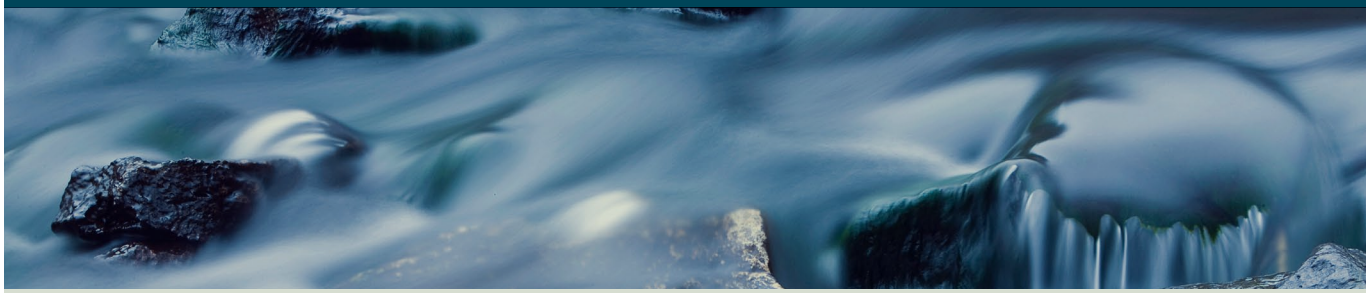
LV-2014-021

Landsvirkjun



# Breytingar á grunnvatns- og jarðvatnsborði á áhrifasvæði Kárahnjúkavirkjunar

Mælingar með samanburði á gervitunglamyndum frá 2002, 2010 og 2012

**Lykilsíða**

Landsvirkjun

**Skýrsla LV nr:** LV-2014-021 **Dags:** 19.02.2014

**Fjöldi síðna:** 31 **Upplag:** 15 **Dreifing:**

- ☐ **Birt á vef LV**
- ☒ **Opin**
- ☐ **Takmörkuð til**

**Titill:** Breytingar á grunnvatns- og jarðvatnsborði á áhrifasvæði Kárahnjúkavirkjunar.
Mælingar með samanburði á gervitunglamyndum frá 2002, 2010 og 2012

**Höfundar/fyrirtæki:** Kolbeinn Árnason

**Verkefnisstjóri:** Andri Gunnarsson

**Unnið fyrir:** Landsvirkjun

**Samvinnuaðilar:**

**Útdráttur:** Markmið verkefnisins var að kanna hvort aðrennslisgöng Kárahnjúka-virkjunar hafi valdið breytingum á grunnvatnsstöðu á Fljótsdalsheiði milli Hálslóns og Fljótsdalsstöðvar, en slíkar breytingar geta leitt af sér gróður-breytingar með tímanum. Bornar voru saman gervitunglamyndir frá því áður en framkvæmdir hófust (2002) og eftir að aðrennslisgöngin voru tekin í notkun (2010 og 2012) til að kanna og kortleggja hugsanlegar breytingar sem hafa orðið á vatnsstöðu í þeim vötnum og pollum sem næst eru göngunum. Niðurstaðan er sú að stærð vatna á Fljótsdalsheiði breytist talsvert milli ára en breytingarnar er alfarið hægt að skýra með mismikilli úrkomu þau sumur sem gervitunglamyndirnar voru teknar. Því minni sem úrkoman er því minna er flatarmál vatnanna.

**Lykilorð:** Fljótsdalsheiði, jarðgöng, grunnvatn, jarðvatn, yfirborðsvatn, samanburður, gervitunglamyndir, veðurfar

**ISBN nr:**

**Samþykki verkefnisstjóra Landsvirkjunar**

Andri Gunnarsson

LV-2014-021

Landsvirkjun

# Breytingar á grunnvatnsborði á áhrifasvæði Kárahnjúkavirkjunar

Mælingar með samanburði á gervitunglamyndum

frá 2002, 2010 og 2012

**EFNISYFIRLIT** bls.


1. ÁGRIP ..... 2
2. INNGANGUR ..... 4
3. RANNSÓKNASVÆÐI ..... 5
4. SPOT-5 GERVITUNGLAMYNDIR ..... 8
   4.1. SPOT-5 myndir af rannsóknasvæðinu ..... 9
5. FRAMKVÆMD RANNSÓKNARINNAR ..... 10
   5.1. Einfaldur samanburður á myndum ekki mögulegur ..... 10
      5.1.1. SPOT-5 myndirnar eru rúmfræðilega ekki nákvæmlega eins ..... 10
      5.1.2. Vötnin hafa mismunandi útlit á SPOT-5 myndunum 2002 og 2010 11
   5.2. Hnitun einstakra vatna ..... 11
6. NIÐURSTÖÐUR ..... 12
   6.1. Úrkomutölur 2002 og 2010 ..... 14
   6.2. Samanburður við árin 2007 og 2008 ..... 15
   6.3. Úrkoma sumurin 2002, 2007, 2008 og 2010 ..... 17
   6.4. Stærðarbreytingar vatna sem fall af fjarlægð frá aðrennslisgöngunum ..... 18
7. NÝ SPOT-5 MYND 2012 ..... 21
   7.1. Samanburður á stærð vatnanna 2012 og áranna 2002 og 2010 ..... 22
   7.2. Flatarmálsbreytingar á vötnum sem fall af fjarlægð frá göngunum ..... 24
8. TÚLKUN NIÐURSTAÐNA ..... 26
   8.1. Úrkoma og heildarflatarmál vatna ..... 26
   8.2. Flatarmálsbreytingar og fjarlægð frá aðrennslisgöngunum ..... 26
9. TILVITNANIR ..... 27

VIÐAUKI I ..... 28

## 1. ÁGRIP

Markmið þessa verkefnis var að kanna hvort aðrennslisgöng Kárahnjúkavirkjunar hafi valdið breytingum á grunnvatnsstöðu á Fljótsdalsheiði milli Hálslóns og virkjunar, en slíkar breytingar geta leitt af sér gróðurbreytingar með tímanum. Í þessu skyni voru bornar saman tvær SPOT-5 gervitunglamyndir með 2,5 m greinihæfni þar sem önnur er tekin 2002 áður en virkjunar-framkvæmdir hófust og hin 2010 eftir að aðgöng virkjunarinnar voru tekin í notkun. Tilgangurinn var sá að kanna og korleggja hugsanlegar breytingar sem hafa orðið á vatnsstöðu í þeim vötnum og pollum sem næst eru göngunum.

Niðurstaðan er sú að flest vötnin á rannsóknasvæðinu eru minni árið 2010 heldur en þau voru 2002 og margir litlir pollar hafa alveg horfið. Sum stærstu vatnanna eru óbreytt en engin vötn virðast hafa stækkað á þessu árabili. Erfiðara er að bera saman votlendisbletti en svo virðist sem sömu sögu sé að segja um mýrafláka og vötnin, þeir voru sums staðar óbreyttir en annars staðar minnkuðu (þornuðu) þeir á milli 2002 og 2010.

Þegar skýringa á þessum breytingum er leitað er eðlilegast að skoða fyrst úrkomutölur fyrir bæði sumurin 2002 og 2010. Í ljós kemur að talsvert minna rigndi sumarið 2010 en sumarið 2002 og úrkomumunurinn er sérstaklega mikill ef aðeins eru skoðaðar 4 seinustu vikurnar fyrir myndatöku, þá var úrkoman 2010 ekki nema tæplega 60% af úrkomunni 2002.

Samanburður við SPOT-5 gervitunglamyndir frá 2007 og 2008 sem til eru af rannsókna-svæðinu styður einnig þá ályktun að breytingar á stærð vatnanna séu afleiðing mismikillar úrkomu. Í mörgum af þeim tilvikum sem vötn breytast milli 2002 og 2010, sjást líka breytingar 2007 og 2008 miðað við 2002 og/eða 2010. Úrkoman yfir sumarið 2007 og sérstaklega þó sumarið 2008 var mun minni en hin tvö árin og það virðist í mörgum tilfellum endurspeglast í stærð vatnanna á rannsóknasvæðinu. Vötnin minnka frá 2002 til 2007/2008 en stækka svo aftur 2010 en þó ekki svo mikið að þau nái aftur stærð sinni árið 2002. Ekki er fullkomin fylgni milli stærðar vatnanna og úrkomu 2007 og 2008, þ.e. vötnin eru ekki alltaf minni 2008 heldur en þau voru 2007.

Í þessari rannsókn voru stærðarbreytingar vatnanna einnig skoðaðar sem fall af fjarlægð þeirra frá aðrennslisgöngunum á Fljótsdalsheiði. Svæðinu var skipt í fimm 500 m breiðar landræmur og heildarflatarmál vatna innan hverrar ræmu fyrir árin 2002 og 2010 síðan reiknað út og þar með breytingin á flatarmáli vatnanna í hverri landræmu. Í ljós kom að greinileg fylgni er á milli stærðarbreytingar vatnanna og fjarlægðar þeirra frá göngunum. Hún er mest næst göngunum en minnkar með aukinni fjarlægð frá þeim.

Undir lok verkefnisins seint á árinu 2013 fékkst aðgangur að nýrri SPOT-5 mynd, sem tekin var sumarið 2012. Ástæða þótti til þess að skoða hvort vatnamælingar á þessari nýju mynd staðfestu niðurstöðurnar á samanburði myndanna frá 2002 og 2010 eða ekki. Sumarið 2012 var afar þurrt og niðurstöður af athugunum á nýju myndinni voru í fullu samræmi við það; vötnin höfðu minnkað enn frekar frá 2010.

SPOT-5 myndin frá 2012 staðfestir í öllum atriðum þá niðurstöðu sem fékkst út úr samanburðinum á eldri SPOT gervitunglamyndum af Fljótsdalsheiði. Gallinn er eingöngu sá að öll þau sumur þegar SPOT-myndir voru teknar voru þurr miðað við sumarið 2002 sem var langblautasta sumarið. Áhugavert væri að skoða gervitunglamynd sem tekin væri eftir blautt sumar og sjá hver áhrifin væru á stærð vatnanna á þessu svæði. Ef þessi sömu vötn sem minnkað hafa frá 2002 væru aftur orðin umtalsvert stærri eftir rigningasamt sumar væri það enn frekari staðfesting á því að stærð vatnanna er alfarið háð úrkomu á Fljótsdalsheiði.

Athugun á því hvernig stærðardreifingu vatnanna miðað við fjarlægð þeirra frá göngunum er háttað og hvernig hún hefur áhrif á minnkun vatnanna leiðir eftirfarandi í ljós:

- Yfirborðsaðstæður (sem hér verður látið ligga milli hluta hverjar eru, enda skiptir það ekki máli í þessu sambandi) ráða því að minnstu vötnin eru tiltölulega flest næst göngunum.
- Þar sem minnstu vötnin eru einnig að öðru jöfnu grynnst bregðast þau augljóslega hraðast við vatnshæðarbreytingum þannig að þau minnka mest eða hverfa jafnvel alveg þegar veðrátta er þurr.
- Vötnunum í næst göngunum fækkar þar af leiðandi mest.
- Það leiðir til þess að heildarflatarmál vatnanna minnkar mest þar sem minnstu vötnin eru, þ.e. næst göngunum.

Allt ber því í raun að sama brunni: Stærð vatna á Fljótsdalsheiði breytist talsvert milli ára samkvæmt mælingum á þeim gervitunglamyndum sem til rannsóknar voru í þessu verkefni. Þessar breytingar er alfarið hægt að skýra með mismikillii úrkomu áður en myndirnar voru teknar. Það er sjaldan sem jafn rakið samband sést milli orsakar og afleiðingar eins og í þessari rannsókn.

## 2. INNGANGUR

Eitt af skilyrðum Umhverfisráðherra í úrskurði hans um Kárahnjúkavirkjun áður en framkvæmdir voru leyfðar (dags. 20. desember 2001) var að fylgst skyldi með hugsanlegum breytingum á grunnvatni sem aðrennslisgöng virkjunarinnar gætu valdið (liður nr. 14 í úrskurðarorðum):

> *„Framkvæmdaðili skal tryggja að göng séu vöktuð meðan á byggingu þeirra stendur til að finna og stöðva leka um sprungur sem leiða umtalsvert vatn. Slíkar sprungur skal einangra til að koma í veg fyrir lekann, svo framkvæmdirnar valdi ekki marktækum áhrifum á núverandi grunnvatnsstöðu."* [1]

Ástæðan var m.a. sú að slíkar grunnvatnsbreytingar gætu haft áhrif á gróðurfar eða ástand gróðurs á yfirborði („að staðbundnir þurrkblettir verði tíðari", eins og það er orðað í greinargerð með úrskurðarorðum umhverfisráðherra) en auk þess var markmið Landsvirkjunar með eftirliti á gunnvatnsborði að fylgjast með því hvort virkjunin tapaði vatni til grunnvatns. Niðurstöður grunnvatnsvöktunar Landsvirkjunar til 2011 hafa verið teknar saman í skýrslu Landsvirkjunar frá 2013 [2].

Umfangsmiklar vatnshæðarmælingar í borholum við göngin hafa verið gerðar frá því fyrir borun þeirra og fram á rekstrartíma virkjunarinnar en erfitt getur reynst að túlka þær sameiginlega í þeim tilgangi að kortleggja heildarmyndina af breytingum grunnvatns á svæðinu öllu [2]. Staða grunnvatns getur hins vegar komið fram í vötnum og pollum á yfirborði ef þau eru í beinum tengslum við það. Grunnvatnborð þarf þó ekki endilega að endurspeglast í vötnum því þau geta verið einangruð ofan grunnvatnsborðsins ef botn þeirra er þéttur eða því sem næst, en til þess þarf vissulega nokkuð sérstakar aðstæður. Ekki er vitað hvort eða hvaða vötn á Fljótsdalsheiði endurspegla grunnvatnsborð svæðisins en reikna verður með að mörg þeirra eða jafnvel allflest geri það. Þegar slík vötn eru nægilega grunn, eða að minnsta kosti aðgrunn við bakkana, ættu breytingar á grunnvatnsborði að koma fram í stærð þeirra.

