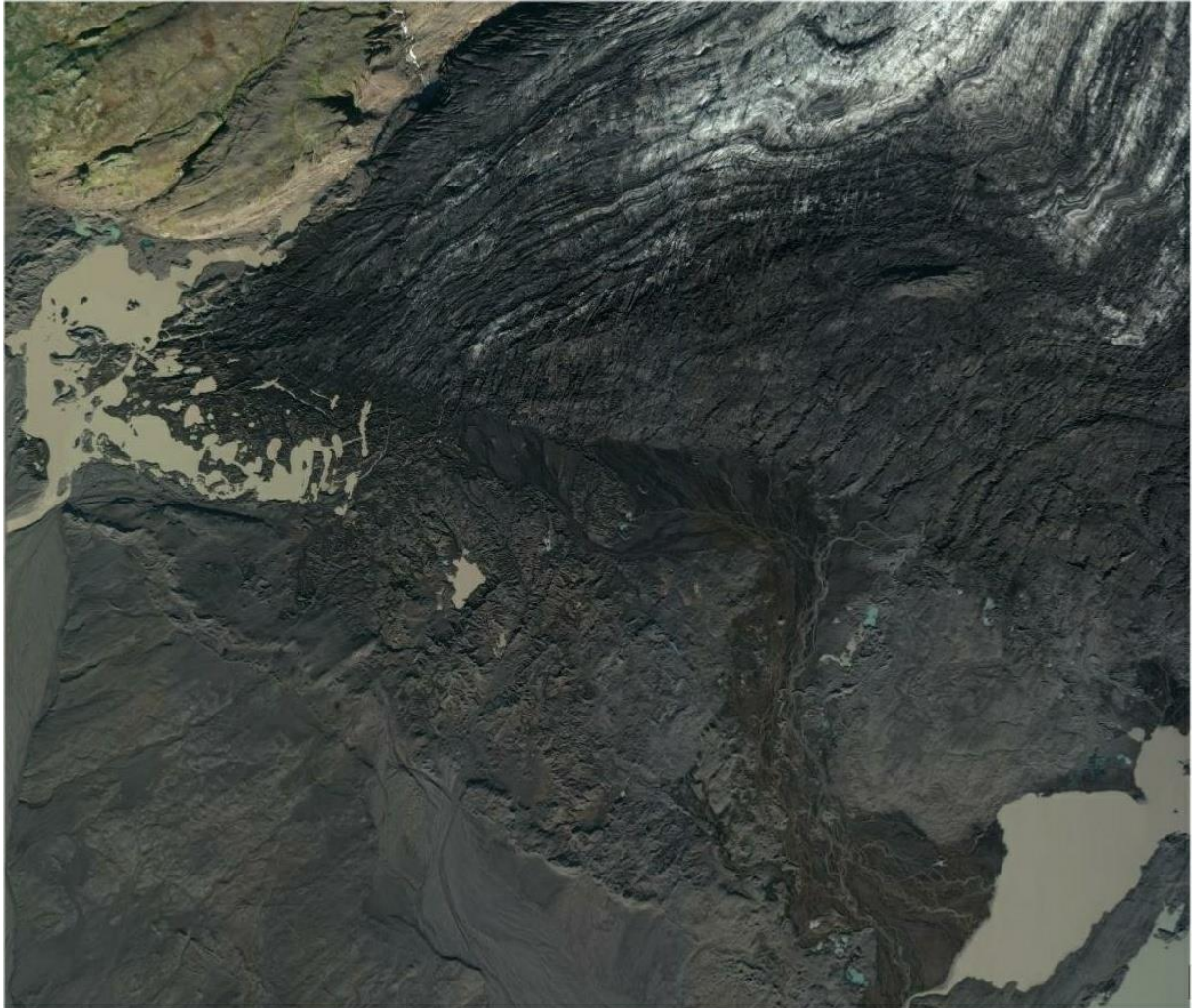


# ÁHRIF BREYTINGA SKEIÐARÁRJÖKULS Á FARVEG OG RENNSLI SÚLU.



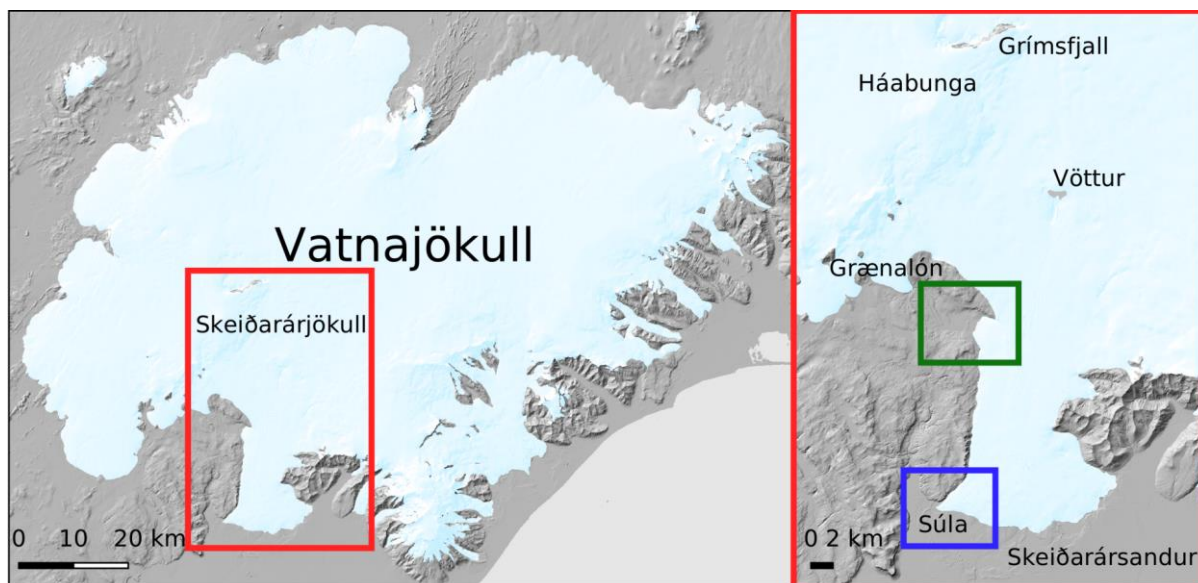
Jöklahópur Jarðvísindastofnunar Háskólans

Eyjólfur Magnússon, Finnur Pálsson, Joaquin Munoz-Cobo Belart og Helgi Björnsson

RH-5-20







1. mynd. Skeiðarárjökull. Megin rannskóknarsvæðið er innan bláa rammans (Súla, Súlulón, V-Skeiðarárjökull) lónstæði Grænalóns sem einnig er skoðað er innan græna ferningsins.

## Inngangur

Skeiðarárjökull hefur, eins og aðrir jöklar, rýrnað mikið á síðustu áratugum, sérstaklega frá 1995. Þessu hafa fylgt breytingar í farvegum fallvatna frá jöklinum. Allar meginkvíslar (Skeiðará austast, Sæluhúsakvísl, Gígjukvísl og Súla vestast) sem áður dreifðu úr sér niður sandana renna nú að hluta til með sporðinum og sameinast í Gígjukvísl. Þetta hefur haft mikil áhrif á umferðarmannvirki á Skeiðarársandi. Skeiðarárbrú, lengsta brú landsins, var tekin úr notkun 2017 og 70 m löng brú yfir Morsá tekin í notkun í staðinn, en Skeiðará hvarf úr farvegi sínum og fór að renna til Gígjukvíslar 2009. Rennslið í Núpsvötnum, nú þegar Súla sem áður bar undir hana meginhluta vatnsins frá vestanverðum Skeiðarárjökli er hætt að renna þangað, er fremur tilkomulítið í samanburði við brúnna yfir ána.

Eðli jökulhlaupa undan jöklinum hefur einnig breyst á þessum tíma. Litlar líkur eru á stórum hlaupum frá Grímsvötnum, af þeirri stærð sem algeng voru frá miðri 20. öld til 1996 og nær engar líkur á hlaupi líku hamfarahlaupinu haustið 1996, vegna breytinga á ísþröskuldi, rennslisleiðum og þykkunar íshellunnar (Finnur Pálsson, 2018). Jafnframt er Grænalón sem var uppspretta tíðra jökulhlaupa í Súlu nú að mestu leyti horfið.

Hér verður greint frá breytingum á jöklinum og farvegum jökulvatns við vestasta hluta jökulsporðsins, þ.e. farvegum Súlu. Í áratugi lágu meginfarvegir Súlu til vesturs og þaðan til suðurs en síðar nær beint til suðurs og jökulvatnið sameinaðist Núpsvötnum ofan við vegstæðið. Samkvæmt Hannesi Jónssyni bónda á Hvoli og eiganda Núpstaðarskógar hvarf vatn úr þeim farvegi í júní 2016 en síðan þá hefur farvegur Súlu legið til austurs og svo suðurs yfir til Gígjukvíslar, um lægð í landi sem nokkrum árum áður var undir jökli.

Það sem helst ógnar stöðugleika hins nýja farvegar er hugsanlegt framhlaup jökulsins, en hann hefur áður gengið fram um allt að 1 km. Í slíku framhlaupi gæti jökull lagst yfir farveginn og stíflað hann.

