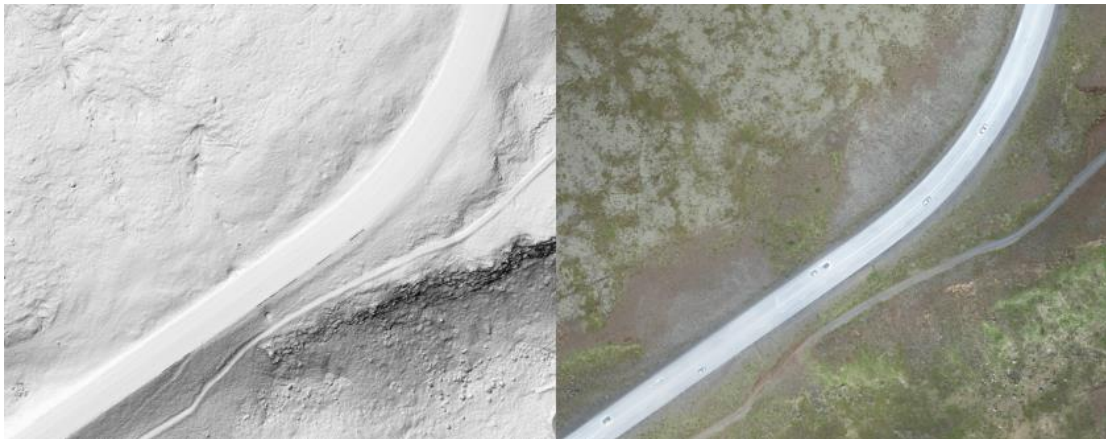


**Landlíkanagerð með loftmyndum  
úr ómannaðri smáflugvél  
og  
gerð þrívíddarlíkans af umhverfi vega  
eftir ljósmyndum**



Hersir Gíslason, Vegagerðin  
Jón S. Erlingsson, Vegagerðin  
Sigurður Hrafnsson, UAS Iceland ehf.  
Ólafur Haraldsson, Designing Reality

6. júní 2014

## Efnisyfirlit

1	Inngangur .....	3
2	Loftmyndataka með smáflugvélum.....	4
2.1	GateWing X100 – smáflugvél .....	4
2.2	Loftmyndataka.....	4
2.2.1	Útsetning „control“ punkta.....	7
2.2.2	Innmælingar .....	7
3	Landlíkanagerð með loftmyndum .....	7
3.1	Hugbúnaðurinn frá Designing reality .....	8
3.1.1	Landlíkan.....	8
3.2	Pix4D.....	10
3.2.1	Landlíkan.....	10
3.3	Samanburður á landlíkönum frá Deseining Reality og Pix4D .....	14
3.4	Almennt um gæði landlíkananna .....	16
4	Landlíkan með myndatöku úr bíl .....	16
5	Umræða .....	17
6	Niðurstöður.....	18
7	Þakkir .....	18
8	Heimildir .....	19

## Ágrip

Markmið þessa verkefnis var að búa til landlíkön af umhverfi Hringvegarins þar sem hann liggur um Kambana. Annars vegar voru landlíkön gerð eftir loftmyndum sem voru teknar með ómannaðri smáflugvél sem var flogið lágt yfir landi og hins vegar eftir myndum sem voru teknar með stuttu millibili úr bíl sem keyrt var eftir veginum. Landlíkönin voru svo sannreynd með GPS – innmælingum sem voru gerðar í mörkinni. Svæðið sem um ræðir eru 5,6 km á lengd eða rúmir 2 km<sup>2</sup>.

### *Landlíkan með loftmyndatöku úr ómannaðri smáflugvél*

Um 300 m hæðarmunur er á rannsóknasvæðinu við Kambana. Flugvélin sem var notuð við loftmyndatökuna leyfir ekki að henni sé flogið í jafnri hæð yfir landi. Heldur er flughæðin föst miðað við flugtökustað. Því var svæðinu skipt upp í 5 hluta til að hægt væri að fljúga í sambærilegri hæð yfir landi (~150 m) á öllu svæðinu en vegna óviðráðanlegra orsaka reyndist ekki unnt að taka loftmyndir af öllu svæðinu. Flugvélin sem notuð var í verkefninu af gerðinni Gatewing X100 og er hún útbúin 10MP myndavél frá Ricoh GR DIGITAL 4 en samtals var tekin 1401 loftmynd af svæðinu sem nýttist við landlíkanagerðina. Við úrvinnslu loftmyndanna var notaður hugbúnaður frá Designing Reality, sem er íslenskt hugbúnaðarfyrirtæki og hefur verið að þróa hugbúnaði til að gera landlíkön eftir ljósmyndum og rétta upp loftmyndir. Einnig var prófuð landlíkanagerð með Pix4D, sem er hugbúnaður fyrir landlíkanagerð. Landlíkön sem komu út úr þessum þessum hluta verkefnisins komu ágætlega út og bendir allt til þess að þessi tækni geti verið ákjósanlegur kostur til loftmyndatöku og landlíkanagerð sem nýttist í starfi Vegagerðarinnar.

### *Landlíkan með myndatöku úr bíl*

Ljósmyndatökan úr bíl fór þannig fram að fjórar 21 MP myndavélar af gerðinni Canon 5D Mark II, voru festar þak bíls og honum ekið 3 sinnum upp og niður Kambana og var sjónarhorni myndavélanna breytt jafnoft. Samtals voru teknar um 12.000 myndir. Hugbúnaður frá Designing Reality var notaður til að reikna út landlíkanið. Því miður stóðst landlíkanið, sem kom út úr þessum hluta verkefnisins, ekki væntingar. Það er í vinnslu að uppfæra hugbúnaðinn til að taka sérstaklega á ljósmyndum sem eru teknar á þennan hátt.

## 1 Inngangur

Verkefnið miðaði að því að skoða gæði landlíkana af Hringveginum um Kamba sem gerð voru eftir loftmyndum sem voru teknar úr ómannaðri smáflugvél með einföldum ljósmyndabúnaði. Einnig var prófað að gera landlíkan af vegumhverfi með því að nota ljómyndir sem eru teknar með ákveðnu millibili frá bíl sem ekið er eftir veginum. Ómannaða smáflugvélin sem var notuð í loftmyndatökurnar af gerðinni Gatewing X100 og er í eigu fyrirtækisins UAS Iceland ehf. (Landslagsmódel ehf). Flugvélin er sérhönnuð til þess að taka loftmyndir og er framleidd af fyrirtækinu Gatewing.

UAS Iceland rekur prófunarmiðstöð fyrir ómannaðar flugvélar í samstarfi við háskólann í Alaska og hefur milligöngu um að útvega slíkar vélar í stærri verkefni.

Hluti verkefnisins var að prófa hugbúnað frá Designing Reality, sem er íslenskt hugbúnaðarfyrirtæki, til að búa til landlíkön. Annars vegar var gert landlíkan eftir loftmyndum og svo með ljósmyndum sem voru teknar úr bíl sem ekið var eftir Hringveginum þar sem hann liggur um Kambana. Designing Reality hefur verið að þróa hugbúnað til sjálfvirkar þrívíddarmódelgerðar í 4 ár og hefur fókusinn verið á að gera hugbúnaðinn algjörlega sjálfvirkan og stuðla að því að notast við tölvusýn við flestallar aðgerðir við gerð þrívíddarlíkana úr ljósmyndum.

Hugbúnaðurinn Pix4D var einnig notaður til að gera landlíkön af svæðinu. Gæði landlíkana voru metin með því að bera þau saman við innmælingar sem höfðu verið gerðar á svæðinu.

