

LANDMÓTUN FORNRA ÍSSTRAUMA Á NORÐAUSTURLANDI

Ívar Örn Benediktsson
Jarðvísindastofnun Háskólans

Framvinduskýrsla fyrir árin 2019-2021

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

Landmótun fornra ísstrauma á Norðausturlandi

Greinargerð vegna styrks úr rannsóknasjóði Vegagerðarinnar 2019-2021

1 Inngangur

Tilgangur þessa verkefnis er að auka skilning okkar á umfangi, landmótun og virkni fornra ísstrauma á Norðausturlandi, og sögu afjöklunar undir lok síðasta jökulskeiðs. Þetta er gert með því að kortleggja og rannsaka jökulræn setlög og landform upp af Vopnafirði, Bakkaflóa, Þistilfirði og á Jökuldalsheiði með margvíslegum jarð- og jarðeðlisfræðilegum aðferðum. Unnið er út frá tveimur meginrannsóknarspurningum og verkefninu skipt í tilheyrandi verkþætti: 1) Hvað einkennir landmótun svæðisins og dreifingu setlaga og landforma, og hvernig tengist hún legu, virkni og hörfun fornra ísstrauma? Þessum spurningum er svarað með ítarlegri kortlagningu setlaga og landforma til að skýra landmótun svæðisins, legu fornra ísstrauma og afstæðan aldur þeirra. 2) Hvað einkennir setgerð og byggingu þeirra landforma sem ísstraumar hafa myndað? Hér er setfræðilegum og jarðeðlisfræðilegum aðferðum beitt til að varpa ljósi á setgerð og byggingu landforma og þau ferli sem stuðla að auknum skriðhraða og mótun lands undir hraðskreiðum jöklum. Verkefnið aflar mikilvægra upplýsinga um landmótun og jarðgrunn svæðisins, dreifingu setlaga og landforma sem mörg hver hafa hagnýtt gildi fyrir ýmis konar framkvæmdir og mannvirkjagerð, sem og náttúruvernd.

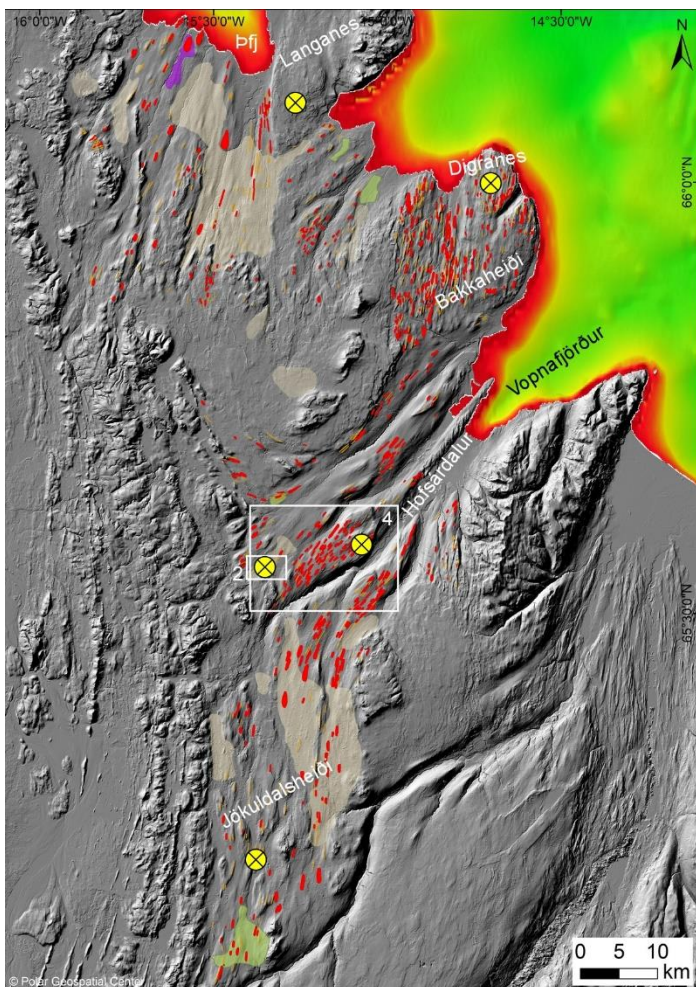
Í þessari skýrslu er gerð grein fyrir framvindu og helstu niðurstöðum verkefnisins frá 2019 til 2021. Verkefnið hófst upphaflega sumarið 2016 eftir að verkefnisstjóri kom auga á þyrpingu jökulalda á heiðum ofan Vopnafjarðar á hinu nýja ArcticDEM hæðalíkani. Við frekari athuganir á landmótun á svæðinu frá Þistilfirði, til Bakkaflóa og Vopnafjarðar, og allt suður á Jökuldalsheiði kom í ljós mynstur straumlínulaga landforma sem talið var endurspegla flæði hraðskreiðra ísstrauma á síðasta jökulskeiði. Því reyndist kjörið að sannreyna þá tilgangi með ítarlegri kortlagningu og öflun gagna. Í leiðangri sumarið 2017 var gerð forkönnun á útbreiðslu straumlínulaga landforma á hluta svæðisins og frumgagna aflað um setgerð og byggingu jökulalda í sniðum og með jarðsjá. Leiðangur sumarið 2018 var með svipuðu sniði, en þá voru m.a. opnuð stærri snið í eina jökulöldu með aðstoð traktorsgröfu. Samhliða þessu var haldið áfram með kortlagningu landforma í ArcGIS á grunnu loftmynda, gervitunglamynda og ArcticDEM hæðalíkansins.

Ljóst var eftir þessi tvö sumur að miklir möguleikar væri til frekari rannsókna á landmótun og þróun ísstrauma í íslenska ísaldarjöklinum sem gætu varpað nýju ljósi á sögu og virkni ísaldarjökulsins og aukið skilning og þekkingu á myndun og mótun núverandi landslags. Var því ákveðið að sækjast eftir stuðningi rannsóknasjóðs Vegagerðarinnar við rannsóknarleiðangra sumrin 2019, 2020 og 2021. Hér að neðan verður gerð grein fyrir helstu viðfangsefnum og framvindu verkefnisins hvert ár fyrir sig. Að lokum eru helstu niðurstöður dregnar saman og möguleikar til frekari framhaldsrannsókna tilgreindir stuttlega.

2 Rannsóknir 2019

Útbreiðsla setlaga og landforma á rannsóknarsvæðinu hafði verið gróflega könnuð og álitlegra staða leitað fyrir nánari athuganir á setgerð og byggingu í leiðöngrum sumrin 2017 og 2018. Fyrir sumarið 2019 var hafist handa við að kortleggja straumlínulaga jökullandform (jökulöldur og risakembur) og þverlæga hryggi á rannsóknarsvæðinu í ArcMap á grunni loftmynda, gervihnattamynda og ArcticDEM hæðalíkansins skv. nútímalegri aðferðafræði við kortlagningu og túlkun á landmótun jökla. Slík kortlagning gefur og færir á ýmsum tölfraðilegum og rúmfræðilegum greiningum á umfangi og útbreiðslu landforma og setlaga. Í ágúst 2019 var farinn 10 daga leiðangur á Norðausturlandi. Gert var út frá rannsóknaraðstöðu Jarðvísindastofnunar við Mývatn. Þaðan var ekið daglega til rannsókna á Vopnafjarðarheiðum, en einnig valda daga á Jökuldalsheiði, í Bakkaflóa og jafnvel Langanesi (mynd 1).

Framkvæmd verkefnisins árið 2019 var að mestu leyti skv. verkáætlun. Kortlagning landforma á ákveðnum svæðum, s.s. Leirvatnsvos og Bustarfelli, var komin vel á veg þannig að unnt var að sannreyna hana við útvinnu og undirbúa áframhaldandi kortlagningu á öðrum svæðum. Við útvinnu var mesta áherslan lögð á rannsóknir á þverlægum hryggjum í Leirvatnsvos við Arnarvatn, sem var skv. verkáætlun. Straumlínulaga landform á Bakkaheiði og þverlægir hryggir í Miðfjarðartungu voru einnig kortlagðir en ákveðið að fresta setlagafræðilegum rannsóknum á þessum svæðum um eitt ár, sem var frávik frá upphaflegri áætlun. Hið sama gilti um óreglulega hryggi í Álandstungu í Þistilfirði. Þess í stað var áhersla lögð á að halda áfram með slíkar rannsóknir á jökulöldu við Þuríðarvatn á Bustarfelli. Hér að neðan verður nánar vikið að þessum svæðum, þ.e. Leirvatnsvos og Bustarfelli, þar sem rannsóknir á setgerð og innri byggingu landforma voru gerðar árið 2019. Einnig er vikið stuttlega að öðrum svæðum sem könnuð voru m.t.t. hugsanlegra rannsókna á komandi árum.



