

# Klóbang í Breiðafirði

## útbreiðsla og magn

Karl Gunnarsson <sup>1</sup>, Julian Bourgos <sup>1</sup>, Lilja Gunnarsdóttir <sup>1</sup>, Svanhildur Egilsdóttir <sup>1</sup>,  
Gunnhildur I. Georgsdóttir <sup>2</sup>, Victor F. Pajuelo Madrigal <sup>3</sup>

*Tengill:* karl.gunnarsson@hafogvatn.is

*Heimilísföng höfunda:*

<sup>1</sup> Hafrannsóknastofnun, ráðgjafar- og rannsóknastofnun hafs og vatna, Skúlagötu 4, 101 Reykjavík

<sup>2</sup>Náttúrufræðistofnun Íslands, Urriðaholtsstræti 6-8, 210 Garðabæ

<sup>3</sup> Svarmi ehf, Hvaleyrarbraut 4-6, 220 Hafnarfirði

## **INNGANGUR**

Klóþang er ríkjandi tegund í skjólsælum og miðlungsbrimasömum fjörum við allt Norður-Atlantshaf. Við strendur Evrópu vex það frá Hvítahafi suður til Portúgal og Ameríku megin frá Baffinslandi í NA-Kanada suður til New York fylkis, BNA. Klóþang vex umhverfis allt Ísland og er líklega sú tegund lífvera sem mest er af í fjörum hér við land.

Klóþang er fjölær planta sem vex tiltölulega hægt og getur orðið a.m.k. 50 til 60 ára gömul (Åberg 1992). Plantan lengist með vexti í endum greina en endurnýjar sig einnig með sprotum sem vaxa upp af festu og hliðargreinum sem vaxa af svokölluðum vaxtarkrikum sem dreifðir eru á jaðri greinanna upp eftir plöntunni. Þegar grein slitnar neðan við toppinn hættir hún að vaxa á lengdina en við taka hliðargreinar. Þegar plantan rofnar eða slitnar ræðst endurvaxtarhraði hennar m.a. af því hve mikið af vaxtarkrikum verður eftir til að taka við vextinum en það er háð því hvað plantan slitnar langt ofan við festu (Baardseth 1970).

Um þessar mundir er klóþang nýtt í talsverðum mæli á austurströnd Kanada, við Maine á norðausturströnd Bandaríkjanna, við strendur Frakklands, Írlands og Skotlands, í Noregi auk Íslands. Ýmist er það handskorið (Kanada, Frakkland og Írland) eða skorið með mismunandi gerðum sérútbúinna þangsláttupramma (Maine BNA, Skotland, Noregur og Ísland). Stærstur hluti af þanginu fer til framleiðslu gúmmíefnisins algínats en það fer einnig til framleiðslu á áburði, fóðri og fleiru.

Klóþang hefur verið nýtt hér við land um aldir. Allt fram í byrjun 20. aldar var notkunin fyrst og fremst sem eldsneyti, til eldunar og húshitunar. Þang var skorið í fjöru og þurrkað og síðan geymt á þurrum stað heima við bæi (Lúðvík Kristjánsson 1980). Árin 1939-41, 1959 og síðast 1968 voru gerðar tilraunir með þangskurð og framleiðslu þangmjöls á Eyrarbakka og Stokkseyri en framleiðslan var skammvin (Andersen 2011). Árið 1975 hófst þangskurður og framleiðsla þangmjöls á Reykhólum við Breiðafjörð. Síðan þá hefur verið samfelld nýting á klóþangi í Breiðafirði. Á síðustu tveimur áratugum hefur uppskeran oftast numið milli 15 og 20 þúsund tonnum af klóþangi á ári.

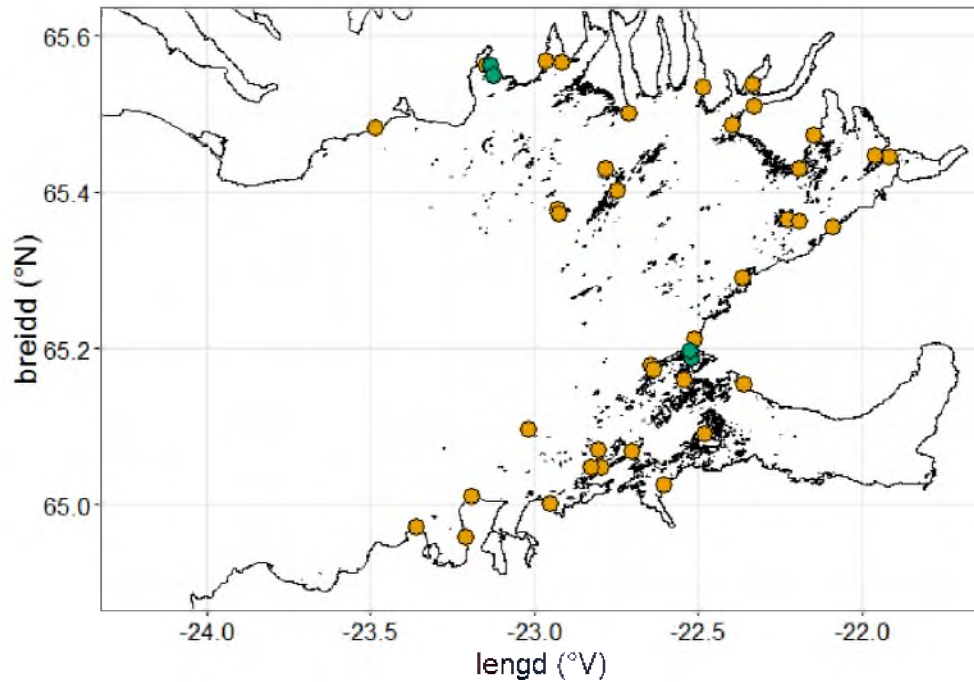
Á undanförunum árum hefur áhugi á nýtingu þörunga almennt, aukist um allan heim. Það á einnig við um nýtingu þangs. Nýlega hafa nokkrir aðilar sýnt áhuga á aukinni nýtingu þangs í Breiðafirði enda Breiðafjörður þekktur fyrir mikinn þangvöxt. Eyjar og sker eru talin óteljandi í firðinum og hvergi við landið er munur flóðs og fjöru meiri en á Breiðafirði, um 4,3 m að meðaltali um stórstraum (Sjómælingar Íslands 2016). Í Breiðafirði er einnig fjöruhali víðast hvar lítill. Þetta gerir það að verkum að víðátta fjörusvæða er gríðarlega mikil í firðinum. Agnar Ingólfsson (1975) hefur m.a. getið sér til um að meira en helming af öllum þangfjörum við Ísland sé að finna í Breiðafirði eða um 144 ferkílómetrar.

Í framhaldi af áformum um aukna þangtekju í Breiðafirði ákváðu stjórnvöld að setja lög og reglur um sjálfbæra nýtingu sjávargróðurs í atvinnuskyni. Árið 2016 var lagt fyrir alþingi frumvarp um breytingar á lögum um umgengni um nytjastofna sjávar, um stjórn fiskveiða og um veiðigjald þar sem bætt er við ákvæðum um nýtingu sjávargróðurs en lítið sem ekkert var minnst á sjávargróður í fyrri lögum.

Til að tryggja sjálfbæra nýtingu klóþangs í Breiðafirði er nauðsynlegt að vita hve mikið er af klóþangi í firðinum og hversu mikið af því óhætt er að taka. Það ræðst m.a. af því hvernig plantan vex og endurnýjar sig eftir tekju. Auk þess ber að haga tekjunni þannig að hún sé sjálfbær hvað varðar áhrif á annað lífríki í firðinum.

Í þessari skýrslu er gerð tilraun til að meta heildarmagn klóþangs í Breiðafirði. Matið byggir á tvenns konar gögnum, annars vegar mælingum á lífmassa á flatareiningu í fjörum og hins vegar á mati á heildarflatarmáli sem vaxið er

klóþangi. Til að meta lífmassa klóþangs voru gerðar beinar uppskerumælingar á 37 stöðum við fjörðinn (1. mynd). Til að meta heildarflatarmálið voru notaðar loft- og gervitunglamyndir. Heildarlífmassi klóþangs var síðan reiknaður út frá þessum tveimur þáttum.



1. mynd. Dreifingu 37 athugunarstöðva um Breiðafjörð (gulir deplar), þar sem beinar mælingar voru gerðar á þangi. Endurvaxtartilraunastöðvar eru merktar með grænum deplum.

## **EFNIVIÐUR OG AÐFERÐIR**

*Athugunarstöðvar.* Rannsóknasvæðið var í Breiðafirði innan línu sem hugsast dregin frá Hrísnesi við Haukabergsvaðal á Barðastönd norðan fjarðarins, suður í Látravík skammt innan við Ólafsvík á norðanverðu Snæfellsnesi.

Athugunarsvæðið nær inn í mynni Hvammsfjarðar en megnið af Hvammsfirði er utan við athugunarsvæðið. Valdir voru 40 staðir sem endurspeгла breytileika í helstu þáttum sem taldir eru hafa áhrif á vöxt þangs: brimasemi, undirlag, halla, strauma og seltu (1. mynd). Einnig var tekið tillit til þess við val á stöðum að þeir dreifðust um allt svæðið. Þremur staðanna var sleppt þar sem aðgengi eða aðrar aðstæður voru óhentugar.



2. mynd. Mismunandi gerðir klóþangsfjörü í Breiðafirði

*Gagnasöfnun.* Byrjað var að mæla uppskeru klóþangs í apríl 2016 og var farið um hvern nothæfan stórstraum til mælinga þar til mælingum lauk í byrjun júlí. Unnið var um stórstraumsfjörü og var miðað við að safna gögnum einungis þá daga sem sjávarhæð um fjöru væri lægri en 0,3 m yfir 0-punkti sjómælinga (Sjómælingar Íslands 2016). Vinna í fjörunni hófst að jafnaði um þremur tímum fyrir háfjörü og lauk yfirleitt um þremur til fjórum tímum eftir fjöru.

Á hverri athugunarstöð voru merkt tvö snið hornrétt á fjöruna ofan frá efstu klóþangsplöntum (við neðri mörk klapparþangsbeltis) niður að lágfjörumörkum.

GPS hnit voru skráð á efstu og neðstu stöð sniðanna. Milli sniðanna voru hafðir 50 eða 100 metrar. Ef nægilega stór einsleitur kafli var til staðar, voru hafðir 100 m milli sniðanna, annars voru 50 m látnir duga. Byrjað var efst í fjöru. Snið 1 var unnið niður en snið 2 unnið upp fjöru.



3. mynd. Mælingar á lífmassa þangs og lengd klóþangsplantna. Á hverjum söfnunarstað var þang athugað í tveimur sniðum frá efri mörkum klóþangsbeltisins að neðri mörkum.