Ákveðið var að velja Kambana til að búa til landlíkan þar sem svæðið þótti krefjandi. Þar er nokkur hæðarmunur og mikill breytileiki í landslagi. Það er í nágrenni Reykjavíkur sem þýddi að eyða þurfti litlum tíma í ferðalög auk þess var mikið til af innmælingum sem hægt var að bera saman við landlíkönin. Tilgangurinn var meta hvort framangreind tækni fullnægi þeim kröfum sem eru gerðar til landlíkanagerðar fyrir veghönnun og til annarar greiningar á vegumhverfi og einnig hvort kortlagning með ljósmyndun úr bíl geti nýst til þess að meta aðstæður í nágrenni vega t.d. vegna umferðaröryggisrannsókna. Verkefnið var kynnt á rannsóknaráðstefnu Vegagerðarinnar 8. nóvember 2013.

## 2 Loftmyndataka með smáflugvélum

Ómönnuð loftför (UAV, unmanned aerial vehicle) hafa verið að ryðja sér til rúms á undanförunum árum í loftmyndatökur fyrir landlíkanagerð og gerð myndkorta (orthophotos). Loftförin geta verið tvennskonar; flugvélar eða þyrlur. Yfirleitt eru þessar vélar litlar og hafa litla burðargetu. Þær geta því ekki borið þungar myndavélar en hægt að setja á þær einfaldan ljósmyndabúnað. Þar sem hægt er að fljúga þessum vélum lágt yfir landi þá fást ljómyndir af yfirborði lands í hárrí upplausn. Þá hefur á undanförunum árum komið fram hugbúnaður sem tekur inn loftmyndirnar og vinnur sjálfvirktt landlíkön og réttir upp loftmyndirnar, þannig að „mannlegri vinnu“ er haldið í lágmarki. Dæmi um slíkan hugbúnað er sá frá Designing Reality og Pix4D.

### 2.1 GateWing X100 – smáflugvél

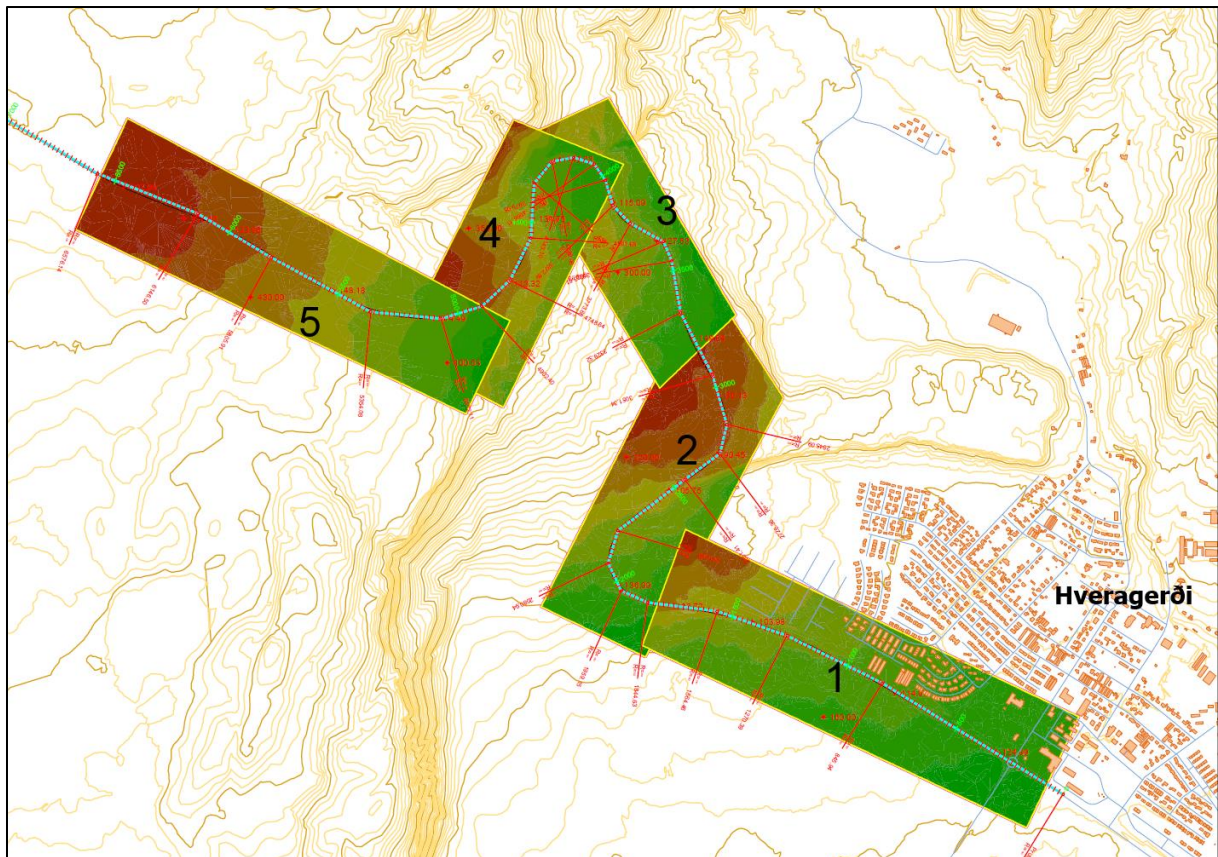
Smáflugvélin sem var notuð við loftmyndatökuna er af gerðinni GateWing X100. Vélin er 2,2 kg og vænghaf hennar er 1 m. Flugvélin flýgur fyrirfram ákveðna leið og tekur loftmyndir á fyrirfram ákveðnum stöðum. Flugíð er sjálfvirktt frá flugtaki til landingar en þó er hægt að grípa inn og stýra flugvélinni til landingar ef á þarf að halda. Flugvélinni fylgir sjálfstýribúnaður og er flugleiðin ákveðin fyrir fram miðað við áætlaða skörun á loftmyndum, staðsetningu og umfangi svæðisins sem á að taka myndir af.

Tafla 1. Helstu upplýsingar um GateWing X100 smáflugvélinna

Þyngd	2,2 kg
Vænghaf	1 m
Lengd	0,6 m
Myndvél	10 MP
Flugtími	45 mín
Flughraði	80 km/klst
Hámarksflughæð	2500 m
Hámarksvindur	65 km/klst (18 m/sek)
Hámarks samskiptavegalengd	5 km
Upplausn	0,033-0,250 m
Hæð yfir flugtakstað	100 - 750 m

### 2.2 Loftmyndataka

Þegar Kambarnir voru valdir fyrir loftmyndatöku þá var horft til þess að þar væri nokkur hæðarmunur og landslag breytilegt. Þarna er nokkuð vindasamt sem gerir smáflugvélum erfitt fyrir auk þess þá varð hæðarmismunurinn til þess að ekki var hægt að taka loftmyndirnar af svæðinu í einni lotu. Sjálfstýribúnaðurinn í þessari tilteknu vél leyfir ekki að flughæðin fylgi landhæð, heldur flýgur vélin í fastri hæð yfir sjó (eða flugtaksstað). Hæðarmismunur á svæðinu er um 300 m. Vegna þessa hæðarmismunar þurfti að skipta skipta kömbunum í 5 svæði til að flughæð yfir landi innan hvers svæði og á milli svæða yrði sambærileg (svæði 1-5, sjá Mynd 1). Að jafnaði var vélinni var flogið í um 150 m hæð yfir landi.