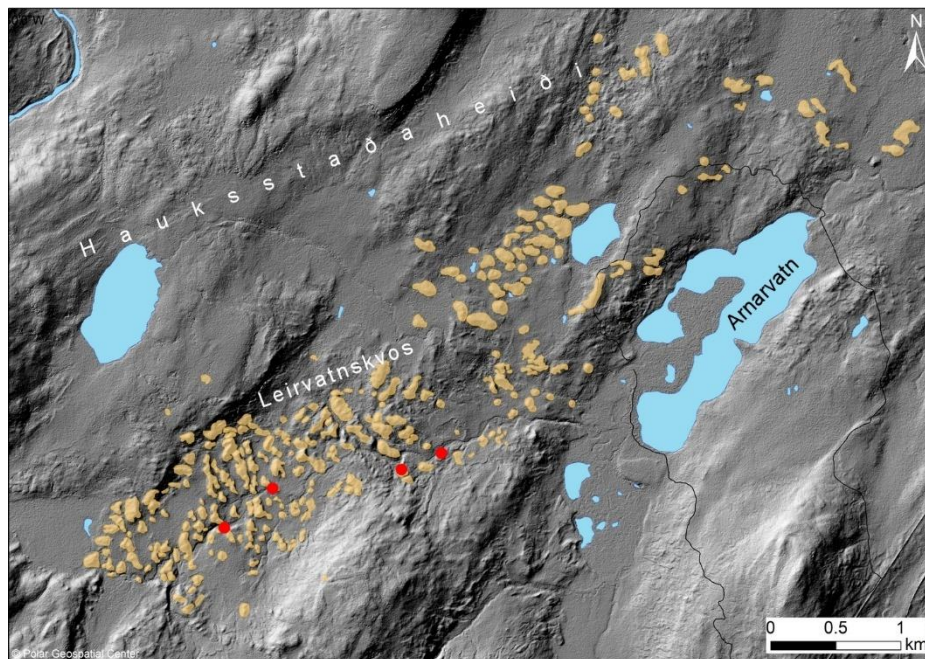
Mynd 1. Rannsóknarsvæðið á Norðausturlandi. Gulir krossar tákna þau svæði sem unnið var sérstaklega á sumarið 2019. Hvítir kassar merkja svæðin á mynd 2 og 4. Rauðir flákar og rauðgular línur tákna jökulöldur, sem aftur endurspeglar flæði fornra ísstrauma á svæðinu. Ljósbrúnir flákar tákna svæði með rifjagörðum, grænir flákar eru þar sem þvergarða má finna, og fjólublár fláki sýnir svæði með sprungufyllingum.

2.1 Leirvatnkvos við Arnarvatn á Hauksstaðaheiði

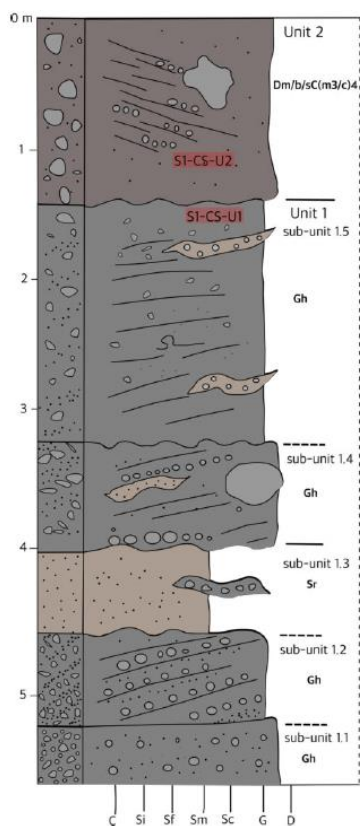
Á þessu svæði eru þverlægir hryggir áberandi í litlu dalverpi er kallast Leirvatnkvos. Hryggirnir höfðu verið gróflega kortlagðir fyrir sumarið 2019 en frekari rannsókna var þörf til kanna setgerð þeirra og innri byggingu. Þessir hryggir urðu meginuppistaða í meistaraverkefni Erlu Guðnýjar Helgadóttur. Gengið var um svæðið og kortlagning hryggjanna sannreynnd. Fjögur snið meðfram Skeljungsa voru könnuð nánar til að afla upplýsinga um setgerð og jarðlagaskipan (mynd 2). Jarðlagaskipan hryggjanna reyndist vera nokkuð einsleit þar sem þeir virtust að mestu byggðir upp af skálögótttri mól og sandi í neðri hlutanum, en með 1-2 m þykku lagi af fremur grófum jökulruðningi efst (mynd 3).

Ýmsar mælingar voru gerðar á legu og lögun hryggjanna á grunni ArcticDEM hæðalíkansins auk loftmynda og gervitunglamynda. Ríkjandi lega hryggjanna er þvert á áætlaða flæðistefnu ísstrauma frá suðvestri til norðausturs. Meðallengd þeirra er 112 m, meðalbreidd er 66 m og meðalhæð er rúmlega 6 m. Bil á milli hryggjanna er að meðaltali um 125-160 m, en er þó minna þar sem hryggirnir liggja hvað þéttast.

Álíka hryggir á fleiri svæðum voru einnig kortlagðir, svo sem á Tunguheiði sunnan Hofsfárdals. Þar reyndist lega þeirra einnig vera ríkjandi þvert á flæðistefnu ísstrauma. Áberandi var þar einnig að sumir hryggjanna lágu greinilega ofan á straumlínulaga landformum eins og jökulöldum, og verða þ.a.l. að teljast myndaðir á eftir þessum landformum. Hryggirnir í Leirvatnkvos og Tunguheiði koma þó aðallega fyrir ofan við svæði þar sem þéttleiki straumlínulaga landforma er hvað mestur. Það bendir hugsanlega til að þessir þverlægu hryggir séu myndaðir á eða nærri upptaksvæðum ísstrauma. Ástæður þess eru enn óljósar, en hugsanlega eru þetta svæði þar sem aðstæður við botn jökuls breytast á milli ísaskila og ísstrauma.



Mynd 2. Þverlægir hryggir á Hauksstaðaheiði (gulbrúnir flákar). Rauðir punktar tákna snið þar sem setgerð og bygging hryggjanna var könnuð. Flæði ísstrauma var frá suðvestri til norðausturs. Hryggirnir liggja að mestu þvert á þá stefnu. Úr MS ritgerð Erlu Guðnýjar Helgadóttur 2020.

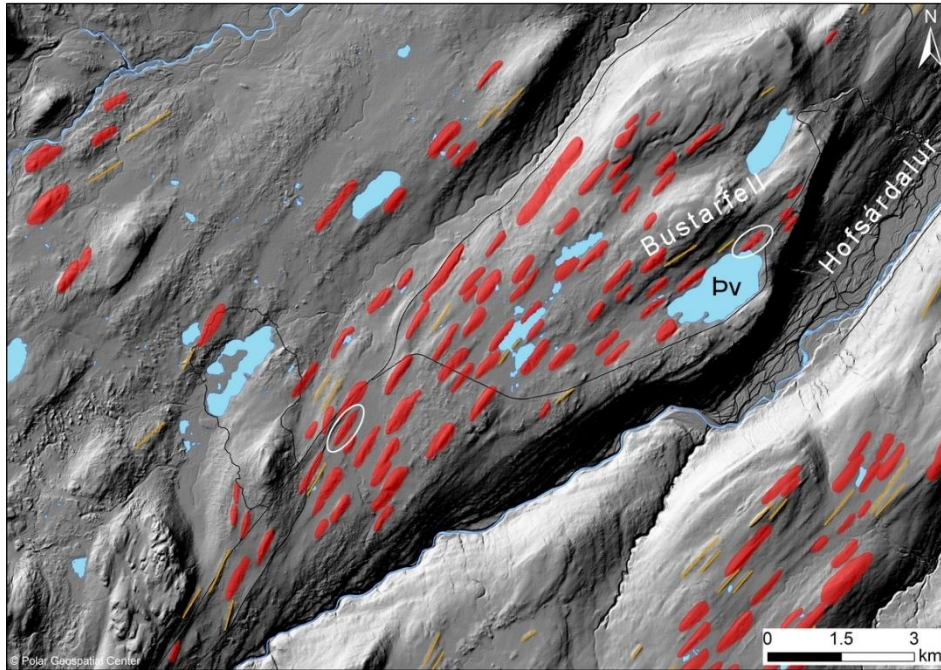


Mynd 3. Snið 1 í Leirvatnsvos. Jarðlagasúla til vinstri sýnir að neðri hlutinn samanstendur af skálögótttri mól og sandi. Ofan á liggur 1,5 m þykkur jökulruðningur. Þessi jarðlagaskipan er lýsandi fyrir hryggina á svæðinu. Ljósmynd til hægri sýnir sniðið í hrygginn meðfram Skeljungsá. Myndir úr MS ritgerð Erlu Guðnýjar Helgadóttur 2020.

2.2 Bustarfell ofan Hofsárdals

Á Bustarfelli ofan Hofsárdals var unnið að rannsóknum á setgerð og innri byggingu jökulalda sem þar eru tæplega áttatíu talsins og mjög áberandi í landslagi. Svæðið er því sérstaklega hentugt til að rannsaka jökulöldur sem myndaðar eru undir hraðfara ísstraumum. Sumarið 2018 höfðu verið grafin þrjú snið með traktorsgröfu í jökulöldu við Þuríðarvatn. Sniðin voru þá kortlögð og þeim lýst. Þau benda til að jökulöldurnar á þessu svæði samanstandi að mestu af jökulárseti en þó með jökuluðningi ofan á. Sumarið 2019 voru sniðin hreinsuð upp aftur og frekari mælingar gerðar á setlögnum, s.s. veftumælingar og athuganir á ávala og kýlni steina í jökulruðningi, auk þess sem sýni voru tekin til kornastærðargreininga.

Ennfremur voru gerðar mælingar með jarðsjá á tveimur völdum jökulöldum; annars vegar öldunni við Þuríðarvatn hvar opnur voru einnig kortlagðir og hins vegar annarri jökulöldu nær Þjóðvegi 85. Nokkur þversnið og langsnið voru mæld yfir hvora öldu. Notast var við bæði 50 og 100 MHz loftnet til að kanna byggingu jökulaldanna í mismunandi upplausn og niður á mismikið dýpi (mynd 4). Úrvinnsla og túlkun jarðsjármælinga af þessum öldum er snúin og tímafrek og er ekki lokið. Frumniðurstöður benda þó til þess að jökulöldurnar séu að öllu leyti setform en þó að stutt sé niður á berggrunninn undir (<8 m).