Á hvoru sniði voru sett út 10 reitapör ef því var við komið (hver reitur var 50 x 50 cm stálrammi; 0,25 m<sup>2</sup>). Efsta parið var sett á stöð rétt neðan við neðri mörk klapparþangsbeltis, það næsta 25 cm lægra í fjörunni og þannig koll af kolli niður fjöruna, að neðri mörkum klóþangsbeltisins eða lágfjörumörkum (3. mynd). Á

sniði 2 var byrjað við neðsta þang og reitapörin lögð með 25 cm hæðarmun upp fjöruna á sama hátt og endaði við efri mörk klóþangsbeltisins. Hæðarmunurinn var mældur með tveimur jafnlöngum, kvörðuðum stikum, lesið var af kvarðanum á efri stikunni við 25 cm mark og var neðri stikan sett við næsta reit fyrir neðan sem var valinn þar sem toppur á neðri stikunni bar við sjóndeildarhring. Þegar farið var upp fjöruna á 2. sniði var farið öfugt að og efri stikunni fundinn staður 25 cm ofan við næstu stiku fyrir neðan. Þá sjaldan land eða eyja byrgði sýn og sjóndeildarhringur sást ekki, var miðað við sömu hæð í gagnstæðri fjöru, í stað sjóndeildarhrings. Fjarlægð milli reita var einnig mæld eftir yfirborði fjörunnar. Hæð reita yfir 0-punkti sjómælinga var ákvörðuð út frá mælingum á mun milli hæðar neðsta reits og sjávarhæðar um fjöru, miðað við sjávarfallatöflu (Sjómælingar Íslands 2016).

Í flestum tilfellum náðist að mæla þang í a.m.k. 10 reitapörum (9,5 að meðaltali) á hverju sniði. Á allmörgum stöðum í innri hluta fjarðarins voru aðstæður þó þannig að færri en 10 reitapör voru frá efri mörkum niður að neðri mörkum klóþangs, þangið þraut og við tók leir.

Áætluð þekja hverrar þangtegundar (klappar-, bólu-, skúf- og klóþangs) var skráð í tugum prósentu fyrir hvern ramma. Allt þang sem var fast innan rammans var skorið 3 cm frá festu og hver þangtegund vigtuð sér í vigtarneti með handvog (ElectroSamson krókvog, Salter Brecknell, USA) sem hafði 10 g nákvæmni.

Við hvern reit voru valdar 4 klóþangsplöntur sem voru lengdarmældar með kvörðuðum hæðarstikunum. Til mælinga voru valdar þær plöntur sem voru næstar hornum reitsins. Sú grein hverrar plöntu sem náði lengst frá festu var mæld frá festu að enda greinar.

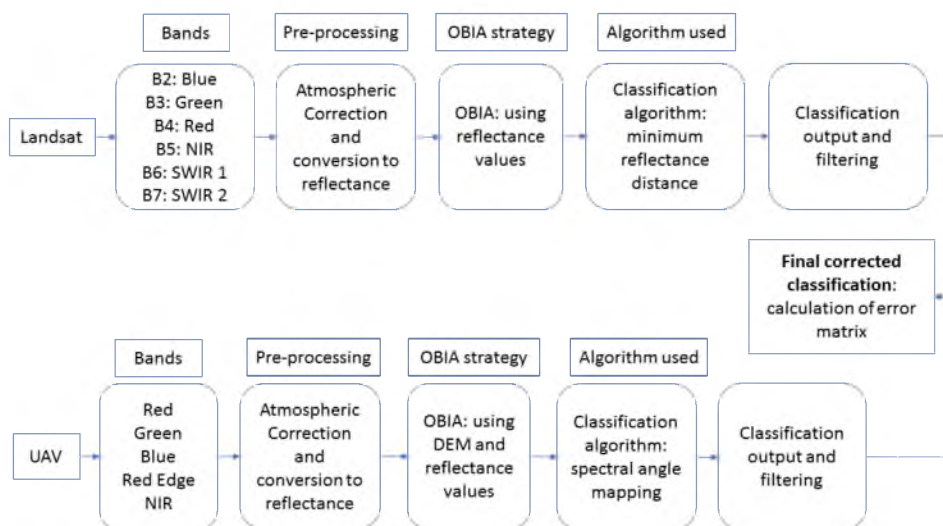
Skráð var, á hverju sniði, almenn lýsing á gróður- og dýralífi í fjörunni og hvort ásætur voru á þanginu. Ennfremur var skráð gerð undirlags og aðrar aðstæður auk þess sem allmargar myndir voru teknar.

*Loftmyndir.* Til að meta heildarflatarmál þangþekju í firðinum voru notaðar loftmyndir frá Loftmyndum ehf. Í landupplýsingaforritinu QGIS 2.18.0 (QGIS development team 2017) og ArchMap 10.3.1 voru afmarkaðir skikar þar sem



sást að þang óx. Metin var þekja þangs í hverjum skika í prósentum (30, 50, 70 eða 90%). Engar loftmyndanna eru teknar á háfjöru en lang oftast saust þangflekki vel á myndunum. Þetta gerir það að verkum að efri mörk þangsins ættu að vera tiltölulega vel afmörkuð af loftmyndunum en neðri mörkin mun síður. Það leiðir af sér að líklegt er að heildarflatarmálið sé vanáætlað. Þar sem því var við komið voru yfirlitsmyndir frá Samsýn (<http://kort.samsyn.is/gagnavefsja/>), Landmælingum Íslands (<http://kortasja.lmi.is/>), Google-maps ([www.google.is/maps/](http://www.google.is/maps/)) og Bing-maps ([www.bing.com/maps/](http://www.bing.com/maps/)) hafðar til hliðsjónar og skikarnir leiðréttir ef hægt var. Einnig voru tiltækar ljósmyndir af fjörum Breiðafjarðar notaðar í sama tilgangi.

*Dróna myndir.* Drónar voru notaðir við myndatöku á tveimur svæðum í sunnanverðum Breiðafirði, við Bjarnarhöfn og við Þingvelli á Þórsnesi (sjá nánar í viðauka, 4. mynd). Myndirnar voru teknar um fjöru á stórstraumi, í október við Bjarnarhöfn og í nóvember við Þingvelli. Við myndatöku voru gerðar staðlaðar endurvarpsmælingar við jörð til að leiðrétta endurvarpsgildi myndeyninga við breytileg birtuskilyrði.



4. mynd. Verkferlar við flokkun og greiningu myndeyninga á gervitungla- (Landsat) og dróna myndum (UAV).

Við Bjarnarhöfn voru myndir teknar í 140 m hæð. Heildarsvæðið sem var myndað var 0,4 km<sup>2</sup> og náðust bæði fjölrásamyndir (*multispectral*, með 16 cm upplausn á myndeyningu) og venjulegar litmyndir (RGB, með 4,19 cm upplausn).

Við Þingvelli voru teknar dróna myndir úr 200 m hæð af 0,4 km<sup>2</sup> svæði. Snjór var yfir landinu í nóvember sem gerði fjölrása-myndatöku erfiða, því voru eingöngu teknar hefðbundnar litmyndir (4,98 cm upplausn). Við Þingvelli var ein af athugunarstöðunum 37 inni á myndatökusvæðinu. Upplýsingar af þeirri stöð voru hafðar til hliðsjónar við greiningu á myndunum.

*Gervitunglamyndir.* Auk loftmynda voru notaðar gervitunglamyndir til að fá mat á flatarmáli þangþekju í fjörum Breiðafjarðar. Unnið var með gervitunglamyndir, teknar með Landsat 8 tungli (30x30 m upplausn, USGS, 5. mynd). Notaðar voru þrjár Landsat myndir sem saman þekja allan Breiðafjörð; ein mynd tekin 28. febrúar og tvær 2. mars 2017. Myndirnar voru teknar um miðjan dag, en báða þessa daga var stórstraumsfjara og heiðskír himinn.



5. mynd. Landsat-8 gervitunglamynd, samsett úr þremur myndum sem teknar voru af Breiðafirði dagana 28. febrúar og 2. mars 2017. Myndirnar voru teknar um stórstraumsfjöru og voru notaðar til að meta flatarmál þangþekju í Breiðafirði

Notuð voru 6 mismunandi litrófsbil við greiningu á Landsat myndunum. Upplýsingar af dróna myndunum voru notaðar til grundvallar við flokkun myndeininga á gervitunglamyndunum í þrjá flokka: 1) land og annar gróður, 2) sjór og 3) klóþang. Landupplýsingaforritið QGIS var síðan notað til útreikninga á útbreiðslu og þekju klóþangs af Landsat myndunum. Með samanburði dróna mynda og gervitunglamynda fékkst einnig mat á áreiðanleika útreikninga á flatarmáli

þangþekju út frá gervitunglamyndum. Vegna ýmissa annmarka á hefðbundnum loftmyndum og afmörkun þangskika af þeim var ekki talið ráðlegt að reikna skekkjuna af þeim eins og af gervitunglamyndunum. Með frekari greiningu og fleiri svæðum sem mynduð yrðu með drónum er vonast til að það verði hægt.

*Gagnameðhöndlun.* Allir útreikningar voru gerðir með R gagnavinnsluforritinu (R Core Team 2016). Halli fjöru var reiknaður út frá GPS mælingu á efsta og neðsta reit á hverju sniði og hæðarmun milli reitanna. Fyrir þau snið sem annað eða bæði GPS hnitin vantaði var hallinn reiknaður út frá mældri fjarlægð milli reita og hæðarmun milli efsta og neðsta reits. Sjávarhæð var leiðrétt fyrir mismun í loftþrýstingi um 10 cm fyrir hver 10 millibör sem loftþrýstingur var yfir eða undir meðaltali (sjá Sjómælingar Íslands 2016). Loftþrýstingsgildi voru fengin fyrir hvern dag frá sjálfvirkum veðurstöðvum Veðurstofu Íslands.

Gögn um brimasemi fengust frá Náttúrufræðistofnun Íslands þar sem brimasemi hafði verið metin með WEMo 4.0 líkani frá NOAA (Gunnhildur I. Georgsdóttir o.fl. 2016). Til að tengja lífmassa þangs við brimasemi var reiknað meðaltal af öllum brimasemisgildum í 100 metra radíus út frá hverri stöð.