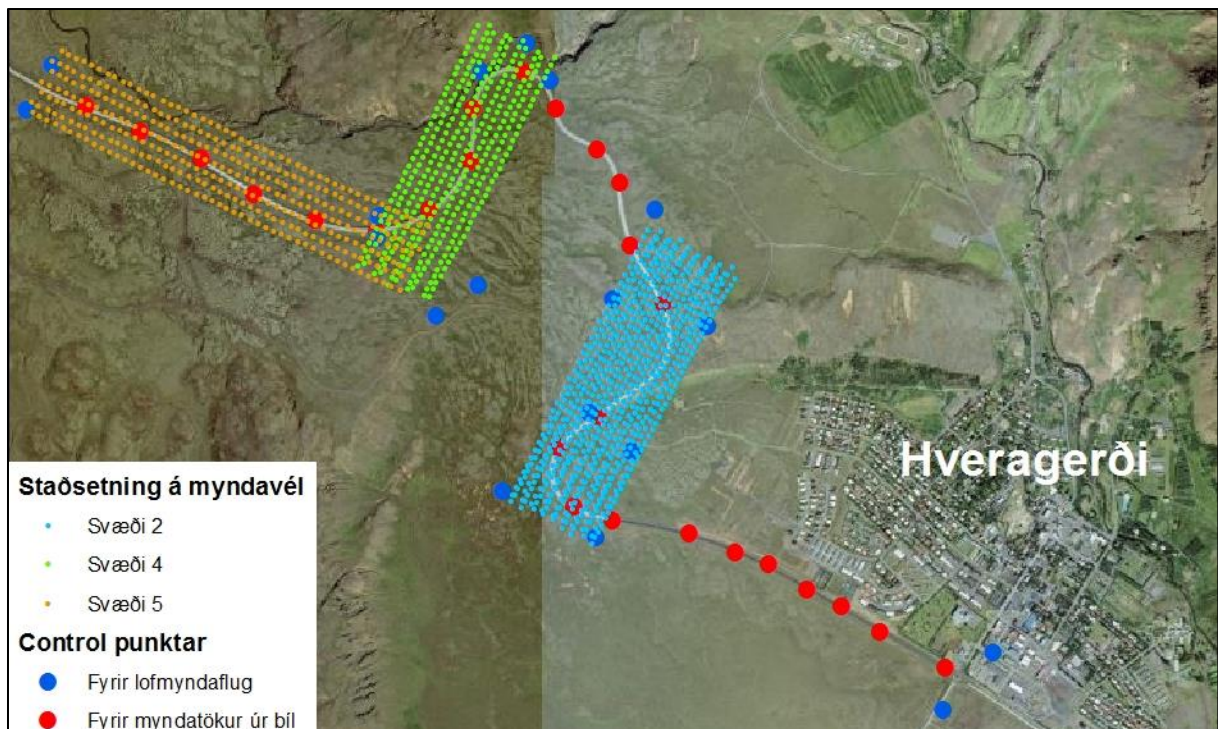


Mynd 1. Svæðinu var skipt upp í 5 hluta til að flughæð yfir landi væri sambærileg innan svæðisins.

Til minnka líkur á því að vélin verði fyrir hnjaski í landingu þá þarf landingarstaðurinn að vera slétt grasflöt. Þar sem ekki fannst neinn ásættanlegur landingarstaður uppi á Hellisheiði þá var valinn staður fyrir flugtak og landingu á túni norðan við Hveragerði. Þó svo að flugvélin fljúgi eftir fyrirfram ákveðnu flugplani þá þarf að vera hægt að grípa inn í flugið ef eitthvað kemur upp á. Til þess að það sé hægt þarf vélin að vera í sjónlínu frá fjarstýringunni sem er æskilegt að staðsett sé við landingarstaðinn. Það hafði áhrif á það hversu langt var hægt að fljúga inn á Hellisheiðina, sem varð heldur styttra en lagt var upp með áður flugið var planlagt.

Svæðið sem var flogið yfir er sýnt á Mynd 2. Á myndinni sjást einnig punktar sem sýna staðsetningu á flugvélinni þar sem hver mynd var tekin en samtals urðu myndirnar 1401. Ekki reyndist unnt að fljúga yfir allt svæðið eins og ráðgert hafði verið. Þegar flogið var yfir svæði 3 þá voru birtuskilyrði mjög óhagstæð og myndirnar sem fengust úr því flugi voru ónothæfar. Áður en hægt var að fljúga svæði 1 og 3 aftur þá var flugvélin innkölluð af framleiðanda þar sem gallar höfðu komið upp í þessari gerð véla. Því gafst ekki tími til að klára loftmyndatökurnar. Á svæði 2 voru teknar 700 myndir, 365 myndir á svæði 4 og 336 myndir á svæði 5.





Mynd 2. Staðsetning myndavélar í hverri töku á svæðum 2, 4 og 5, ásamt „control“ punktum fyrir loftmyndatöku og ljósmyndatöku úr bíl (loftmynd: Loftmyndir ehf.).

Loftmyndirnar sem voru teknar eru af stærðinni 3674x2736 myndeiningar (pixlar) og flughæðin var um 150 m yfir landi. Hver myndeining samsvarar þá um 4-5 cm á landi, það verður til þess að einstaka smáatriði sjást vel, s.s. vegstíkur, vegrið og girðingar.



Mynd 3. Í loftmyndatökunum var flogið lágt yfir landi og einstök atriði eins og vegstíkur og vegrið sjást ágætlega á myndunum.

### 2.2.1 Útsetning „control“ punkta

Áður en loftmyndatakan fór fram þá voru settir út „control“ punktar sem voru notaðir til að stilla af landlíkanið og rétta upp loftmyndirnar. Fyrir loftmyndatökuna voru settir út 18 punktar en einnig nýttust 24 „control“ punktar sem settir voru út fyrir myndatöku úr bíl (sjá Mynd 4 og kafla 4). „Control“ punktarnir voru mældir með Trimble mælitækjum og er áætluð nákvæmni í plani um 0,015 m og 0,03 m í hæð.

Til að merkja „control“ punktana þá voru settir út ferkantaðir dúkar 0,5x0,5 m. Fjórðungur hvers dúks var málaður svartur þannig að hvíti hlutinn myndaði vinkel og var mælt í kverkinni á vinklinum (Mynd 4). Það var gert til að einfaldara væri að staðsetja mældan punkt á loftmyndunum, í stað þess að reyna miða við miðju á dúknum. Nokkrir „control“ punktar nýttust ekki í við gerð landlíkansins og uppréttingu loftmyndanna þar sem þeir voru fyrir utan flugferilinn.



Mynd 4. Tveir „control“ punktar, dúkur vinstra megin á mynd en málaður vinkill í vegöxl hægra megin.

### 2.2.2 Innmælingar

Til að meta gæði landlíkananna þá þurfti að mæla inn samanburðarstaði á svæðinu. Þó nokkuð var til að af þversniðmælingum sem höfðu verið gerðar í tengslum við undirbúning fyrir væntanlega breikkun Hringvegarins um Kamba. Um er að ræða snið sem eru mæld 30-35 m til beggja hliða þvert á miðlínu vegarins. Að jafnaði eru 20 m á milli þversniða en sumstaðar hafa mælingarnar verið þéttari og ná lengra út fyrir veginn. Þessi snið voru mæld upp á árunum 1996–2013. Einnig voru mæld nokkur snið sérstaklega fyrir loftmyndaflugið. Að öllu jöfnu er gert ráð fyrir að nákvæmni mælinganna sé um 0,015 m í plani og 0,03 m í hæð en þar sem að mælingarnar hafa átt sér stað á nokkurra ára tímabili þá getur verið að lagfæringar á slitlagi og/eða slit á því haft áhrif á hæð á veginum sjálfum sem getur numið nokkrum sentimetrum. Þá varð á urðu stórir skjálftar á Suðurlandi árin 2000 og 2008 sem geta valdið nokkurra sentimetra skekkjum í eldri innmælingum þó svo að hæðir hafi verið endurreiknuð fyrir þau gögn.