Mynd 4. Jökulöldur á Bustarfelli ofan Hofsjárdals. Hvítar sporöskjur eru dregnar utan um þær jökulöldur sem sérstaklega voru rannsakaðar á þessu svæðu. Í þeirri við Þuríðarvatn (Þv) voru gerðar rannsóknir á setgerð og setlagaskipan í fjórum sniðum. Auk þess voru þar gerðar mælingar með jarðsjá. Í hinni öldunni við Þjóðveg 85 voru einungis gerðar mælingar með jarðsjá.

2.3 Bakkaheiði

Straumlínulaga landform eru tíð á Bakkaheiði (mynd 1) og virðast í flestum tilfellum hafa berggrunnskjarna og liggja nokkurn veginn samhliða ríkjandi strikstefnu berggrunnsins til suðurs (halli berglaga er til vesturs). Inn á milli eru straumlínulaga form sem virðast vera setform. Þau eru allajafna minni þó að það sé ekki algilt. Gengið var um ysta hluta Bakkaheiðinnar (Digranes; mynd 1) til að skoða þessi form, skrá jökulrákir, og sannreyna kortlagningu.

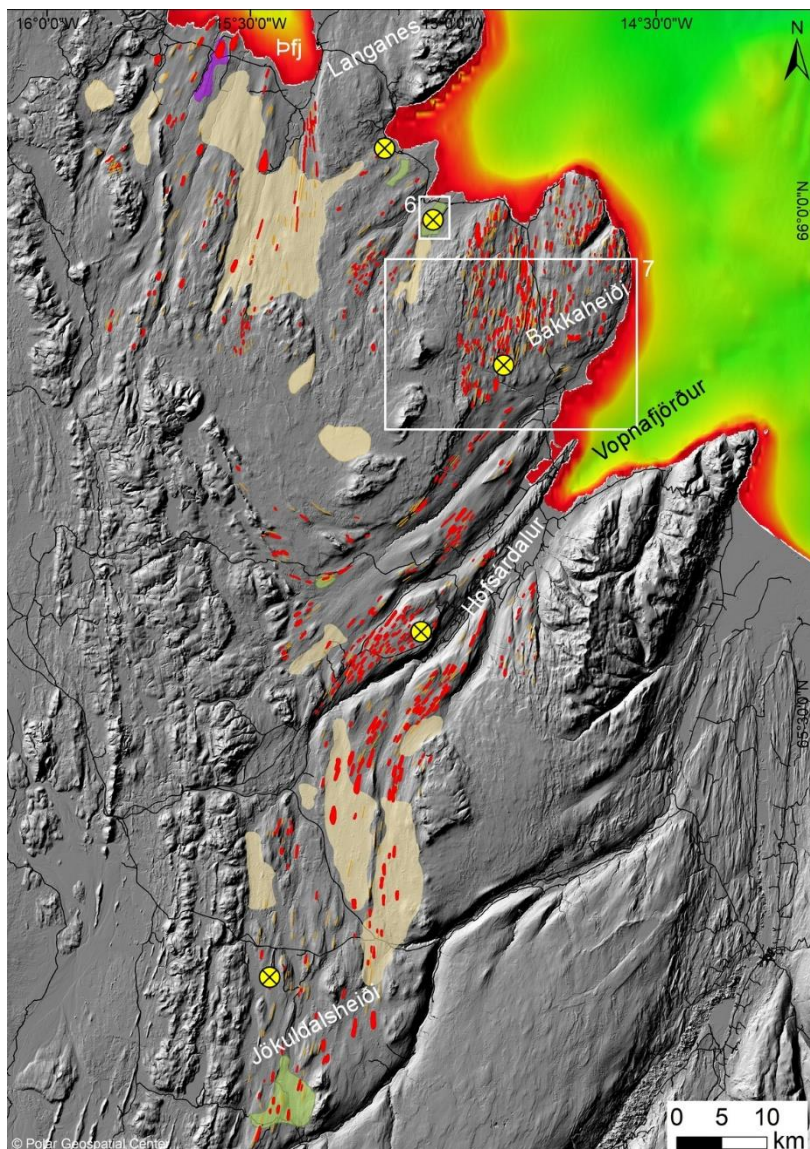
2.4 Jökuldalsheiði

Ekið var einn dag inn á Möðrudalsöræfi og Jökuldalsheiði. Tilgangur þess var að kanna og sannreyna kortlagningu straumlínulaga landforma (jökulalda) á Jökuldalsheiði auk þess að skoða almenn ummerki eftir jökla á þessu svæði m.t.t. tenginga við þau svæði sem rannsökuð eru sérstaklega í verkefninu. Tækifærið var og nýtt til að kanna hvort fýsilegt væri að gera rannsóknir á setgerð og byggingu ákveðinni landforma á þessu svæði auk þess sem svipast var um eftir stöðum þar sem mætti hugsanlega taka sýni til aldursgreininga til að koma skorðum á tímasetningu jökulhörfunar. Náttúruleg snið sem bjóða upp á að rannsaka setgerð og innri byggingu jökulalda á Jökuldalsheiði eru fá og virðast jökulöldurnar á þessu svæði vera mikið til straumlínulagaðar berggrunnshæðir með tiltölulega þunnu lagi af jökulruðningi ofan á. Þetta þarf þó að kanna sérstaklega og kerfisbundið í öðrum leiðangri.

3 Rannsóknir 2020

Í kjölfar leiðangurs sumarið 2019 og gagna sem aflað var þar var haldið áfram að kortleggja setlög og landform á rannsóknarsvæðinu í ArcMap á grunni loftmynda, gervihnattamynda og ArcticDEM hæðalíkansins. Sem fyrr var áherslan á straumlínulaga landform (jökulöldur og risakembur) og þverlæga hryggi. Styrkfé frá Vegagerðinni fyrir árið 2020 var nýtt til greiðslu kostnaðar við tíu daga rannsóknaleiðangur. Bækistöðvar voru að Svalbarði í Þistilfirði og þaðan var ekið til rannsóknarsvæðanna á Langanesi, á Langanesströnd við Bakkaflóa, á Vopnafjarðarheiðum og allt suður á Jökuldalsheiði (mynd 5).

Framkvæmd verkefnisins árið 2020 var skv. verkáætlun. Kortlagning landforma á ákveðnum svæðum, s.s. Leirvatnsvos og Bustarfelli, var svo til lokið og því var einblínt á önnur svæði nú. Þau voru undirlendi Þistilfjarðar þar sem landmótun er fremur flókin, Langanesströnd og Bakkaheiði þar sem þverlægir hryggir og straumlínulaga landform eru áberandi, og Jökuldalsheiði þar sem landslag er einnig straumlínulagað með fjölda þverstæðra garða og garðbrota. Hér að neðan verður nánar vikið að þessum svæðum þar sem rannsóknir á setgerð og innri byggingu landforma voru gerðar. Einnig er vikið stuttlega að öðrum svæðum sem könnuð voru m.t.t. tenginga við fyrrgreind svæði og möguleika til frekari rannsókna.



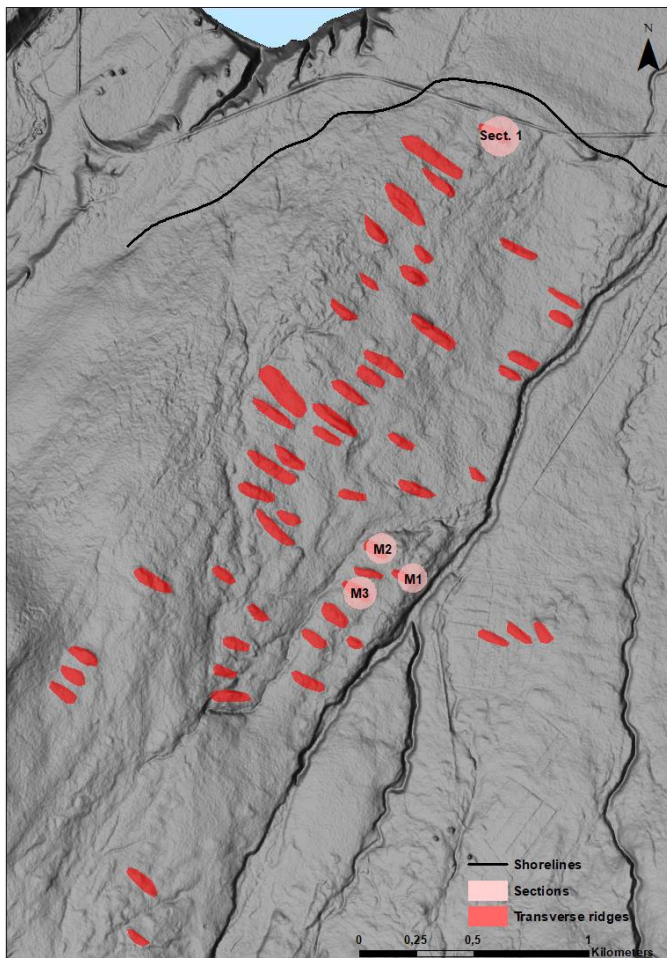
Mynd 5. Rannsóknarsvæðið á Norðausturlandi. Gulir krossar tákna þau svæði sem unnið var sérstaklega á sumarið 2020. Hvítir rammar gefa til kynna svæðin á myndum 6 og 7. Rauðir flákar og rauðgular línur tákna jökulöldur, sem aftur endurspeglar flæði fornra ísstrauma á svæðinu. Ljósbrúnir flákar tákna svæði með rifjagörðum, grænir flákar eru þar sem þvergarða má finna, og fjólublár fláki sýnir svæði með sprungufyllingum.