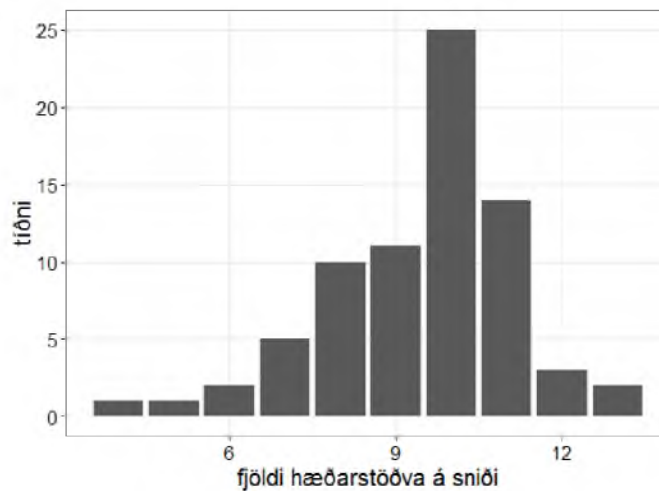
Til að kanna samband milli lífmassa klóþangs og brimasemi, halla, staðsetningu og víxlverkanir á milli þessara þátta voru prófuð nokkur líkön. Líkönin voru borin saman með AIC gildum (Akaike information criterion). Þau líkön sem voru prófuð voru línulegt líkan og GLS líkan (Generalized Least Squares). Endanlegt líkan sem var valið var GAM (Generalized Additive Model) líkan þar sem samband lífmassa, brimasemis og halla voru skoðuð sem línulegt fall og bætt við landfræðilegri staðsetningu. Líkanið notaði „tweedie“ dreifingu og lógaritmískt tengifall.

Niðurstöður líkansins voru síðan notaðar til að reikna heildarlífmassa þangs í firðinum. Notaðar voru þekjur sem fengust úr greiningu þangþekju af loftmyndum annars vegar og gervitunglamyndum hins vegar.

## NIÐURSTÖÐUR

### Mat á þéttleika/lífmassa klóþangs

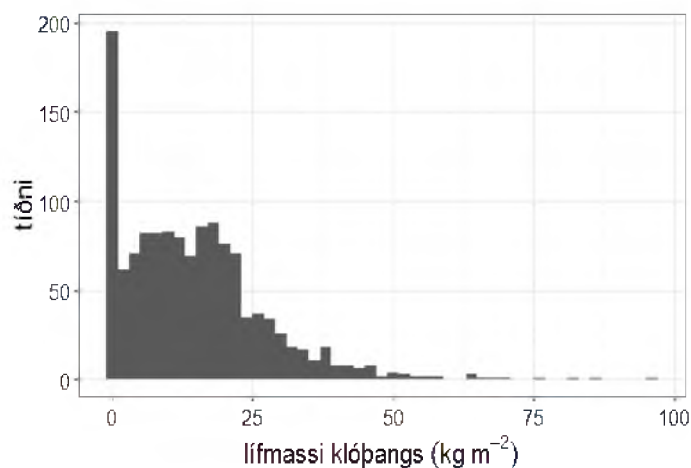
Í flestum tilfellum náðist að mæla milli 8 og 11 hæðarstöðvar á sniði (6. mynd). Minnst náðust aðeins 4 stöðvar og mest 13. Að meðaltali náðust 9,46 stöðvar á hverju sniði. Út frá þessu sést að klóþangsbeltið var að jafnaði rétt rúmir 2 m að hæð en mest um 3 m. Að jafnaði náðust færri hæðarstöðvar í innanverðum firðinum en utar, þar sem leir þakti oft neðsta hluta fjörunnar í skjólsælum fjörum.



6. mynd. Dreifing fjölda hæðarstöðva á hverju sniði. Milli stöðva var 25 cm hæðarmunur.

Klóþang var ríkjandi þangtegund í fjörum Breiðafjarðar á öllum athugunarstöðvunum nema ystu stöðvunum. Við Krossanes sunnan fjarðarins og Skjaldvararfoss norðan hans. Þar var bólþang og skúfþang ríkjandi. Við Skjaldvararfoss var bólþang ríkjandi um mestalla fjöruna. Þar var talsverður sandur í kring og þar er brimasamt. Það er því líklegt að sandurinn hamli vexti klóþangs. Við Krossanes er erfiðara að skýra það að klóþang vantar. Þar er fjörubeðurinn grjót og klöpp.

Af 1400 reitum sem voru mældir var klóþang á 1296. Algengast var að lífmassi á reit ( $0,25 \text{ m}^2$ ) mældist á bilinu frá 0 til 6 kg en mest fengust 24 kg af klóþangi af einum  $0,25 \text{ m}^2$  reit (7. mynd). Meðalþyngd klóþangs, umreiknuð á fermetra, ef allir reitir eru teknir með var 13,53 kg (95% öryggisbil: 12,86 – 14,19 kg  $\text{m}^{-2}$ ).



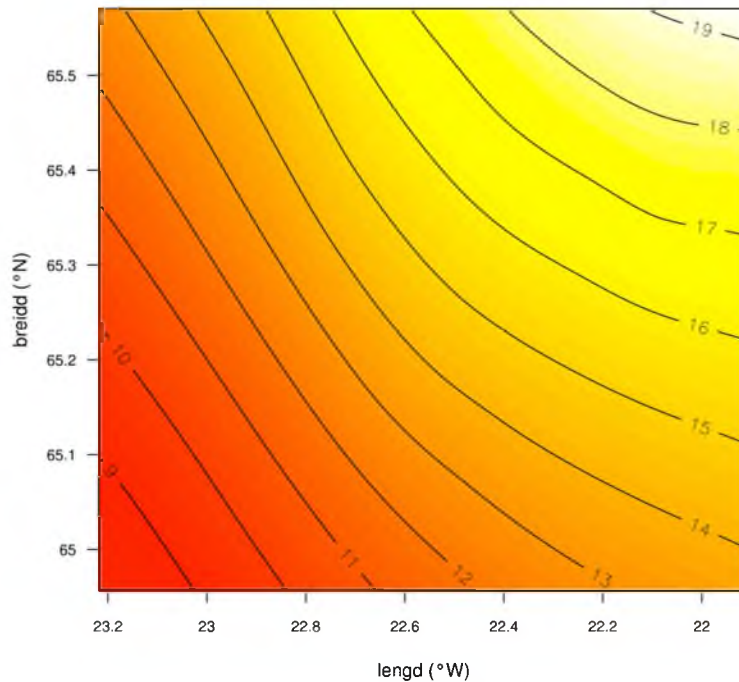
7. mynd. Dreifing á mældum gildum fyrir lífmassa klóþangs í Breiðafirði. Athugið að lífmassinn var mældur á 0,25 m<sup>2</sup> reitum en hefur hér verið umreiknaður yfir í kg m<sup>-2</sup>.

Á tveimur ystu athugunarstöðum var lítið af klóþangi eins og áður segir. Við Krossanes, var bólþang ríkjandi í efri hluta fjörunnar (1,6 kg m<sup>-2</sup> að meðaltali; meðaltal allra reita) en skúfþang í neðri hlutanum (1,5 kg m<sup>-2</sup> að meðaltali). Við Skjaldvararfoss, var bólþang ríkjandi (4,7 kg m<sup>-2</sup> að meðaltali). Aðrar þangtegundir voru að jafnaði í mjög litlu magni (tafla 1). Það ber þó að hafa í huga að meginbelti klapparþangs var ofan við þann hluta fjörunnar sem athugunin náði til.

Tafla 1. Meðallífmassi annarra þangtegunda en klóþangs í Breiðafirði

	<u>lífmassi kg m<sup>-2</sup></u>
<i>bólþang</i>	1,06
<i>skúfþang</i>	0,2
<i>klapparþang</i>	0,07
<i>þang ógreint</i>	0,01

Skóðað var samband milli mælds lífmassa, brimasemi, halla fjöru og staðsetningar með GAM-líkani. Ekki var marktækt samband milli lífmassa, brimasemis eða halla í okkar mælingum. GAM-líkanið sýndi hins vegar marktæka breytingu á lífmassa klóþangs eftir staðsetningu í firðinum (8. mynd). Með því að taka einnig tillit til brimasemi jókst spágildi líkansins lítillega. Líkanið útskýrði 62% af breytileikanum í lífmassagögnunum. Lífmassinn fór úr um 8 kg m<sup>-2</sup> yst í firðinum í 18 kg m<sup>-2</sup> innst. GAM-líkanið var notað við útreikninga á heildarlífmassa í firðinum (sjá aftar).



8. mynd. Niðurstaða GAM-líkans sem sýnir hvernig lífmassi þangs breytist með staðsetningu í firðinum. Úr um  $8 \text{ kg m}^{-2}$  í fjarðarmynni í um  $18 \text{ kg m}^{-2}$  í fjarðarbotni.

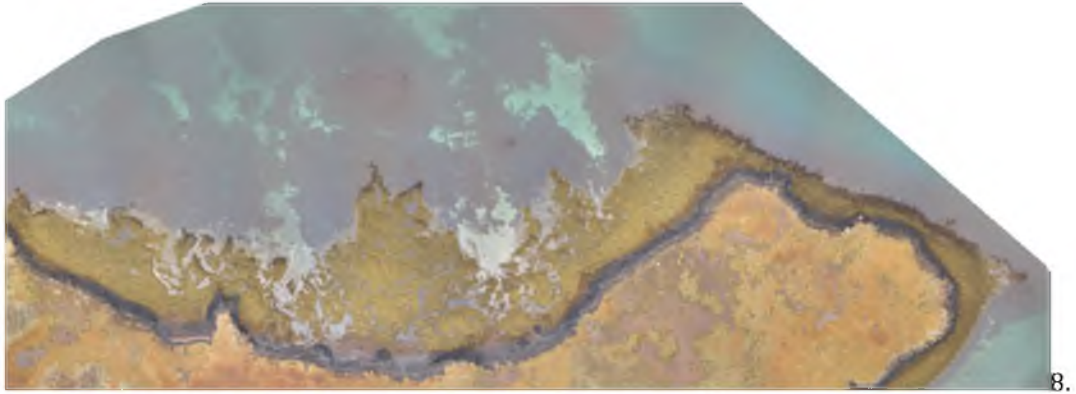
#### *Mat á flatarmáli þangþekju*

Þangþekjur sáust sæmilega vel á nærri öllum loftmyndunum. Mismikið hafði þó fallið út þegar myndirnar voru teknar. Engar myndanna voru teknar á háfjöru. Niðurstöður af afmörkun þangfleckja út frá loftmyndunum sýna efri mörk klóþangþekjunnar í fjörunni og er oftast hægt að greina dökkt klapparþangið (efsta þangbeltið) frá klóþangi sem er ljósara á myndunum. Í mörgum tilfellum mátti einnig sjá neðri mörkin einkum á þeim myndum sem teknar voru þegar stutt var í háfjöru eða þar sem skörp skil voru milli þangs og leirs við neðri mörk þangsins, sjór var tær og sléttur og vel sást til botns á myndunum. Oftast voru neðri mörkin þó óljós eða sáust alls ekki á loftmyndunum.

Niðurstöður mælinga á hefðbundnum loftmyndum eru að um 91,3 ferkílómetrar af fjörum séu vaxnir klóþangi í Breiðafirði. Gera má ráð fyrir að heildarþekjan sé nokkru meiri þar sem niðurstöður greininganna eru vanmat á heildarþekju þangs í firðinum eins og gert er grein fyrir hér að framan.