## 3 Landlíkanagerð með loftmyndum

Loftmyndir hafa verið notaðar til landlíkanagerðar í langan tíma en á síðustu árum hefur orðið hröð þróun í hugbúnaði sem vinnur með loftmyndir. Ýmsir framleiðendur eru af slíkum hugbúnaði en í þessu verkefni var sérstaklega prófaður hugbúnaður frá Designing Reality sem er íslenskt hugbúnaðarfyrirtæki sem hefur verið að þróa hugbúnað sem vinnur þrívíddarmodel



úr loftmyndum hvort sem um er að ræða hefðbundnar loftmyndir eða eftir venjulegum ljósmyndum (skámyndir).

### 3.1 Hugbúnaðurinn frá Designing reality

Hugbúnaður Designing Reality virkar á þann hátt að inn í hann er sett heilt sett af myndum af ákveðnu svæði sem teknar hafa verið myndir af, hvort sem það er til mælinga eða annarskonar módelgerðar. Því næst fer hugbúnaðurinn í gegnum allar myndirnar og finnur þúsundir punkta í hverri mynd sem eru með sterkar útlínur af. Næsta skref er að bera saman allar þúsundir punkta í hverri mynd við hverja aðra, við það myndast tengingar milli myndanna. Því næst er þríhyrningað á milli sameiginlegra punkta og myndirnar staðsettar í þrívíddarrými. Þegar myndirnar hafa verið staðsettar í þrívíddarrými er hægt að skanna hvern einasta pixel í myndunum og setja þá í þrívíddarpunkta. Við þetta verður til ákaflega nákvæmt dýptar og þrívíddarlíkan. Á sama tíma er hægt að bæta við upplýsingum á myndirnar frá upplýsingum um „control“ punkana og þá fellur módelið rétt að raunveruleikanum. Við gerð „ortho“ mynd af svæðinu fæst út raunveruleg „ortho“ mynd þar sem hún er keyrð út sem þrívíddarmódel og flótt út og er því ekki með skekkju eins og loftmyndir teknar á ská hrjást af.

#### 3.1.1 Landlíkan

Landlíkanið sem kom frá Designing Reality var á raster formi (geotif) og er möskvastærðin 0,045 m. Eingöngu var gert landlíkan fyrir svæði 2 þar sem það þótti krefjandi svæði og nóg til þess að sýna getu hugbúnaðarins til að reikna út landlíkön. Við vinnslu á landlíkaninu þá voru eingöngu notaðar loftmyndirnar og control punktarnir en ekki var notuð GPS logskrá sem kom úr GPS tækinu í Gatewing vélinni. Landlíkanið var borið saman við innmælingar sem höfðu verið gerðar á svæði 2, samtals 3336 punkta og gaf það góða samsvörun við innmælingarnar. Bornar voru saman innmældar hæðir og hæðir í landlíkani og notuð bilinear aðferð til að finna hæðina í samsvarandi punkti á landlíkaninu. Reiknuð meðalskekkja líkansins reyndist vera 0,12 m en meðalskekkjan er reiknuð samkvæmt:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(Hm - Hr)^2}{n}}$$

Þar sem:

Hm: Innmæld hæð

Hr: Hæð reiknuð í landlíkani

n: Fjöldi mælinga

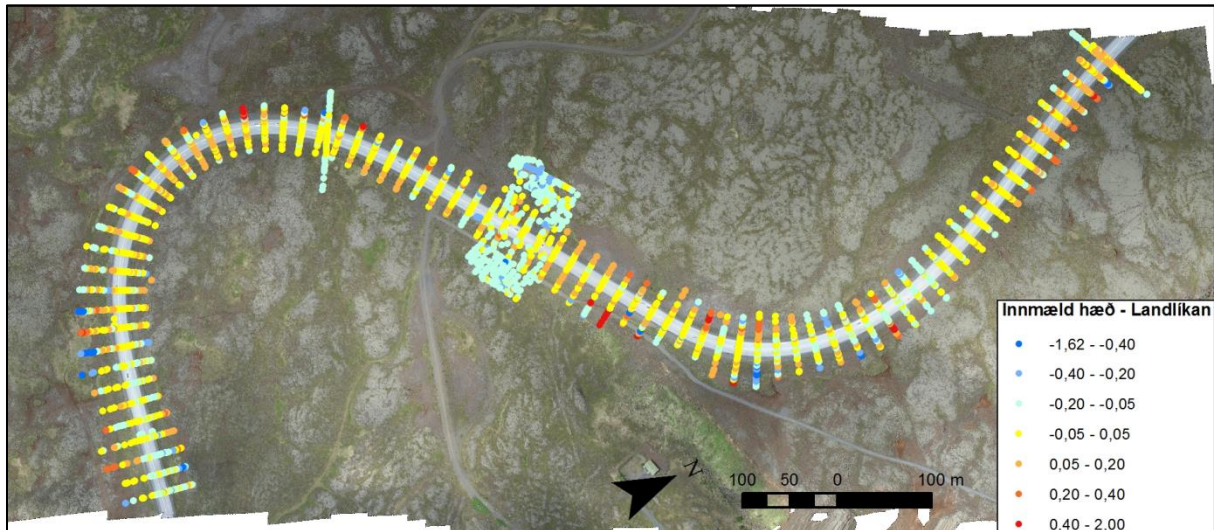
**Tafla 2. Mismunur á innmældri hæð og hæð landlíkans fyrir svæði 2.**

Svæði	Fjöldi innmælinga	Meðalskekkja hæðar	Fjöldi mælinga: Skekkja > ±0,2 m	Fjöldi mælinga Skekkja > ±0,4 m	Mesta skekkja
2	3336	0,12 m	225 (6,7%)	50 (1,5%)	-1,08 m

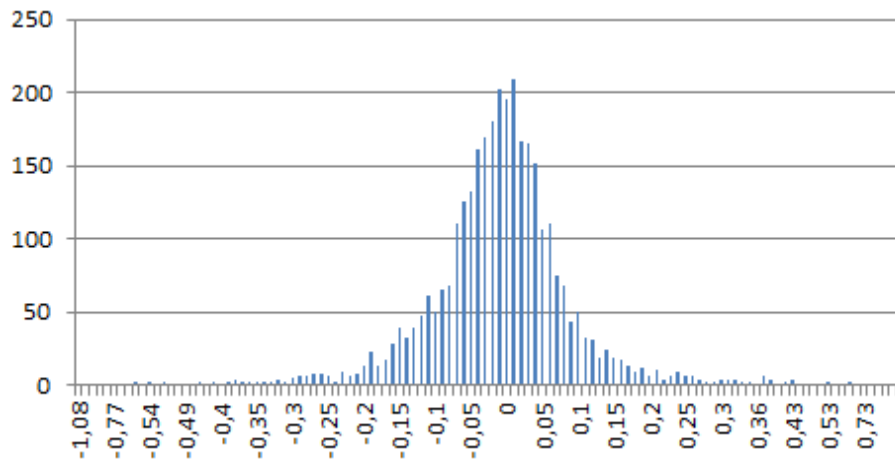
Þegar gögnin eru skoðuð nánar þá má sjá að sumstaðar liggja innmælingar við vegrið, girðingar eða kantstikur. Þessir fyrirbæri geta komið fram í landlíkaninu og er þá landlíkanið hærra á þessum stöðum en innmæling ef mælt hefur verið þétt upp við slíka staði. Gæði

landlíkansins mætti hins auka með því að fara handvirkt yfir það og hreinsa út fyrirbæri sem ekki teljast til landlíkansins s.s. vegrið og girðingar.