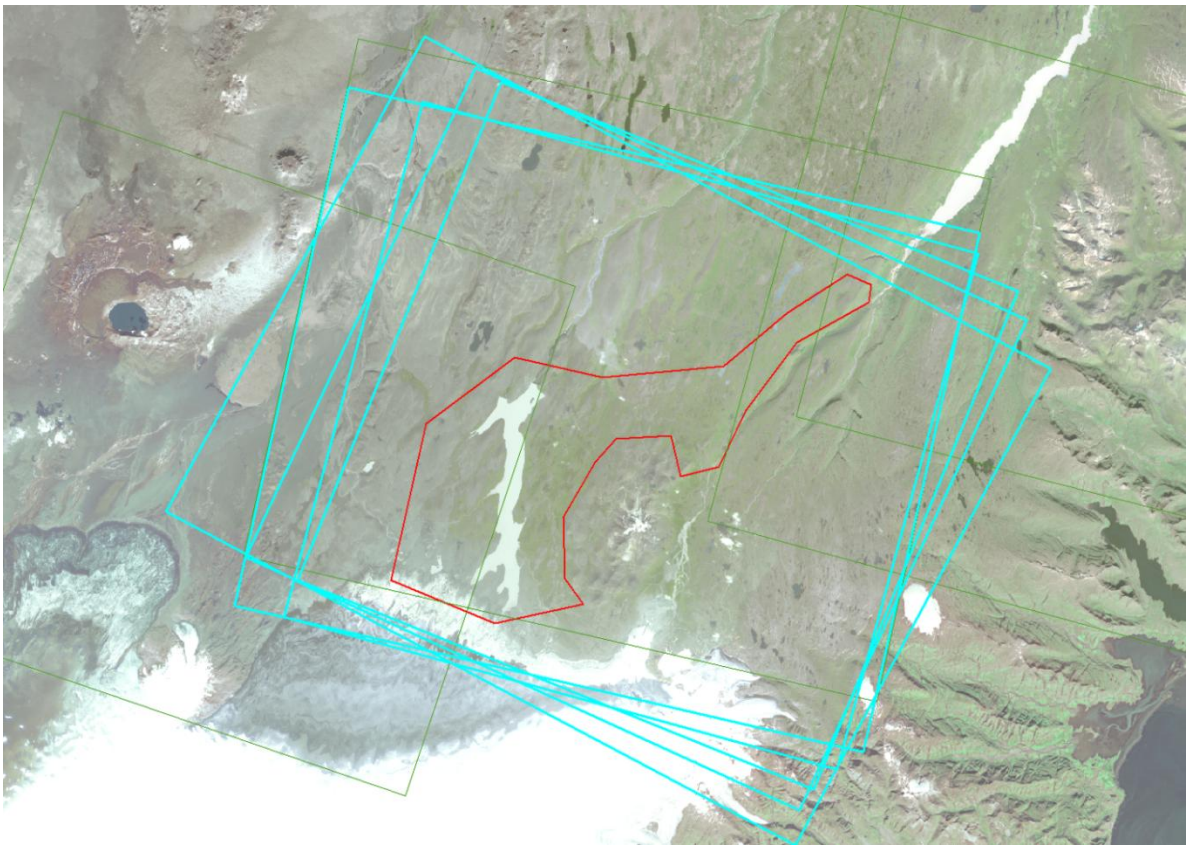
Grunnvatnsborð á ótrufluðum svæðum er hins vegar aðallega háð úrkomu. Ef sumarið er rigningasamt hækkar grunnvatnsborðið tímabundið og þá geta grunnvatnstengd vötn stækkað, sér í lagi ef þau eru aðgrunn. Í eða eftir þurrkatíð lækkar grunnvatnsborð hins vegar og vötn sem tengd eru grunnvatni minnka eða þorna alveg upp. Það sama á í raun við um vötn þótt þau séu einangruð frá grunnvatni, þau minnka í þurrkum og stækka í úrkomusömu árferði.

Á Fljótsdalsheiði er mjög mikið af vötnum og flestum litlum eða jafnvel mjög litlum. Upp að ákveðinni stærð er oftast eindregið samband milli flatarmáls og dýptar vatna þannig að lítil vötn eru yfirleitt grunn, þótt stór vötn geta verið hvort heldur sem er, grunn eða djúp [3] [4]. Aðstæður á Fljótsdalsheiði virðast því vera mjög hagstæðar hvað varðar möguleika á stærðarbreytingum milli ára. Því kom upp sú hugmynd hvort ekki mætti greina og kortleggja hugsanlegan mun á stærð vatna og polla á Fljótsdalsheiði með því að bera saman gervitunglamyndir með mikilli greinihæfni sem teknar væru annars vegar áður en framkvæmdir byrjuðu og hins vegar eftir að virkjunin væri komin í notkun.

Til eru nokkrar SPOT-5 gervitunglamyndir sem ná yfir allt áhrifasvæði Kárahnjúkavirkjunar og er elsta myndin frá haustinu 2002. Nýjasta myndin var frá 2010 þegar þessi rannsókn hófst, en undir lok hennar bættist við ný mynd frá sumrinu 2012. Þar sem þessar myndir hafa mikla greinihæfni, myndpunktsstærðin samsvarar bletti á jörðu niðri sem er 2,5m x 2,5m að stærð og eru jafnframt teknar á sama árstíma verða þær að teljast mjög heppilegar sem grunngögn fyrir svona rannsókn.

## 3. RANNSÓKNASVÆÐI

Rannsóknasvæðið afmarkast af rauðri útlínu á mynd 1. Svæðið umlykur Hálslón og teygir sig þaðan yfir syðsta hluta Fljótsdalsheiðar að virkjuninni innst í Fljótsdal**.** Sá hluti þess sem umlykur Hálslón er nokkuð annarrar gerðar en austurhluti þess. Hálslón fyllir nú upp í dalinn ofan Kárahnjúka þar sem Jökla rann áður en allt í kring um lónið er land talsvert hærra en vatnsborð þess í hæstu stöðu. Engin vötn eru að heitið geti vestan lónsins ef frá eru taldir nokkrir pollar í Kringilsárrana en þeir eru flestallir í nokkuð mikilli fjarlægð frá lóninu og því ólíklegt að vatnsborð lónsins hafi áhrif á stærð þeirra. Austan Hálslóns eru Vesturöræfi, vel gróið og tiltölulega slétt landsvæði með víðáttumiklum mýrum ásamt fjölda vatna og polla sem liggja víðast hvar talsvert hærra en lónið. Vesturöræfi hafa ávallt verið votlend og gróðurþekjan á þessu svæði á beinlínis tilvist sína að þakka hárri grunnvatnsstöðu. Það er því erfitt að ímynda sér að tilkoma lónsins breyti nokkru um grunnvatnsborð þar nema ef til vill á mjóu belti næst lónsbakkanum.

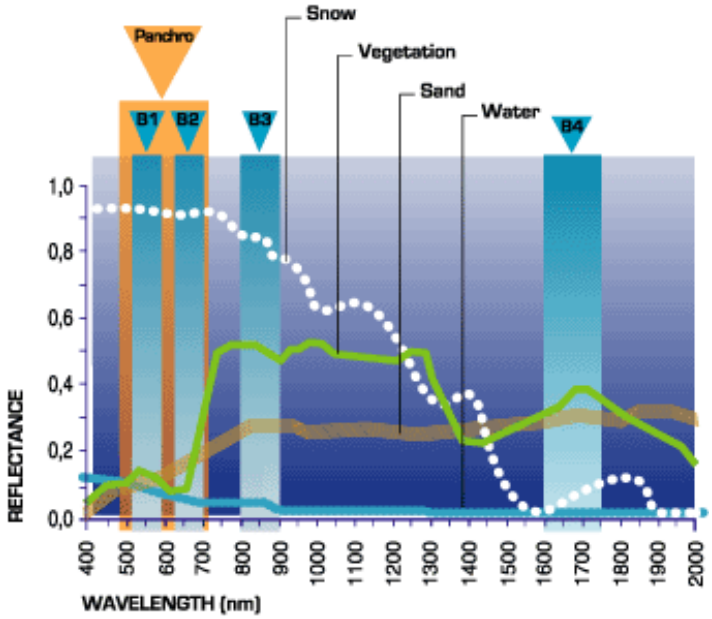


***Mynd 1.*** *Hugsanlegt áhrifasvæði Kárahnjúkavirkjunar á grunnvatnsborð (rauð útlína) og útlínur þeirra fimm SPOT-5 gervitunglamynda sem þekja það (bláir rammar). Myndirnar eru teknar 2002, 2007 (tvær myndir), 2008 og 2010.*

Lögun og lega rannsóknasvæðisins á austurhlutanum ákvarðast af aðrennslisgöngum virkjunarinnar á innsta hluta Fljótsdalsheiðar. Þar er land víðast hvar nokkuð einsleitt og tiltölulega slétt og mikið af vötnum pollum bæði stórum og smáum í mismunandi fjarlægð frá göngunum allt frá því að vera nánast beint ofan við þau og út í margra kílómetra fjarlægð. Austurhluti rannsóknasvæðisins er því sérstaklega heppilegur fyrir þessa rannsókn og verður áherslan lögð á hann í þessari úttekt.

## 4. SPOT-5 GERVITUNGLAMYNDIR

SPOT-5 myndir eru teknar í 4 aðgreindum litböndum eða rásum (grænu (G) og rauðu (R) sýnilegu ljós, nærinnrauðu (NIR) og miðinnrauðu (MIR)) með 10 m greinihæfni sem og einu pankrómatísku bandi (pan-bandi) sem hefur 2,5 m myndpunktsstærð (sjá mynd 2). Pan-bandið nær yfir G og R (0.48 - 0.71 µm) og er aðallega notað til þess að gefa myndum sem settar eru saman úr litböndunum þá skerpu sem óskað er eftir í öllum venjubundnum framsetningum. Hver SPOT-5 mynd þekur svæði sem er 60km x 60km eða 3600 $km^2$ að stærð og samanstendur því af næstum 600 milljón mælingum (myndpunktum, sé pan-bandið notað) sem saman mynda eina samfellda mynd [5].




***Mynd 2.*** *Staðsetning og breidd einstakra mælirása eða banda í myndskanna SPOT-5 gervitunglsins (B1, B2, B3, B4, Panchro). Einnig sýnir myndin dæmigerða endurkastsferla nokkurra algengra yfirborðsgerða (snjór, gróður, sandur, vatn) í sýnilegu (400 – 700 nm) og innrauðu ljósi (>700 nm). Eins og sjá má endurvarpar vatn nánast engri geislun í nær- og miðinnrauðu (bönd 3 og 4) og því næstum svart á slíkum myndum við venjulegar aðstæður.*

Auðveldast er að aðgreina vatnsyfirborð frá landi í NIR og MIR þar sem vatn endurvarpar lítilli sem engri geislun á þessum böndum og er því nánast svart í myndrænni framsetningu (sjá mynd 2). Hins vegar er pan-bandið með fjórfalt meiri greinihæfni en innrauðu böndin (2,5 m samanborið við 10 m) og er að því leyti heppilegra til þess að sýna fram á smávægilegar breytingar á strandlínu vatna. Á móti kemur að endurkast frá vötnum, og sérstaklega endurkast frá vatnsbotninum ef vatnið er grunnt og eins ef það er gruggugt, getur verið talsvert

en það er einmitt í tilvikum grynnstu vatnanna sem menn gætu helst átt von á að sjá breytingar á flatarmáli þeirra. Fyrirfram er talið vænlegast að nota sambland af pan og NIR-böndunum við greiningu á stærðarbreytingum vatnanna til þess að kostir beggja nýtist sem best.

## 4.1. SPOT-5 myndir af rannsóknasvæðinu

Í sameiginlegu átaki nokkurra innlendra stofnana voru keyptar SPOT-5 gervitunglamyndir af öllu landinu sem teknar voru á árabilinu 2002 – 2010. Landsvirkjun tók þátt í þessari gagnaöflun og á því afnotarétt af öllum þessum myndum. Á þessu árabili voru myndir af áhrifasvæði Kárahnjúkavirkjunar uppfærðar nokkrum sinnum og voru til af þessu svæði 5 myndir sem þekja allt rannsóknasvæðið þegar efnt var til þessarar rannsóknar. Þessar myndir eru:

| | |
|---|---|
| 721_216_0_100902 | tekin 2. september 2010 |
| 721_215_9_080824 | tekin 24. ágúst 2008 |
| 721_216_0_070820 | tekin 20. ágúst 2007 |
| 721_216_0_070823 | tekin 23. ágúst 2007 |
| 721_215_8_020909 | tekin 9. september 2002 |

Af þessum 5 myndum eru tvær skýjalausar, sú elsta frá 2002 og sú seinasta sem tekin var 2010. Hinar þrjár eru mismikið skýjaðar. Myndir i - v í viðauka I aftast í þessari skýrslu sýna SPOT-5 myndgögnin frá rannsóknarsvæðinu.

Undir lok verkefnisins seint á árinu 2013 fékkst aðgangur að nýrri SPOT-5 mynd, sem tekin var sumarið 2012. Ákveðið var að bæta þessari mynd við rannsóknina og bera saman við niðurstöðurnar sem fengust með fyrri myndunum. Nýja myndin var tekin 16. júlí 2012 eða um mitt sumarið (sjá mynd vi í viðauka I aftast í þessari skýrslu).

# 5. FRAMKVÆMD RANNSÓKNARINNAR

Þegar breytingar á yfirborði jarðar eru kortlagðar með notkun gervitunglamynda er venjan sú að myndirnar eru fyrst lagaðar hvor (hver) að annarri bæði rúmfræðilega (geometriskt) og eins hvað varðar birtu- eða litagildi og síðan er önnur myndin dregin frá hinni. Eftir standa þá eingöngu þau atriði á yfirborði sem breyttust á þeim tíma sem leið á milli þess að myndirnar voru teknar, s.s. mögulegar stærðarbreytingar á vötnum og pollum. Í þessu verkefni virtist því eðlilegast að bera SPOT-5 myndirnar frá 2002 og 2010 saman og athuga hvort breytingar hafi orðið á stærð vatna á þessu 8 ára tímabili, en myndirnar frá 2007 og 2008 yrðu síðan notaðar til þess að tékka á niðurstöðum á völdum stöðum, sérstaklega ef vafi leikur á um rétta túlkun.

## 5.1. Einfaldur samanburður á myndum var ekki mögulegur

Sjálfvirkur eða hálfsjálfvirkur samanburður á myndunum eins og lýst er hér að framan reyndist ekki mögulegur þegar til kom. Þótt nokkuð vel hafi tekist að laga myndirnar rúmfræðilega hvora að annarri verður ekki það sama sagt um aðlögun á birtu- eða litagildum myndanna, en ástæða þess var einkum mismunandi útlit einstakra vatna á þessum tveimur myndum.

### 5.1.1. SPOT-5 myndirnar eru ekki rúmfræðilega nákvæmlega eins

SPOT-myndirnar voru á sínum tíma keyptar hnitsettar og uppréttar en gögnin sem til þess voru notuð voru annars vegar GPS-mælt vegakerfið á svæðinu og hins vegar stafræna landlíkanið (DEM: Digital Elevation Model) úr IS50V gagnagrunni Landmælinga Íslands [6], en hvorutveggja eru ófullkomin gögn á þessu svæði. Vegakerfið er mjög gisið á þessum slóðum, og sérstaklega var svo áður en virkjunarframkvæmdir hófust þannig að fáir og strjálir viðmiðunarpunktar voru til staðar fyrir uppréttingu gervitunglamyndanna, einkum þegar 2002 SPOT-myndin var rétt upp. Auk þess er nákvæmni vegamælinganna ekki nema u.þ.b. 3 metrar þannig að viðmiðunarpunktarnir sjálfir hafa samsvarandi óvissu. Þá er landlíkanið komið til ára sinna og í því eru villur sem endurspeglast í þeim myndum sem það er notað við uppréttingu á (árið 2014 er vonandi að koma til skjalanna nýtt og nákvæmt landlíkan sem mun leysa gamla IS50V líkaðið af hólmi, en með því er ekki hægt að endurbæta rúmfræði þeirra mynd sem nú þegar hafa verið uppréttar með gamla líkaninu).