Hægt var að greina þrjár mismunandi þörungþekjur á dróna myndunum sem samsvöruðu ríkjandi þang- og þarategundum (9. og 10. mynd); klapparþangi sem vex efst í fjöru og klóþangi sem er ríkjandi yfir megnið af fjörunni frá neðri

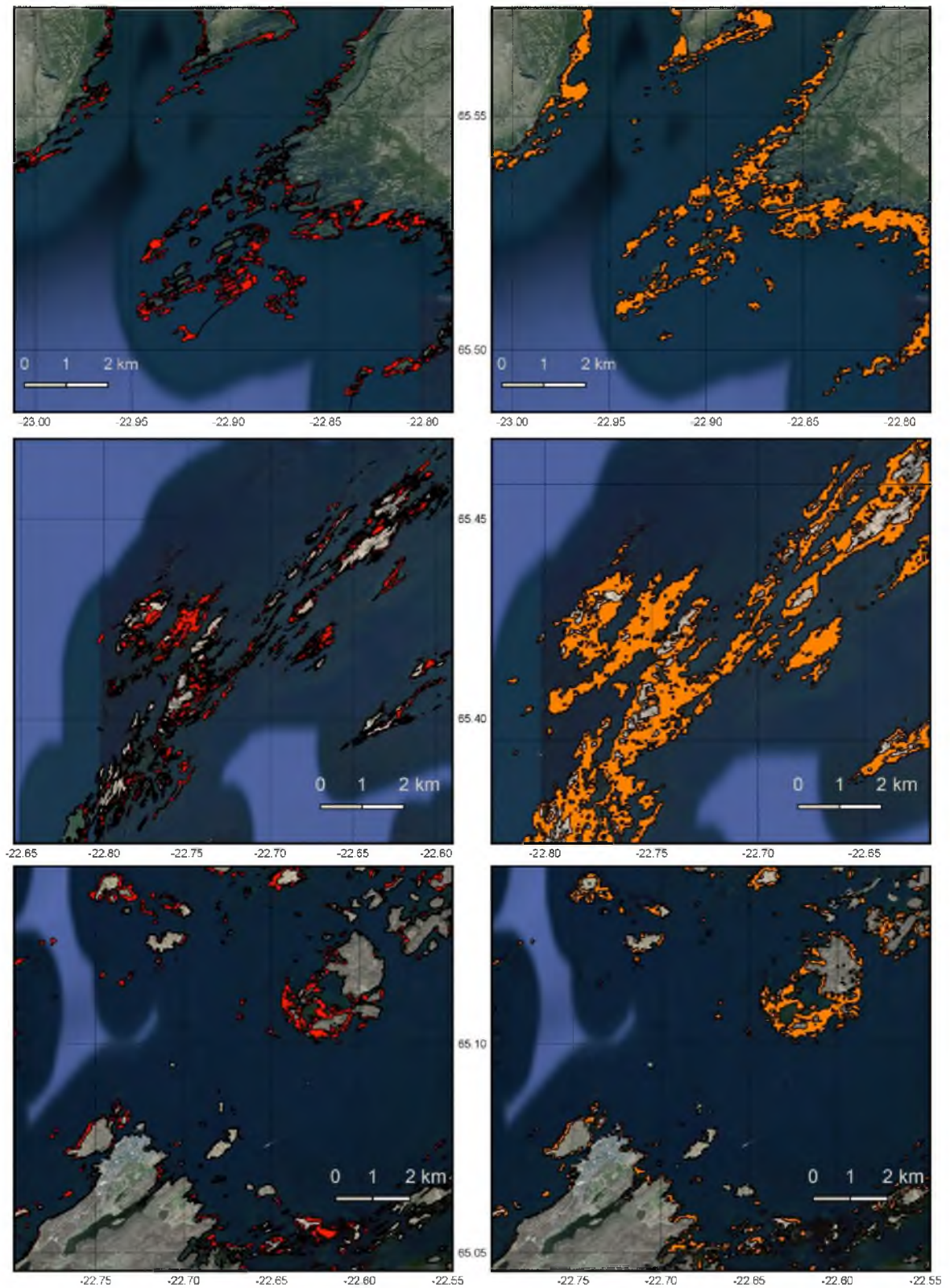
mörkum klapparþangspekjunnar niður að stórfjörumörkum. Neðst í fjörunni voru áberandi flekkir af hrossaþara og beltisþara sem sáust einnig vel á dróna myndunum.



8.  
9. mynd. Samsett loftmynd af fjörunni skammt norðan við Bjarnarhöfn við Breiðafjörð. Myndirnar voru teknar með dróna í október 2016, á fjöru, um stórstraum.



10. mynd. Samsett loftmynd af fjöru við Þingvelli suðaustur af Stykkishólmi. Myndirnar voru teknar með dróna í nóvember 2016 um stórstraumsfjöru.



11. mynd. Samanburður á þekju klóþangs eins og hún birtist við greiningu loftmynda (rauður litur, vinstra megin) og Landsat gervitunglamynda (gulur litur, hægra megin). Myndirnar sýna þrjá staði í Breiðafirði sem dæmi. Efsta parið sýnir svæðið í mynni Kjálkafjarðar. Í miðið sjást Svefneyjar, Hvallátur, Skáleyjar og Sviðnur í Vestureyjum. Neðsta myndaparið sýnir fjörur í námunda við Stykkishólm.



Endurvarp frá klóþangi eins og það kemur fram á dróna myndunum var borið saman við endurvarp á gervitunglamyndum til að flokka myndeiningar gervitunglamyndanna. Greining Landsat gervitunglamynda sýndi svipaða útbreiðslu klóþangs í Breiðafirði og greining loftmyndanna gaf til kynna (11. mynd) þó að flatarmálið væri nokkuð meira. Niðurstaða greiningar gervitunglamyndanna var að heildarflatarmál fjara með klóþangi í firðinum væri um 106,7 ferkílómetrar.

#### *Mat á heildarlífmassa klóþangs*

Ef við tengjum niðurstöður GAM-líkansins, annars vegar við þekju klóþangs eins og hún var afmörkuð á loftmyndum og hins vegar við þekjuna sem fengin var af Landsat gervitunglamyndum fást tvær óháðar áætlanir á heildarmagni klóþangs í Breiðafirði.

Skekkja í áætlun um heildarlífmassa klóþangs, byggt á gervitunglamyndum, var metin á eftirfarandi hátt. Á Landsat myndunum mátti greina 3927 myndeiningar sem flokkuðust sem klóþang. Með samanburði við dróna myndir fékkst að í 21,12 % tilfella var um ofmat að ræða þ.e. myndeiningar voru taldar sýna þang þegar ekkert þang var til staðar. Á hinn bóginn fékkst með sama hætti að í 17,84 % tilfella var talið að myndeiningar sýndu ekkert þang þegar þang var í raun fyrir hendi. Ofmat á þekjunni er í raun mun algengara en vanmat þar sem upplausn gervitunglamyndanna er mun minni en dróna myndanna.

GAM greining á niðurstöðum mælinga á lífmassa klóþangs gaf spá um þéttleika klóþangs í hverjum afmörkuðum skika ásamt staðalskekkju þeirrar spár fyrir þann skika. Til að fá mat á heildarskekkju fyrir lífmassamatið voru gerðar 1000 hermingar. Í hverri hermingu var eftirfarandi framkvæmt: Fyrir hvern skika var þéttleikagildi valið með slembiúrtaki og notað til þess meðaltal og staðalfrávik úr GAM spá fyrir þann skika.

Fyrir hvern skika var fengið mat á flatarmáli af Landsat mynd sem var margfaldað með slembitölu með jafnri dreifingu á bilinu 0,7888 og 1. Það var gert til að taka tillit til tilviljunarkennds möguleika á að stærð skikans væri ofáætluð sem nemur 0 til 21,12%.

Þá var flatarmál hvers skika og þéttleiki klóþangs í honum margfaldað saman og að lokum var lífmassi í öllum klóþangsskikum lagður saman.

Hefðbundnu loftmyndirnar sem voru notaðar eru margar. Þær voru teknar á löngu árabili, við mismunandi birtuskilyrði. Þær hafa mismunandi upplausn og eru teknar við mismunandi sjávarstöðu. Erfitt er að áætla skekkju í mati á klóþangþekju af loftmyndunum vegna þess hve ólíkar myndirnar eru. Það veldur því að skekkja á þangþekju á einum stað hefði aðeins gilt fyrir lítinn hluta myndanna. Við mat á heildarmagni klóþangs út frá loftmyndum er því einungis tekið tillit til skekkju af spá GAM-líkansins.

Tafla 2. Mat á heildar flatarmáli klóþangs í Breiðafirði ásamt útreikningum á heildarlífmassa þangsins í firðinum. Matið er annars vegar gert út frá hefðbundnum loftmyndum og hins vegar gervitunglamyndum (Landsat).

	<i>þekja (km<sup>2</sup>)</i>	<i>heildarlífmassi (tonn)</i>	<i>95% öryggismörk</i>	
<i>Loftmyndir</i>	91,279	1.056.456	1.042.079	1.070.485
<i>Landsat</i>	106,752	1.373.849	1.341.290	1.406.408

Greining gervitunglamyndanna gefur heildarmassann 1,37 milljón tonn (95% öryggisbil: 1,34 – 1,41 milljón tonn) ferskt klóþang (tafla 2). Sambærilegt mat út frá handteiknuðum skikum á loftmyndum er 1,06 milljón tonn (95% öryggisbil: 1,04 – 1,07 milljón tonn).

## UMRÆÐA

Í þessari skýrslu er fjallað um rannsóknir á klóþangi í Breiðafirði sem efnt var til vegna áforma um aukna tekju þangs í Breiðafirði. Markmiðið var m.a. að áætla heildarmagn klóþangs í firðinum. Það var talin ein forsenda þess að hægt væri að meta hvort ráðlegt væri að auka þangtekju í firðinum.

Klóþangsfjörur Breiðafjarðar eru mjög misjafnar að gerð. Sums staðar er samfelld þekja klóþangs yfir alla fjöruna frá efstu mörkum niður að stórstraumsfjöru. Annars staðar er klóþangið gisnara, allt niður í að vaxa á mjóum klapparrönum innan um víðáttumikla leirfláka.

Þéttleiki klóþangs í grjót- og klapparfjörum við Breiðafjörð er einnig talsvert breytilegur (8 – 18 kg m<sup>-2</sup>). Þessi breytileiki tengist að einhverju leyti staðsetningu í firðinum. Minnstur er þéttleikinn að jafnaði yst og mestur innst í firðinum. Sambærilegar athuganir á þéttleika þangs annars staðar við landið eru ekki margar en benda til að þéttleiki klóþangs sé fremur hár í Breiðafirði. Munda (1964) mældi t.d. að meðaltali um 6,3 kg m<sup>-2</sup> í fjörunni milli Ölfusár og Þjórsár. Líklegt er þó að þéttleiki þangs sé breytilegur milli ára eftir því hvernig veður og ís leikur þangið. Á undanförunum árum hefur verið fremur hlýtt við landið, vetur mildir og lítill ís hefur verið á Breiðafirði. Hugsanlega hefur það þau áhrif að magn klóþangs í fjörum er meira nú en vanalega.