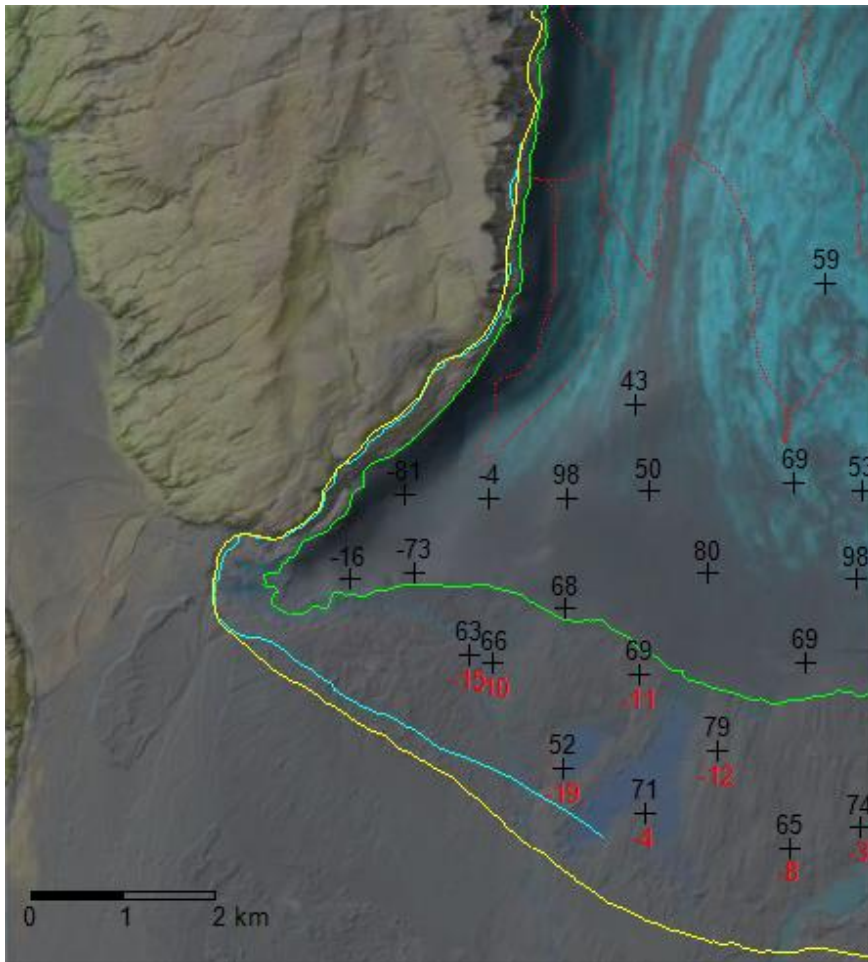
Einnig er mögulegt að framhlaup gæti haft áhrif á ísstíflu Grænalóns sem þá gæti safnað vatni á ný og þaðan komið jökulhlaup til upptaka Súlu.

Hér að aftan verður farið yfir fyrirliggjandi gögn og þau nýtt til að varpa ljósi á þróun Skeiðarárjökuls og farvegs Súlu í næstu framtíð.

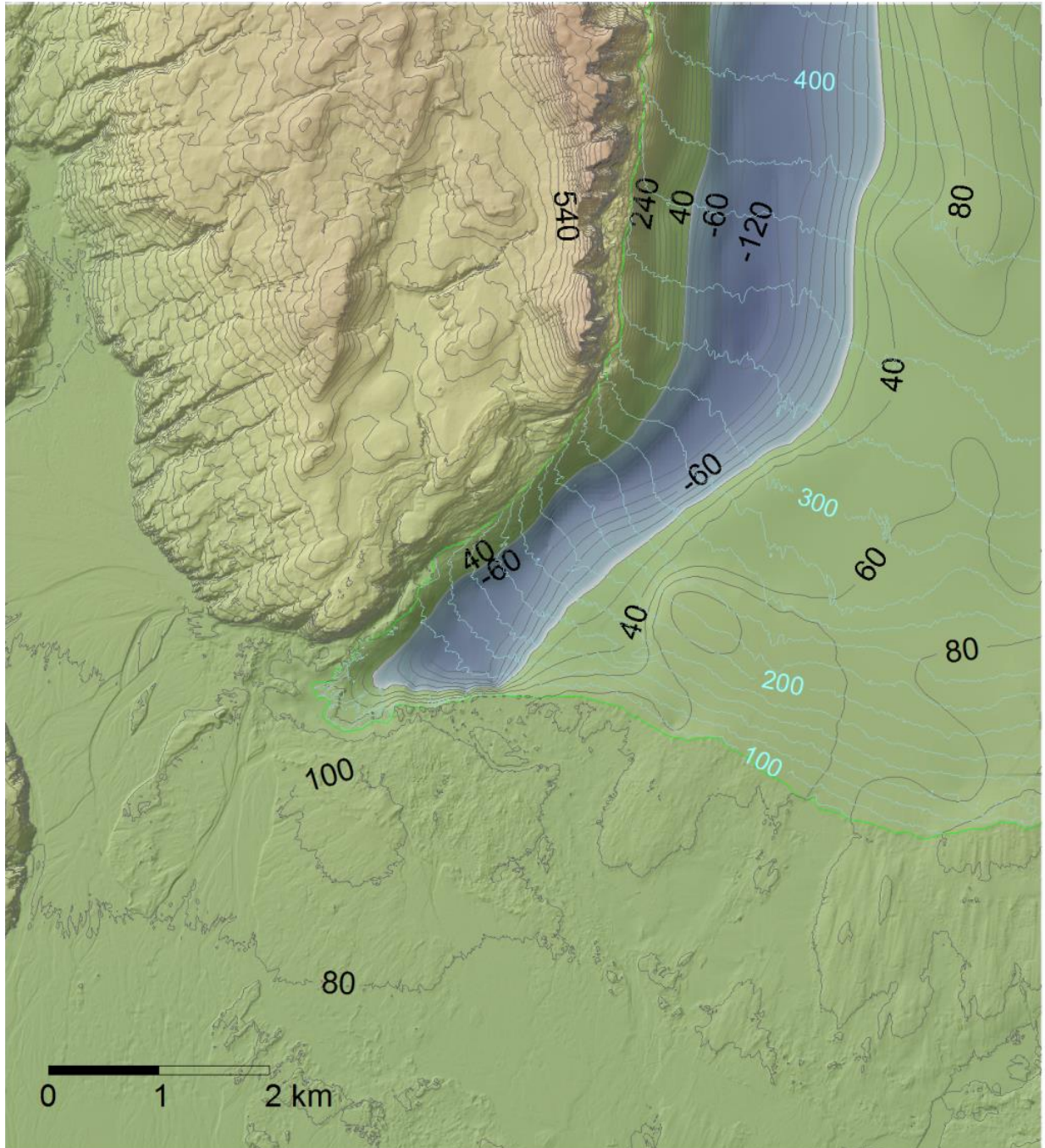
Höfundar skýrslunnar bera ábyrgð á innihaldi hennar. Niðurstöður hennar ber ekki að túlka sem yfirlýsta stefnu Vegagerðarinnar eða álit þeirrar stofnunar sem höfundar starfa hjá.

## Gögn og aðferðir

Í þessari rannsókn eru nýtt tiltæk gögn til að meta líklega þróun farvegar Súlu. Skoðuð er þróun bæði jökuls og lands í nágrenni útfalls og farvegar Súlu í nálægri fortíð til að varpa ljósi á líklega þróun í framtíð. Fyrirliggjandi er kort af botni Skeiðarárjökuls sem jöklahópur vann eftir íssjármælisniðum sem mæld voru árin 1993 og 1994, auk punktmælinga á ísþykkt fremst á jökulsporðinum 1997-98, sjá 2. mynd (Helgi Björnsson o.fl. 1999, Helgi Björnsson og Finnur Pálsson 2020). Þessar mælingar og gerð kortanna eftir þeim var unnin með stuðningu Vegagerðarinnar og Landsvirkjunar. Rétt er að nefna að mismunur milli landhæðar og íssjármælipunkta þar sem land er nú komið undan jökli (8 punktar) er að meðaltali -10 m (íssjármæling sýnir land neðar) en staðalfrávik 5 m. Þetta kort hefur nú verið tengt gögnum ArcticDEM hæðarlíkani af landinu framan jökuls frá síðsumri 2018 (3. mynd). Einnig hafa verið unnin allmörg hæðarlíkön lands og jökuls á þessu svæði eftir tiltækum loftmyndum og gervitunglamyndum og lega jökulsporðsins rakin eftir þeim og Landsat gervihnattamyndum. Þá hafa verið gerð hæðarlíkön af lónstæði Grænalóns sem var uppspretta tíðra jökulhlaupa á árunum 1951 til 2001 í Súlu, en lónið er nú nær alveg horfið (Björnsson og Pálsson, 1989; Roberts o.fl., 2005). Eftir hæðarlíkunum hafa mismunakort verið unnin af nágrenni Súlu, bæði á jökli og landi til að rekja breytingar og sama á við jökulinn við lónstæði Grænalóns og á safnsvæði Skeiðarárjökuls.



2. mynd. Íssjármælisnið 1994 (rauð punktaruna) og íssjár punktmælingar 1997-98 (svartir krossar). Botnhæðargildi íssjár eru sýnd (svartar tölur) auk mismunar við land sem nú er utan jökuls (rauðar tölur, mínus merkir að íssjármæling gefur botnhæð neðar en landhæð er nú). Ljósblá lína er lega jaðars 1990 og gul 1992 (eftir uppréttum flugmyndum LMÍ) en græn lína merkir jaðar jökulsins 2018 (eftir ArcticDEM hæðarlíkani, sem hér er í bakgrunni ásamt Landsat8 litmynd frá 7. júní 2019).



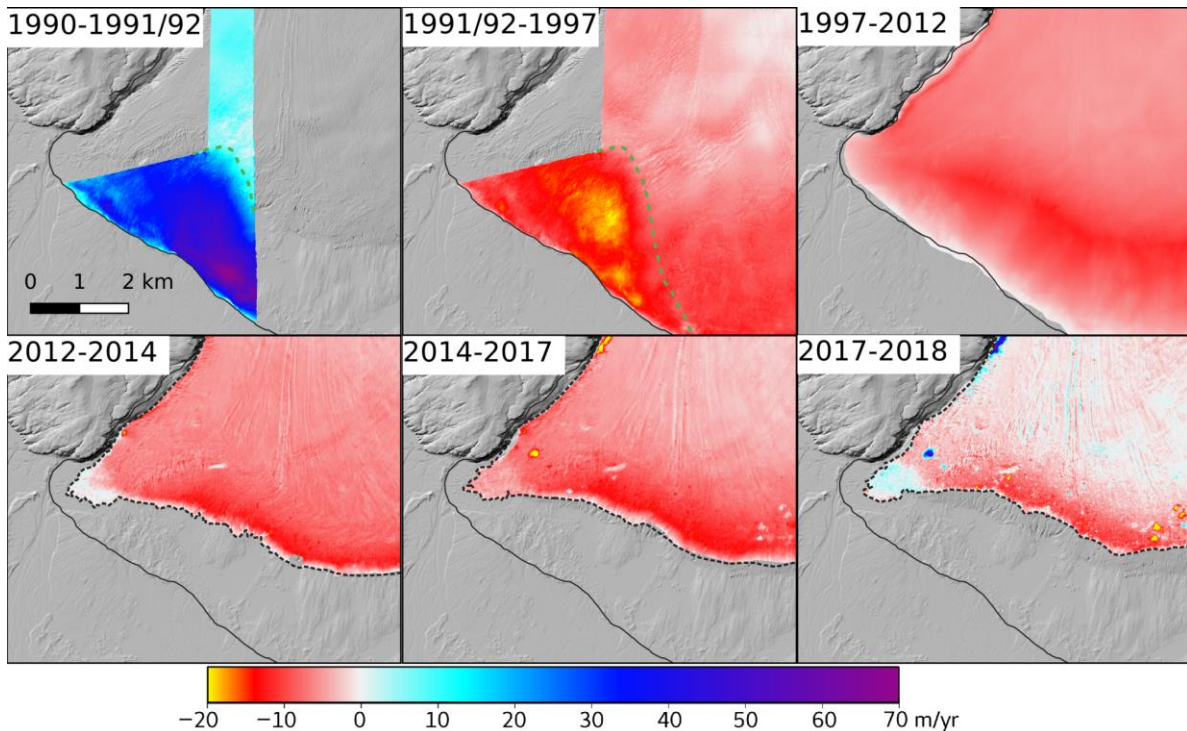
3. mynd. Jökulbotn og land 2018. Jökulyfirborð árið 2018 (ArcticDEM) er sýnt með grönnum ljósbláum línun (20 m hæðarlínur).