Áhrif gallaðs landlíkands á rúmfræðileg gæði myndanna eru enn meiri en ella vegna þeirrar staðreyndar að flestir myndskannar í fjarkönnunartungum nú á dögum taka ekki eingöngu myndir beint niður á við heldur er hægt að snúa þeim þannig að hægt er að taka myndir talsvert vestan eða austan við braut tunglsins hverju sinni. Algengt er að myndirnar séu teknar undir allt að 20 – 25° horni en því stærra sem hornið er þeim mun meiri áhrif hafa skekkjur í því landlíkani sem notað er við uppréttinguna.

Niðurstaðan er sú að munað getur 1 – 2 myndeiningum á staðsetningu milli SPOT-myndanna af Fljótsdalsheiði. Við þær aðstæður falla vötnin ekki nákvæmlega saman heldur getur verið hliðrun milli þeirra í myndunum 2002 og 2010 sem þessu nemur og þá er í raun ekki hægt að bera þær lengur saman með því að láta tölvuforrit draga aðra myndina frá hinni.

### 5.1.2. Vötnin hafa mismunandi útlit á SPOT-5 myndunum 2002 og 2010

Það sem gerði þó útslagið varðandi sjálfvirkan samanburð á myndunum var mismunandi útlit einstakra vatna á þessum tveimur myndum. Vatn endurvarpar að vísu litlu sem engu innrauðu ljósi og er því nánast svart á innrauðum myndum, en það á aðeins við um djúpt og hreint vatn. Ef vötn eru grunn (örfáir metrar á dýpt) endurkastar botninn innrauðum bylgjulengdum og sömu sögu er að segja um gruggugt vatn sem getur endurvarpað verulegum hluta innrauðrar geislunar til baka. Þetta á við um mörg vötn á Fljótsdalsheiði og þau koma því fram á myndum í margs konar litbrigðum og í sumum tilfellum getur jafnvel verið erfitt að greina þau frá þurrlendinu í kring. Við þetta bætist að þegar langt er á milli vatnanna á myndinni (nokkrir kílómetrar eða jafnvel tugir kílómetra) og þau því mynduð undir mismunandi stóru horni eins og raunin er með SPOT-myndirnar, þá getur myndneminn numið speglun frá yfirborði vatnanna í sumum tilvikum en ekki öðrum.

## 5.2. Hnitun einstakra vatna

Þar sem mörg vötnin hafa mjög mismunandi útlit á myndunum frá 2002 og 2010 er ekki um annað að ræða en að bera þær saman sjónrænt. Það er hins vegar erfitt er að bera saman rastamyndir á tölvuskjá eða prenti með nokkurri nákvæmni í því skyni að uppgötva og kortleggja breytingar á þeim og slíkur samanburður hlýtur alltaf að vera mjög yfirborðslegur og niðurstöðurnar gætu í besta falli gefið ákveðnar vísbendingar um breytingar. Til þess að bera stærð vatnanna saman með magnbundnum hætti (quantitative) þarf að hnita vötnin upp af myndunum (að minnsta kosti ákveðinn fjölda þeirra) og setja niðurstöðuna fram á vektorformi. Það er einnig forsenda þess að setja gögnin inn í landupplýsingakerfi (LUK eða GIS: Geograpical Information System) sem opnar jafnframt þann möguleika að gera hvers kyns greiningar á niðurstöðunum sem ekki eru mögulegar þegar um rastagögn er að ræða.

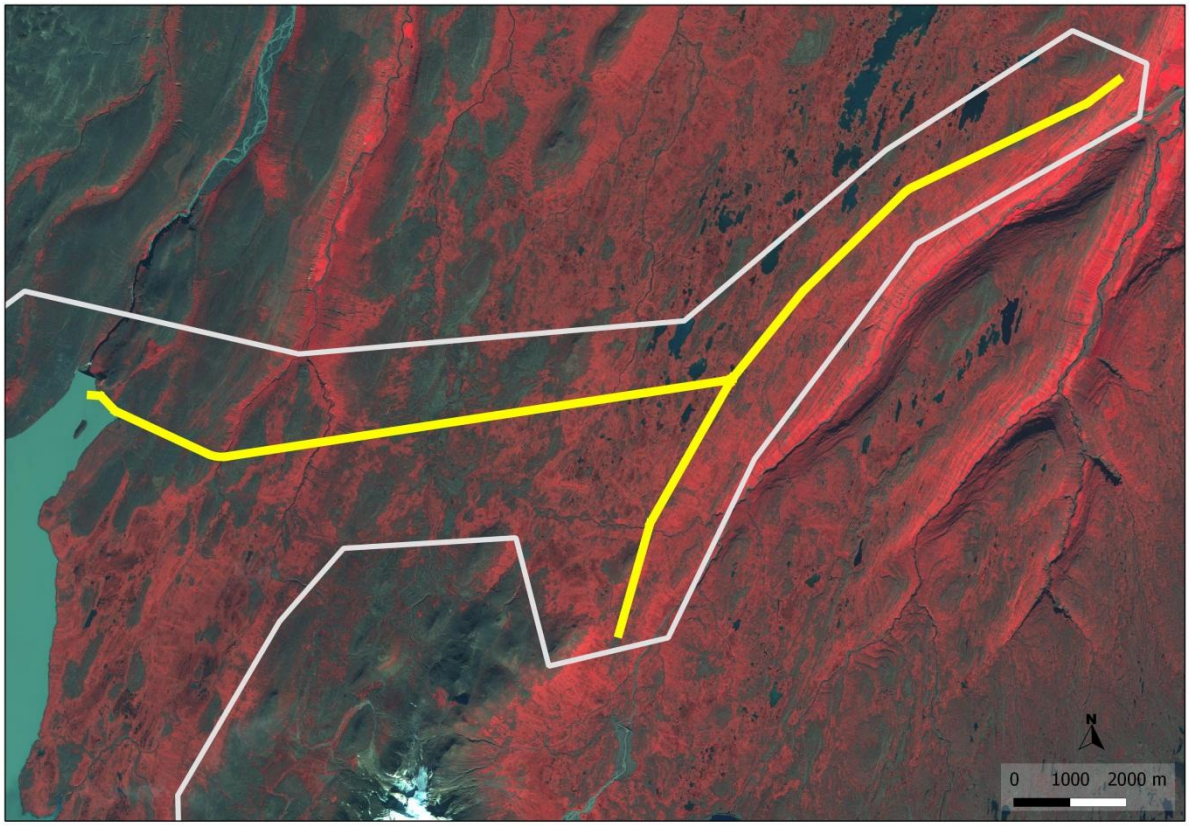
Vötn og pollar á fjarlægðarbilinu 0 - 2,5 km frá göngunum voru hnituð upp af SPOT myndunum frá 2002 og 2012 í mælikvarða 1: 5000. Fullyrða má að tilvist ganganna hafi engin áhrif á vötn sem eru í meiri fjarlægð en 2,5 km og jafnvel mætti miða við mun styttri fjarlægð en það skiptir ekki öllu máli hér. Í mælikvarða 1: 5000 samsvarar 2,5 metra greinihæfni myndanna 0,5 millimetrum á skjánum. Verklag við hnitun gagna er einstaklingsbundin, og jafnvel vel þjálfaðir sérfræðingar geta túlkað myndir með mismunandi hætti. Ákveðin atriði á myndum eru heldur ekki alltaf greinileg, t.d. er ekki er alltaf auðvelt að sjá nákvæmlega hvar vatnsbakkarnir á Fljótsdalsheiði eru. Slíkt er túlkunaratriði og tveir einstaklingar sem hnita sömu atriði upp af sömu myndum gera það ekki nákvæmlega eins. Það er því alltaf nokkur óvissa fyrir hendi í hnituðum gögnum og aldrei hægt að koma í veg fyrir hana hversu vel sem að verki er staðið.

Óvissa í hnitun vatnanna er hins vegar ekki aðalatriðið heldur hitt að í þessari rannsókn hefur sami aðili hnitað upp öll vötnin af myndunum frá 2002 og 2010 og gerir það með sambærilegum hætti. Í tölfræðilegum samanburði á niðurstöðunum þar sem summa af flatarmáli margra vatna er borin saman skiptir hugsanleg skekkja í hnitun einstakra vatna litlu máli. Hún er væntanlega slembidreifð og hefur lítil áhrif á heildarniðurstöðuna. Gerð er grein fyrir niðurstöðunum í næsta kafla.

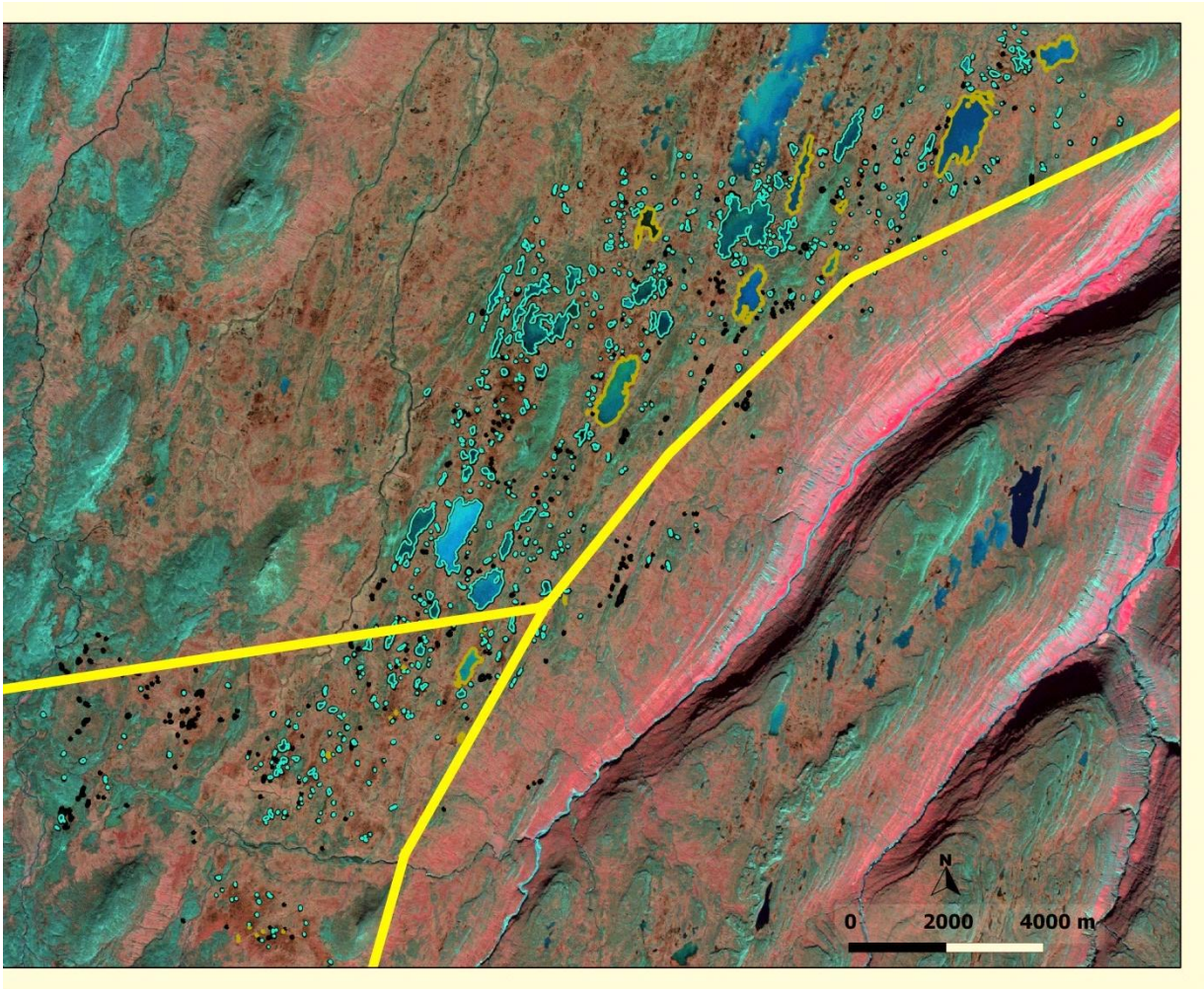
## 6. NIÐURSTÖÐUR

Mynd 3 er innrauð framsetning á SPOT-myndinni frá 2010 og sýnir legu aðrennslisgangnanna (gula línan) frá Hálslóni í vestri og Hraunaveitu í suðri til virkjunarinnar í Fljótsdal. Einnig hefur útlína hugsanlegs áhrifasvæðis utan um göngin verið teiknuð upp (ljósgráa línan).

Rannsóknin beindist að hugsanlegu áhrifasvæði ganganna og einkum austurhluta þess þar sem sárafá vötn eru innan áhrifasvæðisins á vesturhelmingi þess. Á austurhlutanum eru aðstæður hins vegar einstaklega heppilegar. Yfirborð svæðisins er tiltölulega flatt og einsleitt og þar er mikill aragrúi vatna og polla af mismunandi stærðum og í mismikilli fjarlægð frá göngunum. Þar ættu því að geta fengist traustar tölfræðilegar niðurstöður um hugsanleg áhrif ganganna á grunnvatnsborð á svæðinu.