Þegar landlíkanið er skoðað á sléttu landi þá er um flökt (noise) í hæð  $\pm 0-4$  cm. Það mætti minnka flöktið með því að mýkja líkanið með filterum og/eða að minnka upplausnina t.d. í 0,25 m sem er hentugri til frekari vinnslu með gögnin því 0,045 m upplausn geta verið þung í vinnslu.



Mynd 5. Svæði 2, upprétt loftmynd frá Designing Reality. Innmælingar lagðar ofan á upprétta loftmynd. Hver punktur á myndinni er ein mæling og gefa litirnir til kynna hver mismunurinn er á innmældri hæð og hæð landlíkans.



Mynd 6. Svæði 2, mismunur á innmælingum og landlíkani frá Designing Reality. Lárétti ásinn sýnir mismun á hæð innmælinga og landlíkans, en lóðrétti ásinn sýnir fjölda mælinga. Meðalskekkan er 0,12 m.

## 3.2 Pix4D

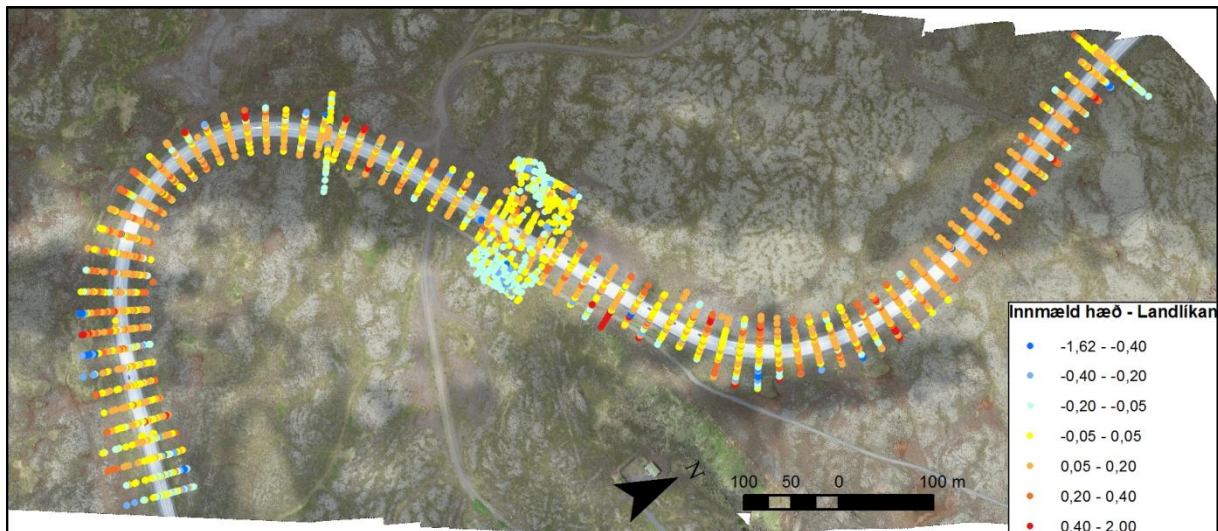
Pix4D er hugbúnaður sem sérhannaður er til að taka loftmyndir eða skámyndir og vinna úr þeim landlíkön og myndkort og er vinnslan að mestu sjálfvirk. Við vinnslu landlíkansins var notast við loftmyndirnar, control punkta og svo GPS logskrá sem innheldur upplýsingar um staðsetningu myndavélarinnar fyrir hverja loftmynd.

### 3.2.1 Landlíkan

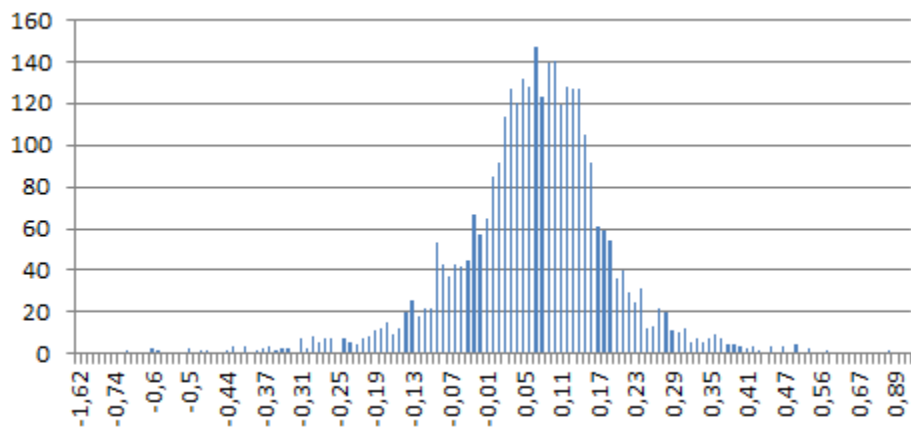
Gerð voru landlíkön fyrir svæði 2, 4 og 5. Möskvastærð landlíkansins var á bilinu 0,045 m – 0,049 m og komu gögnin á rasterformi (tif). Gæði landlíkananna voru nokkuð mismunandi eftir svæðum, en svæði 4 kom verst út sbr. Tafla 3 en niðurstöðurnar voru mun betri fyrir svæði 2 og 5. Á landlíkönunum koma víða fram kantstikur, vegrið o.fl. Eins og í landlíkaninu sem kom frá Designing Reality þá getur það haft áhrif á samanburð við innmælingar ef þær hafa átt sér stað við t.d. kantstiku eða vegrið þar sem land mælist hærra en það er í raun og veru. Einnig koma fram háspennulínur á svæði tvö sem hafa einhver áhrif á landlíkanið undir línunum. Þegar gögnin eru skoðuð á sléttum fleti þá er nokkuð flökt (noise) í gögnunum eða allt að  $\pm 0,15$  m. Þar sem svæði 4 og 5 skarast er allt að 0,2 m munur á hæðarlíkönunum. Reiknuð var út meðalskekkja fyrir svæðin með sömu aðferð og lýst er í kafla 3.1.1 og eru niðurstöðurnar í töflu 3. Svæði 4 kemur áberandi verst út í samanburði við svæði 2 og 5.

**Tafla 3. Mismunur á innmældri hæð og landlíkani fyrir svæði 2, 4 og 5 sem voru unnin í Pix4D. Einnig eru birtar niðurstöður fyrir landlíkanið frá Designing Reality til samanburðar.**

Svæði	Fjöldi innmælinga	Meðalskekkja hæðar	Fjöldi mælinga: Skekkja > $\pm 0,2$ m	Fjöldi mælinga Skekkja > $\pm 0,4$ m	Mesta skekkja
2	3336	0,17 m	454 (13,6%)	86 (2,6%)	-1,62 m
4	2200	0,25 m	1111 (50,5%)	126 (5,7%)	-1,56 m
5	2871	0,13 m	226 (7,8%)	36 (1,3%)	-1,67 m
Designing Reality					
2	3336	0,12 m	225 (6,7%)	50 (1,5%)	-1,08 m