Hingað til hafa ekki verið haldbærar tölur til um heildarmagn klóþangs í Breiðafirði en heildarflatarmál grjót- og klapparfjara í Breiðafirði hefur verið talið um 144 km<sup>2</sup> (Agnar Ingólfsson 1975). Í þessari skýrslu er metið að klóþang þeki milli 91 og 106 km<sup>2</sup> af fjörum Breiðafjarðar. Að minnsta kosti hluti af muninum milli eldri og núverandi mats á þang þekjunni er vegna þess að klóþang þekur aðeins hluta fjörunnar og hluti fjörunnar er þakinn öðrum þangtegundum eins og klapparþangi.

Okkar áætlun um heildarmagn klóþangs í Breiðafirði byggir á mælingum á þéttleika klóþangs í fjörunni og flatarmáli fjara sem vaxnar eru klóþangi. Mælingar á þéttleika eru í sjálfu sér einfaldar. Þar sem fjöldi mælinga var mjög mikill (1400 reitir) og þær dreifðust vel um fjörðinn með tilliti til þátta eins og

staðsetningar, brimasemi og gerð fjöru má gera ráð fyrir að þær niðurstöður séu nálægt raunverulegum þéttleika klóþangs í Breiðafirði.

Áætlanir um heildarflatarmál fjara sem þaktar eru klóþangi eru hins vegar ýmsum annmörkum háðar. Loftmyndirnar sem voru notaðar eru mjög breytilegar hvað varðar birtuskilyrði, upplausn og hvernig stóð á sjávarföllum þegar þær voru teknar. Það var því oft snúið að afmarka klóþangsþekjur af loftmyndunum. Það á sérstaklega við um neðri hluta fjörunnar. Vegna þess að mismikill hluti fjörunnar var umflotinn sjó þegar myndirnar voru teknar er líklegt að mat á flatarmáli klóþangsþekju út frá loftmyndum sé vanmat.

Gervitunglamyndir eru í mismunandi upplausn eftir því úr hvaða tungli þær eru teknar. Á myndum frá Landsat-8, eins og notaðar voru í þessu verkefni, samsvarar hver myndeining 30x30 m fleti af yfirborði jarðar. Þó svo að myndeiningarnar hafi verið kvarðaðar með dróna myndum sem hafa upplausn sem nemur nokkrum cm eru Landsat myndirnar samt það grófar að það er líklegt að þær ofáætli þekju klóþangs. Dróna myndirnar sem notaðar voru til að kvarða gervitunglamyndirnar voru teknar í tveimur, tiltölulega líkum fjörum. Kvörðunin takmarkast því við eina gerð fjöru en er notuð fyrir allan fjörðinn. Líklega kæmi betra mat ef dróna myndir væru teknar af mörgum ólíkum fjörum.

Til eru gervitunglamyndir með mun meiri upplausn en Landsat myndir, eins og t.d. SPOT gervitunglamyndir með 10x10 m myndeiningar og RapidEye myndir sem hafa 5x5 m myndeiningar. Ef þær myndir væru notaðar fengist nákvæmara mat á heildarþekju klóþangs í firðinum. Til þess þyrfti myndir sem þekja fjörðinn allan á stórstraumsfjöru, þegar það er heiðskírt. Dróna myndir hafa mikla upplausn og eru almennt mjög hentugar til greiningu loft- eða gervitunglamynda sem hafa minni upplausn en 10 cm á hverja myndeiningu og til að meta skekkju í þekjumatinu.

Í þessari skýrslu er borið saman mat á heildarþekju klóþangs með tveimur aðferðum. Annars vegar með afmörkun klóþangsskika af loftmyndum sem getur verið mjög nákvæmt en er afar tímafrekt verkefni. Nákvæmnin ræðst þó af því hve góðar loftmyndirnar eru og hvort þær eru teknar á háfjöru. Hins vegar voru notaðar gervitunglamyndir sem auðvelt og fljótlegt er að greina eftir að þær hafa

verið kvarðaðar með dróna myndum. Með gervitunglamyndum með hærri upplausn og hágæða dróna myndum til kvörðunar má fá nákvæmara mat á lífmassa þangs í fjöru. Í þessu verkefni hafa verið þróaðar aðferðir og verkferlar við greiningu og flokkun gagna úr gervitunglamyndum sem geta flýtt fyrir greiningu á þeim myndum.

Niðurstöður sem eru tíundaðar í þessari skýrslu eru hluti af þeim upplýsingum sem eru nauðsynlegar til að geta ráðlagt um sjálfbæra nýtingu klóþangs í Breiðafirði. Auk þeirra upplýsinga um magn og dreifingu þangsins sem settar eru fram hér þarf að afla upplýsinga um vöxt þangsins. Mælingar á vexti þangs og sérstaklega endurvexti eftir þangtekju hófust í ágúst 2016 á fjórum stöðum í firðinum og munu taka nokkur ár. Þær athuganir sýna einnig hvernig þangtekja með þangsláttuprömmum, sem Þörungaverksmiðjan á Reykhólum notar, leikur þangið og hvernig það endurnýjar sig á eftir. Þess ber að geta að þangsláttur hefur verið stundaður með þangsláttuprömmum í Breiðafirði í rúm 40 ár. Nú þegar er komin löng reynsla af hve lengi það tekur þangið að ná sér eftir þangskurð með þangsláttuprömmum. Ef önnur tæki yrðu notuð við öflun þangs þyrftu einnig að liggja fyrir svipaðar upplýsingar um áhrif þeirra á þangið og endurnýjun þangsins á eftir.

Þegar þang er tekið úr fjöru hefur það áhrif á annað líf í fjörunni. Hluti af búsvæðinu er fjarlæggt. Það breytir umhverfisskilyrðum fyrir þær lífverur sem eftir eru. Lífrænt efni sem ella hefði nýst að hluta til í firðinum hverfur út úr lífkeðjunni. Hvaða breytingar verða af þessu raski og hversu mikil áhrif þær hafa vitum við lítið um. Upplýsingar um það eru nauðsynlegar til að hægt sé að koma í veg fyrir að þangtekja valdi óásættanlegri röskun á lífríki Breiðafjarðar og öðrum nytjum sem menn hafa af lífverum sem beint eða óbeint eru háðar lífríki fjörunnar í firðinum. Það er brýnt að hefja slíkar rannsóknir sem fyrst.

## SAMANTEKT

Klóbang er ríkjandi þangtegund í fjörum í Breiðafirði. Þéttleiki þess er að meðaltali um  $13,5 \text{ kg m}^{-2}$ . Hann er lægstur í mynni fjarðarins um  $8 \text{ kg m}^{-2}$  að jafnaði og eykst eftir því sem innar dregur og er  $18 \text{ kg m}^{-2}$  innst.

Heildarflatarmál fjöru sem er þakið klóbangi í Breiðafirði er um 91 ferkílómetrar skv. greiningu loftmynda. Greining gervitunglamynda benti til þess að um 107 ferkílómetrar væru þaktir klóbangi.

Heildarmagn klóbangs í Breiðafirði var reiknað og fengust um 1,06 milljón tonn ef notaðar voru þekjur af loftmyndum. Um 1,37 milljón tonn fengust ef þekjur úr greiningu gervitunglamynda voru notaðar.

## ÞAKKIR

Verkefnið var styrkt af AVS rannsóknasjóði í sjávarútvegi. Það var unnið í samvinnu við fyrirtæki í þörungavinnslu, þau Miðhraun, Deltagen og Þörungaverksmiðjuna sem komu að undirbúningi og framkvæmd verkefnisins með okkur. Við viljum þakka Alice Beniot Cattin, Bylgju Sif Jónsdóttur, Hlyni Péturssyni, Hlyni Þorleifssyni, Kristni Guðmundssyni, Mariana Tamayo, Stefáni Áka Ragnarssyni og Steinunni Hilmu Ólafsdóttur, fyrir gott samstarf við söfnun gagna í Breiðafirði. Agnesi Eydal þökkum við aðstoð við greiningu loftmynda og Hans H. Hansen fyrir brimasemisútrekninga. Við þökkum einnig Jóhannesi Haraldssyni og Birni Samúelssyni fyrir að slá fyrir okkur tilraunareiti vegna endurvaxtarmælinga. Finni Árnasyni hjá Þörungaverksmiðjunni á Reykhólum þökkum við margháttða aðstoð við framkvæmd verkefnisins. Að lokum viljum við þakka landeigendum við Breiðafjörð gott samstarf og fyrir að leyfa okkur að vinna í fjörum á þeirra landareign.

## HEIMILDIR

- Åberg, P. 1992. Size based demography of the seaweed *Ascophyllum nodosum* in stochastic environments. *Ecology* 73: 1488-1501.
- Agnar Ingólfsson 1975. Lífríki fjörunnar. *Rit Landverndar* 4: 61-99.
- Andersen, Ó.K. 2011. Eyrarbakki - Saga og atburðir. <http://eyrbekkingur.blogspot.is> (sótt í mars 2017).
- Baardseth, E. 1970. Synopsis of biological data on knobbed wrack, *Ascophyllum nodosum* (Linneus) Le Joli. Rev. 1. *FAO Fisheries Synopsis* 38: 1-48.
- Gunnhildur I. Georgsdóttir, Karl Gunnarsson, Sigríður Kristinsdóttir og Guðmundur Guðmundsson 2016. Vistgerðir í fjöru. Í Jón G. Ottóson, Anna Sveinsdóttir og María Harðardóttir (ritstj), *Vistgerðir á Íslandi*. Fjölrit Náttúrufræðistofnunar nr 54, 214-280.
- Lúðvík Kristjánsson 1980. Íslenskir sjávarhættir I. Bókaútgáfa menningasjóðs.
- Munda, I.M. 1964. The quantity and chemical composition of *Ascophyllum nodosum* (L.) Le Jol. along the coast between the rivers Olfusa and Thjorsa (southern Iceland). *Bot. Mar.* 7: 76-89.
- QGIS development team 2017. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://www.qgis.org/>
- R Core Team 2017. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>
- Sjómælingar Íslands 2016. Sjávarfallatöflur 2016. Sjómælingadeild Landhelgisgæslunnar, Reykjavík. 27 p.