***Mynd 3.*** *Lega aðrennslisganganna (gula línan) frá Hálslóni í vestri og Hraunaveitu í suðri til virkjunarinnar í Fljótsdal á SPOT-myndinni frá 2010. Ljósgráa línan er útlína hugsanlegs áhrifasvæðis ganganna. Spot-myndin er í innrauðri framsetningu þar sem gróið land kemur fram með rauðum lit en vötnin eru dökk (nema Hálslón sem er jökullitað). Sárafá vötn eru á vesturhelmingi áhrifasvæðis gaganna en aftur á móti eru mjög mörg og misstór vötn á austurhlutanum. Rannsóknin beindist því að þessum hluta rannsóknasvæðisins.*

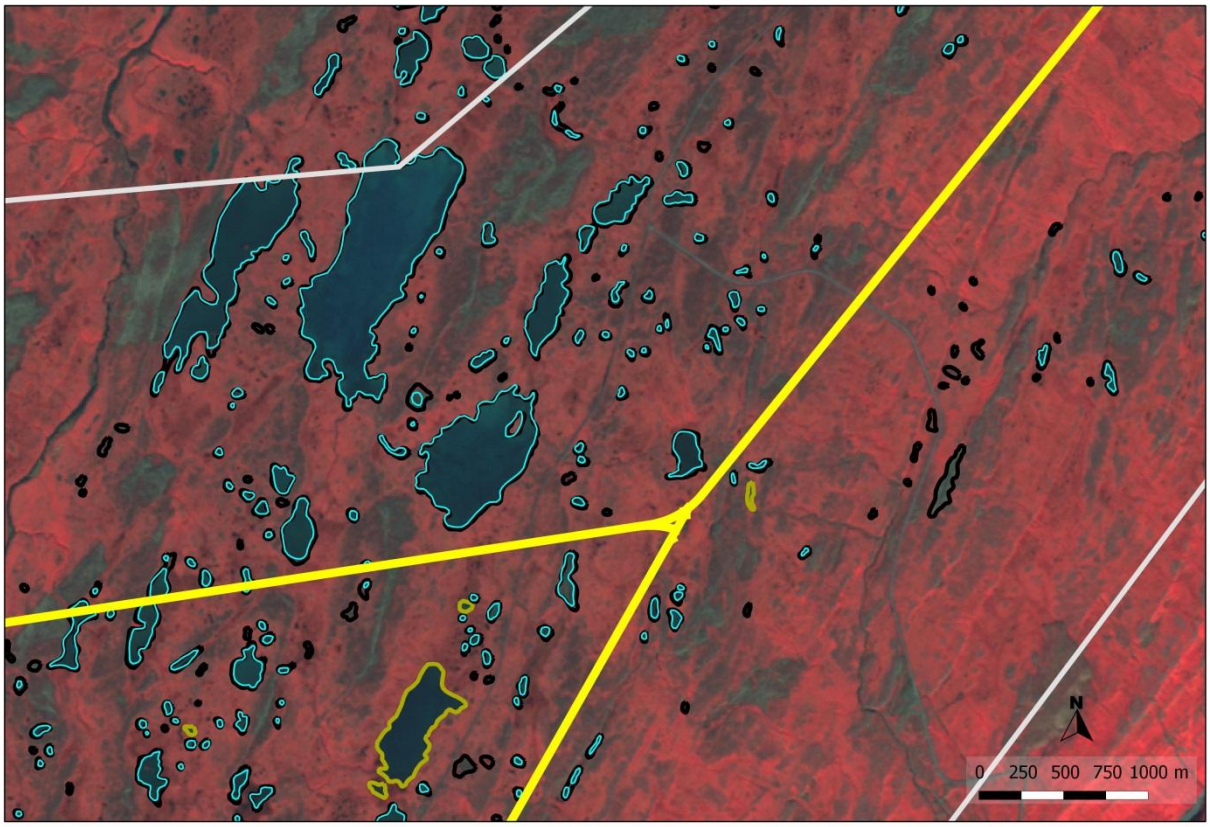



***Mynd 4.*** *SPOT-5 myndin frá 2002 ásamt aðrennslisgöngum og hnituðum útlínum vatna og polla sem næst þeim liggja. Útlínur vatna sem hafa breyst eru með blágrænum lit, en vötn sem ekki breyttust á árabilinu 2002 – 2010 hafa appelsínugula útlínu. Pollar sem þornuðu upp á milli 2002 og 2010 eru í svörtum lit. Sjá einnig stækkun á hluta svæðisins á næstu mynd.*

Mynd 4 sýnir rannsóknasvæðið á SPOT-myndinni frá 2002 eftir að vötnin næst göngunum hafa verið hnituð upp. Útlínur vatna sem hafa breyst eru teiknuð með blágrænum lit, en vötn sem ekki breyttust á árabilinu 2002 – 2010 eru appelsínugul. Pollar sem þornuðu upp á milli 2002 og 2010 eru í svörtum lit. Ljóst er að flatarmál flestra vatnanna hefur breyst, en þetta sést enn betur á mynd 5 þar sem hluti rannsóknasvæðisins hefur verið stækkaður upp.

Mynd 5 er stækkun á SPOT-5 myndinni frá 2010 af þeim hluta svæðisins þar sem aðrennslisgöngin frá Hálslóni og Hraunaveitum koma saman. Á myndinni eru nokkur vötn með hnituðum útlínum; annars vegar eins og þær voru árið 2002 (svartar línur) og hins vegar árið 2010 (með blágrænum lit), óbreytt vötn eru teiknuð með appelsínugulum línum. Í stórum dráttum eru niðurstöðurnar þær að flest vötnin á rannsóknasvæðinu eru minni árið 2010 heldur en þau voru 2002 og margir litlir pollar hafa alveg horfið.

Sum særstu vatnanna eru óbreytt (sjá mynd 4) en engin vötn virðast hafa stækkað á þessu árabili. Þótt erfiðara sé að bera saman mýrafláka og votlendisbletti virðist vera sögu að segja um þá, þeir voru meira áberandi 2002 en minnkuðu (þornuðu) víðast hvar á milli 2002 og 2010.

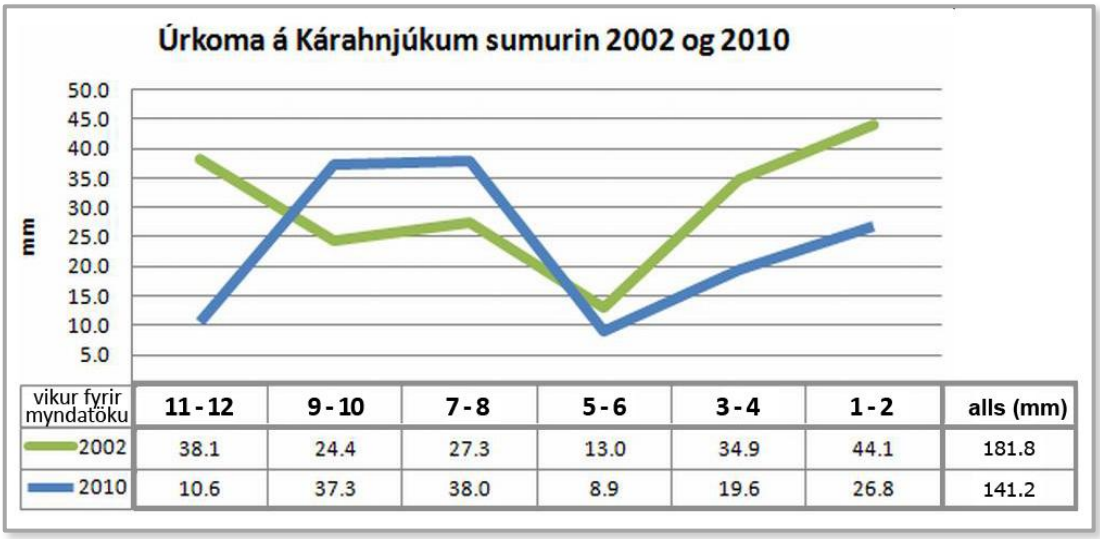



***Mynd 5.*** *Stækkun úr SPOT-5 myndinni frá 2010 af þeim hluta rannsóknasvæðisins þar sem aðrennslisgöngin frá Kárahnjúkum og Hraunaveitu sameinast (gula línan). Útlínur vatnanna árið 2002 eru teiknaðar með svörtum lit en með blágrænum lit fyrir 2010, óbreytt vötn eru með appelsínugulum línum. Flest vötnin hafa tvöfalda útlínu þar sem blágræna línan er innan svörtu útlínunnar en það þýðir að vötnin hafa minnkað. Þau vötn sem eingöngu eru teiknuð með svartri útlínu hafa þornað upp. Augljóst er að flest vötnin á rannsóknasvæðinu eru minni árið 2010 heldur en þau voru 2002 og margir litlir pollar hafa alveg horfið.*

## 6.1. Úrkomutölur 2002 og 2010

Þegar skýringa á stærðarbreytingum vatnanna er leitað er eðlilegast að skoða hvernig úrkoman var sumurin 2002 og 2010 og hvort mismunandi úrkomutölur hafi hugsanlega haft áhrif. Í ljós kemur að talsvert minna rigndi sumarið 2010 en sumarið 2002 eða 141 mm miðað við 182 mm sumarið 2002 á þriggja mánaða tímabili fyrir myndatöku sem þýðir að úrkoman 2010 var 78% af úrkomunni 2002 [7]. Úrkomumunurinn er sérstaklega mikill ef aðeins eru skoðaðar 4 seinustu vikurnar fyrir myndatöku, þá var úrkoman 46,4 mm 2010 en 79 mm 2002

og úrkoman 2010 því ekki nema 59% af úrkomunni 2002. Línuritið á mynd 6 sýnir samanburð á dreifingu úrkomunnar seinustu 12 vikurnar fyrir SPOT myndatökuna 2002 og 2010. Í þessu sambandi má einnig geta þess að lítill sem enginn snjór var á rannsóknasvæðinu bæði vorin samkvæmt athugunum í hreindýratalningum á þessum slóðum og er skýringa því ekki að leita í mismunandi snjóalögum [8].



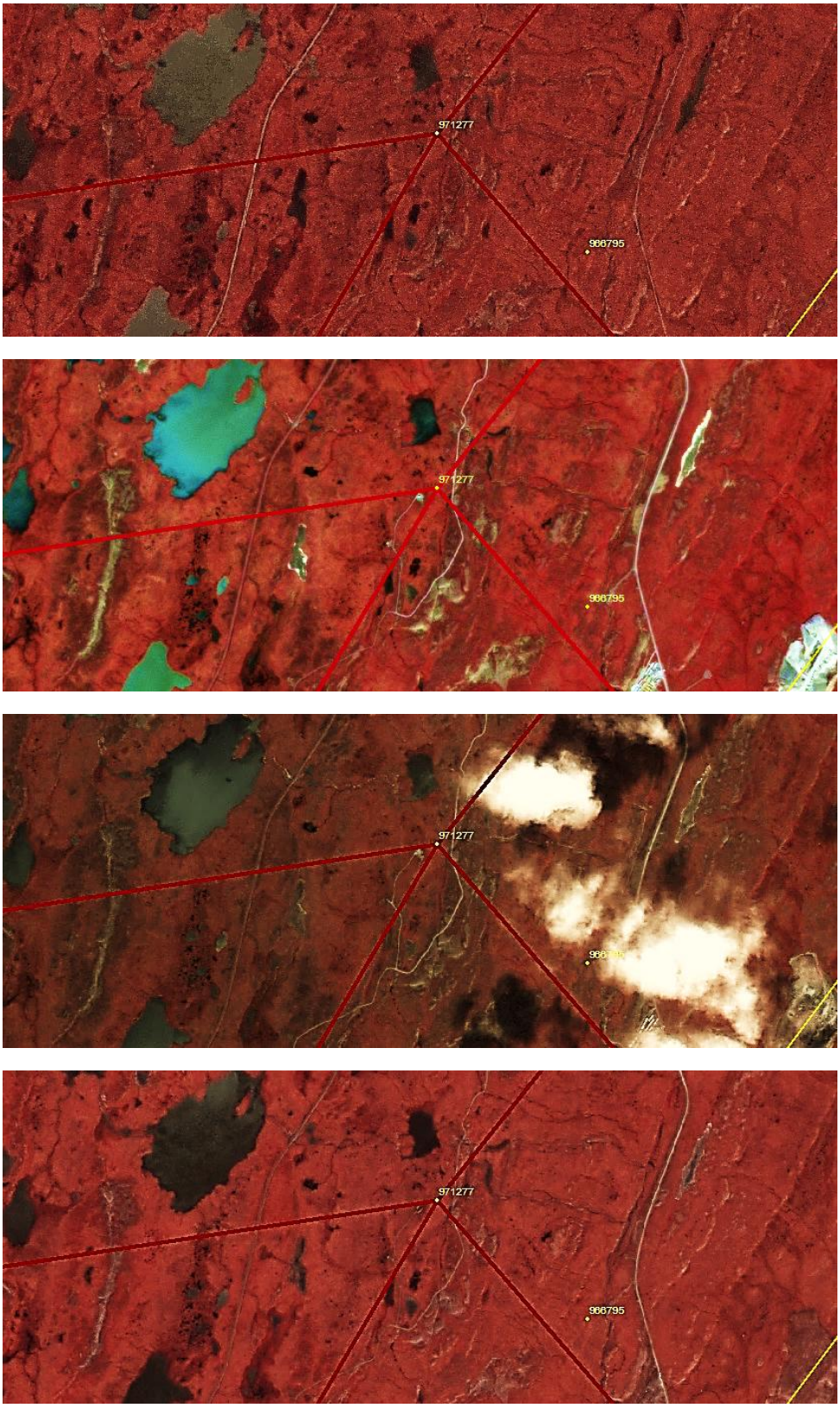

| vikur fyrir myndatöku | 11 - 12 | 9 - 10 | 7 - 8 | 5 - 6 | 3 - 4 | 1 - 2 | alls (mm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2002 | 38.1 | 24.4 | 27.3 | 13.0 | 34.9 | 44.1 | 181.8 |
| 2010 | 10.6 | 37.3 | 38.0 | 8.9 | 19.6 | 26.8 | 141.2 |

***Mynd 6.*** *Samanburður á úrkomu við Kárahnjúka seinustu 12 vikurnar fyrir SPOT-myndatökuna 2002 og 2010 (Mælingar Veðurstofu Íslands teknar saman fyrir hálfsmánaðar tímabil [7]). Talsvert meira ringdi um sumarið 2002 (182 mm) heldur en 2010 (141 mm), einkum er munurinn á úrkomunni mikill seinustu 4 vikur tímabilsins. Lítill munur var á snjóalögum bæði vorin en þá var lítill sem enginn snjór á rannsóknasvæðinu.*

## 6.2. Samanburður við árin 2007 og 2008

Eins og fram kemur í kafla 4.1. eru til SPOT-5 gervitunglamyndir af rannsóknasvæðinu frá 2007 og 2008. Þótt þessar myndir séu að hluta til skýjaðar er talsverður hluti rannsóknasvæðisins skýja- og skuggalaus bæði þessi ár. Það er þess vegna forvitnilegt að bera þessar myndir saman við myndirnar frá 2002 og 2010. Sá samanburður leiðir í ljós að í langflestum af þeim tilvikum sem vötn breytast milli 2002 og 2010, sjást líka breytingar á árunum 2007 og 2008 miðað við 2002 og/eða 2010.

Myndaröðin á mynd 7 sýnir stækkun á þeim hluta rannsóknasvæðisins þar sem aðrennslisgöngin (rauðar línur) sameinast á SPOT-5 myndunum frá 2002 (efst), 2007, 2008 og 2010 (neðst). Þótt ekki sé auðvelt að bera myndirnar saman sjónrænt í þessari framsetningu er þó greinilegt að sum vötn og mýrar hafa breyst. Það eru einkum litlir pollar og mýrarflákar (dökk svæði, oft í kringum pollana) sem breytast talsvert. Í flestum tilvikum minnka þau frá 2002 til 2007 og 2008 (eða hverfa alveg) en stækka svo aftur 2010 þótt þau nái samt ekki sömu stærð og 2002. Þessar breytingar eru bornar saman við úrkomutölur viðkomandi sumur í næsta kafla.