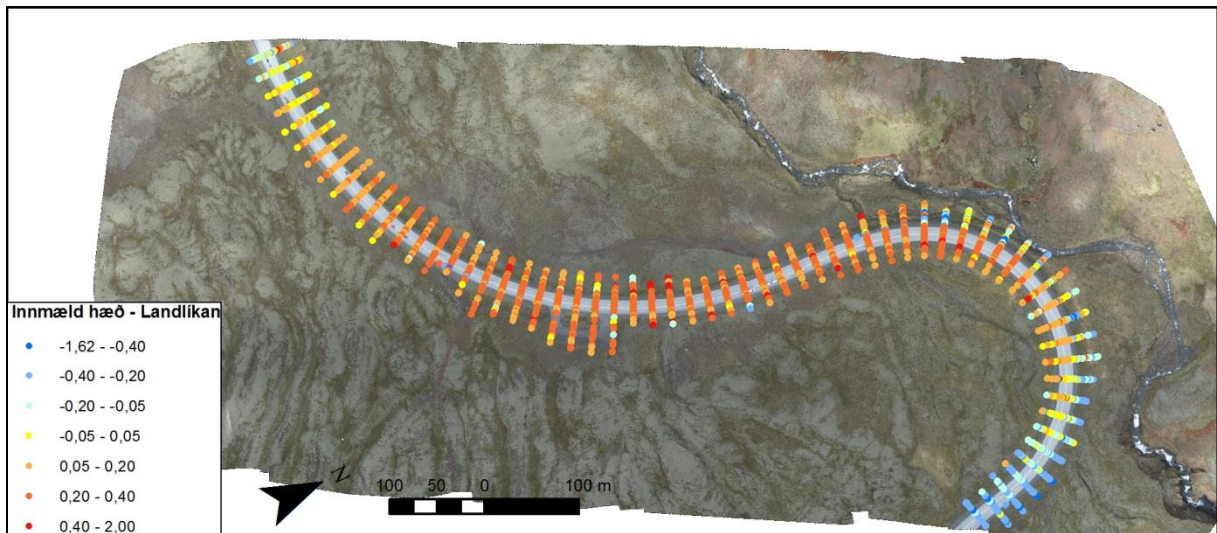


Mynd 7. Svæði 2, upprétt loftmynd unnin í Pix4D. Innmælingar lagðar ofan á upprétta loftmynd. Hver punktur á myndinni er ein mæling og gefa litirnir til kynna hver mismunurinn er á innmældri hæð og hæð landlíkans.

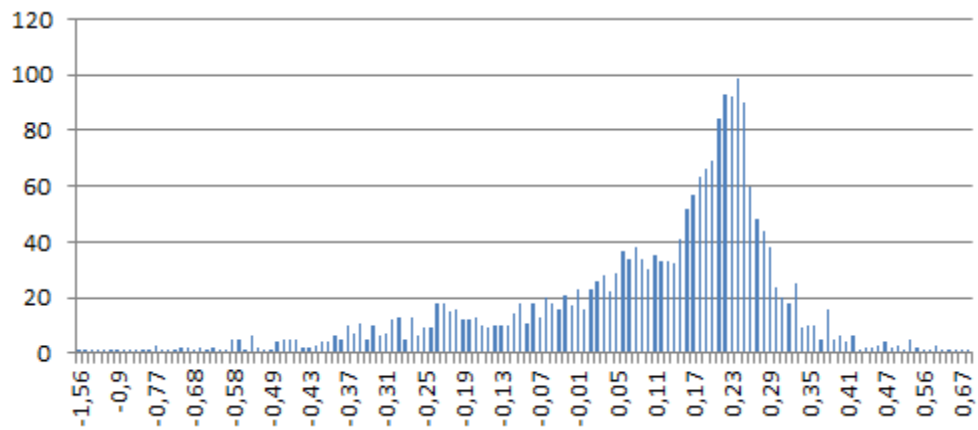


Mynd 8. Svæði 2, mismunur á innmælingum og landlíkani frá Pix4D. Lárétti ásinn sýnir mismun á hæð innmælinga og landlíkans, en lóðrétti ásinn sýnir fjölda mælinga. Meðalskekkjan er 0,17 m.

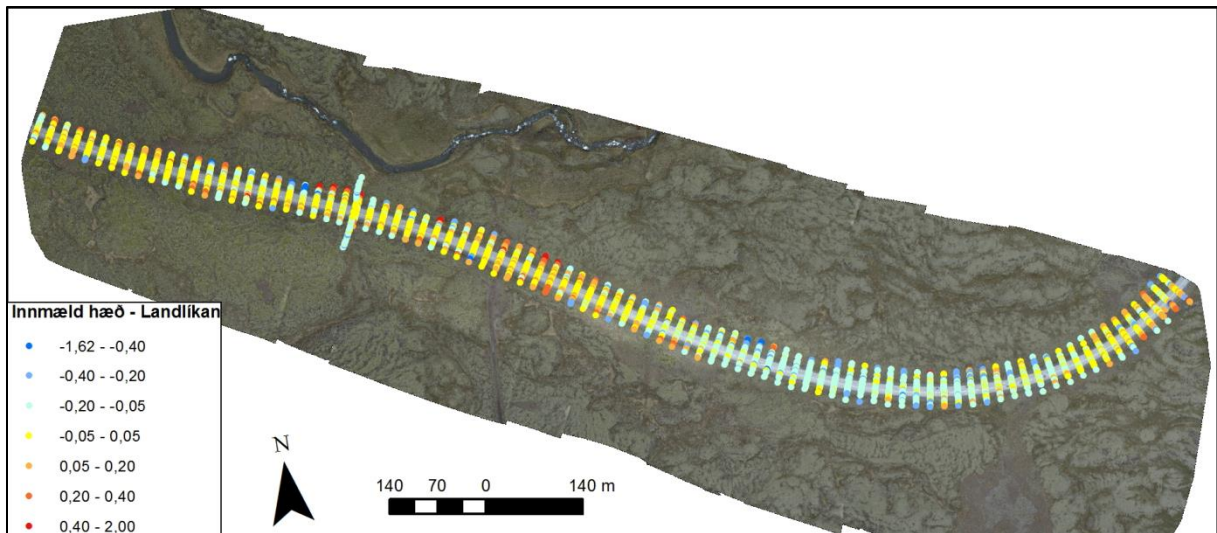




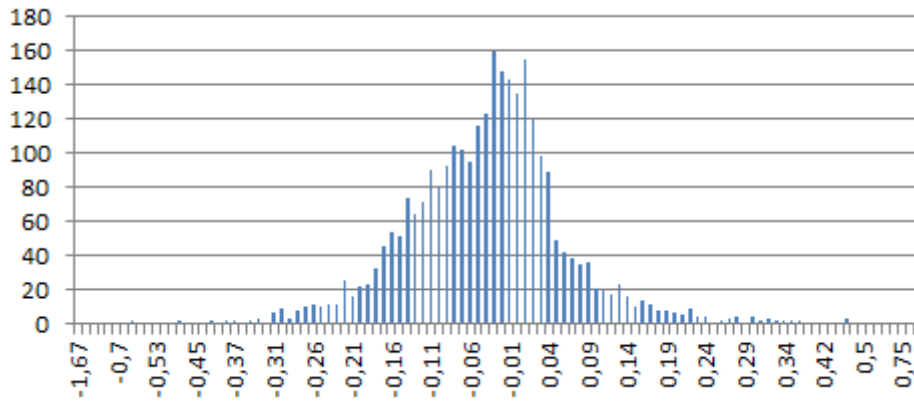
Mynd 9. Svæði 4, upprétt loftmynd unnin í Pix4D. Innmælingar lagðar ofan á upprétta loftmynd. Hver punktur á myndinni er ein mæling og gefa litirnir til kynna hver mismunurinn er á innmældri hæð og hæð landlíkans.



Mynd 10. Svæði 4, mismunur á innmælingum og landlíkani frá Pix4D. Lárétti ásinn sýnir mismun á hæð innmælinga og landlíkans, en lóðrétti ásinn sýnir fjölda mælinga. Meðalskekkjan er 0,25 m. Mismunur á innmældri hæð og hæð landlíkans er ekki jafndreifður.



Mynd 11. Svæði 5, upprétt loftmynd unnin í Pix4D. Innmælingar lagðar ofan á upprétta loftmynd. Hver punktur á myndinni er ein mæling og gefa litirnir til kynna hver mismunurinn er á innmældri hæð og hæð landlíkans.