## Þróun Skeiðarárjökuls á upptakasvæði Súlu

Botn fremri hluta Skeiðarárjökuls einkennist af djúpum rennum meðfram fjöllum að vestan og austan en hærri kafla á milli þeirra í svipaðri hæð og landið framan jökuls, í 79-100 m hæð (Helgi Björnsson o.fl. 1999). Á 3. mynd sést vel að undir jöklinum vestast nær rennan dýpst um 120 m undir sjávarmál og að mjög aðdjúpt er í Súluhlóninu við suður barm þess og við jaðar jökulsins þar sem Súla rennur nú. Austan þess er landhæð við jaðar og innan hans á bilinu 75-100 m.

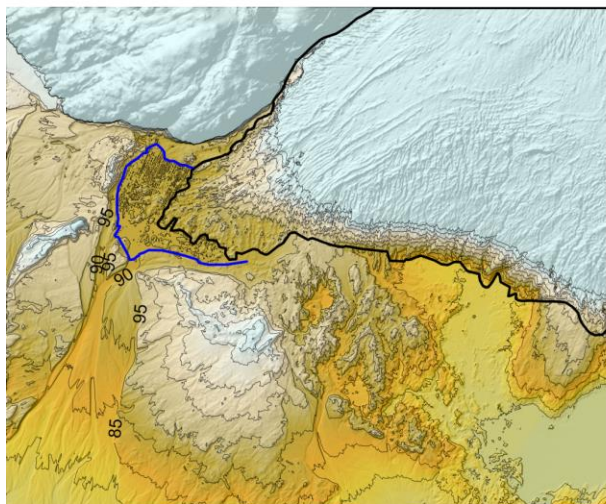
Eftir framhlaup sem varð á vestur og miðhluta jökulsins 1991-1992 (verður rætt nánar í næsta kafla), hefur Skeiðarárjökull eins og Vatnajökull í heild rýrnað mjög og jaðarinn hropað. Á þessu tímabili hefur jökullinn hropað á bilinu 500 m vestast, við lónstæðið í rennunni, en víðast um 2 til 2.5 km austan þess (sjá 1. og 4. mynd). Á 4. mynd er þynning jökulsins rakin á nokkrum tímabilum. Þar sem þynning er mest, u.þ.b. við jaðar jökulsins nú, er hún orðin á þriðja hundrað metra frá framhlaupinu 1991-1992, en upp úr því fóru flestir íslenskir jöklar að rýrna hratt eftir tímabil stöðnunar (Björnsson o.fl., 2013; Belart o.fl., 2020).

Vegna loftslagsbreytinga er ólíklegt að afkoma Skeiðarárjökuls verði á næstunni jákvæð að því marki að hún geti snúið við hörfun jökulsporðsins eða lækun stíflunnar við Grænalón á. Raunar gera spálíkön um þróun veðurfars og jökla ráð fyrir samfelldri rýrnun til langs tíma þó stutt tímabil stöðnunar eða jafnvel stækkunar geti komið inn á milli (sjá t.d. Steffensen Schmidt og fleiri 2020). Við áframhaldandi rýrnun mun Súluhlón stækka og fljóttandi tungan þar, sem nú er nærri 1 km<sup>2</sup>, stækka og brotna upp með svipuðum hætti og þegar hefur gerst við Heinabergs- og Hoffellsjökla. Við þessar aðstæður verður farvegurinn til Gígju algerlega ráðandi og úfall frá Súluhlóni nokkurn veginn á sama stað. Á 5. mynd er sýnd þróun farvega Súlu, Súluhlóns, jökuls og landhæðar á árabílinu 2012 til 2019. Efst eru hæðarkort frá mismunandi árum (5 m hæðarlínur.) Í miðju og neðst til hægri eru ljósmyndir.

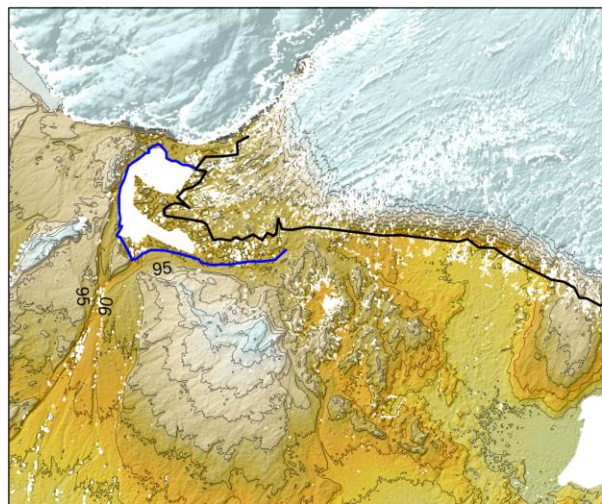


4. mynd. Breytingar á ísþykkt Skeiðarárjökuls nærri útfalli og farvegum Súlu. Hæðarlíkön 1990, 1991, og 1992 er gerð eftir loftmyndum LMÍ, 2012 er gert eftir Lidar mælingum (Jóhannesson o.fl., 2013) en 2014, 2017 og 2018 eru hæðarlíkön úr ArcticDEM verkefninu gerð eftir gervitungla-ljósmyndum. Í bakgrunni er hæðarlíkan unnið á Landmælingum Íslands úr gögnum um ArcticDEM verkefninu ([atlas.lmi.is/DEM](http://atlas.lmi.is/DEM)). Svæðið vestan og sunnan grænu punktalínunnar er byggt á hæðarkorti 1991 en ofan og austan þess á hæðarkorti 1992. Jaðar 1992 er sýndur á öllum myndrömmum til viðmiðunar. Punktalínur á neðri myndunum sýna jökuljaðar fyrra árs hvers tímabils.