2002

2007

2008

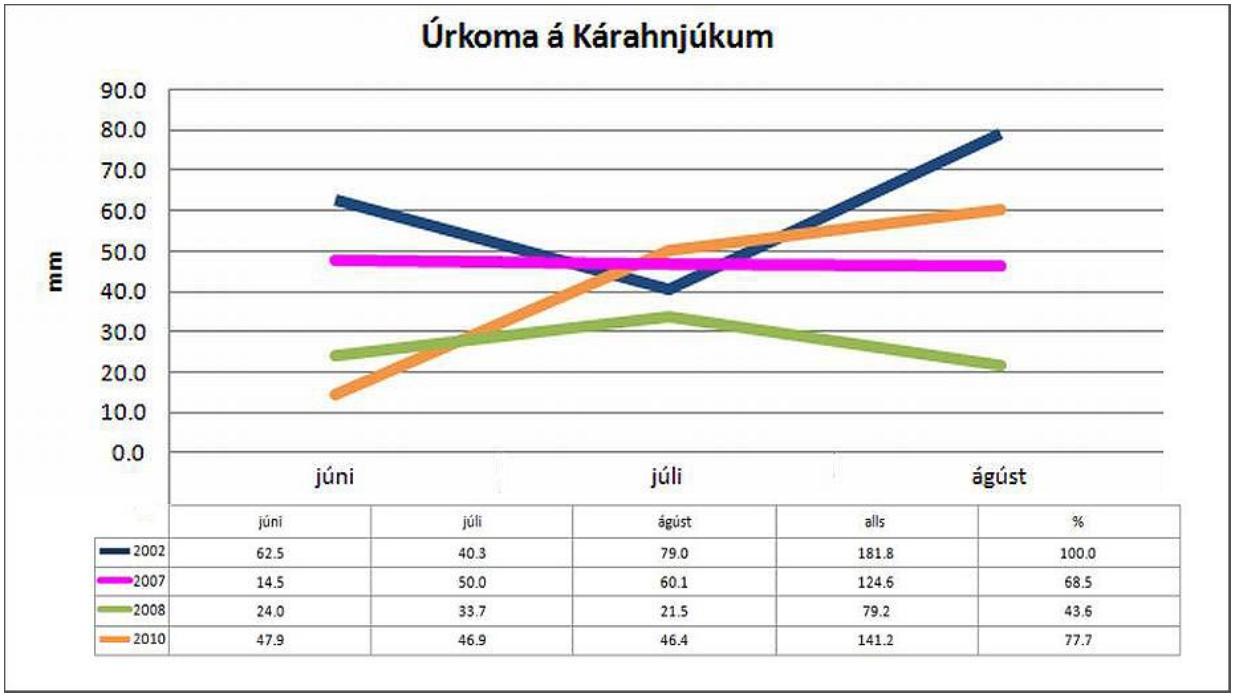
2010

***Mynd 7.*** *Stækkun á hluta rannsóknasvæðisins á SPOT-5 myndunum frá 2002 (efst), 2007, 2008 og 2010 (neðst). Sjá einnig skýringar í texta*

## 6.3. Úrkoma sumurin 2002, 2007, 2008 og 2010

Tölur frá veðurstöðinni við Kárahnjúka sýna að úrkoma yfir sumarið 2007 og sérstaklega þó yfir sumarið 2008 var mun minni en hin tvö árin eða 125 mm 2007 og ekki nema 79 mm 2008 [7]. Þetta virðist í flestum tilfellum endurspeglast í stærð þeirra vatna á rannsóknasvæðinu sem á annað borð eru breytileg á tímabilinu 2002 - 2010. Vötnin minnka frá 2002 til 2007 og 2008 (samanburður milli 2007 og 2008 er ekki alls staðar mögulegur vegna skýja á myndunum) en stækka svo aftur 2010 en ná þó ekki sömu stærð aftur og þau höfðu 2002. Þar sem samanburður á 2007 og 2008 er mögulegur, kemur hins vegar í ljós að ekki er fullkomin fylgni milli stærðar vatnanna og úrkomu, þ.e. vötnin eru ekki alltaf minni 2008 heldur en 2007 þótt í flestum tilfellum sé það raunin. Tölulegur samanburður á myndunum frá 2007 og 2008 við 2002 og 2010 er hins vegar ekki mögulegur þar sem of kostnaðarsamt (og jafnvel ástæðulaust) þótti að hnita upp vötnin af þeim myndum.

Samanburður við SPOT-5 gervitunglamyndir sem til eru af rannsóknasvæðinu frá 2007 og 2008 styður því eindregið þá ályktun að breytingar á stærð vatnanna séu afleiðing mismikillar úrkomu þessi sumur. Í flestum af þeim tilvikum sem vötn breytast milli 2002 og 2010 sjást líka breytingar á árunum 2007 og 2008.



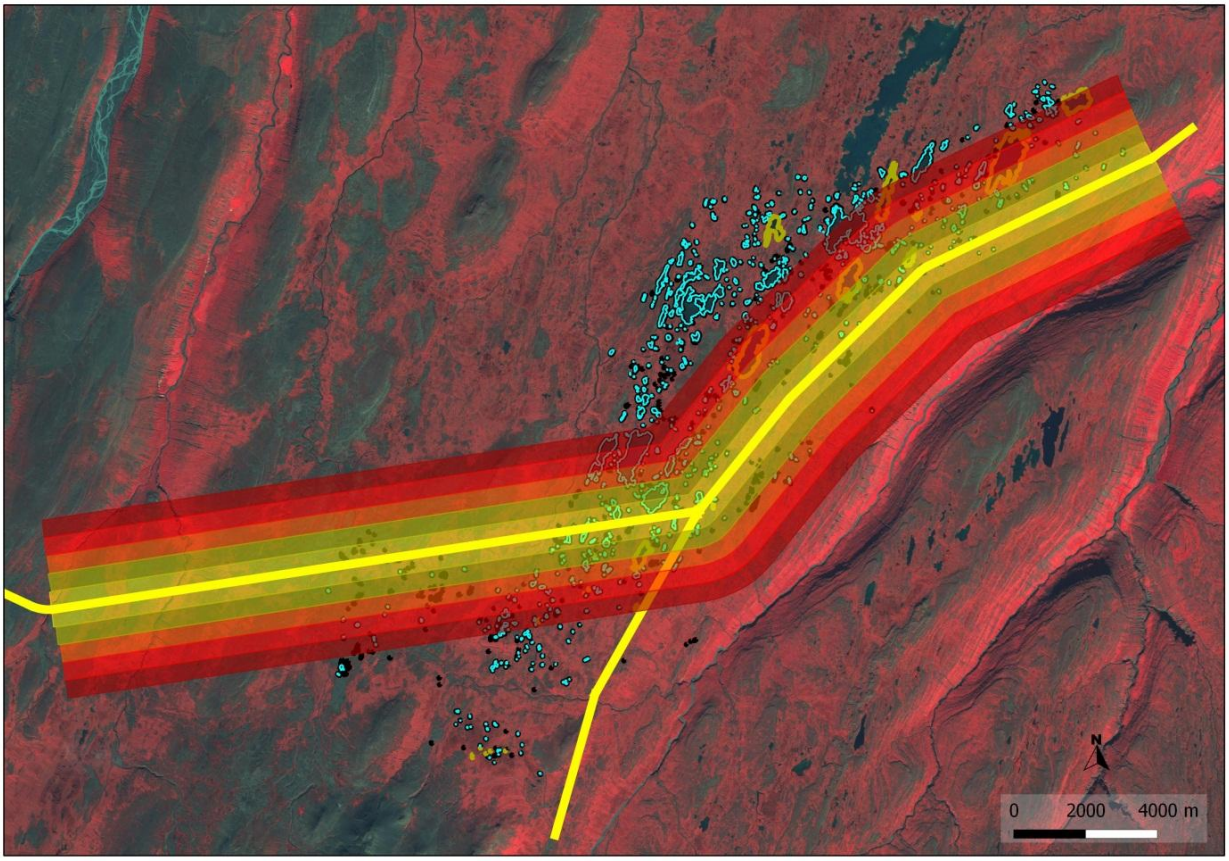

| | júni | júli | ágúst | alls | % |
|---|---|---|---|---|---|
| 2002 | 62.5 | 40.3 | 79.0 | 181.8 | 100.0 |
| 2007 | 14.5 | 50.0 | 60.1 | 124.6 | 68.5 |
| 2008 | 24.0 | 33.7 | 21.5 | 79.2 | 43.6 |
| 2010 | 47.9 | 46.9 | 46.4 | 141.2 | 77.7 |

***Mynd 8.*** *Samanburður á úrkomu við Kárahnjúka seinustu 12 vikurnar fyrir SPOT-myndatökuna 2002, 2007, 2008 og 2010 (Mælingar Veðurstofu Íslands teknar saman fyrir fjögurra vikna tímabil) [7]. Mun minna ringdi bæði sumurin 2007 og 2008 heldur en 2002 og 2010 (sér í lagi seinni part sumars), einkum var sumarið 2008 þurrt. Þetta endurspeglast í stærð vatnanna á rannsóknasvæðinu þótt talsverður eða mikill snjór bæði vorin 2007 og 2008 kunni að hafa dregið úr áhrifum lítillar sumarúrkomu á grunnvatnsborðið.*

Lítill eða mjög lítill snjór var á þessu svæði vorin 2002 og 2010, en í lok maí 2007 og 2008 var þar mikill snjór. Þótt ekkert verði neitt fullyrt um það hér, kann að vera að það vegi nokkuð upp á móti þurrum sumrum hvað varðar áhrif á stærð vatnanna á Fljótsdalsheiði.

## 6.4. Stærðarbreytingar vatna sem fall af fjarlægð frá aðrennslisgöngunum

Í þessari úttekt voru stærðarbreytingar vatnanna einnig skoðaðar sem fall af fjarlægð þeirra frá aðrennslisgöngunum á Fljótsdalsheiði. Svæðinu var skipt í fimm 500 m breiðar landræmur og síðan var heildarflatarmál vatna innan hverrar ræmu reiknað út fyrir árin 2002 og 2010 og breytingin á flatarmáli vatnanna fengin út með því að draga flatarmál vatnanna 2010 frá flatarmálinu 2002 í hverjum kraga  fyrir sigi. Þessar 500 m breiðu landræmur eru sýndar hver með sínum lit á mynd 9 þar sem innsta ræman nær yfir bilið 0 – 500 m (ljósgræn), sú næsta yfir bilið 500 – 1000 m báðum megin við göngin (græn) o.s.frv.

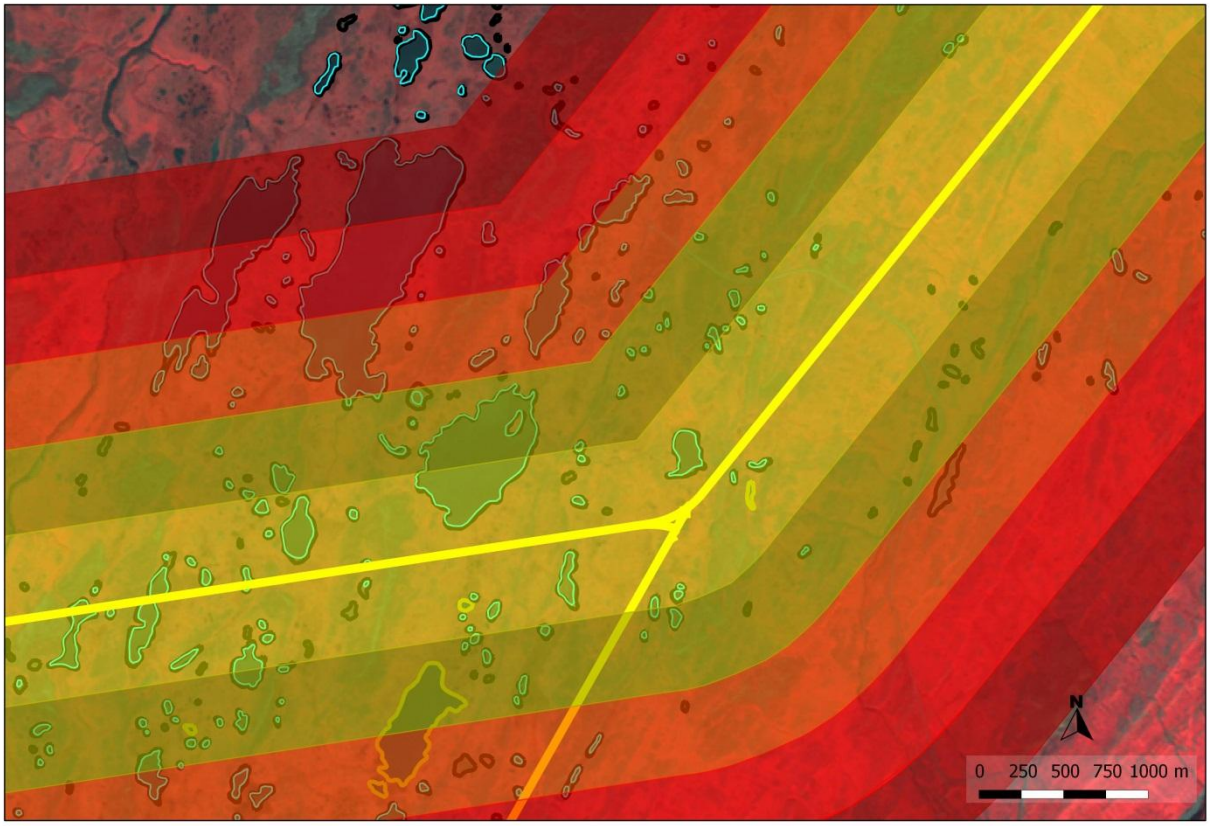



***Mynd 9.*** *Fimm 500 m breiðir kragar voru skilgreindir út frá göngunum og flatarmál allra vatnanna innan hvers kraga reiknað út fyrir báðar myndirnar 2002 og 2010. Sjá líka stækkun á hluta svæðisins á mynd 10.*

Niðurstöður þessara útreikninga leiða í ljós að greinileg fylgni er á milli stærðarbreytingar vatnanna milli 2002 og 2010 og fjarlægðar þeirra frá göngunum. Stærðarbreytingin er mest næst göngunum en minnkar jafnt og þétt með aukinni fjarlægð frá þeim. Niðurstöðurnar eru settar fram í töflu 1. Hlutfallsleg flatarmálsbreyting vatnanna í fjarlægðinni 0 – 500 m (í kraga 1) er 34,4% og 30,9% í fjarlægðinni 500 – 1000 m (í kraga 2) og minnkar niður í tæp 10% í fjarlægðinni 2000 – 2500 m (kraga 5) frá göngunum (sjá töflu 1).

Líklegasta skýringin á þessu sambandi milli flatarmálsbreytinga vatnanna og fjarlægðar þeirra frá göngunum hlýtur að felast í yfirborðsaðstæðum á svæðinu en greining á meðalstærð vatnanna í kafla 7 sýnir að minnstu vötnin eru tiltölulega flest næst göngunum.

Nánar verður fjallað um þessi atriði í kafla 8 „Túlkun niðurstaðna“ og reynt að gera grein fyrir hugsanlegum skýringum.