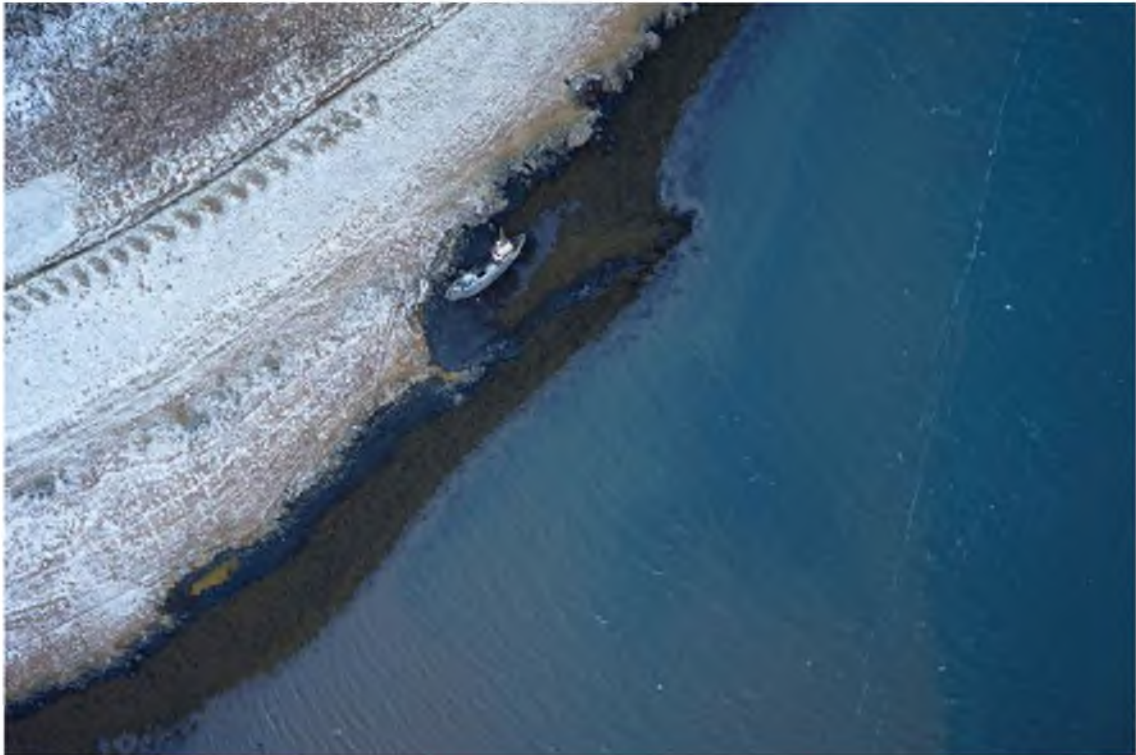
20TH MARCH 2017



SEAWEED CLASSIFICATION WITH LANDSAT AND UAV'S  
March 2017

**Using UAV's as a spatial ground-truth for satellite  
classification**

---



Project for: Hafrannsóknarstofnun

Produced by: Svarmi ehf.  
victor@svarmi.com

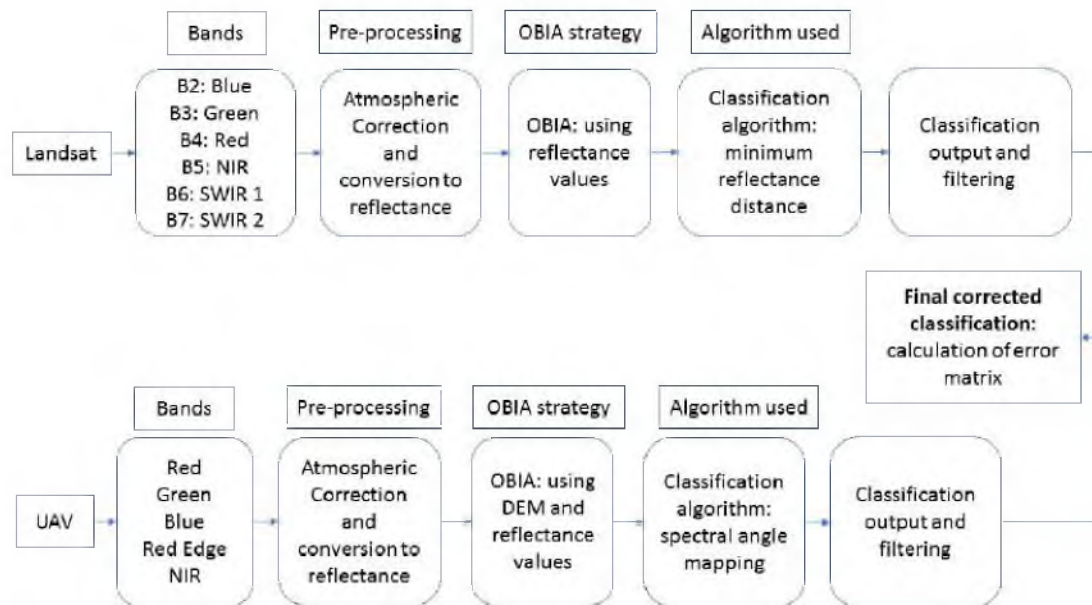


# Contents

<b>1</b>	<b>Description of the project</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Landsat classification</b>	<b>1</b>
<b>3</b>	<b>UAV classification</b>	<b>3</b>
3.1	Bjarnarhöfn dataset . . . . .	6
3.1.1	RGB Orthomosaic image . . . . .	6
3.1.2	Multi-spectral orthomosaic image . . . . .	6
3.1.3	Digital Surface Model (DSM) . . . . .	8
3.2	Þingvellir dataset . . . . .	9
3.2.1	RGB Orthomosaic image . . . . .	9
3.2.2	Digital Surface Model (DSM) . . . . .	9
3.3	Data classification . . . . .	10
<b>4</b>	<b>Accuracy Assessment</b>	<b>12</b>
<b>5</b>	<b>Suggested further steps</b>	<b>13</b>

# 1 Description of the project

The goal of the project was to assess the surface area of seaweed in Breiðafjörður using remote sensing techniques. The workflow selected for this project used a combination of both satellite and UAV imagery in order to classify the images (See Figure 1). The workflow is designed in order to use the UAV imagery as a ground truth, in order to calculate error matrices that can assess the accuracy of the classification. In this sense, both imagery sources are classified separately, and the UAV source is used as a reference data (due to the higher resolution) in order to assess the accuracy of the classification at a larger scale.



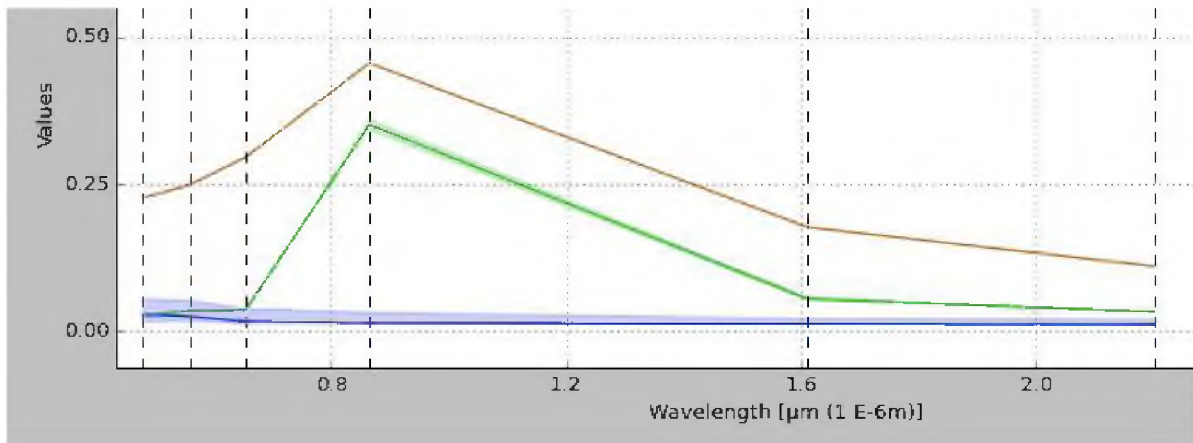
**Figure 1.** Workflow designed for classifying and ground-truthing Landsat images with the help of UAV data. OBIA stands for object-based image analysis

## 2 Landsat classification

The satellite selected for this project was Landsat 8, which has a nominal resolution of 30 meters. It provides a great coverage and it comes at a free cost delivered by USGS. Three images were used, one from 28th February of 2017 (taken at 13:03) and two from 2nd March of 2017 (taken at 12:51). A total of 6 bands were used in this classification, according to their properties for distinguishing between algae and the surrounding environment (from USGS reference website):

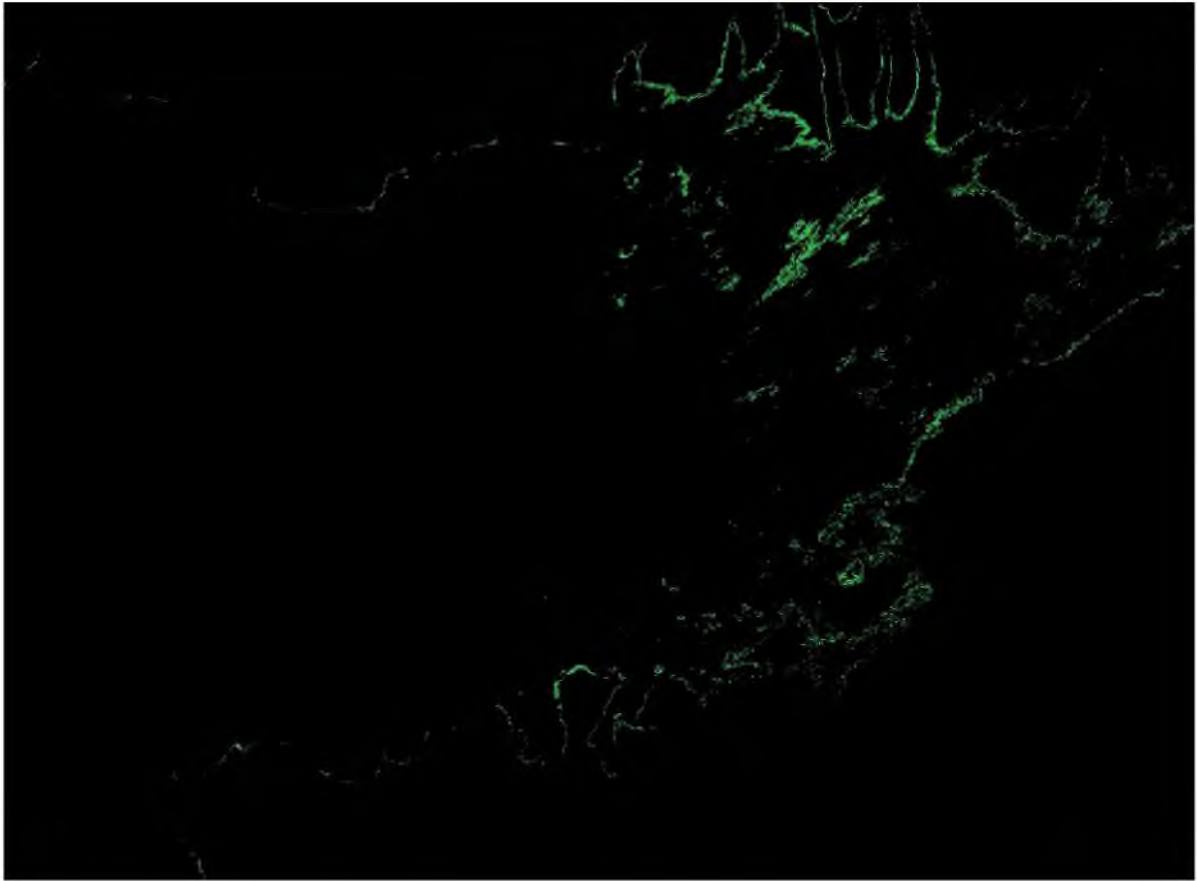
- **B2:** bathymetric mapping, distinguishing soil from vegetation
- **B3:** peak vegetation
- **B4:** vegetation slopes
- **B5:** biomass content and shorelines
- **B6:** discrimination of moisture content of soil and vegetation
- **B7:** improved moisture content of soil and vegetation