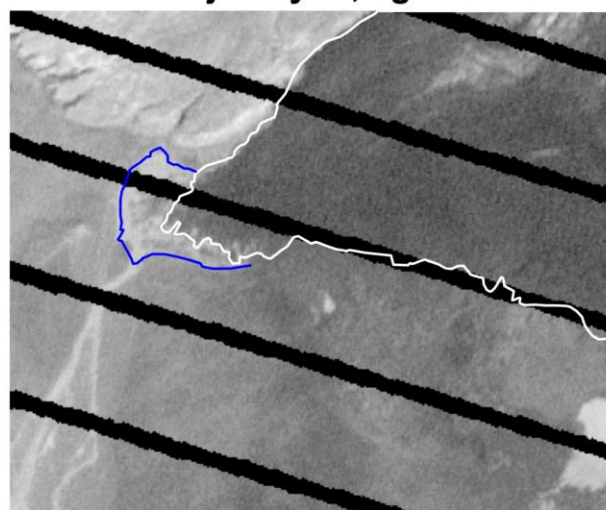
Lidar hæðarkort, ágúst 2012



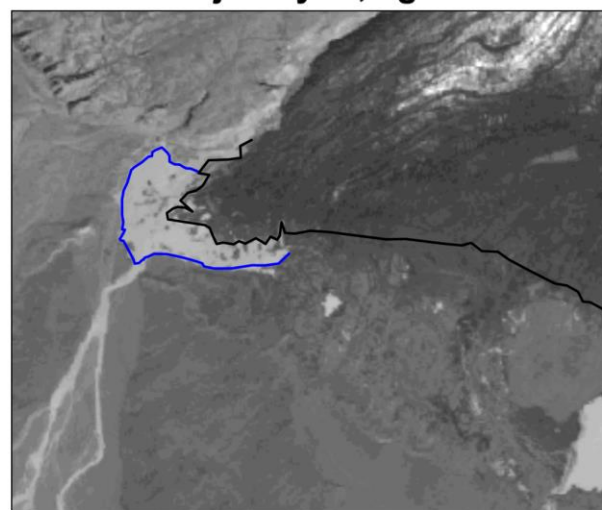
ArcticDEM hæðarkort, október 2014



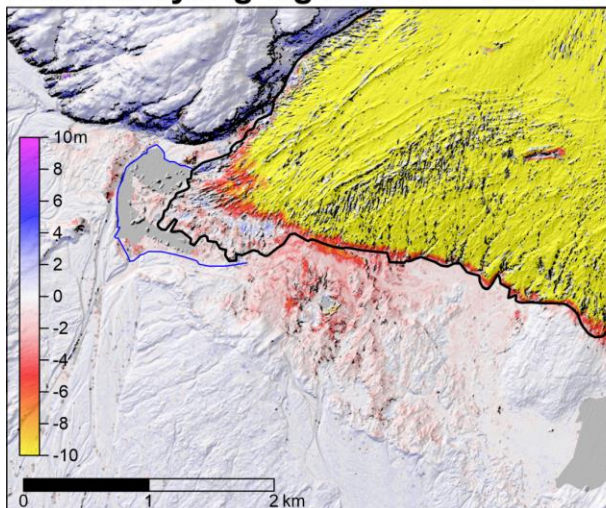
LandSAT-7 ljósmynd, ágúst 2012



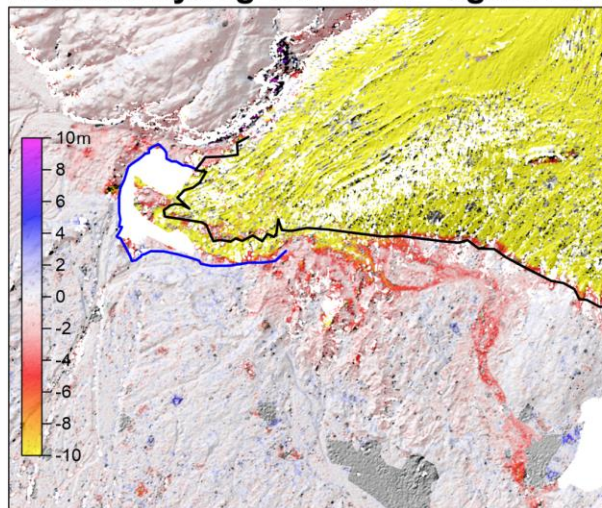
LandSAT-8 ljósmynd, ágúst 2014



Hæðarbreyting ágúst 2012 - okt. 2014



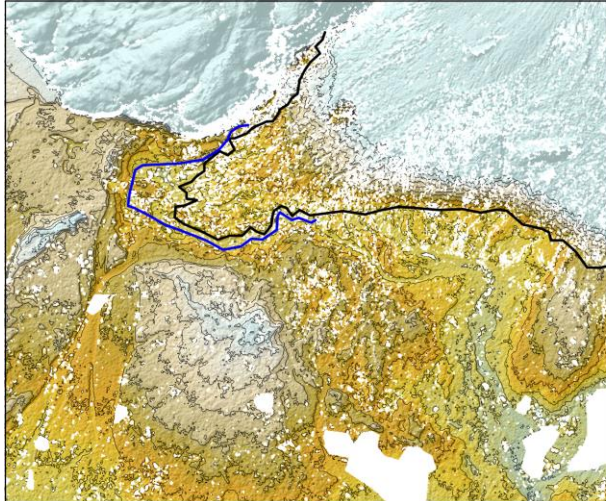
Hæðarbreyting október 2014 - ágúst 2017



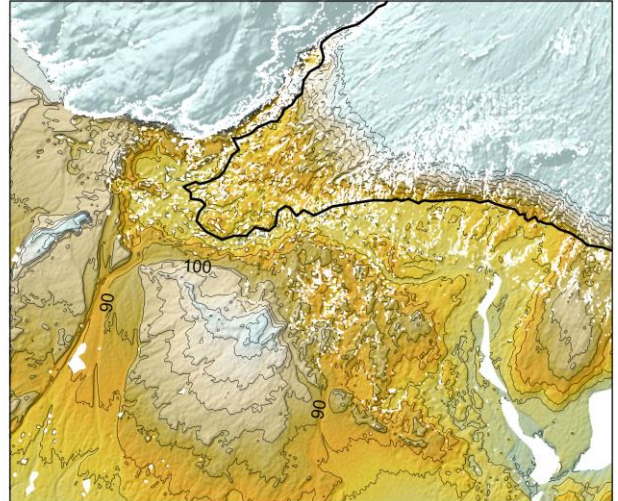
5. mynd. (á tveim blaðsíðum). Þróun farvega Súlu, Súlulóns, jökuls og landhæðar á árabílinu 2012 til 2019. Efst eru hæðarkort frá mismunandi árum (5 m hæðarlínur upp að 120 m h.y.s.). Í miðju og neðst til hægri eru myndir frá Landsat 7 og 8 gervitunglunum (Band 8 um 15 m upplausn) og neðst hæðarbreyting frá einum tíma til annars unnið eftir hæðarlíkönum sýnd með þröngum skala til að draga fram breytingar utan jökuls, sem að miklu leyti eru tengdar vatnsrofi vegna tilfærslu farvega. Svartar línur sýna jökuljaðar (nema á 2012 Landsat mynd þar sem hún er hvít) bláar línur útmörk Súlulóns.