***Mynd 10.*** *Stækkun úr mynd 9 af sama svæði og sýnt er á mynd 5. Fimmhundruð metra kragar eru hálfgegnsæir þannig að vötnin og útlínur þeirra sjást í gegn. Gula línan táknar aðrennslisgöngin. Eins og áður eru útlínur vatnanna árið 2002 teiknaðar með svörtum lit en með blágrænum lit fyrir 2010, óbreytt vötn eru með appelsínugulum línum. Vötnum sem ná yfir tvo eða fleiri kraga er skipt upp á mörkum kraganna til þess að hægt sé að reikna út flatarmálsbreytingar í hverjum kraga fyrir sig.*

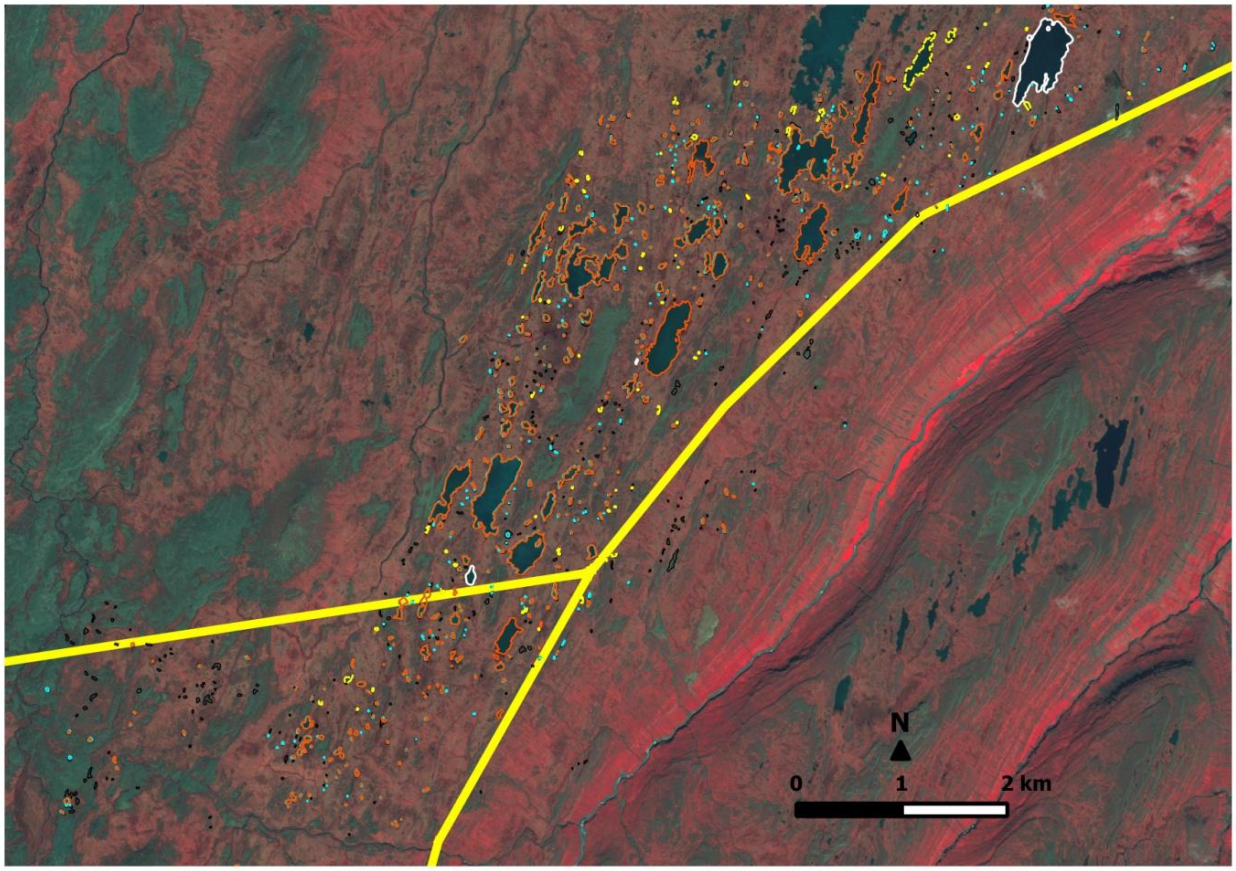
| Númer kraga | $A_{2002}$ (ha) | $A_{2010}$ (ha) | $\Delta A_1 = A_{2002-2010}$ (ha) | $\Delta A_1/A_{2002}$ 100 (%) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 70,8 | 46,4 | 24,4 | **34,4%** |
| 2 | 89,3 | 61,7 | 27,6 | **30.9%** |
| 3 | 169,3 | 138,4 | 30,9 | **18,3%** |
| 4 | 211,8 | 189,8 | 22,0 | **10,4%** |
| 5 | 210,4 | 189,7 | 20,7 | **9,8%** |

***Tafla 1.*** *Heildarflatarmál vatna 2002 ($A_{2002}$) og 2010 ($A_{2010}$) innan hvers 500 m kraga út frá aðrennslisgöngunum og hlutfallsleg minnkun flatarmálsins ($\Delta A/A_{2002}100$) í hverjum kraga fyrir sig. Vötnin minnka mest næst göngunum (34,4%) en minnst lengst frá þeim (9,8%).*

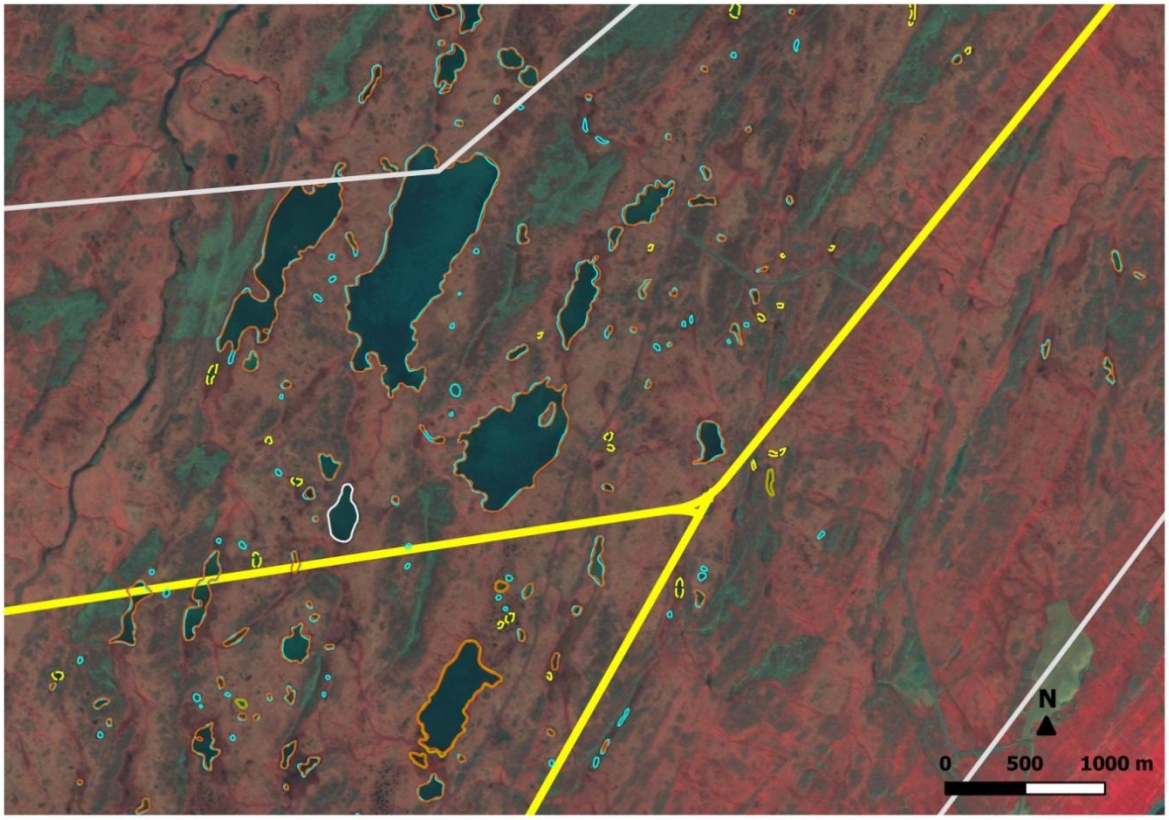
## 7. NÝ SPOT-5 MYND 2012

Undir lok þessarar rannsóknar fékkst aðgangur að nýrri SPOT-5 mynd sem tekin var sumarið 2012. Þar sem verkefninu var ekki lokið þótti eðlilegt að bæta þessari mynd við rannsóknina og bera þær niðurstöður sem þegar höfðu fengist við hana.

Nýja SPOT-5 myndin var tekin 16. júlí 2012 eða töluvert fyrr á árinu heldur en hinar myndirnar sem teknar voru í lok ágúst eða byrjun september. Það kemur þó ekki í veg fyrir að hægt sé að bera hana saman við aðrar myndir. Um vorið 2012 (27. maí og 18. júní) var enginn snjór á þessum slóðum samkvæmt athugunum í hreindýratalningum Verkfræðistofnunar Háskóla Íslands, en áberandi var hversu þurrt landið var og lítið farið að grænka [8]. Úrkomutölur frá veðurstöðvunum við Kárahnjúka og á Eyjabökkum sýna einnig að vorið og sumarið 2012 voru mjög þurr fram að því að SPOT-myndin var tekin [7].




***Mynd 11.*** *Nýja SPOT-myndin af rannsóknasvæðinu sem tekin var 16. júlí 2012. Mynd 11 er sambærileg við mynd 4 og sýnir aðrennslisgöngin ásamt hnituðum útlínum vatna og polla sem næst þeim liggja. Útlínur vatnanna eru flokkaðar með ákveðnum litum, t.d. eru útlínurnar 2012 appelsínugular en blágrænar fyrir 2010. Hvítar línur eru í kring um vötn sem ekkert breyttust milli 2002 og 2012. Sjá einnig stækkun á hluta svæðisins á mynd 12.*



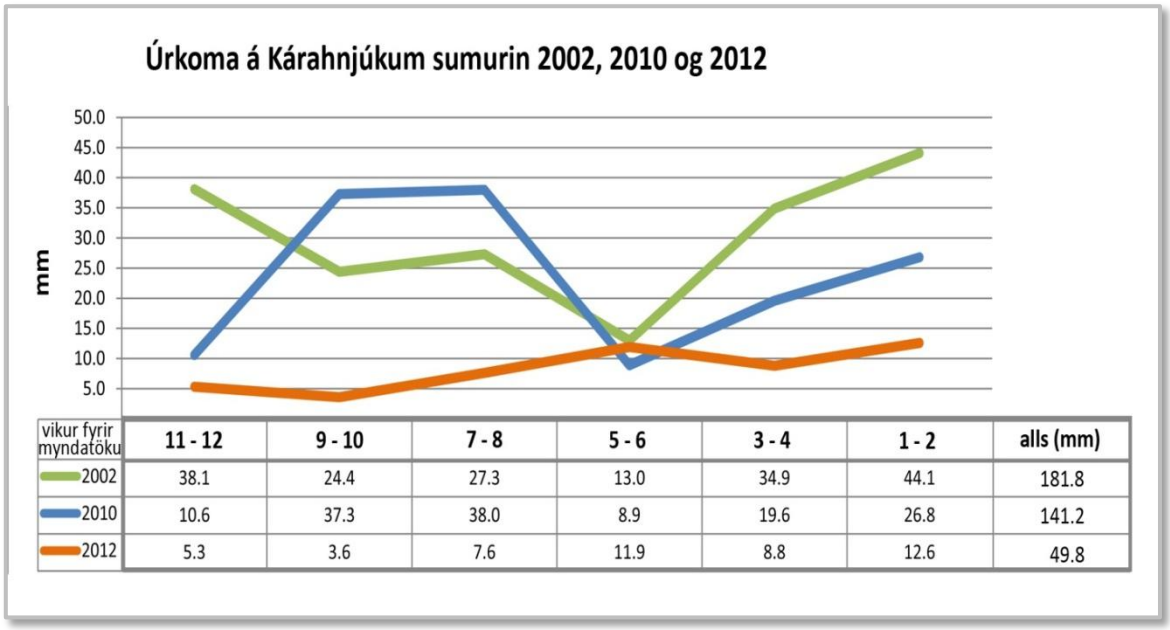

***Mynd 12.*** *Stækkun úr nýju SPOT-5 myndinni frá 2012 (mynd 11) af þeim hluta rannsókna-svæðisins þar sem aðrennslisgöngin frá Kárahnjúkum og Hraunaveitu sameinast (gula línan). Útlínur vatnanna árin 2002, 2010 og 2012 eru teiknaðar með mismunandi litum (sem skyggja hver á annan þar sem vötnin hafa ekki breyst milli mynda). Þeim vötnum sem voru teiknuð með svartri útlínu á mynd 5 og þornuðu upp fyrir 2010 er sleppt í þessari framsetningu.*

Grafið á mynd 13 er endurbætt útgáfa af mynd 6 og sýnir mælda úrkomu við Kárahnjúka næstu 12 vikurnar áður en SPOT-myndin 2012 var tekin í samanburði við úrkomuna 2002 og 2010 fyrir samsvarandi tímabil. Heildarúrkoman á þessu 12 vikna tímabili 2012 var ekki nema 49,8 mm eða aðeins 27% af úrkomunni á sama tímabili 2002 og einnig mun minni en 2007 og 2008 (sjá mynd 8). Þar með er viðmiðunartímabilið fyrir myndatökuna 2012 það allra þurrasta af þeim árum sem til athugunar voru í þessari rannsókn (sjá einnig töflu 2).

## 7.1. Samanburður á stærð vatnanna 2012 og áranna 2002 og 2010

Öll vötn innan kraganna utan um göngin á Fljótsdalsheiði voru hnituð upp af SPOT-myndinni 2012 líkt og gert var fyrir myndirnar 2002 og 2010. Niðurstöðurnar eru teknar saman í töflu 3. Þar kemur fram sama hneigð og áður hvað varðar samband úrkomu og flatarmáls vatnanna, þ.e. í samræmi við litla úrkomu 2012 hafa vötnin enn minnkað miðað við niðurstöðuna 2010. Heildarflatarmál vatnanna í hverjum kraga er minna árið 2012 heldur en það var 2010.

Þar með er ekki neinum blöðum um það að fletta að þessar mælingar sýna svo ekki verður um villst að flatarmál vatnanna á rannsóknasvæðinu ræðst af úrkomunni. Því meiri sem úrkoman er seinustu vikur eða mánuði fyrir myndatökuna þeim mun stærri eru vötnin.