3.1 Sauralda í Finnafirði

Í landi Saurbæjar í Finnafirði, sunnan Þjóðvegur, var náma sem nýtt var af Héraðsverki við endurnýjun Norðausturvegar. Í ljós kom eftir kortlagningu okkar að þessi náma var í jökulöldu, sem gaf gott tækifæri til að kanna setgerð hennar og innri byggingu. Var því ákveðið að kortleggja nokkur snið í námunni og gera viðeigandi mælingar. Þær sýndu að jökulaldan samanstendur af fremur einsleitum jökulruðningi, n.t.t. botnurð sem mynduð er og tilsett undir jökli. Nánari lýsingum á öldunni og setgerð hennar verður gerð skil í vísindagrein sem unnið er að um setgerð og innri byggingu jökulalda á rannsóknarsvæðinu. Verður Sauralda þar notuð sem sérstakt dæmi til að varpa ljósi á ferli setmyndunar og landmótunar undir fornum ísstraumum Norðausturlands. Þetta er hluti af verkefni Nínu Aradóttur, doktorsnema, og verður birt sem ein af fleiri vísindagreinum í hennar ritgerð.

3.2 Þverlægir hryggir í Miðfjarðartungu við Bakkaflóa

Í Miðfjarðartungu við Miðfjörð í Bakkaflóa eru þverlægir hryggir áberandi á afmörkuðu svæði (mynd 6). Þessir hryggir eru auðgreindir á loftmyndum og gervitunglamyndum vegna þess að ásýnd þeirra er öðruvísi en lyngmóans í kring. Hryggirnir eru þó aðeins 1-3 m á hæð og koma því ekki allir greinilega fram á hæðalíkönunum. Því hafa bæði loftmyndir, gervitunglamyndir og hæðalíkan verið notuð við kortlagningu þessara hryggja. Sú kortlagning var síðan sannreynd í leiðangrinum 2020. Lega, útbreiðsla, setgerð og bygging þessara hryggja var viðfangsefni meistaraverkefnis Margrétar Mjallar Benjamínsdóttur. Í leiðangrinum 2020 var grafinn skurður þvert í gegnum einn af þessum hryggjum með aðstoð beltagröfu frá verktakanum við Norðausturveg, Héraðsverki. Þar gafst gott tækifæri til að



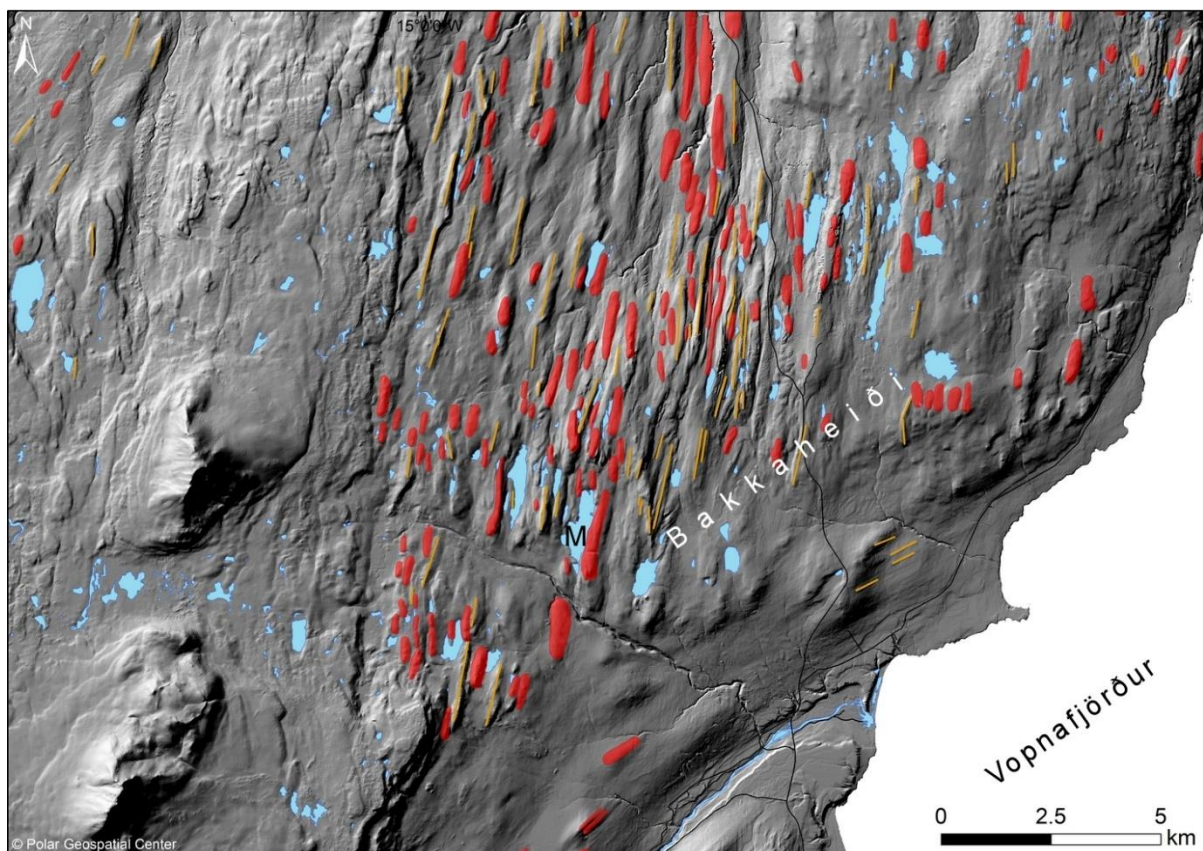
kanna setgerð og innri byggingu og gera viðeigandi mælingar, svo sem á veftu, kýlni og ávala steinvala í setinu og taka sýni fyrir kornastærðargreiningar. Auk þess voru grafnar grunnar könnunarholur í þrjú aðra hryggi á svæðinu til samanburðar.

Mynd 6. Þverlægir hryggir (rauðir flákar) í Miðfjarðartungu á Langanes-strönd. Snið sem könnuð voru eru merkt með bleikum hringjum. Nyrsta sniðið var skurður sem grafinn var í gegnum hrygg með beltagröfu. Hin sniðin þrjú voru grunnar könnunar-holur. Svört lína táknar efstu fjörumörk. Flæði ísstrauma var frá suðvestri til norðausturs. Úr MS ritgerð Margrétar Mjallar Benjamínsdóttur 2021.

Í ljós kom að hryggirnir samanstanda af gráum, mjög einsleitum jökulruðningi. Í stóra sniðinu mátti þó sjá annan brúnleitan jökulruðning undir þeim gráa, líklega til marks um eldri framgang ísstrauma. Niðurstöður benda til að hryggirnir séu svokallaðir rifjagarðar sem myndast geta við efri mörk hraðfara jökla (ísstrauma) og stuttu neðan við ísaskil þar sem flæði er hægt og jökullinn mögulega botnfrosinn að hluta eða öllu leyti.

3.3 Bakkaheiði

Í leiðangrinum sumarið 2020 var ákveðið að ganga um Bakkaheiði og sannreyna kortlagningu sem þar var búið að gera (mynd 7). Einkum var markmiðið að athuga hvort straumlínulaga landform (jökulöldur og risakembur) hefðu berggrunnskjarna og þá hversu þykkt jökulruðningslag væri ofan á. Farið var að sniði í stórri öldu við Miðvatn og gengið á aðrar öldur þar í kring. Greinilegt var að stórar öldur á svæðinu hafa berggrunnskjarna og að þykkt jökulruðnings ofan á er einungis 1-2 m. Minni öldur innan um þær stóru hafa eilítið aðra ásýnd og gætu verið úr seti (jökulruðningi) eingöngu.



Mynd 7. Kort af straumlínulaga landformum á Bakkaheiði. Jökulöldur eru rauðar og rauðgular línur tákna straumlínulögun. Miðvatn er merkt með „M“. Stefna straumlínulaga landforma á Bakkaheiði er greinileg til norðurs, samanborið við stefnu sams konar landforma til norðaustur í Vopnafjarðardölum (neðst á kortinu).

3.4 Bustarfell ofan Hofsdals

Áfram var unnið að rannsóknum á Bustarfalli (mynd 4) ofan Hofsdals og stoppað í göt sem út af stóðu eftir vinnu þar sumrin 2018 og 2019. Farið var aftur í snið sem kortlögð höfðu verið og frekari mælingar gerðar á setlögum og strúktúrum. Þá var kortlagning sannreynd enn betur með því að fara að landformum sem enn var óljóst hvernig skyldi skilgreina á kortum. Þessi vinna var í höndum Nínu Aradóttur, doktorsnema, sem hluti af hennar verkefni.

3.5 Langanes

Nokkrum tíma var varið til athugana á Langanesi. Var þetta liður í samstarfi við Skafta Brynjólfsson, jarðfræðing á Náttúrufræðistofnun Íslands, sem vinnur að jarðgrunnskorti af þessu svæði. Ekið var og gengið nokkuð vítt um syðri hluta Langaness, allt frá Skammadal/Fossdal norðan Gunnólfsvíkurfjalls til Fagraness og Eiða sunnan Heiðarfjalls. Tilgangur þessa var að kanna ummerki jöklunar, sem er um margt mjög erfitt að greina á neginu vegna mikillar frostveðrunar og -lyftingar. Þó var unnt að skilgreina og skrá álitlega staði og snið sem nýta mætti til frekari rannsókna.