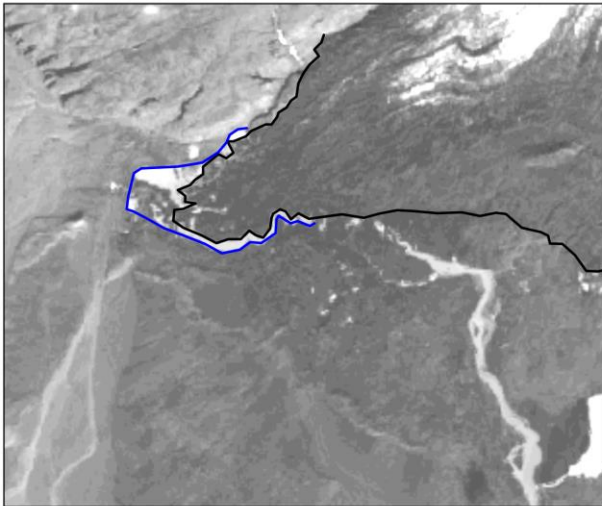
ArcticDEM hæðarkort, ágúst 2017



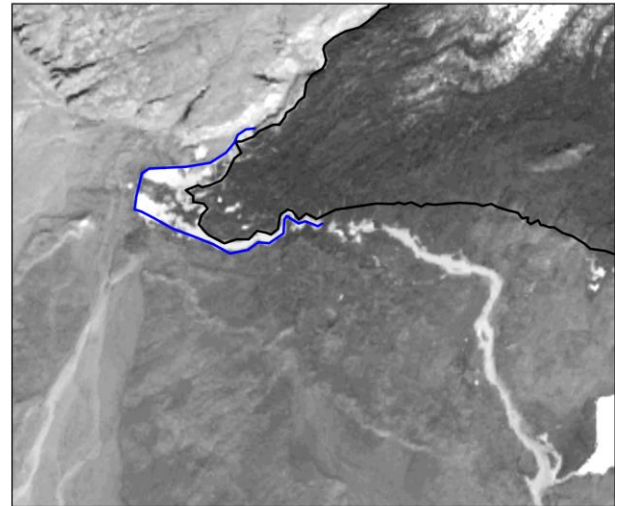
ArcticDEM hæðarkort, júlí 2018



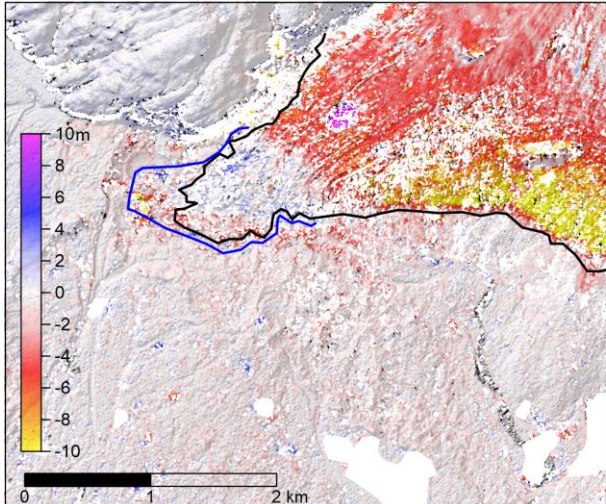
LandSAT-8 ljósmynd, sept. 2017



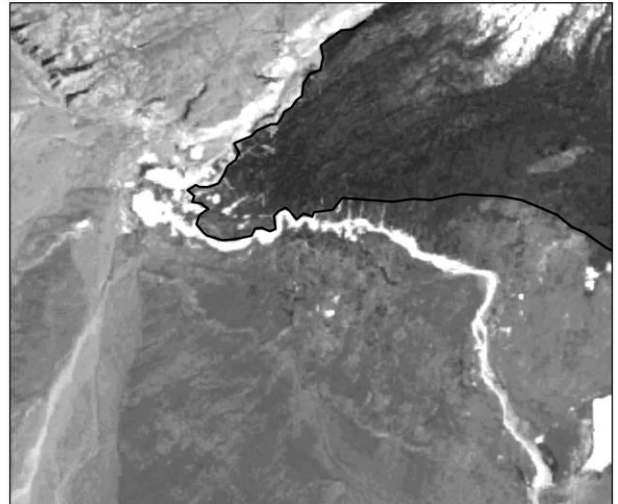
LandSAT-8 ljósmynd, ágúst 2018



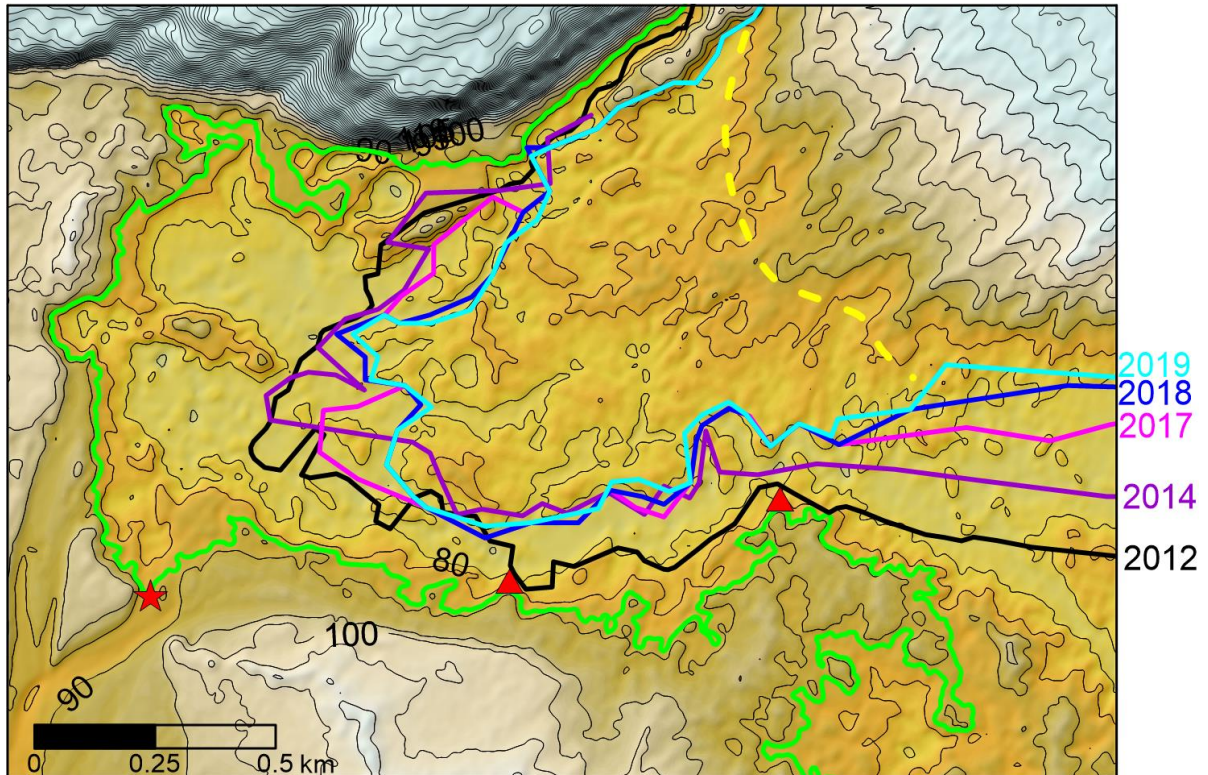
Hæðarbreyting ágúst 2017 - júlí 2018



LandSAT-8 ljósmynd, júní 2019



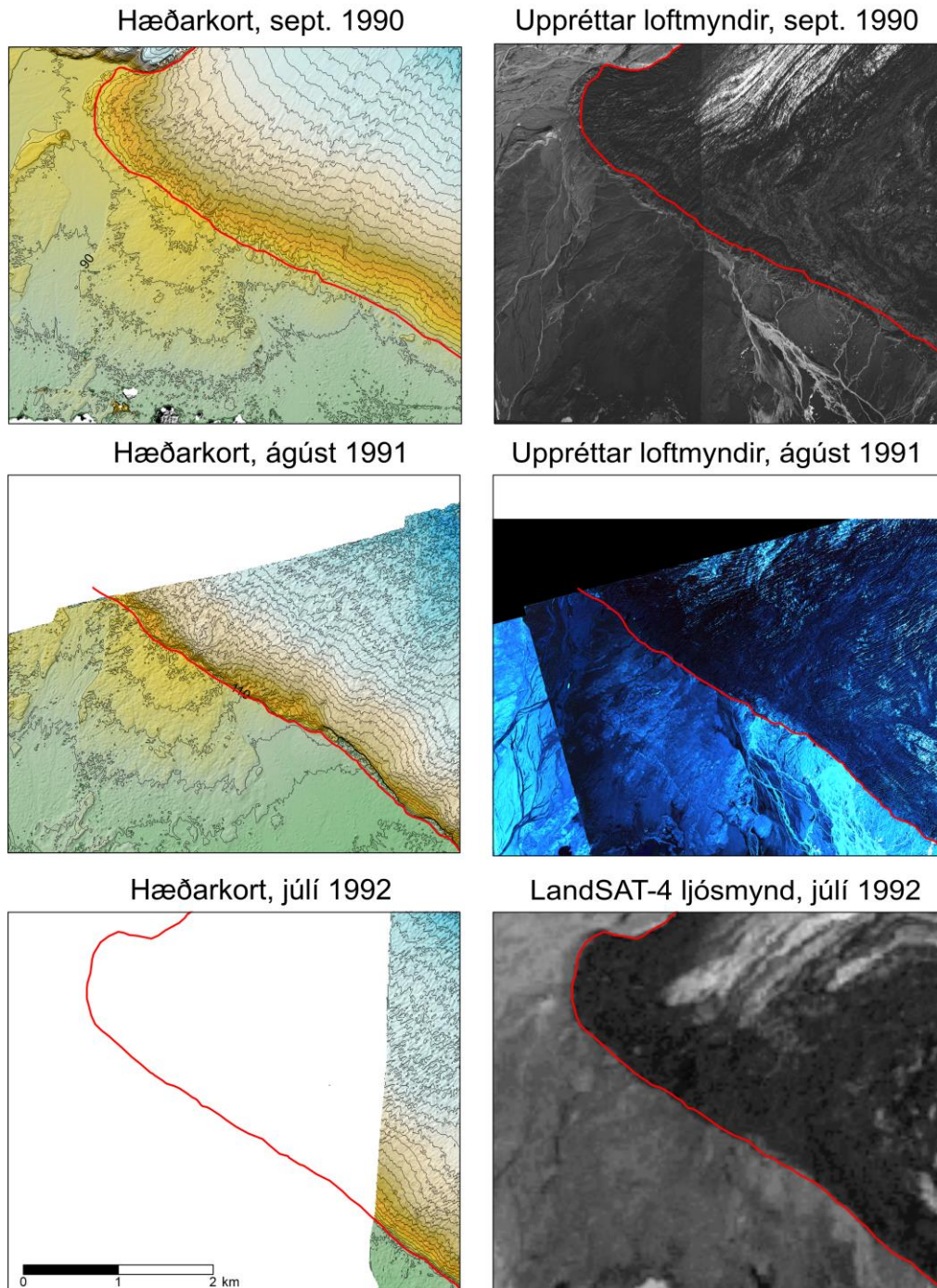
frá Landsat 7 og 8 gervitunglunum (band 8, um 15 m upplausn) og neðst hæðarbreyting frá einum tíma til annars unnið eftir hæðarlíkönunum. Hæðarkortin sýna hvernig tungan sem teygist ofan í lónið lækkar og æ stærrí hluti hennar fer á flot, jafnframt því sem jökullinn hörfar. Á Landsat myndunum frá 2012 og 2014 er enginn sýnilegur farvegur á yfirborði austur til Gígju. Þó sést á mismunakortinu merki um árrof á þessi tímabili í farvegi sem liggur til austurs frá lóninu rétt sunnan við jökuljaðarinn sem sýnir að líklega hefur vatn frá lóninu stundum einnig runnið til austurs. Talsvert rof sést á tímabilinu 2014-2017 í farvegi árinna frá Súlu til Gígju sem tengja má við endanlegan flutning farveg Súlu til austurs sumarið 2016. Nærri lóninu er þetta rof tengt við tvo farvegi. Sá syðri (fjær núverandi jökuljaðri) sem var byrjaður að myndast fyrir 2014 (skv. hæðarbreytingakorti 2012-2014) gæti hafa verið aðalfarvegurinn um tíma en síðan hefur annar farvegur myndast norðar þegar jökullinn hopar enn meir og er vatnsrennslið sem sést á Landsat myndunum frá 2017, 2018 og 2019 að mestu bundið við þann farveg. Mismunakortin sýna lítilsháttar hjöðnun á stórum dauðisflákum suður af jöklinum (m.a. þar sem Súla rennur nú í gegnum til austurs) en einnig vestur af lóninu. Ef grannt er skoðuð Landsat myndin frá 2017, sést að farvegurinn til austurs er að hluta ósamfelldur; vatn virðist renna gegnum sethrúgurnar og undir dauðisfláka utan jökuls og myndar að lokum samfelldan farveg á yfirborði. Á Landsat myndunum 2018 og 2019 sést vel hvernig farvegur hefur þróast á mótum fljótandi íssins í lóninu og bratts suðurbarms lónsins. Á 6. mynd er sýnt hæðarlíkan af nágreppi Súlu sumarið 2018. Sýndir eru nokkrir jaðrar jökulsins við lónið frá 2012 til 2019. Vestan gulu brotalínunnar er jökullinn á floti; hæðin yfir vatnsborði lónsins á þessu svæði er innan tíu metra sem samsvarar því að fljótandi hluti íssins sé innan við 100 m þykkur. Vatnshæðin í lóninu þarna er um 77 m (ræðst af landhæð við núverandi útfall Súlu til Gígju) en þyrfti að vera 88 m (græna hæðarlínan) til að veita vatni um farveginn til Núpsvatna (merkt með rauðri stjörnu). Til að loka farveginum til austurs þyrfti jökullinn að þykkna verulega og ganga fram til suðurs yfir 88 m hæðarlínuna. Sumarið 2019 var vegalengd frá núverandi jaðri í þá hæðarlínu hvergi minni en 130 m. Vatnsborð lónsins myndi þá hækka þannig vatn næði að renna um gamla fatveginn til suðurs (~88 m). Slík atburðarás yrði að vera hröð því annars má gera ráð fyrir að árrof úr suðurbakka árinna myndi viðhalda farvegi til austur. Þykknum og framgangur sem til þarf þannig að þetta gerist verður ekki nema í framhlaupi.



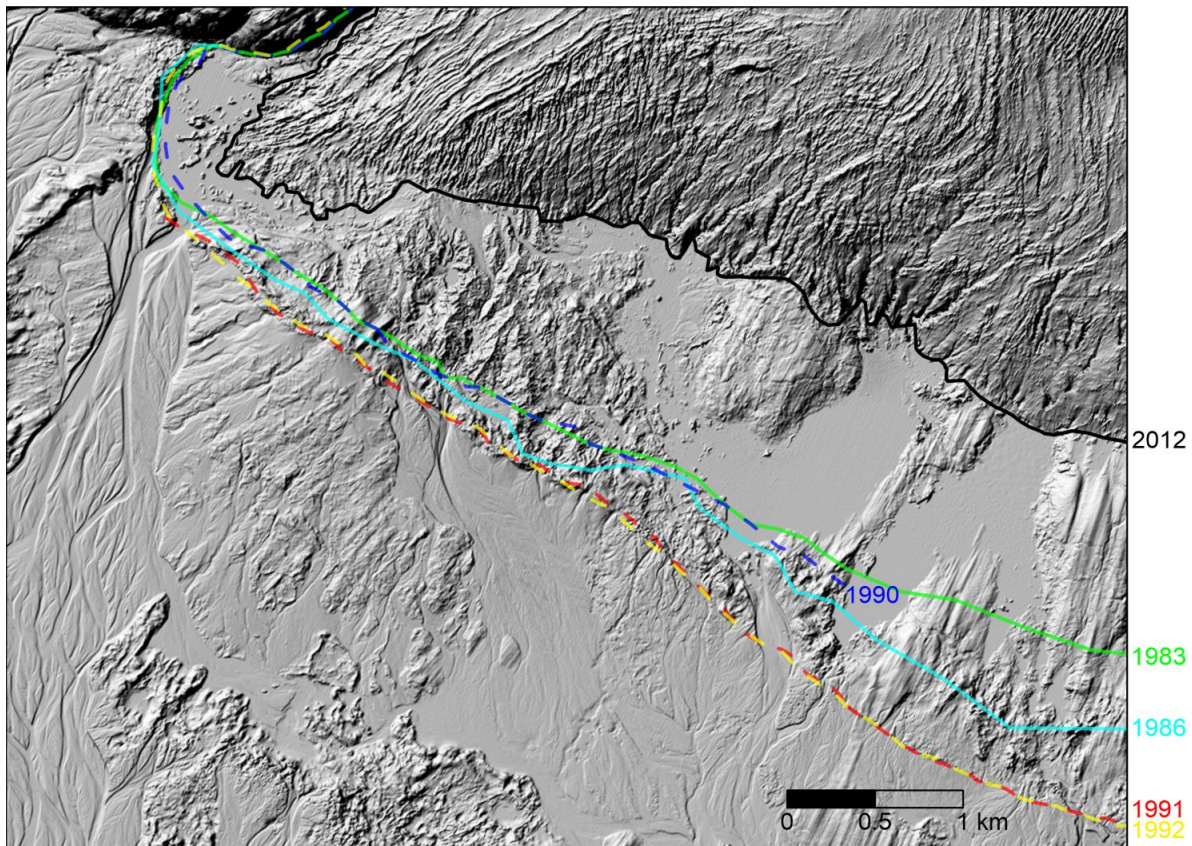
6. mynd. Kort af Súlulóni og nágrenni þess, unnið eftir ArcticDem hæðarlíkani 2018. Sýndir eru nokkrir jaðrar jökulsins við lónið frá 2012 til 2019. Vestan gulu brotalínunnar er jökullinn á floti; hæðin yfir vatnsborði lónsins á þessu svæði er innan tíu metra sem samsvarar því að fljótandi hluti íssins sé innan við 100 m þykkur. Vatnhæðin í lóninu þarna er um 77 m en þyrfti að vera 88 m (græna hæðarlínan) til að veita vatni um farveginn til Núpsvatna (merkt með rauðri stjörnu). Til að loka farveginum til austurs þyrfti jökullinn að þykkna verulega og ganga fram til suðurs yfir grænu hæðarlínuna. Staðirnir með rauðum þríhyrningum sýna þá staði þar sem stytst er frá henni í jökuljaðar.