Mynd 12. Svæði 5, mismunur á innmælingum og landlíkani frá Pix4D. Lárétti ásinn sýnir mismun á hæð innmælinga og landlíkans, en lóðrétti ásinn sýnir fjölda mælinga. Meðalskekkjan er 0,13 m.

### 3.3 Samanburður á landlíkönunum frá Designing Reality og Pix4D

Áhugavert er að bera saman landlíkönin sem voru gerð með hugbúnaði frá Designing Reality og Pix4D. Eingöngu var unnið landlíkan fyrir svæði 2 hjá Designing Reality og þegar skoðuð er meðalskekkjan í líkönunum þá er kemur landlíkanið frá Designing Reality betur út. Landlíkanið frá Designing Reality skilar minni skekkju og minna flökt er í landlíkaninu auk þess sem lausir hlutir á yfirborði eru hreinsaðir betur út í DR (kanstikur, vegrið o.þ.h.), sbr. Mynd 13 og Mynd 14.



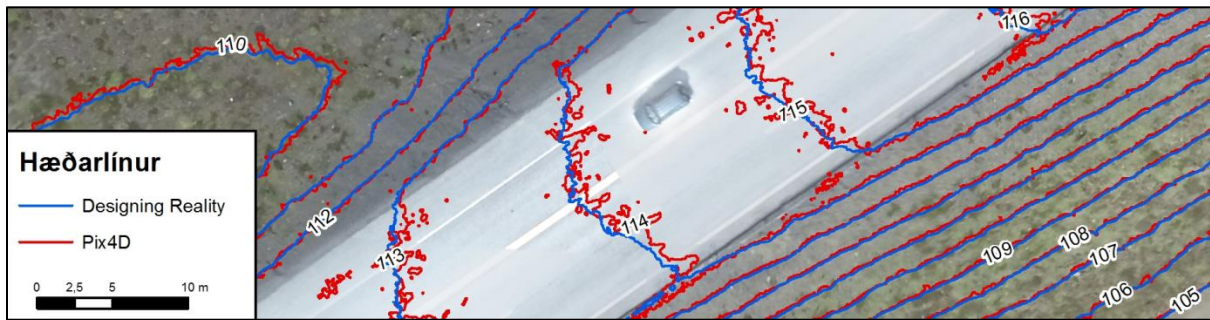
Mynd 13. Þrívíddarmynd af Kömbunum upprétt lofmynd og landlíkan frá Designing Reality. Vegrið er hægra megin við veginn en hugbúnaðurinn nær að hreinsa það út að mestu leiti.



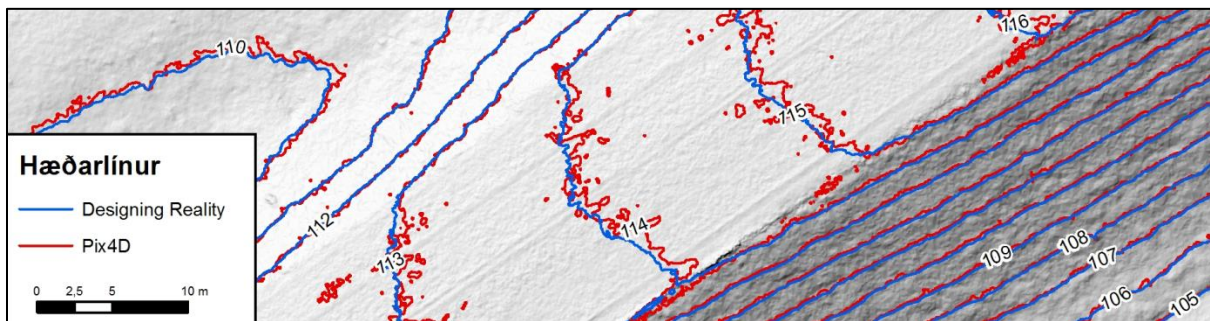
Mynd 14. Þrívíddarmynd af Kömbunum, loftmynd og landlíkan frá Pix4D. Sama sjónarhorn og mynd 12. Á hægri hönd er vegrið sem hugbúnaðurinn hefur hreinsað út að nokkru leiti. Einnig sjást trjárunnar vinstra megin við veg sem ekki koma fram í landlíkani Designing Reality.

Á Mynd 15-Mynd 17 eru birtar 1 m hæðarlínur ofan á loftmynd og svo á hæðarskyggðum módelum frá Designing Reality og svo Pix4D. Þar sem yfirborðið er slétt, eins á yfirborði vegarins, þá ættu hæðarlínur að vera nokkuð jafnar (beinar). Mun meiri flökt er í landlíkaninu sem var gert með Pix4D hugbúnaðinum og kemur það fram í meiri óreglu í hæðarlínunum. Munurinn er greinilegur þegar skoðaðar eru hæðarskyggingar af landlíkönunum en sléttir fletir koma mun betur út í landlíkani Designing Reality.

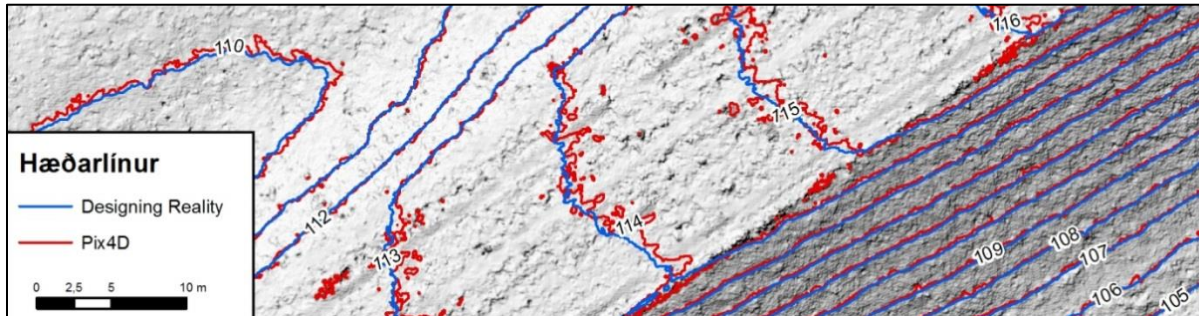




Mynd 15. Hæðarlínur (1m) ofan á loftmynd sem var rétt upp með forriti DR. Bláu hæðar línurnar er reiknaðar út frá hæðarlíkani Designing Reality en þær rauðu með hæðarlíkani frá Pix4D. Þar sem yfirborð er slétt eins og vegyfirborðið þá er sjáanleg mun meiri óregla í rauðu línunum en þeim bláu.



Mynd 16. Hæðarlínur (1m) ofan á hæðarskyggingu ( $345^{\circ}/65^{\circ}$ ) sem var gert út frá hæðarlíkani frá Designing Reality. Greina má yfirborðsmerkingar á veginum.



Mynd 17. Hæðarlínur (1m) ofan á hæðarskyggingu ( $345^{\circ}/65^{\circ}$ ) sem var gerð út frá hæðarlíkani Pix4D. Vegyfirborðið sem hægt er að ganga út frá að sé nokkuð slétt er mun grófara en á Mynd 16 sem bendir til þess að mun meira flökt (noise) sé í hæðarlíkaninu frá Pix4D. Þrátt fyrir að yfirborðið sé gróft þá má greina yfirborðsmerkingar á landlíkaninu.

Hægt er að minnka flöknið í gögnunum með því að keyra út filtera á hæðarlíkönin sem og að þynna landlíkönin. Í allri hefðbundinni vinnslu þá er möskvastærð upp á 0,045 m óþörf og hægt væri að jafna landlíkanið niður í t.d. 0,25 m án þess að það hefði mikil áhrif á gæði landlíkananna.