The bands were stacked into a band raster and pre-processed using metadata from Landsat 8 files. The pre-processing consisted on the atmospheric correction and conversion to reflectance values, using both Python and ENVI software. The result was a stacked band consisting of pixels identifying reflectance values in nanometers. A segmentation algorithm was used using the reflectance values and threshold parameters, in order to segment the image based on distance between pixel values. Training areas were defined with those segmented areas, and reflectance signatures were build for three types of classes, i.e. algae, water and land (See Figure 2).



**Figure 2.** Plot of the three classes created for the classification according to the reflectance values and the wavelength per band. The brown line is the signature for "land" class, the green for "algae" and the blue for "water".

Once the signatures were distinct enough, a "minimum reflectance distance" algorithm was used, which gave an output of a raster containing the classification classes. Further filtering was applied to the raster in order to smooth the output and clean outliers that were not correctly classified, such as algae on inner land areas. The extension of the algae for the surveyed area was approximately 110 square kilometres. The final output can be previewed below:



**Figure 3.** Raster containing the values for algae in Breiðafjörður

### 3 UAV classification

The data collected from UAV platform were two areas within the Breiðafjörður area, i.e. one within Bjarnarhöfn and the other at Þingvellir. The area at Bjarnarhöfn was surveyed on October with both a multi-spectral (sensing on NIR, Red Edge, Red and Green bands) and an RGB camera. Weather conditions did not allow for more sampling days so the data collection had to be postponed to November. The area surveyed on that month, i.e. Þingvellir, was done with a RGB camera, since multi-spectral was not recommended due to the snowy conditions. The weather on November only allowed for one sampling day.



**Figure 4.** Map displaying the surveyed area at Bjarnarhöfn (West) and Pingvellir (East)

The data collected for **Bjarnarhöfn** had the following specifications:

- The images were taken on low tide conditions, i.e. at 16th of October between 12:30 and 13:00
- The total area sampled was of  $0.4[km^2]$
- The average ground resolution is  $16[cm/pixel]$  for the multi-spectral images and  $4.19[cm/pixel]$  for the RGB images
- The coordinate reference system (CRS) used is ISN93
- For both sensors, the height of sampling was of 140m
- All images are radiometrically calibrated, since reflectance targets were sampled before and after each flight
- No GPS surveying on ground was done, as agreed beforehand. Furthermore, GPS surveying would have been conflicting with the time restrictions given for sampling on flood periods. Moreover, GPS surveying on tidal areas can be treacherous and it was discarded also for that reason. However, the data is georeferenced but there are small horizontal inaccuracies due to the lack of GPS surveying. At the post-processing stage the data was georeferenced using aerial imagery as a reference dataset.



**Figure 5.** Reflectance target sensed with the NIR sensor. It was sensed for every flight with every sensor used

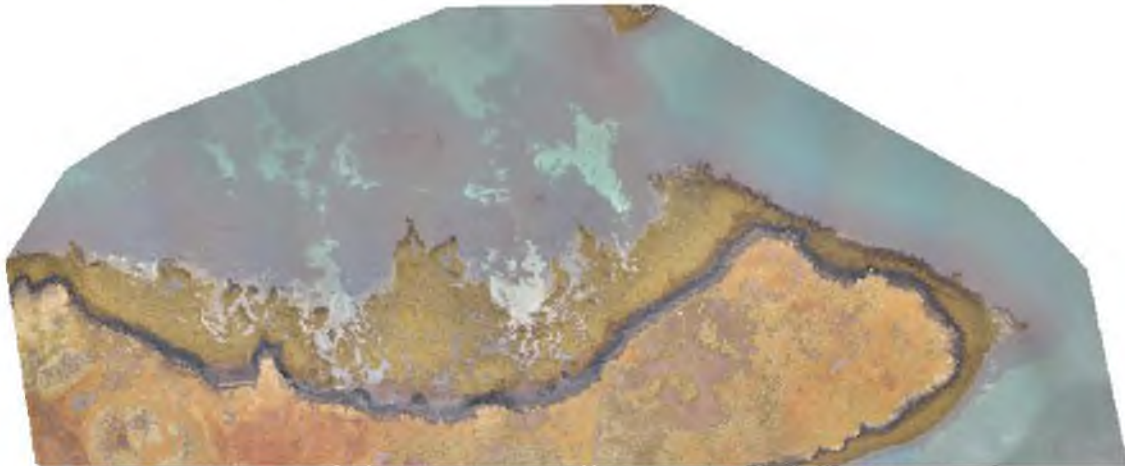
The data collected for **Pingvellir** had the following specifications:

- The images were taken on low tide conditions, i.e. at 16th of November between 13:00 and 13:30
- The total area sampled was of  $0.4[km^2]$
- The average ground resolution is  $4.98[cm/pixel]$
- The coordinate reference system (CRS) used is ISN93
- For both sensors, the height of sampling was of 200m
- All images are radiometrically calibrated, since reflectance targets were sampled before and after each flight
- No GPS surveying on ground was done, as agreed beforehand. Furthermore, GPS surveying would have been conflicting with the time restrictions given for sampling on flood periods. Moreover, GPS surveying on tidal areas can be treacherous and it was discarded also for that reason. However, the data is georeferenced but there are small horizontal inaccuracies due to the lack of GPS surveying. At the post-processing stage the data was georeferenced using aerial imagery as a reference dataset.

### 3.1 Bjarnarhöfn dataset

#### 3.1.1 RGB Orthomosaic image

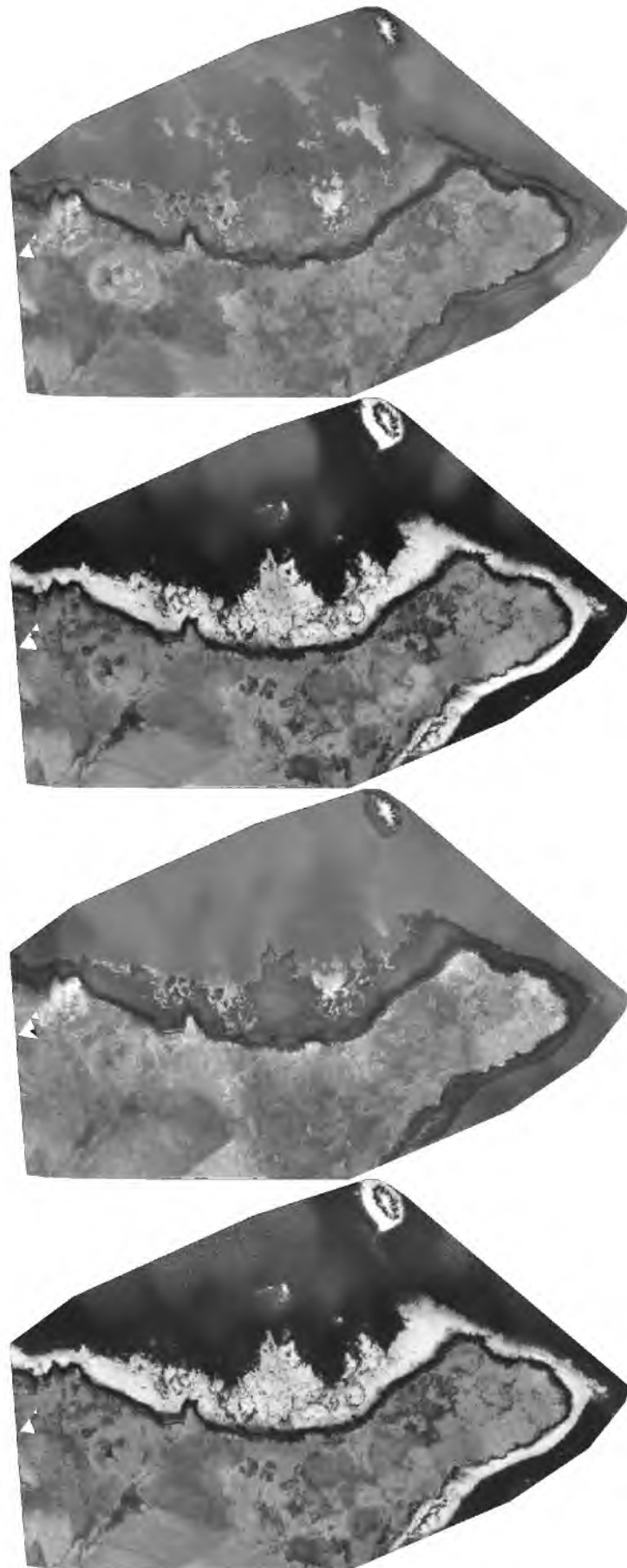
Average resolution: 4.19 [cm/pixel]  
Area covered: 0.4 km<sup>2</sup>  
Ground control points (GCP): 0 [points]  
Format of the image: TIFF



**Figure 6.** Orthoimage of the area surveyed at Bjarnarhöfn

#### 3.1.2 Multi-spectral orthomosaic image

Average resolution: 16 [cm/pixel]  
Area covered: 0.4 km<sup>2</sup>  
Ground control points (GCP): 0 [points]  
Format of the image: TIFF



**Figure 7.** Orthoimages of each multi-spectral band, i.e. Green, Red, Red edge, NIR



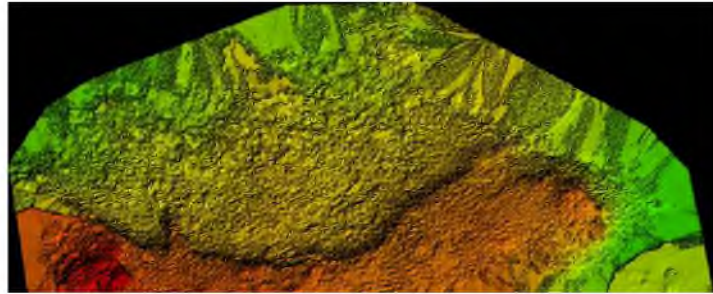
### 3.1.3 Digital Surface Model (DSM)

Average resolution: 4.98 [cm/pixel]

Vertical accuracy: 2-3 x Ground Sampling Distance 9.96-14.94 [cm]

Raster format: .TIF

Noise in the data is expected at the water, since photogrammetric techniques cannot acquire tie points over water. The noise can be corrected by Svarni if needed.