## Áhrif framhlaupa

Eins og áður hefur komið fram er það sem ógnar stöðugleika hins nýja farvegar Súlu til austurs hugsanlegt framhlaup jökulsins. Í slíku framhlaupi gæti jökull lagst yfir farveginn og stíflað hann (sjá 6. mynd). Vitað er um 7 framhlaup Skeiðarárjökuls frá 1789, þar af voru 3 á síðustu öld (1929, 1985, 1991) og ollu sum framhlaupin um 1 km framrás sporðsins ( Helgi Björnsson og fleiri, 2003). Samkvæmt sporðamælingum Jöklarannsóknafélags Íslands ([spordakost.jorfi.is](http://spordakost.jorfi.is)) hefur framrásin við



7. mynd. Breytingar á landhæð og legu jökuljaðars í framhlaupinu 1991-1992. Vinstra megin eru hæðarlíkön gerð eftir flugmyndum LMÍ og hægra megin uppréttar loftmyndir árána 1990 og 1991 en Landsat4 (band 3) fyrir árið 1992. Jökuljaðar er sýndur með rauðri línu.

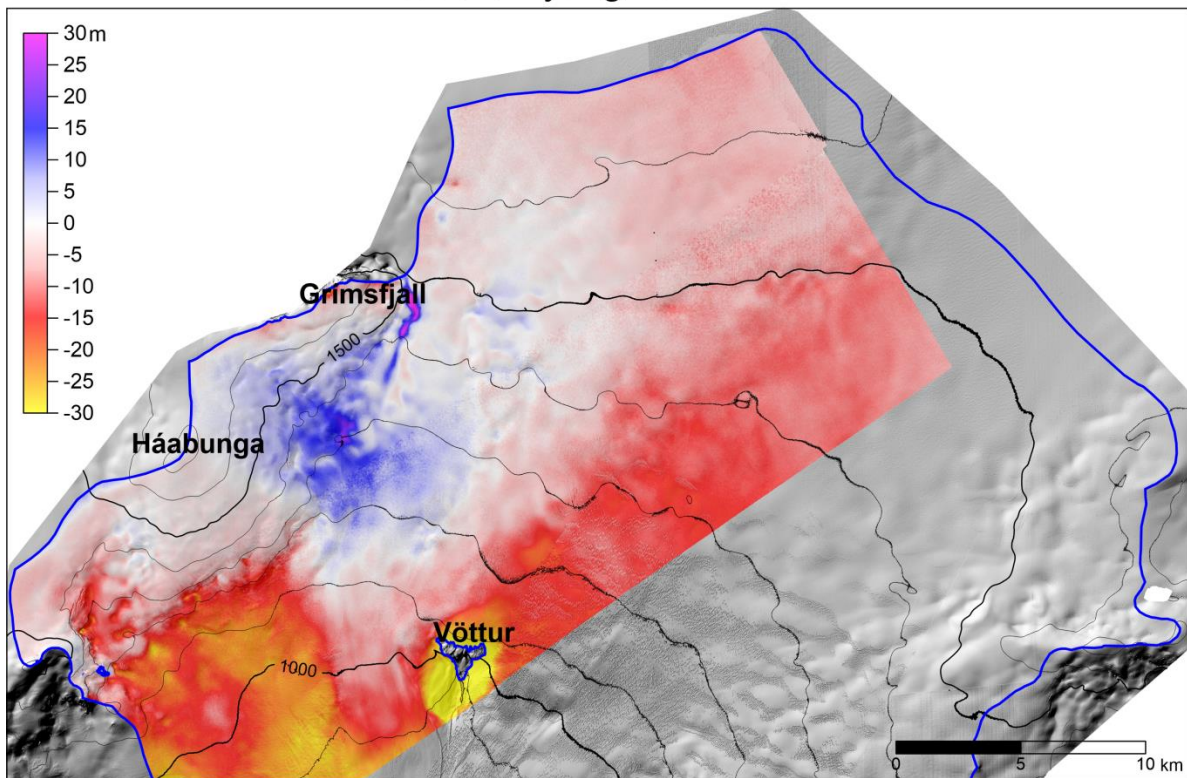


8. mynd. Framhlaupin 1985-86 og 1991-92. Lega jaðars fyrir og eftir framhlaupið 1985-86 (1983 græn lína, 1986 ljósblá jaðrar eru unnir eftir Landsat-4 (1983-06-28) og Landsat-5 (1986-09-16) myndum). Jaðrar 1990, 1991 og 1992 eru þeir sömu og sýndir eru á 7. mynd. Í bakgrunni hér er Lidar hæðarlíkan frá ágúst 2012.

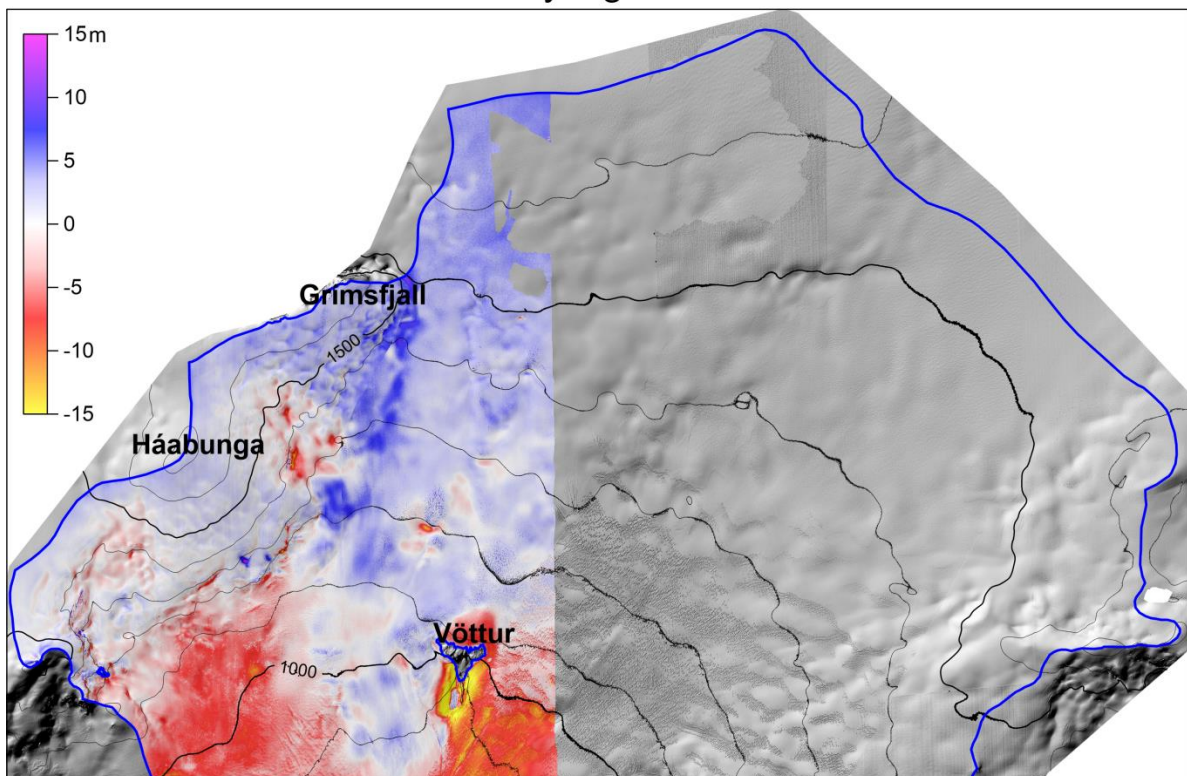
vestasta mælistað við Skeiðarárjökul (hann er á því svæði sem hér er til skoðunar) verið nærri 500 m í hvort skipti 1985-86 og 1991-92, en jökull hafði þá hörfað samfelld frá stærra framhlaupi árið 1929 um nærri 2600 m. Lega jaðars fyrir og eftir bæði þess framhlaup hefur verið unnin eftir landhæðarlíkönum og uppréttum loftmyndum og Landsat gervihnattamyndum (myndir 7 og 8). Ljóst er að framskriðið er mjög breytilegt frá vestri til austurs. Í grennd við svæðið þar sem framhlaup gæti stíflað núverandi farveg Súlu til austurs var framskriðið 1985-86 um 100 m en 200-250 m í framhlaupinu 1991-92. Eftir því sem austar dregur var framskriðið jökulsins meira, þegar nálgast miðju Skeiðarárjökuls var það 500-750 m í báðum framhlaupunum. Það er ljóst að þau framhlaup Skeiðarárjökuls sem gögn eru um ganga lengst fram þar sem jökullinn er þynnstur, þ.e. á sléttunni milli djúpu rennanna vestast og austast. Þessi framhlaup voru nærri lokum rösklega 30 ára tímabils, sem hófst kringum 1960, þegar afkoma jökla var nærri núlli eða jafnvel lítillaga jákvæð (Björnsson o.fl., 2013; Belart o.fl. 2020). Framhlaupið 1991-92 skildi eftir sig jökulgarða sem enn eru mjög greinilegir (sbr. skuggamynd af lidarkorti á 8. mynd).