3.6 Jökuldalsheiði

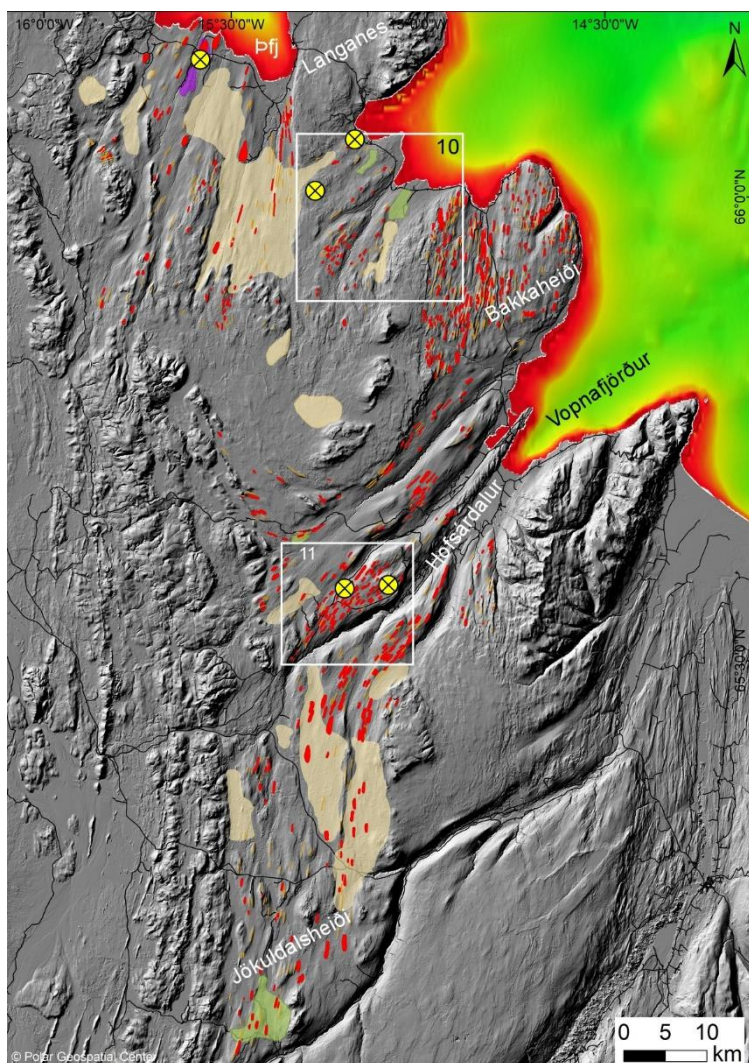
Hluti hópsins varði alls þremur dögum á Jökuldalsheiði. Tilgangur þess var að kanna ýmis ummerki fornra ísstrauma, einkum í forni straumlínulaga landforma, en ekki síst að kortleggja landform sem urðu til við hörfun þessara ísstrauma inn til landsins. Eiður Daði Bjarkason hefur þetta fyrir viðfangsefni í sínu meistaraverkefni, sem hann áætlað að ljúka vorið 2022. Verkefni hans felst fyrst og fremst í að kortleggja setlög og landform sem vitna til um stöðu jökulsporða á mismunandi tímum, s.s. þverlæga garða, jökulker, sanda, og jaðar- og sethjalla. Auk þess nær kortlagning hans til freðmýralandslags sem þróaðist í kjölfar afjöklunar. Setgerð valinna landforma sem kortlögð voru var lauslaga könnuð þar sem hægt var.

Skessugarður og svæðið í kringum hann var sérstaklega skoðað í þeim tilgangi að kanna hvernig aldursgreina mætti garðinn og þar með stöðu jökulsins á þeim tíma sem garðurinn myndaðist. Ef fæst til þess fjármagn er unnt er að gera afhjúpunaraldursgreiningar (e. cosmogenic exposure dating) af Skessugarðinum og taka setkjarna og nálægum stöðuvötnum og freðmýrum. Aldursgreiningar af þessu tagi myndu gefa til kynna hvenær Skessugarðurinn myndaðist og hvenær lægðir í kringum hann urðu jökullausar, og þar með varpa mikilvægu ljósi á hörfun ísaldarjökulsins (ísstrauma) frá ströndu í Vopnafirði og inn til landsins. Vonast er til að fjármagn fái til þess á næstu árum.

4 Rannsóknir 2021

Sumrin 2017-2020 hafði gagna verið aflað um setgerð og byggingu landforma á ýmsum afmörkuðum svæðum á Norðausturlandi, einkum Hauksstaðaheiði, Bustarfelli og Langanesströnd og ýmsar athuganir einnig verið gerðar á öðrum svæðum, s.s. Jökuldalsheiði, Bakkaheiði, Pistilfirði og Langanesi. Sumarið 2021 var áhersla lögð á að kanna setgerð og byggingu hryggja í Álandstungu í Pistilfirði, auk þess sem gerðar voru jarðsjármælingar á þessum hryggjum, sem og á Sauröldu í Finnafirði og á jökulöldum á Bustarfelli. Samhliða þessu var áfram haldið með kortlagningu setlaga og landforma í ArcMap á grunni loftmynda, gervihnattamynda og IcelandDEM hæðalíkansins. Uppfærslur sem gerðar höfðu verið á hæðalíkaninu gáfu færi á nákvæmari kortlagningu. Því var unnið að því að uppfæra þá kortlagningu sem gerð hafði verið ásamt því að bæta við landformum sem betur sáust á nýrri útgáfu hæðalíkansins. Áhersla var sem fyrr á straumlinulaga landform (jökulöldur og risakembur) og þverlæga hryggi. Styrkfé frá Vegagerðinni fyrir árið 2020 var nýtt til greiðslu kostnaðar við tíu daga rannsóknaleiðangur. Bækistöðvar voru að Svalbarði í Pistilfirði líkt og árið áður og þaðan ekið til rannsóknarsvæðanna í Álandstungu (Pistilfirði), í Finnafirði, og á Bustarfelli (mynd 8). Einnig var nokkrum tíma varið við athuganir á Langanesi.

Framkvæmd verkefnisins árið 2021 var að mestu skv. verkáætlun. Þó var ekki unnið á Jökuldalsheiði eins og til stóð þar sem vinna við snið og jarðsjármælingar í Álandstungu (Pistilfirði), Sauröldu í Finnafirði, og jökulöldur á Bustarfelli var tímafrekari en reiknað var með. Hér að neðan er gerð grein fyrir þessari vinnu og helstu niðurstöðum verkefnisins árið 2021.



Mynd 8. Rannsóknasvæðið á Norðausturlandi. Gulir krossar tákna þau svæði sem unnið var sérstaklega á sumarið 2021. Hvítir rammar tákna svæði á myndum 10 og 11. Rauðir flákar og rauðgular línur tákna jökulöldur, sem aftur endurspeglar flæði fornra ísstrauma á svæðinu. Ljósbrúnir flákar tákna svæði með rifjagörðum, grænir flákar eru þar sem þvergarða má finna, og fjólublár fláki við Pistilfjörð (Þfj) sýnir svæði með sprungufyllingum.

4.1 Álandstunga í Þistilfirði

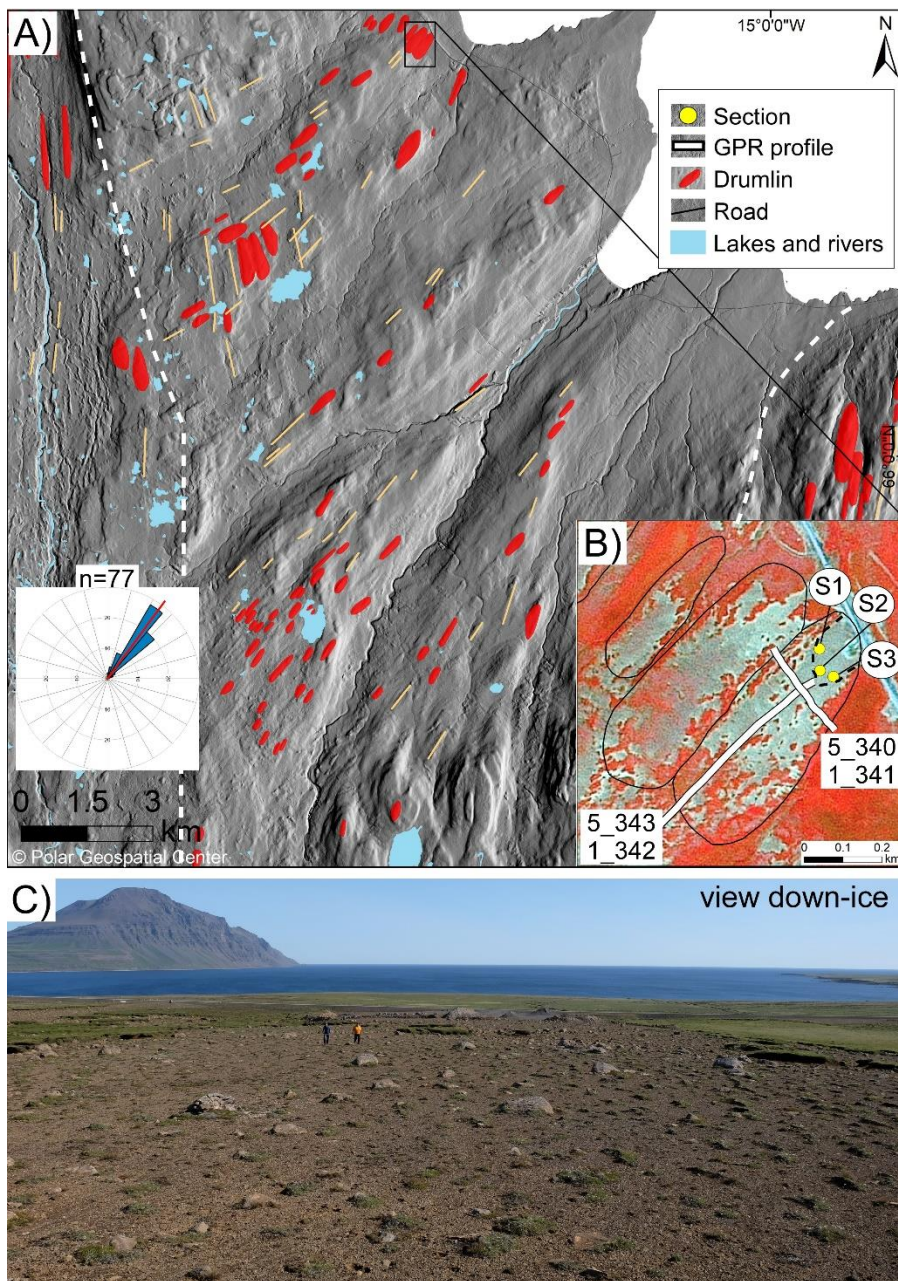
Í Þistilfirði eru víða þyrpingar hryggja sem hafa óreglulega legu. Ein þessara þyrpinga er í Álandstungu milli Sandár og Hölknár (mynd 9). Hryggir á þessu svæði virðast við fyrstu athugun liggja nokkuð þvers og kruss en þegar betur er að gáð virðast margir þeirra liggja þvert eða skáhalt á forna flæðistefnu jökuls. Tilgátan sem unnið er út frá er að þessir hryggir séu sprungufyllingar sem endurspegli hreyfingar og ferli við botn hnignandi ísstraums. Til að prófa þessa tilgátu var ákveðið að kanna setgerð og byggingu þessara hryggja nánar. Fengin var lítil beltagrafa til að grafa skurði þvert á tvo valda hryggi til að unnt væri að kanna setgerð, gera mælingar og kortleggja byggingu (mynd 2). Þessar athuganir leiddu í ljós að hryggirnir samanstanda af mjög einsleitum jökulruðningi nánast án allra byggingareinkenna. Erfitt reyndist að gera veftumælingar á jökulruðningnum en tekin voru nokkur sýni til greininga á kornastærðardreifingu sem og ávala og kýlni korna. Hryggirnar í Álandstungu eru viðfangsefni meistaraverkefnis Lenu Bjargar Ríkharðsdóttur, sem hún hyggst ljúka vorið 2022. Þar mun hún kortleggja legu þeirra í Álandstungu og gera ýmsar landmótunarfræðilegar og tölfræðilegar greiningar á grunni kortlagningarinnar. Þar má nefna mælingar á lengd, breidd og hæð hryggjanna, sem og legu þeirra og stefnu. Legu hryggjanna mun hún síðan bera saman við legu straumlínulaga landforma á svæðinu. Þá mun hún bera landlöggun hryggjanna, setgerð þeirra og byggingareinkenni við svipuð landform frá nútímajöklum, t.a.m. framhlaupsjöklum á Íslandi og Svalbarða.