***Mynd 13.*** *Grafið sýnir mælda úrkomu við Kárahnjúka næstu 12 vikurnar áður en SPOT-myndirnar 2002, 2010 og 2012 voru teknar. Úrkomutölurnar eru teknar saman yfir tveggja vikna tímabil [7]. Áberandi er hversu þurrt þetta 12 vikna tímabil var árið 2012 (rauða línan).*

| *ár / nr. viku* | *11 -12* | *9 - 10* | *7 - 8* | *5 - 6* | *3 - 4* | *1 - 2* | ***alls*** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ***2002*** | *38,1* | *24,4* | *27,3* | *13,0* | *34,9* | *44,1* | ***181,8*** |
| ***2007*** | *1,5* | *13,0* | *23,3* | *26,7* | *37,3* | *22,8* | ***124,6*** |
| ***2008*** | *11,0* | *13,0* | *30,3* | *3,4* | *1,6* | *19,9* | ***79,2*** |
| ***2010*** | *10,6* | *37,3* | *38,0* | *8,9* | *19,6* | *26,8* | ***141,2*** |
| ***2012*** | *5,3* | *3,6* | *7,6* | *11,9* | *8,8* | *12,6* | ***49,8*** |

***Tafla 2.*** *Úrkomutölur á Kárahnjúkum (í mm) seinustu 12 vikna fyrir töku SPOT-myndanna 2002, 2007, 2008, 2010 og 2012. Tölurnar eru teknar saman yfir tveggja vikna tímabil; 11 – 12, 9 – 10, o.s.frv. Úrkoman var mest 2002 (181,8 mm) en langminnst 2012 (49,8 mm), ekki nema rúmlega fjórðungur af því sem hún var 2002 [7]. Til auðkenningar eru þurrustu tímabilin, þ.e. þegar úrkoman var minni en 10 mm á tveimur vikum, lituð með gulum lit. Þau voru fjögur árið 2012 en ekkert 2002.*

| Númer kraga | $A_{2002}$ (ha) | $A_{2010}$ (ha) | $A_{2012}$ (ha) | $\Delta A_2 = A_{2010\text{-}2012}$ (ha) | $\Delta A_2 / A_{2010}$ 100 (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 70,8 | 46,4 | 42,1 | 4,3 | **9,3%** |
| 2 | 89,3 | 61,7 | 54,7 | 7,0 | **11,3%** |
| 3 | 169,3 | 138,4 | 131,7 | 6,7 | **4,8%** |
| 4 | 211,8 | 189,8 | 182,5 | 7,3 | **3,8%** |
| 5 | 210,4 | 189,7 | 182,6 | 7,1 | **3,7%** |

***Tafla 3.*** *Heildarflatarmál vatna 2002 ($A_{2002}$), 2010 ($A_{2010}$) og 2012 ($A_{2012}$) innan hvers 500 m kraga út frá aðrennslisgöngunum samkvæmt mælingum á SPOT-5 myndunum (sjá einnig töflu 1). Í aftasta dálki er hlutfallsleg minnkun vatnanna í hverjum kraga milli 2010 og 2012. Þar kemur nákvæmlega sama tilhneiging fram og í töflu 1 þar sem minnkunin milli áranna 2002 og 2010 er reiknuð út, þ.e. minnkunin er mest í krögum 1 og 2 en minnkar jafnt og þétt með aukinni fjarlægð frá göngunum.*

## 7.2. Flatarmálsbreytingar á vötnum sem fall af fjarlægð frá göngunum

Í aftasta dálki í töflu 3 hefur hlutfallsleg minnkun vatnanna í hverjum kraga milli 2010 og 2012 verið reiknuð út. Þar kemur fram sama tilhneiging og í töflu 1 þar sem minnkunin milli áranna 2002 og 2010 er sett framt þ.e. minnkunin er mest í krögum 1 og 2 næst göngunum en minnkar jafnt og þétt með aukinni fjarlægð frá þeim.

Eins og áður hefur komið fram er hægt að gera margvíslegar tölfræðilegar greiningar á gögnunum sem að öðrum kosti væru ekki mögulegar þegar búið er að koma þeim inn í landupplýsingakerfi (LUK eða GIS). Eitt atriði sem áhugi er að fá skýringu á er það hvernig á því stendur að vötnin á Fljótsdalsheiði minnka mest næst göngunum og sífellt minna eftir því sem fjær dregur frá þeim (sjá samantekt í töflu 1). Þar sem ákveðið samband er á milli flatarmáls vatna og dýpis þannig að minnstu vötnin eru jafnan grynnst er augljóst að mestar stærðabreytingar verða á litlum vötnum og þau geta jafnvel alveg horfið ef veðurfar er mjög þurrt [3]. Það liggur því beint við að skoða hvernig stærðardreifingu vatnanna miðað við fjarlægð þeirra frá göngunum er háttað og hvernig hún hefur hugsanlega áhrif á minnkun vatnanna í hverjum kraga fyrir sig. Niðurstöðurnar á þessari greiningu eru settar fram í töflu 4.

Samanburður á niðurstöðutölunum í töflu 4 eru mjög áhugaverðar og um þær mætti rita langt mál hvort sem lesið er lárétt í ákveðinni línu og innan ákveðins kraga eða lóðrétt fyrir ákveðið ártal. Í aðalatriðum eru niðurstöðurnar eftirfarandi:

Meðalstærð vatnanna er minnst næst göngunum (hún er 0,58 hektarar í kraga 1 árið 2002) en fer jafnt og þétt vaxandi með aukinni fjarlægð frá þeim (1,88 ha í kraga 5 árið 2002) eins og sést í öðrum dálki töflunnar. Þetta gildir einnig fyrir árin 2010 og 2012, þá breytist meðalstærðin annars vegar úr 0,64 ha í kraga 1 í 2,16 ha í kraga 5 og hins vegar úr 1,03 ha í kraga 1 í 2,43 ha í kraga 5.

Ef lesið er lárétt í gegnum töfluna sést að vötnunum í hverjum kraga fækkar frá 2002 til 2012. Í fyrsta kraga voru 122 vötn árið 2002, 72 árið 2010 og 41 árið 2012 og sama er uppi á teningnum fyrir alla hina kragana. Vötnin eru undantekningarlaust flest árið 2002 (blautasta sumarið), næstflest 2010 og fæst eru þau 2012 (þurrasta sumarið).

Það að meðalstærð vatnanna í hverjum kraga **eykst** á milli áranna 2002, 2010 og 2012 og að þeim **fækkar jafnframt** í hverjum kraga frá 2002 til 2012 staðfestir svo að segja sömu niðurstöðuna:

- Yfirborðsaðstæður (sem hér verður látið ligga milli hluta hverjar eru) ráða því að minnstu vötnin eru tiltölulega flest næst göngunum.
- Þar sem minnstu vötnin eru einnig að öðru jöfnu grynnst bregðast þau augljóslega hraðast við vatnshæðarbreytingum þannig að þau minnka mest eða hverfa jafnvel alveg þegar veðrátta er þurr.
- Vötnunum í 1. og 2. kraga fækkar þar af leiðandi mest.
- Það leiðir til þess að heildarflatarmál vatnanna minnkar mest þar sem minnstu vötnin eru, þ.e. í krögum 1 og 2 næst göngunum.

Allt ber því í raun að sama brunni: Stærð vatna á Fljótsdalsheiði breytist talsvert milli ára samkvæmt mælingum á þeim gervitunglamyndum sem til rannsóknar voru í þessu verkefni. Þessar breytingar er alfarið hægt að skýra með mismunandi úrkomu áður en myndirnar voru teknar. Það er sjaldan sem jafn rakið samband sést milli orsakar og afleiðingar eins og í þessari rannsókn.

| **Númer kraga** | ***2002*** | | ***2010*** | | ***2012*** | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | ***fjöldi vatna*** | *meðalstærð (ha)* | ***fjöldi vatna*** | *meðalstærð (ha)* | ***fjöldi vatna*** | *meðalstærð (ha)* |
| 1 | ***122*** | *0,58* | ***72*** | *0,64* | ***41*** | *1,03* |
| 2 | ***159*** | *0,56* | ***96*** | *0,64* | ***63*** | *0,87* |
| 3 | ***147*** | *1,15* | ***96*** | *1,44* | ***77*** | *1,71* |
| 4 | ***144*** | *1,47* | ***104*** | *1,83* | ***86*** | *2,12* |
| 5 | ***112*** | *1,88* | ***88*** | *2,16* | ***75*** | *2,43* |

***Tafla 4.*** *Fjöldi vatna og meðalstærð í hverjum kraga fyrir árin 2002, 2010 og 2012. sem og heildarflatarmál vatna 2002 ($A_{2002}$), 2010 ($A_{2010}$) og 2012 ($A_{2012}$) innan hvers 500 m kraga út frá aðrennslisgöngunum samkvæmt mælingum á SPOT-5 myndunum (sjá einnig töflu 1).*

# 8. TÚLKUN NIÐURSTAÐNA

## 8.1. Úrkoma og heildarflatarmál vatnanna

Það er ljóst að úrkoma hefur mest áhrif á eða jafnvel ræður alfarið stærð vatnanna á innanverðri Fljótsdalsheiði einkum þeirra sem minni eru. Talsvert minni úrkoma var seinni part sumars 2010 heldur en 2002 og þá voru vötnin einnig minni samkvæmt mælingum á SPOT-5 gervitunglamyndum, hvort sem skoðuð voru vötn nálægt aðrennslisgöngunum eða lengra frá þeim. Samanburður við SPOT-myndirnar og úrkomutölur frá 2007 og 2008 styður þessa ályktun en þá var enn minni úrkoma en 2010. Vötnin á myndunum frá 2007 og 2008 voru að vísu ekki hnituð upp eins og 2002 og 2010 en þó er ljóst að þau voru minni þá heldur en 2010 þótt ekki sé hægt að nefna ákveðnar tölur í því sambandi. Hnitun af loft- eða gervitunglamyndum er tímafrek og dýr vinna og ekki þótti ástæða til þess að framkvæma þessa vinnu á öllum myndunum sem notaðar voru í þessari rannsókn.

Samanburður á nýrri SPOT-mynd sem tekin var 2012 styður þessa niðurstöðu enn frekar. Heildarúrkoman á 12 vikna tímabili 2012 var ekki nema 49,8 mm eða aðeins 27% af úrkomunni á sama tímabili 2002 og einnig mun minni en 2007 og 2008. Síðustu vikur fyrir myndatökuna 2012 voru því þær þurrustu af samsvarandi tímabilum allra áranna sem til athugunar voru í þessari rannsókn (sjá töflu 2). Í samræmi við þessa litlu úrkomu 2012 höfðu vötnin enn minnkað miðað við niðurstöðuna 2010. Heildarflatarmál vatnanna í hverjum 500 m kragaút frá aðrennslisgöngunum var minna árið 2012 heldur en það var 2010 (sjá töflu 3).

## 8.2. Flatarmálsbreytingar og fjarlægð frá aðrennslisgöngunum

Niðurstöðurnar hvað varðar fylgni milli minnkunar á flatarmáli vatnanna og fjarlægðar þeirra frá göngunum gætu í fljótu bragði bent til þess að minnkunin sé afleiðing af tilveru ganganna á þessum stað. Það mundi þýða að grunnvatn úr nágrenni ganganna læki inn í göngin, grunnvatnsborðið lækkaði og vötnin minnkuðu. Þessi tilgáta gæti hafa átt við þegar verið var að bora göngin og þau voru tóm en alls ekki eftir að virkjunin tók til starfa.

Mikill vatnsþrýstingur, eða allt að 30 – 80 m þrýstihæð, er í göngunum þannig að ef þau eru lek ættu afleiðingarnar að vera þveröfugar, þ.e. vatn ætti að tapast úr göngunum út í umhverfið og vötn á yfirborðinu að stækka ef um verulegt vatnsmagn væri að ræða. Þar sem reyndin er þveröfug verður að leita ástæðunnar annars staðar.

Ástæðan er tengd yfirborðsaðstæðum á þessu svæði, s.s. landslagi, sem valda því að tiltölulega flest lítil og mjög lítil vötn eru næst göngunum. Þau minnka mest eða hverfa jafnvel alveg þegar veðrátta er þurr. Það hefur svo það í för með sér að stærðarbreytingarnar eru mestar næst göngunum en minnka eftir því sem fjær dregur.

## 9. TILVITNANIR


[1] http://www.umhverfisraduneyti.is/media/PDF_skrar/urskurdurkarahnjukar2001.pdf

[2] Egill Axelsson, 2013: Áhrif Kárahnjúkavirkjunar á grunnvatnsstöðu við Hálslón og á Fljótsdals-heiði. Landsvirkjun. LV-2013-077.

[3] Brooks, R.T., Hayashi, M.; 2002. Depth-area-volume and hydroperiod relationships of ephemeral (vernal) forest pools in southern New England. WETLANDS, Vol 22, No. 2, June 2002, pp. 247-255.

[4] Hanell, C. R.; 2011. Groundwater response to precipitation events, Kalaloch, Olympic Peninsula, Washington. Master Thesis 2011.

[5] http://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/spot-5.html

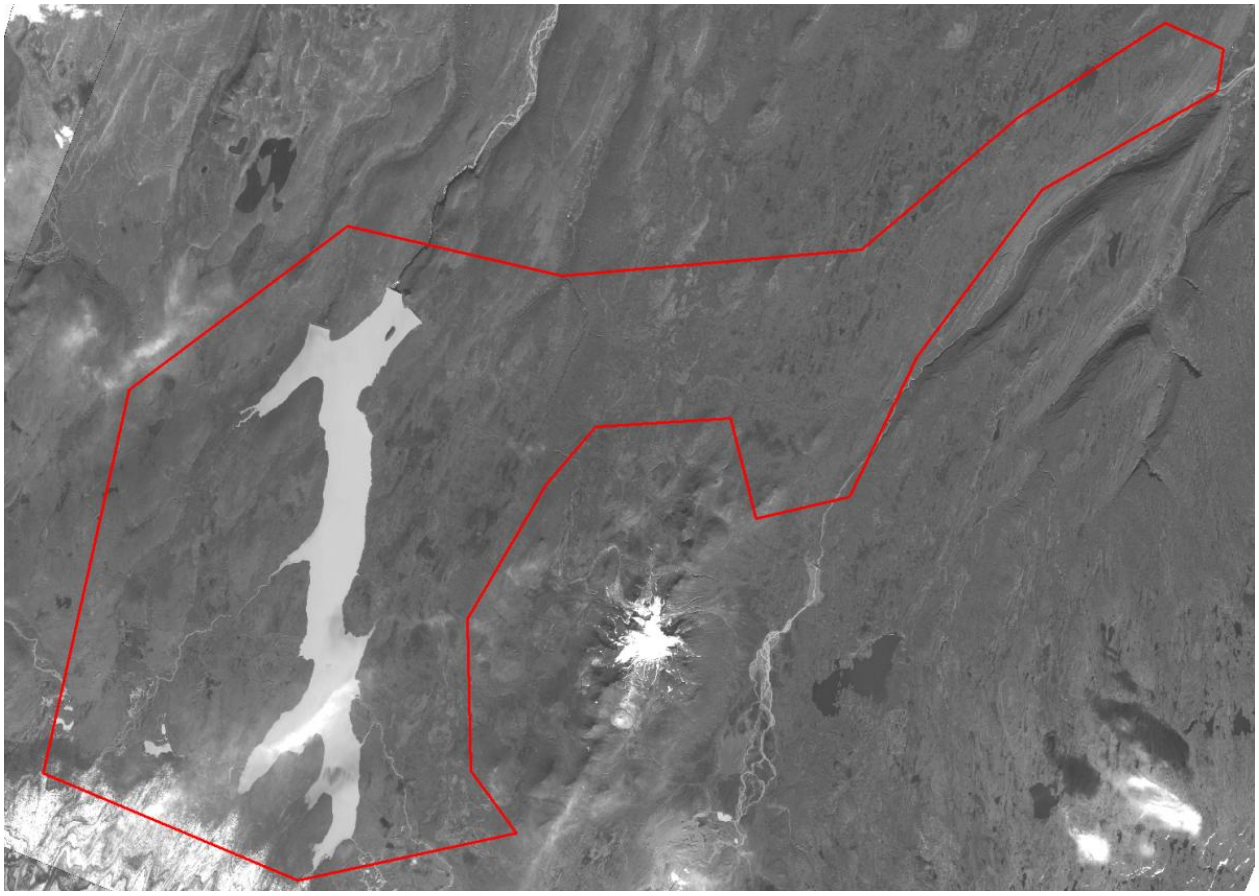
[6] (http://www.lmi.is/stafraen-gogn/is-50v-nytt/ ),