Framhlaupsjökla þykkna á safnsvæði vegna þess að hreyfing þeirra er ekki nægjanleg til að bera fram árlegar fyrningar. Það einkennir því framhlaupsjökla að milli framhlaupa þynnist sporðurinn og hörfar en safnsvæðið þykknar. Flestir íslenskir framhlaupsjökla hlaupa fram nærri lotubundið, þannig að nokkrir ártugir líða milli framhlaupa. Milli þekktra framhlaupa Skeiðarárjökuls hafa liðið 25, 45, 16, 56, 56, 6 ár ( Helgi Björnsson o.fl., 2003). Hugsanlegt er að framhlaupin 1985-86 og 1991-92 eigi upptök sín á mismunandi hluta safnsvæðis Skeiðarárjökuls. Vitað er að framhlaupið 1991-92 olli breytingum á svæði sem afmarkast af Háubungu, Grímsfjalli og Vetti (sjá Björnsson, 1998) sem mögulega voru útmörk safnsvæðis þess framhlaups, meðan safnsvæði 1985-86 framhlaupsins gæti hafa verið austar.

## Hæðarbreyting 1998-2012



## Hæðarbreyting 2012-2017



9. mynd. Hæðarbreytingar á safnsvæði Skeiðarárjökuls eftir framhlaupið 1991-92. Bláa línan sýnir ísaskil. Hæðarbreytingakortin eru unnin eftir EMISAR hæðarkorti 1998, gerð eftir SAR-bylgjuvíxl-mælingum úr flugvél (Magnússon, 2003), Lidar mælingum úr flugvél 2010, 11 og 12 (Jóhannesson o.fl., 2013), og ArcticDEM 2012 og 2017.

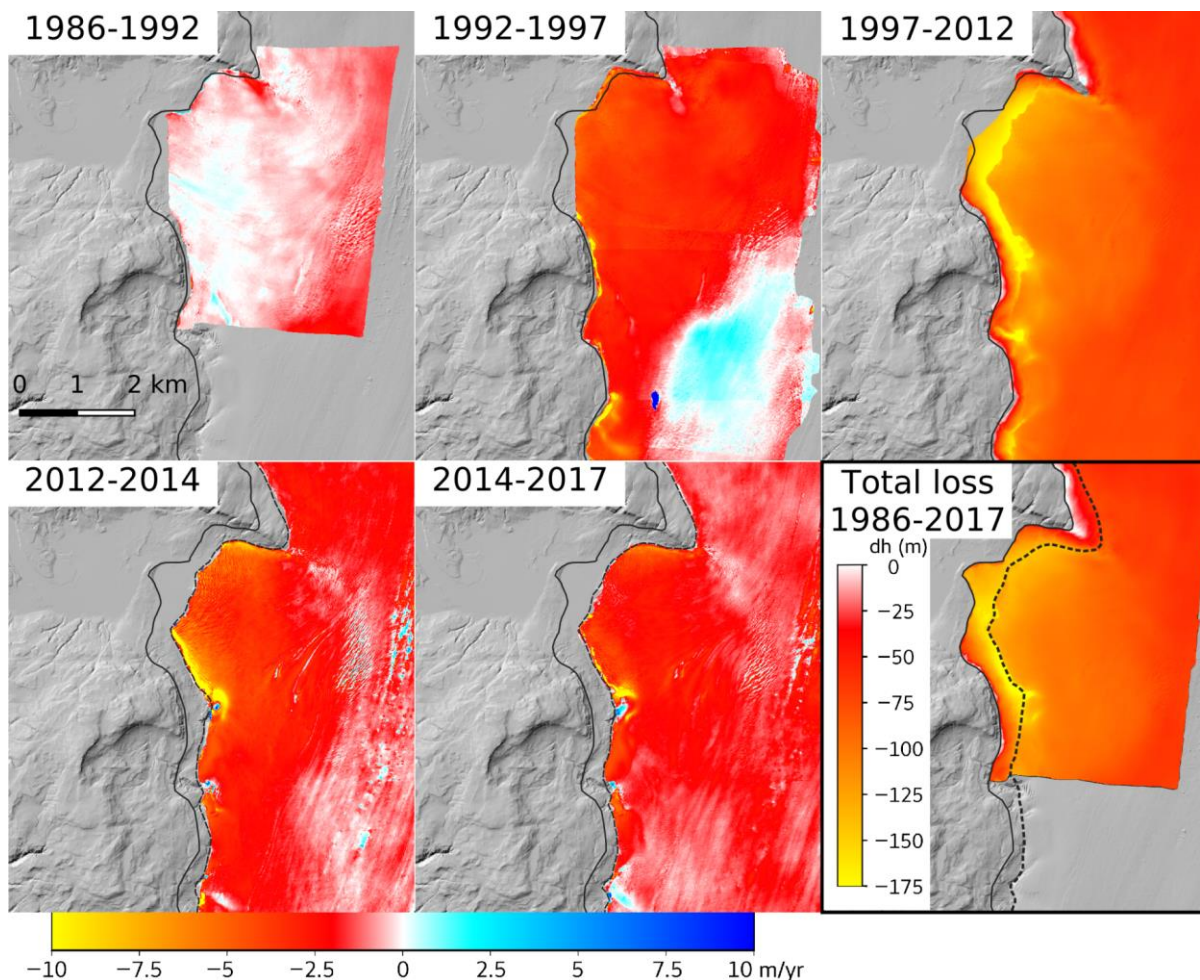
Þetta gæti skýrt hve stutt var á milli framhlaupanna. Ef litið er á framhlaupin tvö 1985-86 og 1991-92 sem einn atburð í tveimur skrefum og þá er meðaltími milli hlaupa nærri 40 árum. Á 9. mynd er sýnd þykktarbreyting á safnsvæði Skeiðarárjökuls frá 1998 til 2012 og 2012 til 2017. Þessi tvö kort þykktarbreytinga spanna þannig nær allan tímann sem nú er liðinn frá síðasta framhlaupi 1991-92. Þarna má sjá að þykkun safnsvæðis er á bilinu 0 til 25 m og aðeins á hluta þess; þannig er meðalþykkun undir 10 m. Hluti þykkunar á svæðinu milli Háubungu og Grímsfjalls er afleiðing þess að þar hægðist á hreyfingu jökulsins vegna sírennslis frá Grímsvötnum eftir stóra jökulhlaupið frá Grímsvötnum í nóvember 1996, í kjölfar Gjálpargossins (sjá Magnússon o.fl., 2010). Einnig sjást greinilega hæðarbreytingarnar tengdar því að spor í jökulyfirborði eftir sama jökulhlaup er að gróa. Ekki er að sjá neina þykkun, á austurhluta safnsvæðisins sem kortið nær til. Hæðarbreyting frá 2012 til 2017 sýnir heldur hraðari þykkun enda eru þarna fjögur ár af fimm þar sem afkoma var nærri 0 eða jákvæð (jökulárin 2012-13, 2014-15, 2016-17), þ.e. þrjú ár af fimm. Þetta gæti verið vísbending um að þykkun gæti hafa verið veruleg á tímabilinu frá ~1960 til 1991.

Í framhlaupum sem jöklahópur Jarðvísindastofnunar Háskólans hefur fylgst náið með (Síðujökull 1993-94, Tungnaárjökull 1994-95, Dyngjujökull 1998-00) er lækkun safnsvæðis nálægt 40-50 m (og þá einnig þykkun milli framhlaupa). Að öllu þessu samandregnu teljum við ekki líklegt að verulegt framhlaup verði á næstunni, að minnsta kosti ekki stórt í sniðum og að áhrifasvæði þess yrði eins og í síðustu framhlaupum þá helst þar sem jökullinn er þynnstur, þ.e. á sléttunni milli djúpu rennanna vestast og austast. Litlar líkur eru þannig á því að á næstunni valdi framhlaup því að útfall frá Súluólóni til Gígju stíflist og vatn renni aftur um farveginn til suðurs og yfir til Núpsvatna.

## Grænalón og jökulhlaup þaðan

Grænalón sat í dalverpi sunnan Grænafjalls sem stíflað var til vesturs af Skeiðarárjökli, en lítill skriðjökull, Grænalónsjökull, rann til þess út vestri. Framan af 20 öldinni var ísstífla Skeiðarárjökuls svo þykk að sírennsli var úr lóninu um gil til suðurs og þaðan til Núpsár og áfram til Núpsvatna. Þegar ísstíflan hjaðnaði þegar leið á öldina lækkaði vatnsstaða, sírennsli hætti en, lónið varð uppspretta tíðra jökulhlaupa í Súlu, hlaupvatn gerði sér leið um göng við jökulbotn næst fjöllunum (Súlutindum), til Súlu. Reglulega hljóp úr Grænalóni og er talið að í dæmigerðu jökulhlaup þaðan á tímabilinu 1951 til 2001 hafi hámarksrennsli verið um 2000 m<sup>3</sup>/s (Björnsson og Pálsson, 1989; Sigurðsson og Einarsson, 2005, Roberts, o.fl. 2005). Eftir 2001 höfðu jökulhlaupin minnkað og hámarksrennsli hlaupanna á bilinu 100-300 m<sup>3</sup>/s (Roberts o.fl. 2005) og á tímabili var a.m.k. hluti hlauprásarinnar opinn meðfram fjallshlíðinni. Í dag nær jökullinn ekki að mynda fyrirstöðu og Grænalón er nær alveg horfið, um fyrrum botn þess rennur nú lítill jökulá og hverfur innundir jökulinn.