Mynd 9. Vinstri mynd: Yfirlitsmynd af hryggjunum í Álandstungu. Horft til sjávar í norðaustri. Örin bendir á skurð sem grafinn var í einn hryggjanna. Hægri mynd: Unnið að athugunum á setgerð og byggingu hryggjarins.

4.2 Sauralda í Finnafirði

Í landi Saurbæjar í Finnafirði, sunnan Þjóðvegjar, var náma sem nýtt var af Héraðsverki við endurnýjun Norðausturvegar. Í ljós kom eftir kortlagningu okkar að þessi náma var í jökulöldu, sem við köllum Sauröldu (mynd 10). Náman gerði okkur kleyft að kanna setgerð og innri byggingu öldunnar sumarið 2020. Sumarið 2021 voru síðan gerðar mælingar með jarðsjá á þessari öldu. Þessum gögnum er lýst í vísindagrein um setgerð og innri byggingu jökulalda á rannsóknarsvæðinu. Greinin, sem er í smíðum um þessar mundir, er hluti af doktorsverkefni Nínu Aradóttur. Þar er Sauralda notuð til að varpa ljósi á ferli setmyndunar og landmótunar undir fornum ísstraumum Norðausturlands.

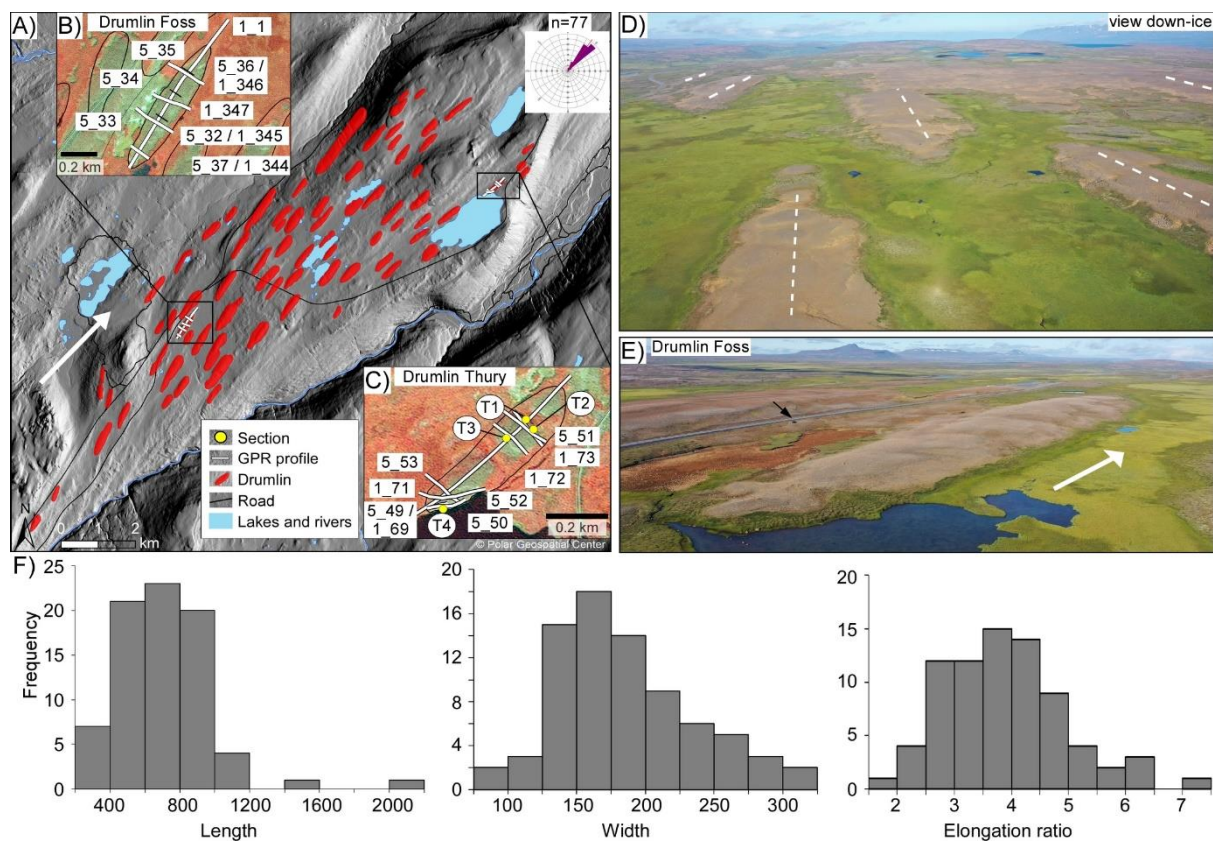


Mynd 10. A) Kort af jökulöldum á Langanesströnd og þar upp af. Sauralda er við Finna fjörð innan litla svarta rammans. B) Á svæðinu innan svarta rammans má greina þrjár jökulöldur. Sauralda er sú austasta. Gulu punktarnir sýna snið sem kortlögð voru í námu áður en henni var lokað. Hvítu línurnar tákna mælinúr með jarðsjár. C) Ljósmynd sem tekin er niður Sauröldu til norðausturs. Myndin er úr úr tilvonandi vísindagrein Nínu Aradóttur o.fl.