**Figure 8.** Hillshade of the DSM, with a color scale corresponding to height variance

## 3.2 Pingvellir dataset

### 3.2.1 RGB Orthomosaic image

Average resolution: 4.98 [*cm/pixel*]  
Area covered: 1.4 *km*<sup>2</sup>  
Ground control points (GCP): 0 [*points*]  
Format of the image: TIFF

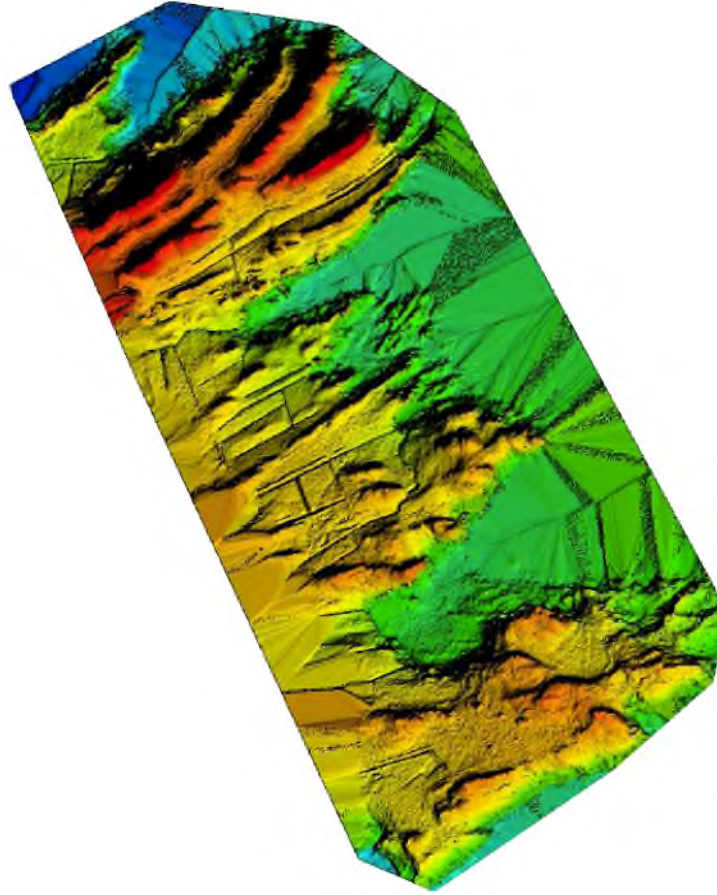


**Figure 9.** Orthomosaic of the area surveyed at pingvellir

### 3.2.2 Digital Surface Model (DSM)

Average resolution: 4.98 [*cm/pixel*]  
Vertical accuracy: 2-3 x Ground Sampling Distance 9.96-14.94 [*cm*]  
Raster format: .TIFF

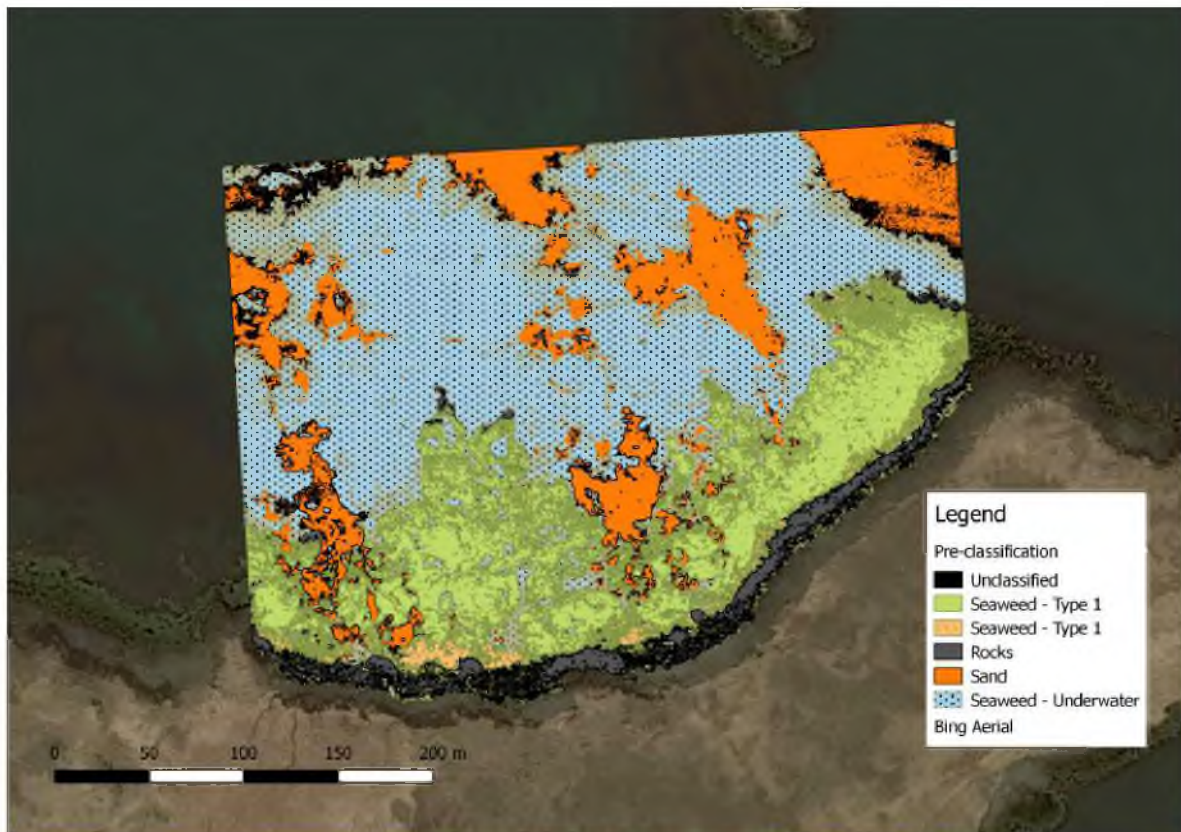
Noise in the data is expected at the water, since photogrammetric techniques cannot acquire tie points over water. The noise can be corrected by Svarni if needed.



**Figure 10.** Hillshade of the DSM, with a color scale corresponding to height variance

### 3.3 Data classification

The data classification followed the workflow depicted above (See Figure1). The images were pre-processed by atmospherically correcting them within the QUACK (QUick Atmospheric Correction) module in ENVI. The conversion to reflectance was done within the Pix4D environment, using the calibration targets for outputs of radiometrically correct images. Regarding the technical specifications of the classification, the reflectance data was used (see section below) in order to account for the spectral signatures. The object-based image analysis used both the reflectance values for algae and the height and roughness differences. The used algorithm was the "spectral angle mapping" since known reflectance values of the targeted classes were known, and such algorithm compares the spectra contain in each pixel to a reference spectral value.



**Figure 11.** Example of classification at Bjarnarhöfn. As a note, the "unclassified" data only is represented by 10pixels, which are not visible in this map

The output microclases defined two types of seaweed, rocks, sand and seaweed underwater. However, the macroclases were defined by algae, land and water, such as the one from Landsat. Several filtering iterations were performed in order to clarify the boundaries between clases.

- (0) Unclassified
- (1) Seaweed - Type 1
- (2) Seaweed - Type 2
- (3) Rocks
- (4) Sand
- (5) Seaweed - Underwater

## 4 Accuracy Assessment

In order for this results to be used scientifically, an accuracy assessment is needed in order to properly assess the real extent of each class. An error matrix was built by using the previous drone image taken at Bjarnarhöfn and Þingvellir. The overall accuracy of the Landsat classification was of 81.47% as compared to the classification of the drone image. The omission errors, or when one feature is left out of the class studied, were below 30% for the "Land" class, but it was below 20% for the "Algae" and "Water" categories. The comission errors, or when a feature is incorrectly included in the evaluated class, where low for "Land" class, but around 20% for the "Water" and "Algae" class.

		Drone images			Totals
		<u>Algae</u>	<u>Land</u>	<u>Water</u>	
Landsat images	<u>Algae</u>	<b>198</b>	33	20	<b>251</b>
	<u>Land</u>	2	<b>104</b>	0	<b>106</b>
	<u>Water</u>	41	2	<b>129</b>	<b>172</b>
	Totals	241	139	149	<b>529</b>

**Overall accuracy: 81.47%**

<u>Omission error</u>	<u>Comission error</u>
<b>Algae: 17.84%</b>	<b>Algae: 21.12%</b>
<b>Land: 25.18%</b>	<b>Land: 1.89%</b>
<b>Water: 13.42%</b>	<b>Water: 25%</b>

**Figure 12.** Error matrix for the Landsat classification

The comission errors are also known as "user accuracy", since it provides a measure of the number of pixels of certain class that are actually of that class within the **classified image**. However, the omission errors are also referred as "producer accuracy", since they give a measure of how many pixels were omitted from being of certain class in relation to the **reference dataset**. Thus, the "producer accuracy" tells us that 17.84% of the pixels that were supposed to be "algae" were omitted when comparing the classified image to the reference dataset. However, the "user accuracy" shows that up to 21.12% of the pixels that were supposed to be "algae" in the classified image were really part of another class. In this sense, it can be said that, with the current drone reference areas, there is an overestimation error of 21.12% within the "algae" class. Therefore, if the approximate extent of the classification of algae was of 110 square kilometres, the error matrix tells us that **the real figure could be around 86.8 square kilometres** (110 - 21.12% of 110).

Thus, the error that should be looked upon when addressing the accuracy of the classified image is the comission error. The omission error is still very important on the producer's side, in order to assess the relations between the classified and the reference image. To sum up, knowing the final error estimation on the user's side, can lead to a better estimation of the final surface area. Furthermore, further filtering can be applied to improve the classification, but is best recommended to use satellite imagery of better resolution, and to spread out the reference sites in order to get better randomness and reference data spread.

## 5 Suggested further steps

The drone dataset represents an ideal ground truth validation for satellite imagery. However, the Landsat dataset is too coarse and can lead to higher comission errors, since pixels are included in other type of classes due to the averaging resulting from lower resolution imagery. The ideal solution for such projects could be to extend the randomness of drone data sampling to other parts of the Breiðafjörður area, and to use satellites with higher resolution such as SPOT or Sentinel.