Á 10. mynd er rakin hæðarbreyting á ísstíflu Grænalóns frá 1986, þegar jökulhlaup frá lóninu voru tíð þar til 2017, en þróun ísstíflunnar og jökulhlaupa þaðan fram að því er rakin í greinarkorni í Jökli, Björnsson og Pálsson 1989). Á „kalda“ tímabilinu frá 1986 til 1992 eru hæðarbreytingar á ísstíflu Grænalóns litlar en verulega herti á lækkun samfara hlýnun og aukinni jöklaleysingu eftir 1995 fram



10 mynd. . Breytingar á hæð og lögun ísstíflu Grænalóns frá 1986 til 2017. Lega jaðars 1986 er sýnd til viðmiðunar með svartri línu. Hæðarlíkönin 1986, 1992, og 1997 eru gerð eftir loftmyndum LMÍ, 2012 er gert eftir Lidar-mælingum úr flugvél en 2014 og 2107 eru úr ArcticDEM hæðarlíkanasafninu. Í bakgrunni er skyggt Lidar hæðarlíkan 2012.



yfir fyrsta ártug 21. aldar. Og enn heldur áfram veruleg rýrnun jökulsins inni í lónstæðinu frá 2012 til 2017 þó rýrnun jökulstraumsins til suðurs þar austur af hafi hægt á sér. Ísstíflan hefur frá 1986 lækkað um 175 m eftir því hvar borið er niður. Nú stendur ísstíflan aðeins tvo tugi metra upp frá lónbotninun þar sem áður var 150 til 200 m hátt ísstál. Það er alveg ljóst að afar ólíklegt er að þessari þróun verði snúið við, áframhaldandi rýrnun er langlíklegust. Sáralitlar yfirborðsbreytingar er að sjá á jöklinum í tengslum við framhlaupið 1991-92. Hæðarbreytingar sem sjást suðaustur af Grænalóni á tímabilinu 1992-1997 gætu mögulega verið afleiðing framhlaupsins en breytingar á þessu svæði hafa ekki áhrif á ísstíflu Grænalóns. Því verður að teljast ólíklegt að framhlaup myndi stífla lónið nema ef ske kynni að framhlaupsbylgjan stoppaði á jöklinum miðjum líkt og gerðist á Vestari Hagafellsjökli í Langjökli 1998-99 (Björnsson o.fl., 2003). Slík atburðarás myndi hins vegar þýða að framhlaupið næði ekki sporði og myndi því ekki stífla núverandi farveg Súlu. Jökulhlaup sem ef þessu hlytust myndu því enda í Gígjukvísl en ekki í Núpsvötnum.

### Niðurstöður

Þau gögn sem hér hafa verið tekin saman um þróun Skeiðarárjökuls undanfarin 40 ár og greind með hliðsjón af mögulegum breytingum á farvegi Súlu næstu áratugi sýna að:

- 1) Til að breyta farvegi Súlu til fyrra horfs, þannig að hún renni aftur til Núpsvatna en ekki Gígju, þyrfti jökullinn að skriða fram a.m.k. 130-150 m til suðurs í Súlu. Þá legðist jökullinn að landi í sömu hæð og útfall Súlu til Núpsvatna (~88 m y.s.) frá árunum fyrir 2016. Þetta myndi þó varla duga til því einnig þyrfti jökultungan sem nú er þunn og fljótandi á Súlu að þykkna verulega (~100-200 m) svo vatn leitaði ekki áfram undir hana til austurs. Framskriðið þyrfti einnig að vera hratt því annars myndi árrof úr suðurbakka Súlu ná að viðhalda núverandi farvegi úr lóninu til austurs. Því má vera ljóst að einungis framhlaup gæti stíflað núverandi farveg til austurs.
- 2) Í framhlaupinu 1985-86 skreið jökull fram um 100 m þar sem farvegur Súla til austurs gæti mögulega stíflast. Árið 1991 skreið sami hluti jökulsins fram um 200-250 m.
- 3) Nokkur þykkun íss hefur orðið á safnsvæði Skeiðarárjökulsins (vestantil) og því eru einhverjar líkur á framhlaupi á næstu áratugum. Þykkunin er þó enn lítil og mestu takmörkuð við svæði afmarkað af Háubungu, Grímsfjalli og Vetti. Því verður að teljast líklegt að á næstu 15 árum muni jökultungan í Súlu halda áfram að þynnast og hopa fremur hægt líkt og hún hefur gert frá 2014. Ef framhlaup yrði á þeim tíma má búast við því að það yrði umtalsvert minna en 1991-92 og því mjög ólíklegt að jökullinn myndi ganga nægjanlega langt fram til að stífla farveg Súlu til austurs. Líkur á framhlaupi sambærilegu við það sem varð 1991-92 aukast eftir þann tíma en þá má gera ráð fyrir að jökultungan í Súlu hafi bæði þynnst og hopað og því ólíklegt að slíkt hlaup stífli farveginn.
- 4) Jökullinn við Grænalón hefur þynnst um ~150 m frá 1986 og þar varð þykkun óveruleg í framhlaupinu 1991-92. Því myndi framhlaup í Skeiðarárjökli á næstu áratugum sem næði sporði jökulsins ekki ná að stífla lónið að nýju. Eini möguleiki þess að lónið stíflaðist aftur er ef framhlaupsbylgja stoppaði á Skeiðarárjökli miðjum. Það myndi hins vegar þýða að sporðurinn gengi ekki fram og því myndi hlaup úr Grænalóni í kjölfarið fara til austurs í Gígjukvísl en ekki í Núpsvötn.
- 5) Ekki er alveg hægt að útiloka að framhlaup í Skeiðarárjökli stífli farveg Súlu til austurs þó það verði að teljast mjög ósennilegt. Ef það hins vegar gerist þarf ekki að gera ráð fyrir að jökulhlaup úr Grænalóni skili sér um Súlu í Núpsvötn.

## **Þakkir:**

Carsten Kristinsson skannaði loftmyndir og Saulius Prizginas hjálpaði til við gerð landhæðarlíkana eftir loftmyndum. Þeir eru báðir starfsmenn Landmælinga Íslands.

## **Heimildir:**

Loftmyndir sem notaðar eru til gerðar hæðarkorta upp uppréttra yfirlitsmynda eru allar úr safni Landmælinga Íslands.

Gögn frá Landsat 4,5,7,8 gervitunglunum eru frá Bandarísku geimferðastofnuninni. Sjá Straub et al. 2019

Lidar hæðarlíkon eru frá átaki til að kortleggja íslenska jökla með Lidar í tilefni alþjóðlega jarðeðlisfræðiársins 1996. Sjá Tómas Jóhannesson o.fl. 2013.

Yfirborðskort 1998 eru úr MS vinnu Eyjólf Magnússonar. Sjá Magnússon E. 2003.

Grunnkort til gerðar Arctic DEM hæðarlíkana eru með eftirfarandi tilvísun: *DEM(s) were created from DigitalGlobe, Inc., imagery and funded under National Science Foundation awards 1043681, 1559691, and 1542736.*

Belart J. M. C., E. Magnússon, E. Berthier, Á. Þ. Gunnlaugsson, F. Pálsson, G. Adalgeirsdóttir, T. Jóhannesson, Th. Thorsteinsson and H. Björnsson. (In press) Mass balance of 14 Icelandic glaciers, 1945-2017: spatial variations and links with climate. *Frontiers in Earth Science*. doi: 10.3389/feart.2020.00163

Björnsson H, Pálsson F (2020). Radio-echo soundings on Icelandic temperate glaciers: history of techniques and findings. *Annals of Glaciology* 1–10. <https://doi.org/10.1017/aog.2020.10>

Björnsson, Helgi, F. Pálsson, S. Gudmundsson, E. Magnússon, G. Adalgeirsdóttir, T. Jóhannesson, E. Berthier, O. Sigurdsson, and Th. Thorsteinsson, 2013. Contribution of Icelandic ice caps to sea level rise: Trends and variability since the Little Ice Age. *GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS*, VOL. 40, 1-5, doi:10.1002/grl.50278, 2013

Björnsson, H., Pálsson, F., Sigurðsson, O., & Flowers, G. E. (2003). Surges of glaciers in Iceland. *Annals of Glaciology*, 36, 82-90.

Björnsson, H., F. Pálsson and E. Magnússon, 1999. Skeiðarárjökull: Landslag og rennislíeiðir vatns undir sporði (Topography and watercourses under the snout of Skeiðarárjökull). Science Institute, University of Iceland, report RH-11-99, 24

Björnsson, Helgi. 1998. Hydrological characteristic of the drainage system beneath a surging glacier. *Nature*, 395, 771-774.

Björnsson, H., & Pálsson, F. (1989). Rúmmál Grænalóns og breytingar á stærð og tíðni jökulhlaupa. *Jökull*, 39, 90-95.

Jóhannesson, Tómas, Helgi Björnsson, Eyjólfur Guðmundsson, Sverrir Guðmundsson, Finnur Pálsson, Oddur Sigurðsson, Thorsteinn Thorsteinsson and Etienne Berthier. 2012. Ice-volume changes, bias-estimation of mass-balance measurements and changes in subglacial lakes derived by LiDAR-mapping of the surface of Icelandic glaciers. *Annals of Glaciology* 54, 63A422.

Magnússon, E., H. Björnsson, H. Rott and F. Pálsson, 2010. Reduced glacier sliding caused by persistent drainage from a subglacial lake. *The Cryosphere*, 4, 13–20.

Magnússon, E., F. Pálsson and H. Björnsson, 2009. Breytingar á austanverðum Skeiðarárjökli og farvegi Skeiðarár 1997-2009 og framtíðarhorfur (Changes at the eastern part of Skeiðarárjökull outlet glacier and the river Skeiðará, 1997-2009, and future prospects). Institute of Earth Sciences, University of Iceland, report RH-08-2009, 22 p

Magnússon, E., 2003. Airborne SAR data from S-Iceland: analyses, DEM improvements and glaciological applications (pdf-file). Master thesis in geophysics from Faculty of Natural Sciences, University of Iceland, 130 p.

Finnur Pálsson, (2018). Grímsvatnahlaup: vatnsgeymir upphaf og rennsli. Rannsóknarráðstefna Vegagerðarinnar. Reykjavík: Vegagerðin.

Roberts, M. J., Pálsson, F., Guðmundsson, M. T., Björnsson, H., & Tweed, F. S. (2005). Ice-water interactions during floods from Grænalón glacier-dammed lake, Iceland. *Annals of Glaciology*, 40, 133-138.

Schmidt LS, Aðalgeirsdóttir G, Pálsson F, Langen PL, Guðmundsson S, Björnsson H (2020). Dynamic simulations of Vatnajökull ice cap from 1980 to 2300. *Journal of Glaciology* 66(255), 97–112.

<https://doi.org/10.1017/jog.2019.90>

Sigurðsson, O., & Einarsson, B. (2005). Jökulhlaupaannáll 1989-2004. Reykjavík: Orkustofnun .

Straub, C.L., Koontz, S.R., and Loomis, J.B., 2019, Economic valuation of Landsat imagery: U.S. Geological Survey Open-File Report 2019–1112, 13 p., <https://doi.org/10.3133/ofr20191112>.