Til að auka gæði landlíkananna þá mætti hreinsa handvirkt lausa hluti (girðingar, vegrið, vegstikur) út úr landlíkaninu. Auk þess sem það myndi skila af sér einsleitara landlíkani þar sem í núverandi líkönun koma þessi fyrirbæri sumstaðar fram og annarsstaðar ekki.



### 3.4 Almenn um gæði landlíkananna

Landlíkönin sem gerð voru í þessu verkefni koma ágætlega út fyrir utan svæði 4. Ef Tafla 3 í kafla 3.2.1 er skoðuð til samanburðar við útboðslýsingar fyrir hefðbundnar loftmyndatökur þá koma svæði 2, 5 ágætlega út. En í útboðslýsingum fyrir loftmyndatöku í 800 m hæð þá er gert ráð fyrir að meðalskekkja hæðar sé  $< 0,24$  m þar sem innmælt er á jöfnu landi þ.e. þar sem ekki er kargafþýfi, úfið hraun eða mikill gróður. Þá er gert ráð fyrir að skekkjur stærri en 3 sinnum meðalskekkjan séu ekki fleiri en 10% mælinga.

Þá má einnig geta þess að í tilboði sem Vegagerðin fékk vegna LiDAR-mælinga á Lónsheiði með 0,5 m möskvastærð þá var gert ráð fyrir að í 95% tilvika væri mismunur á innmælingum (á sléttu landi) og landlíkani innan við  $\pm 0,2$  m. Landlíkan frá Designing Reality af svæði 2 og líkanið af svæði 5 unnið í Pix4D er ekki langt frá þeim kröfum sérstaklega ef tekið er tillit til þess ekki er mælt alltaf á sléttu landi.

Af hverju svæði 4 kemur svo illa út er óskýrt en ekki var flogið yfir „control“ punkta í suðvesturhorni svæðisins. Það leiddi til þess að „control“ punktarnir voru ekki jafndreifðir yfir svæðið og má gera ráð fyrir að það hafi haft áhrif á gæði líkansins.

## 4 Landlíkan með myndatöku úr bíl

Hugbúnaðarfyrirtækið Designing Reality hefur verið að þróa aðferðir til að útbúa landlíkön með því að nota ljósmyndir sem eru teknar úr bíl á ferð. Hluti verkefnisins var að prófa að gera landlíkan af umhverfi Hringvegarins í Kömbunum. Myndatakan fór fram með þeim hætti að festur var rammi á bíl og á hvert horn rammans var fest 1 myndavél (Canon 5D Mark II) eða 4 myndavélar í allt. Á bílnum var einnig gps staðsetningartæki og voru mælingarnar úr því notaðar til að ákvarða betur staðsetningu myndavélanna. Bílnum var svo ekið fram og til baka upp Kambana samtals 3 sinnum. Fyrir hverja ferð var sjónarhorni myndavélanna breytt til að sem flest sjónarhorn fengjust af vegumhverfinu.

Fyrir myndatökuna voru settir úr „control punktar“ með um 500-1000 m millibili í sitt hvora vegöxlina. Punktarnir á hvorri vegöxl fyrir sig sköruðust þannig að punktur væri á 250-500 m millibili eftir veginum. Máláður var vinkill fyrir hvern punkt og var mælt í kverkinni á vinklinum. Samtals voru teknar 12.000 myndir.

Ekki reyndist unnt að vinna nægjanlega gott landlíkan eftir þessum ljósmyndum og gekk þessi hluti verkefnisins ekki eftir. Hugbúnaður Designing Reality né annar hugbúnaður er hannaður til landlíkangerðar með þessari aðferð, en það er unnið að því að skoða þann möguleika á því að vinna gagnasett á þennan hátt, þar sem ekki voru nógu góð myndgæði úr loftmyndafluginu þá tókst ekki að tengja saman myndirnar sem teknar voru úr bílnum við myndirnar úr fluginu. Það hefur nú þegar breyst með betri myndavélum í flugvélunum. Einnig virtist einhver skekkja hafa orðið á klukku úr GPS tækjum og myndatökum hafa skeikað til sem gerði það að verkum að erfiðara var að tengja myndirnar saman við staðsetningu í rauðveruleikann, þar sem fleiri en 1 ferð var farin upp og niður Kambana.



Mynd 18. Myndavél fest á grindina. Alls voru 4 myndavélar festar á grindina tvær að framan og tvær að aftan. Sjónarhorni þeirra var svo breytt eftir hverja ferð eftir veginum.

## 5 Umræða

Loftmyndataka með ómönnuðum smáflugvélum er áhugarverður kostur í loftmyndatökum til landlíkanagerðar. Kambarnir hentuðu illa flugvélinni sem var notuð í þessu verkefni. Sérstaklega háði það verkinu að ekki var hægt að láta flugvélinna fljúga í jafnri hæð yfir landi. Með því hefði verið hægt að fljúga svæðið í einni lotu. Þá hefur vélin takmarkaðan flugtíma sem takmarkar stærð þess svæðis sem hægt er að fljúga í einu. Til eru aðrar gerðir ómannaðra smáflugvéla eða þyrlla sem hægt er að láta fylgja landhæð og einnig eru til vélar sem hafa mun lengri flugtíma og geta flogið yfir stærra svæði í einni lotu.

Þó að landlíkanagerð með myndatöku úr bíl hafi ekki reynst viðunandi þá er um að ræða áhugaverða aðferð til að gera landlíkön. Sérstaklega þar sem um einfaldan og ódýran búnað er að ræða. Áhugavert ef hægt væri að þróa þessa aðferð frekar.

Hugbúnaðurinn sem var prófaður í þessu verkefni kom ágætlega út, fyrir utan landlíkanið á svæði 4. Æskilegt væri að fara að einhverju leiti handvirkt yfir landlíkönin og hreinsa út fyrirbæri eins og vegrið, girðingar o.þ.h. enda þarf það ekki að vera mjög tímafrekt, þar sem þessi fyrirbæri sjást ágætlega á loftmyndunum.

## **6 Niðurstöður**

Niðurstöður af fluginu gefa til kynna að ómannaðar smáflugvélar geti nýst vel til þess að taka loftmyndir og til landlíkanagerðar fyrir Vegagerðina. Hugbúnaðurinn frá Designing Reality kom vel út þegar unnið var með loftmyndirnar en landlíkanagerð með ljósmyndatöku úr bíl stóðst ekki væntingar.

## **7 Þakkir**

Þakkir fá Páll Bjarnason, Verkfræðistofu Suðurlands fyrir undirbúning fyrir loftmyndaflugið, Gunnar Garðarson og Jón Ágúst Jónsson mælingamenn hjá Vegagerðinni fyrir innmælingar. Einnig fær rannsóknasjóður Vegagerðarinnar þakkir fyrir veittan stuðning við verkefnið.

## 8 Heimildir

<http://uas.trimble.com/X100> (2014) Heimsótt 20.3.2014

<http://www.mining-technology.com/contractors/exploration/pix4d/> (2014) Heimsótt 20.3.2014

[http://en.wikipedia.org/wiki/Unmanned\\_aerial\\_system](http://en.wikipedia.org/wiki/Unmanned_aerial_system) (2014) Heimsótt 20.3.2014

<http://pix4d.com/> (2014) Heimsótt 20.3.2014

Remondino, F., Barazzetti, L., Nex, F., Scaioni, M., Sarazzi, D., (2011). *UAV PHOTOGRAMMETRY FOR MAPPING AND 3D MODELING– CURRENT STATUS AND FUTURE PERSPECTIVES* – Int. Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XXXVIII-1/C22, 2011 ISPRS Zurich 2011 Workshop, 14-16 September 2011, Zurich, Switzerland