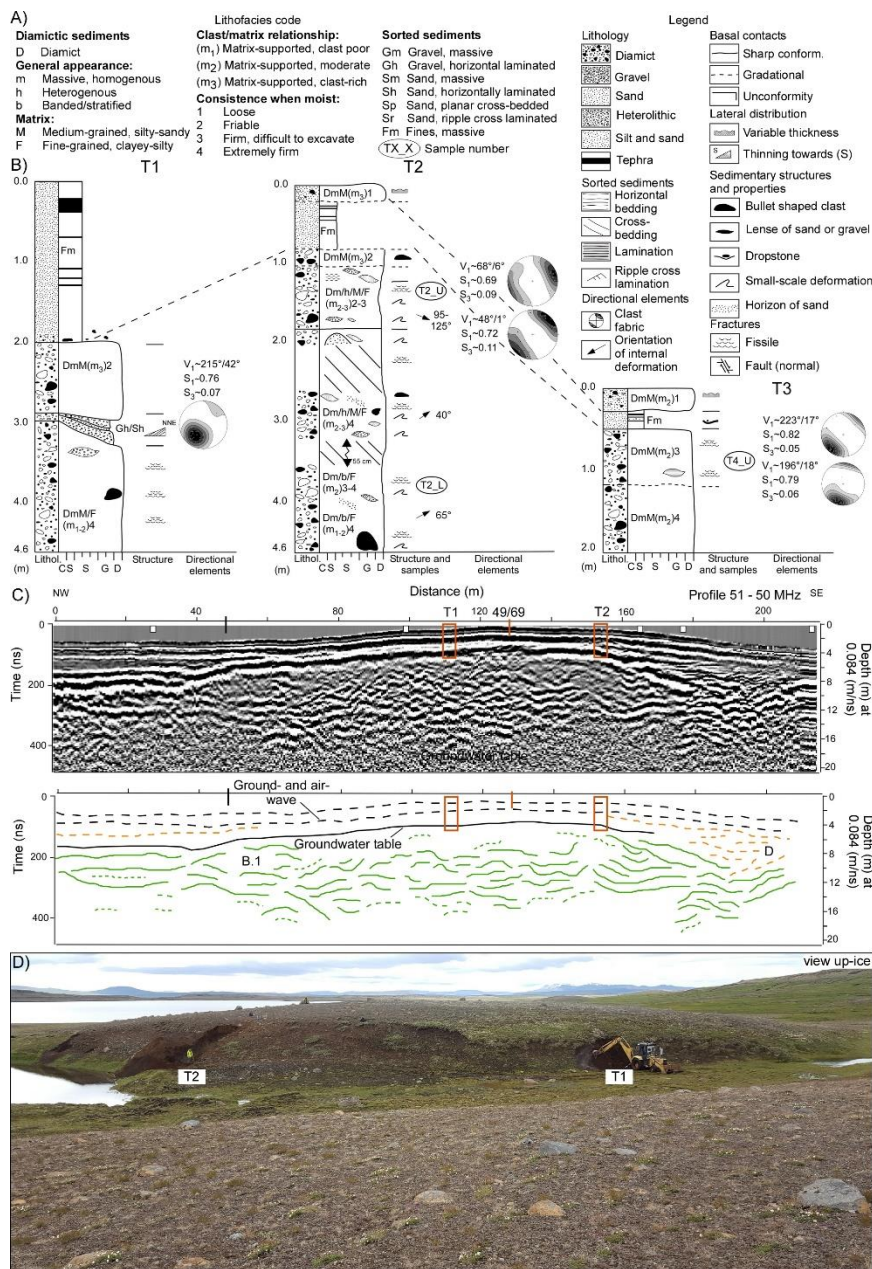
4.3 Bustarfelli ofan Hofsfárdals

Jökulöldur á Bustarfelli hafa verið hornsteinn í þessu verkefni og svo var áfram árið 2021. Ákveðið var að gera frekari athuganir á setgerð og byggingu í sniði í jökulöldu meðfram Þuríðarvatni ásamt því að gera enn frekari mælingar með jarðsjá og taka myndir með drónum. Þá var kortlagning af jökulöldum á þessu svæði litallega uppfærð á grunni bættis hæðalíkans. Nína Aradóttir, doktorsnemi, leiðir þessa vinnu sem hluta af sínu doktorsverkefni. Hún hefur nú tekið saman öll gögn um jökulöldur á Bustarfelli og leggur nú lokahönd á vísindagrein þar sem þeim er lýst. Greinin lýsir niðurstöðum kortlagningar og landmótun aldanna á svæðinu, þ.e. dreifingu þeirra, legu, stærð og lögun (mynd 11). Auk þess er í greininni lýst setfræðilegum gögnum sem safnað var í sniðum í jökulöldu við Þuríðarvatn (Þuríðaröldu) sem og jarðsjársniðum sem gerð voru á Þuríðaröldu og annarri öldu við Þjóðveg 85 (mynd 12). Frumniðurstöður eru þær að þessar jökulöldur eru að jafnaði 10-15 m þykkar, um 600 m langar og 150 m breiðar. Kortlagning á sniðum og greiningar á jarðsjármælingum benda til þess að öldurnar hafi kjarna af aflöguðu jökulárseti en að ofan á sé um og yfir 2 m þykkur jökulruðningur.

Jarðlagaskipan og bygging aldanna bendir til að ísstraumar hafi hörfað inn til landsins og við það hafi jökulár hlaðið upp söndum ofan á Bustarfelli og öðrum heiðum ofan Vopnafjarðardala. Á sama tíma gengu líklega jökultungur niður í dalina. Líklegt er að þetta hafi gerst á Bölling-Alleröd hlýindakaflanum. Þegar íslenski ísaldarjökullinn stækkaði á ný á Yngra Dryas kuldakaflanum gengu ísstraumar yfir þetta svæði á ný og mótuðu sandana í jökulöldur. Jökulís hörfaði síðan af svæðinu í upphafi nútíma.



Mynd 11. A) Kort af jökulöldum á Bustarfelli. B) Jökulalda við Þjóðveg 85. Hvítar línur tákna jarðsjármælilínur. C) Þuríðaralda við Þuríðarvatn. Gulir punktar T1-T4 sýna snið þar sem unnið var að athugunum á setgerð og byggingu. D) Yfirlitsmynd af jökulöldum. Horft til norðausturs. E) Yfirlitsmynd af jökulöldunni við Þjóðveg 85 (sjá mynd 4B). Svört ör bendir á jeppa til samanburðar. Hvít ör tákna flæðistefnu ísstraums. F) Lengd og breidd jökulaldanna á Bustarfelli, og hlutfallið þar á milli. Myndin er úr tilvönandi vísindagrein Nínu Aradóttur o.fl.



Mynd 12. A) Skýringar við jarðlagasúlu á mynd B. B) Jarðlagasúlu af sniðum T1, T2 og T3 (sjá mynd 4C). C) Dæmi um mælingu með jarðsjá. Þessi lína liggur þvert yfir þuridaröldu (sjá mynd 4C). D) Ljósmynd af hluta þuridaröldu. Horft til suðvesturs. Myndin er úr tilvonandi vísindagrein Nínu Aradóttur o.fl.

4.4 Helkunduheiði

Farinn var dagsleiðangur upp á Helkunduheiði til að sannreyna kortlagningu af straumlínulaga landformum sem annars vegar hafa legu til norðurs, líkt og landform í Þistilfirði, og hins vegar til norðausturs, líkt og landform við Bakkaflóa. Hér virðist því um tvær kynslóðir jökulstreymis að ræða. Gengið var um svæðið og til að kanna hvort kortlagning gæti reynst rétt. Svo reyndist vera og var fleiri landformum bætt inn á kortið eftir þessar athuganir.

5 Þátttakendur í verkefninu 2019-2021

- Ívar Örn Benediktsson, sérfræðingur/aðjúntk HÍ, verkefnisstjóri
- Ólafur Ingólfsson, prófessor HÍ
- Hreggviður Norðdahl, fræðimaður emeritus HÍ
- Skafti Brynjólfsson, jarðfræðingur NÍ
- Karl Stefánsson, jarðfræðingur NÍ
- Anders Schomacker, prófessor Háskólinn í Tromsø
- Wesley Farnsworth, nýdoktor HÍ
- Nína Aradóttir, doktorsnemi HÍ
- Erla Guðný Helgadóttir, meistaranemi HÍ
- Sigurrós Arnardóttir, meistaranemi HÍ
- Margrét Mjöll Benjamínsdóttir, meistaranemi HÍ
- Eiður Daði Bjarkason, meistaranemi HÍ
- Genevieve Bonin, aðstoðarmaður, BS skiptinemi HÍ
- Ben Popken, aðstoðarmaður, BS skiptinemi HÍ
- Sif Pétursdóttir, aðstoðarmaður, BS nemi HÍ
- Teitur Hinrichsen, aðstoðarmaður, BS nemi HÍ

Þátttaka framhaldsnema í verkefninu var mikilvæg. Nína Aradóttir vann að sínu doktorsverkefni og tók þátt í sínum fyrsta leiðangri í verkefninu. Hennar rannsóknir lúta einkum að legu og útbreiðslu, setgerð og innri byggingu jökulalda. Erla Guðný Helgadóttir vann að sínu meistaraverkefni um þverlæga hryggi í Leirvatnsvos og lauk sínu verkefni vorið 2020, en hún hóf undirbúning að verkefninu sem aðstoðarmaður við útivinnu sumarið 2018. Sigurrós Arnardóttir vann að sínu meistaraverkefni um jökulöldur í Bárðardal en tók þátt í rannsóknum á Norðausturlandi 2019 til samanburðar. Margrét Mjöll Benjamínsdóttir vann að sínu meistaraverkefni um þverlæga hryggi í Miðfjarðartungu á Langanesströnd og lauk því vorið 2021. Eiður Daði Bjarkason vann að sínu verkefni um jökulhörfun á Jökuldalsheiði og Lena Björg Ríkharðsdóttir rannsakar landmótun, setgerð, byggingu og tilurð hryggja í Álandstungu í Þistilfirði. Þau áætla að ljúka sínum verkefnum vorið 2022. Nemendur aðstoðuðu einnig við önnur tilfallandi verk í leiðöngrunum. Fjórir BS nemar, íslenskir sem erlendir, tóku þátt í sumum leiðöngrum að hluta eða að fullu sem aðstoðarmenn, ekki síst fyrir framhaldsnemana. Aðrir vísindamenn í verkefninu leiðbeindu nemendum í þeirra verkefnum og unnu að sérstökum verkþáttum, s.s. mælingum með jarðsjá, kortlagningu og mælingum á setlögum í sniðum, og ýmsum öðrum athugunum.

6 Kostnaður 2019-2021

Kostnaður við verkefnið árin 2019-2021 var að mestu skv. áætlun. Frávik voru smávægileg og innan eðlilegra marka þegar unnið er í löngum og fjölmennum rannsóknarleiðöngrum, á mismunandi svæðum við misjafnar aðstæður. Styrkir frá Vegagerðinni voru nýttir til greiðslu hluta kostnaðar við 10 daga leiðangra þessi þrjú sumur auk launagreiðslna til verkefnisstjóra.