[7] Guðrún Gísladóttir, Veðurstofa Íslands: Upplýsingar í tölvupósti, nóvember 2013

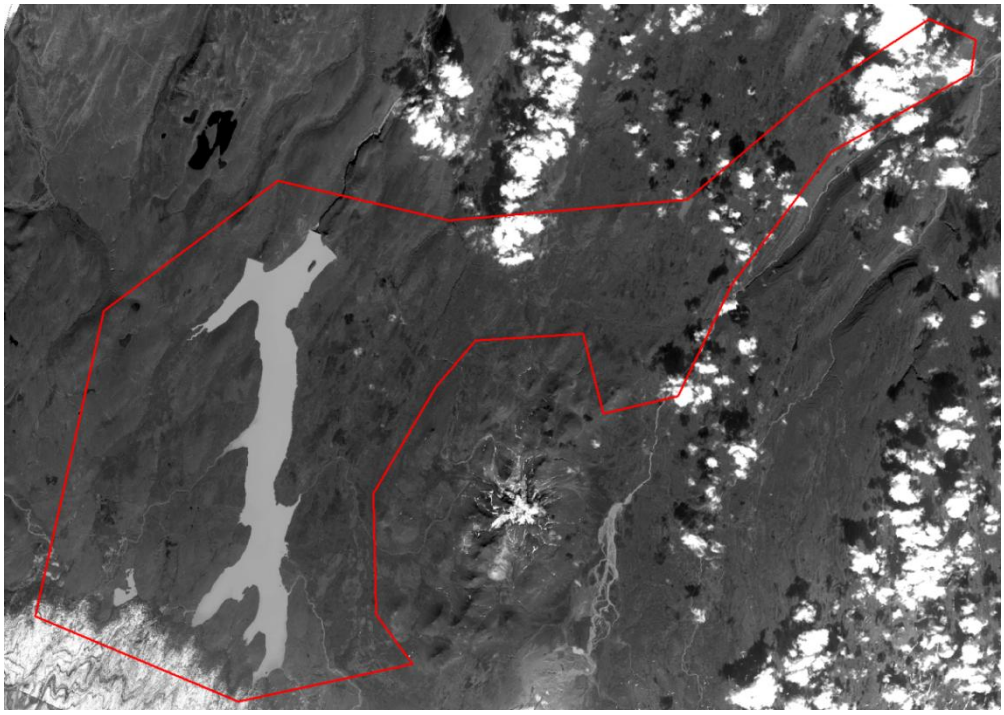
[8] Kolbeinn Árnason, 2012: Hreindýratalningar norðan Vatnajökuls með myndatöku úr flugvél 2012. Landsvirkjun. LV-2012-115.

**VIÐAUKI I**

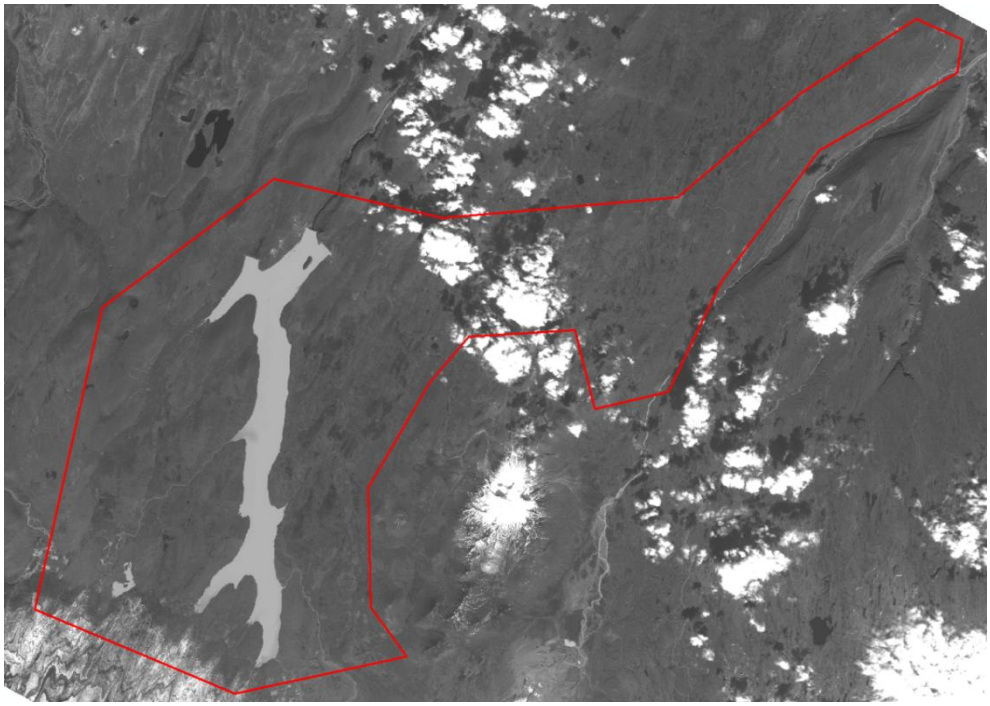
SPOT-5 myndir af áhrifasvæði Kárahnjúkavirkjunar. Inn á myndirnar er teiknað hugsanlegt áhrifasvæði Kárahnjúkavirkjunar á grunnvatnsborð (rauð lína).



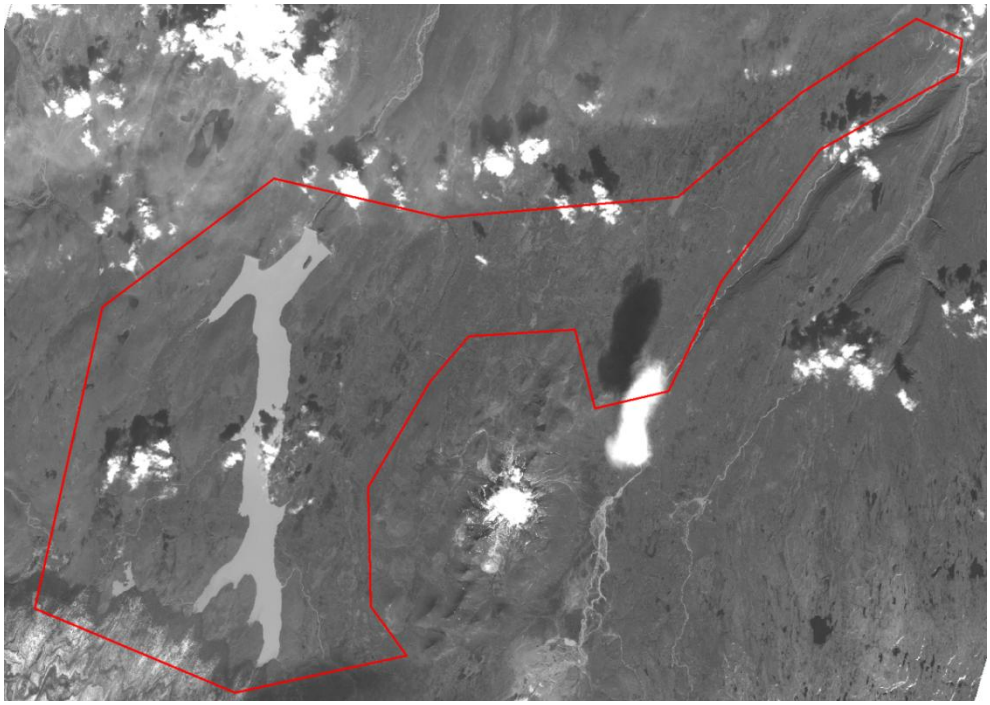
**Mynd i.** Mynd 721_216_0_100902, tekin 2. september 2010. Þessi mynd var nýjasta SPOT-5 myndin sem til var af áhrifasvæði Kárahnjúkavirkjunar með fullri greinihæfni (2,5 m pan) þegar ákveðið var að ráðast í þetta verkefni.



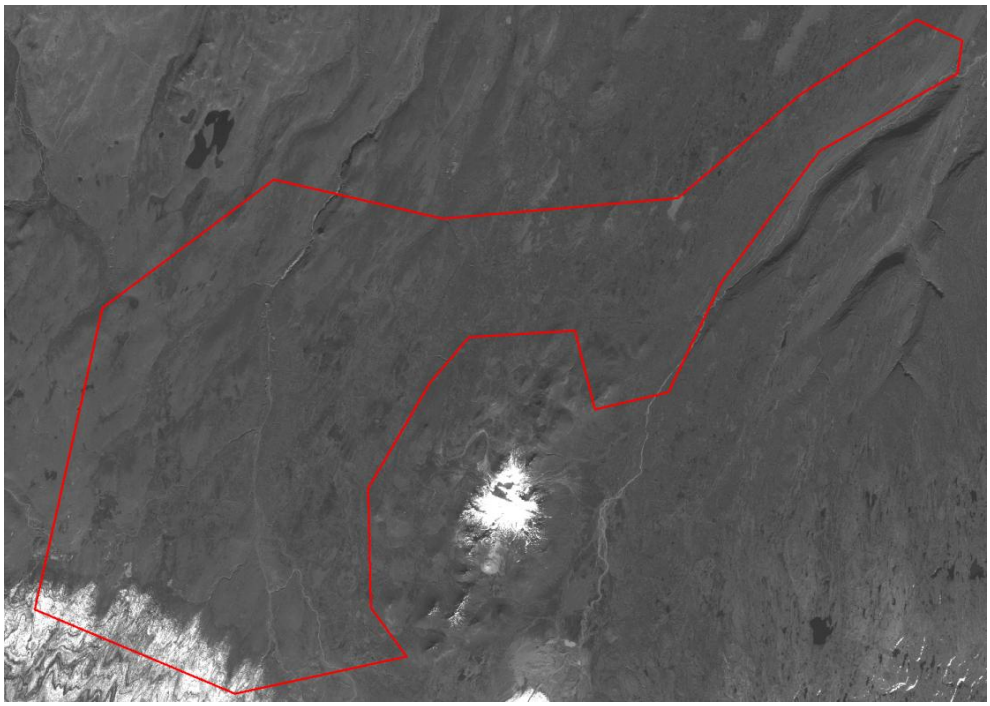
**Mynd ii.** Mynd 721_215_9_080824, tekin 24. ágúst 2008.



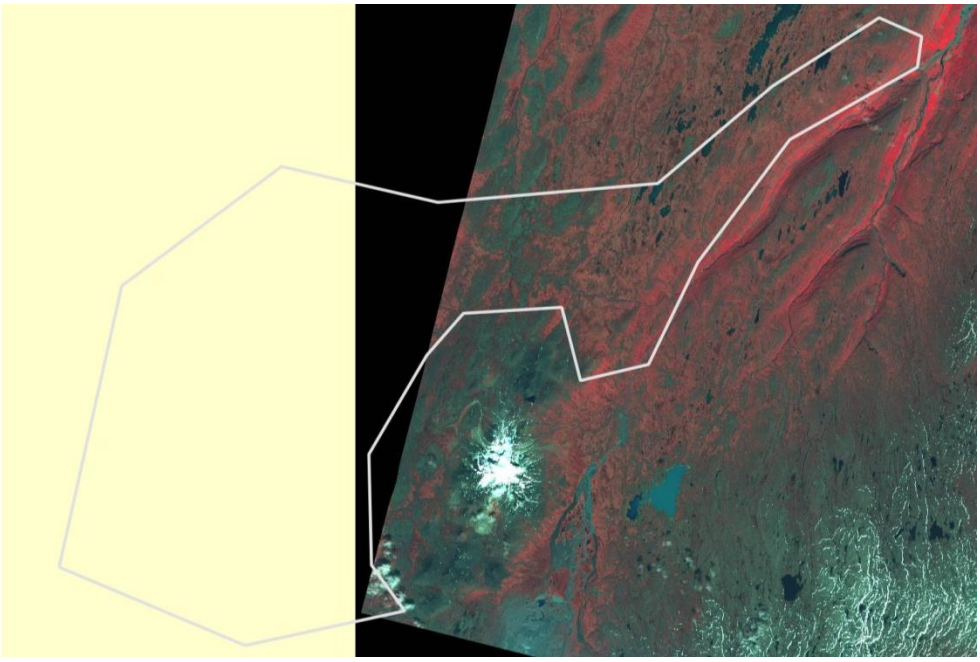
**Mynd iii.** Mynd 721_216_0_070820, tekin 20. ágúst 2007



**Mynd iv.** Mynd 721_216_0_070823, tekin 23. ágúst 2007



**Mynd v.** Mynd 721_215_8_020909, fyrsta SPOT-5 myndin sem tekin var af þessu svæði (og reyndar fyrsta SPOT-5 myndin sem tekin var af Íslandi). Hún var tekin 9. september 2002 eða 5 árum áður en lónið myndaðist.

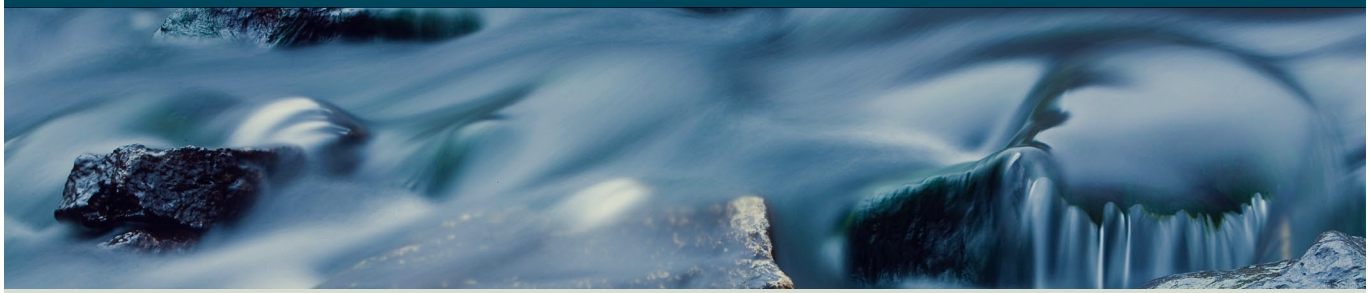


**Mynd vi.** Nýja SPOT-5 myndin sem tekin var 16. júlí 2012 og var bætt við verkefnið undir lok þess. Myndin nær ekki yfir Hálslón og Vesturöræfi heldur aðeins áhrifasvæði aðrennslisganganna á Fljótsdalsheiði.

Landsvirkjun

Háaleitisbraut 68
103 Reykjavik
landsvirkjun.is

landsvirkjun@lv.is
Sími: 515 90 00



UMHVERFISMERKI
141 381
Prentað efni