	Ár 10
Byggingarkostnaður	-745.332.480 kr.										
Bókfært verð		745.332.480	730.425.830	715.519.181	700.612.531	685.705.882	670.799.232	655.892.582	640.985.933	626.079.283	611.172.634
Afskriftir	-	14.906.650	- 14.906.650	- 14.906.650	- 14.906.650	- 14.906.650	- 14.906.650	- 14.906.650	- 14.906.650	- 14.906.650	
Rekstartekjur		31.488.296	46.023.672	48.186.784	50.451.563	52.822.787	55.305.458	57.904.814	60.626.340	63.475.778	66.459.140
Kostnaður		-16.793.758	-18.409.469	-19.274.714	-20.180.625	-21.129.115	-22.122.183	-23.161.926	-24.250.536	-25.390.311	-26.583.656
EBITA		14.694.538	27.614.203	28.912.071	30.270.938	31.693.672	33.183.275	34.742.889	36.375.804	38.085.467	39.875.484
Afskriftir	-	14.906.650	- 14.906.650	- 14.906.650	- 14.906.650	- 14.906.650	- 14.906.650	- 14.906.650	- 14.906.650	- 14.906.650	-
EBIT		-212.112	12.707.553	14.005.421	15.364.288	16.787.022	18.276.625	19.836.239	21.469.155	23.178.817	39.875.484
Vaxtagjöld		-19.609.325	-20.621.042	-21.661.494	-22.731.146	-23.830.445	-24.959.815	-26.119.654	-27.310.331	-28.532.184	-29.785.512
Hagnaður fyrir skatt		-19.821.436	-7.913.489	-7.656.073	-7.366.858	-7.043.422	-6.683.190	-6.283.415	-5.841.176	-5.353.366	10.089.972
Afstemming		-	-	-	-	-	-	-	-	-	- 10.089.972
Skattur		-	-	-	-	-	-	-	-	-	- 2.017.994
Hagnaður eftir skatt	-	19.821.436	- 7.913.489	- 7.656.073	- 7.366.858	- 7.043.422	- 6.683.190	- 6.283.415	- 5.841.176	- 5.353.366	8.071.978
Afskriftir		14.906.650	14.906.650	14.906.650	14.906.650	14.906.650	14.906.650	14.906.650	14.906.650	14.906.650	
Greiðsluflæði	-	4.914.787	6.993.161	7.250.577	7.539.792	7.863.227	8.223.460	8.623.235	9.065.473	9.553.283	8.071.978
Söluhagnaður af húsi											842.234.527
Sjóðstreymi CF	-745.332.480	- 4.914.787	6.993.161	7.250.577	7.539.792	7.863.227	8.223.460	8.623.235	9.065.473	9.553.283	850.306.504
Afborgun langtímaláns	-	10.434.655	- 10.434.655	- 10.434.655	- 10.434.655	- 10.434.655	- 10.434.655	- 10.434.655	- 10.434.655	- 10.434.655	- 10.434.655
CF-Afborgun	-	15.349.442	- 3.441.494	- 3.184.078	- 2.894.863	- 2.571.428	- 2.211.195	- 1.811.420	- 1.369.182	- 881.371	839.871.850
NPV	-91.214.294	IRR	2,08%								

Sjóðstreymi Lausn 3											
Visitala neysluverðs spá	0	444.207.758	455.783.813	446.482.102	493	516	540	565	592	620	649
	Ár 0	Ár 1	Ár 2	Ár 3	Ár 4	Ár 5	Ár 6	Ár 7	Ár 8	Ár 9	Ár 10
Byggingarkostnaður	- 606.096.000 kr.										
Bókfært verð		606.096.000	593.974.080	581.852.160	569.730.240	557.608.320	545.486.400	533.364.480	521.242.560	509.120.640	496.998.720
Afskriftir		- 12.121.920	- 12.121.920	- 12.121.920	- 12.121.920	- 12.121.920	- 12.121.920	- 12.121.920	- 12.121.920	- 12.121.920	
Rekstartekjur		41.984.395	46.023.672	48.186.784	50.451.563	52.822.787	55.305.458	57.904.814	60.626.340	63.475.778	66.459.140
Kostnaður		-16.793.758	-18.409.469	-19.274.714	-20.180.625	-21.129.115	-22.122.183	-23.161.926	-24.250.536	-25.390.311	-26.583.656
EBITA		25.190.637	27.614.203	28.912.071	30.270.938	31.693.672	33.183.275	34.742.889	36.375.804	38.085.467	39.875.484
Afskriftir		- 12.121.920	- 12.121.920	- 12.121.920	- 12.121.920	- 12.121.920	- 12.121.920	- 12.121.920	- 12.121.920	- 12.121.920	-
EBIT		13.068.717	15.492.283	16.790.151	18.149.018	19.571.752	21.061.355	22.620.969	24.253.884	25.963.547	39.875.484
Vaxtagjöld		-15.946.083	-16.768.800	-17.614.883	-18.484.713	-19.378.650	-20.297.041	-21.240.209	-22.208.454	-23.202.051	-24.221.244
Hagnaður fyrir skatt		-2.877.366	-1.276.517	-824.733	-335.695	193.102	764.314	1.380.760	2.045.430	2.761.496	15.654.240
Afstemming		-	-	-	-	- 193.102	- 764.314	- 1.380.760	- 2.045.430	- 2.761.496	- 15.654.240
Skattur		-	-	-	-	- 38.620	- 152.863	- 276.152	- 409.086	- 552.299	- 3.130.848
Hagnaður eftir skatt		- 2.877.366	- 1.276.517	- 824.733	- 335.695	154.482	611.451	1.104.608	1.636.344	2.209.197	12.523.392
Afskriftir		12.121.920	12.121.920	12.121.920	12.121.920	12.121.920	12.121.920	12.121.920	12.121.920	12.121.920	
Greiðsluflæði		9.244.554	10.845.403	11.297.187	11.786.225	12.276.402	12.733.371	13.226.528	13.758.264	14.331.117	12.523.392
Söluhagnaður af húsi											819.399.744
Sjóðstreymi CF	-606.096.000	9.244.554	10.845.403	11.297.187	11.786.225	12.276.402	12.733.371	13.226.528	13.758.264	14.331.117	831.923.136
Afborgun langtímaláns		- 8.485.344	- 8.485.344	- 8.485.344	- 8.485.344	- 8.485.344	- 8.485.344	- 8.485.344	- 8.485.344	- 8.485.344	- 8.485.344
CF-Afborgun		759.210	2.360.059	2.811.843	3.300.881	3.791.058	4.248.027	4.741.184	5.272.920	5.845.773	823.437.792
NPV	77.705.298	IRR	4,81%								