- Verkefnisstjórn, úrvinnsla og túlkun (1,5 mannmánuður): 1.209.000 kr.
- Útvinna, 2-3 bílaleigujeyppar per ár m/eldsneyti: 1.510.000 kr.
- Gisting og upphald: 750.000 kr.
- Skurðgröftur og frágangur í Miðfjarðartungu, Héraðsverk: 150.000 kr.
- Skurðgröftur og frágangur í Álandstungu, Gunnar V. Kristjánsson, Þórshöfn: 150.000 kr.
- **Samtals: 3.769.000 kr.**

7 Kynning og útgáfa

Verkefnið hefur verið kynnt á nokkrum ráðstefnum og fundum innanlands sem utan undanfarin ár, bæði af verkefnisstjóra og framhaldsnemum, t.a.m. á stórri ráðstefnu INQUA og fundi alþjóða jöklafræðifélagsins 2019, á vorráðstefnu Jarðfræðafélags Íslands 2020, og á fyrirlestraviku alþjóða landmótunarfræðifélagsins og PalaeoArc ráðstefnunni 2021:

Benediktsson, Í.Ö. 2021. Geomorphic evidence of palaeo-ice streams in Iceland. IAG International Geomorphology Week, 1-7 March 2021, webinar is scheduled for Wednesday 03.03.2021 at 13:00 CET. *INVITED KEYNOTE.*

Helgadóttir, E.G., **Benediktsson, Í.Ö.**, Ingólfsson, Ó. 2021. Ribbed moraine in Iceland. 2nd International PalaeoArc conference, 25-28 May, Pisa, Italy (online).

Aradóttir, N., **Benediktsson, Í.Ö.**, Ingólfsson, Ó. 2021. Internal architecture of drumlins revealed by sedimentological data and ground-penetrating radar – a case study from Bustarfell, NE-Iceland. 2nd International PalaeoArc conference, 25-28 May, Pisa, Italy (online).

Benediktsson, Í.Ö., Aradóttir, N., Ingólfsson, Ó., Brynjólfsson, S. 2021. Geomorphic evidence for cross-cutting palaeo-ice streams in NE-Iceland. 2nd International PalaeoArc conference, 25-28 May, Pisa, Italy (online).

Aradóttir, N., **Benediktsson, Í.Ö.**, Ingólfsson, Ó. 2020. Straumlínulaga landform á Norðausturlandi: ummerki fornra ísstrauma. Haustráðstefna Jarðfræðafélags Íslands, Zoom, 20. nóvember 2020.

Benediktsson, Í.Ö. & Aradóttir, N. 2019. Palaeo-ice streams in NE-Iceland. Presentation within Raymond Bradley's [Quaternary webinar series](#) at the Climate System Research Center, Department of Geosciences, UMass Amherst, 31 October 2019.

Helgadóttir, E.G., **Benediktsson, Í.Ö.**, Ingólfsson, Ó. 2019. Ribbed moraines at the onset of palaeo-ice streams in the Vopnafjörður region. Nordic Branch Meeting of the International Glaciological Society, Reykholt, Iceland, Oct 30- Nov 1 2019.

Ingólfsson, Ó., **Benediktsson, Í.Ö.**, Brynjólfsson, S., Norðdahl, H., Aradóttir, N. 2019. Palaeo-ice streams in northeast Iceland. INQUA, Dublin, Ireland, 25th-31st July 2019.

McKenzie, M., Principato, S., **Benediktsson, Í.Ö.** 2019. Using streamlined landforms to reconstruct and compare paleo-ice flow paths in North Iceland and Northwestern Pennsylvania. 49th International Arctic Workshop, Stockholm 3-5 April 2019.

McKenzie, M., Principato, S., **Benediktsson, Í.Ö.** 2019. Using streamlined landforms to reconstruct and compare paleo-ice flow paths in North Iceland and Northwestern Pennsylvania. GSA Northeastern Section, 54th Annual Meeting, Portland, Maine, 17-19 March 2019.

Fyrsta vísindagreinin úr verkefninu birtist í Geomorphology síðla árs 2021 og kemur formlega út 2022 (mynd 13). Hún fjallar um legu, útbreiðslu og lögun straumlínulaga landforma (jökulalda og risakembna) og hvernig þau endurspeglar flæði fornra ísstrauma. Meginniðurstöður eru þær að flæði ísstrauma hefur verið ríkjandi til norðurs þegar ísaldarjökullinn var mjög þykkur og skeytti engu um landslagið undir sér. Þegar jökullinn þynntist fór landslagið að ráða meiri för og stýra straumstefnunni, s.s. til norðausturs í Vopnafirði og Bakkaflóa. Greinin varpar nýju ljósi á virkni og þróun flæðis í íslenska

ísaldarjöklinum frá hámarki síðasta jökulskeiðs og í gegnum tíma mikillar hlýnunar og hörfunar, líklega á Bölling-Alleröd hlýndakaflanum, og vaxtar á ný að öllum líkindum á Yngra Dryas kuldaskiðinu.

Benediktsson, Í.Ö., Aradóttir, N., Ingólfsson, Ó., Brynjólfsson, S., in press. Cross-cutting paleo-ice streams reveal shifting Icelandic Ice Sheet dynamics. *Geomorphology* 396. 108009.

<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2021.108009>.

Geomorphology 396 (2022) 108009

Contents lists available at ScienceDirect

Geomorphology

journal homepage: www.elsevier.com/locate/geomorph

Cross-cutting palaeo-ice streams in NE-Iceland reveal shifting Iceland Ice Sheet dynamics

Ívar Örn Benediktsson ^{a,*}, Nína Aradóttir ^a, Ólafur Ingólfsson ^a, Skafti Brynjólfsson ^b

^a Institute of Earth Sciences, University of Iceland, Iceland
^b Icelandic Institute of Natural History, Iceland

ARTICLE INFO

Article history:
Received 21 June 2021
Received in revised form 20 October 2021
Accepted 20 October 2021
Available online 25 October 2021

Keywords:
Iceland Ice Sheet
Palaeo-ice streams
Streamlined subglacial bedforms (drumlins and megascale glacial lineations)
Ice-sheet dynamics and ice divide migration

ABSTRACT

Ice streams are thought to have regulated the past Iceland Ice Sheet (IIS) during and following the Last Glacial Maximum (LGM) by discharging ice and sediment from the interior of the ice sheet towards the shelf edge. Previous assessments of ice streams within the IIS have produced contradictory reconstructions of ice sheet dynamics and location of ice divides. Here, we reconstruct palaeo-ice streams in NE-Iceland based on detailed mapping of streamlined subglacial bedforms (SSBs) and other glacial lineations. The morphometrics, distribution and orientation of the SSBs indicate the flow-sets of several cross-cutting palaeo-ice streams and the location and migration of ice divides, while high density and packing of SSBs possibly suggest the axial zones of the ice streams. North-trending flow-sets suggest that during maximum glaciation and ice-sheet thickness, ice flow within the study area was largely unaffected by underlying topography allowing ice to flow northwards across valleys and fjords. This ice flow direction correlates with the orientation of previously identified troughs on the north-eastern shelf and indicates that an E-W orientated ice divide was located to the south of the study area. During deglaciation and ice sheet thinning, a N-S orientated ice divide was located to the west of the study area, and palaeo-ice streams became confined to valleys and fjords, so that associated flow-sets crosscut the older ones. The absolute ages of these flow-sets are uncertain, but the simplest interpretation is that the older ones pertain to the LGM and the younger ones to the following deglaciation. This study sheds light on the dynamics and evolution of palaeo-ice streams within the IIS and highlights the importance of further efforts to understand the subglacial processes responsible for the formation of the streamlined subglacial bedforms as well as to constrain the evolution of shelf glaciation and chronology of ice stream retreat.

© 2021 Published by Elsevier B.V.

Mynd 13. Skjáskot af útkominni grein í *Geomorphology*.

8 Lokaorð

Hér hefur verið greint frá framvindu og helstu niðurstöðum verkefnisins árin 2019-2021. Verkefnið er hluti af stærra langtímaverkefni sem snýr að landmótun, setmyndun, og hörfun fornra ísstrauma á Norðausturlandi. Markmið þessara langtímarannsókna er að afla þekkingar á því hvernig fornir ísstraumar mótuðu landið, hvers konar setlög og landform þeir skildu eftir sig, hvaða hlutverki þeir gegndu í íslenska ísaldarjöklinum og hvernig skriðvirkni þeirra þróaðist með tíð og tíma, og svo hvenær þeir hörfuðu af landinu. Styrkir frá Vegagerðinni árið gerði það kleyft að fara í 10 daga leiðangra um rannsóknarsvæðið þrjú sumur í röð og verja tíma til rannsókna á völdum svæðum og landformum innan þeirra. Fyrsta vísindagreinin úr verkefninu birtist á árinu 2021 og fleiri eru í bígerð sem hluti af

doktorsverkefni Nínu Aradóttur. Tveimur meistararitgerðum hefur verið lokið innan verkefnisins og þrjár aðrar eru í bígerð og áætlað að ljúki á vormánuðum 2022. Verkefninu verður fram haldið árið 2022 og mögulega 1-2 næstu ár þar á eftir. Frekari útvinnna í verkefninu veltur þó á fjármögnun, en nú þegar miklum gögnum hefur verið safnað um útbreiðslu setlaga og landforma og þekkingar aflað um legu og þróun fornra ísstrauma, er eðlilegt framhald að safna sýnum til aldursgreininga. Þannig er unnt að setja þau gögn og þá þekkingu sem aflað hefur verið betur í samhengi við aðrar aldursgreindar myndanir á svæðinu og auka þar með þekkingu á jöklunarsögu Íslands.

Þó að aldursgreiningar á hörfun ísstraumanna séu ekki hluti af því verkefni styrkurinn frá Vegagerðinni nær til hefur gefist tækifæri meðfram öðrum rannsóknum til að kanna hvar og með hvaða aðferðum unnt væri að fá frekari skorður á myndun landforma og hörfun ísstrauma undir lok síðasta jökulskeiðs. Til að mynda eru víða stöðuvötn sem álitleg eru til borunar setkjarna með það að markmiði að fá botnaldur og þar með lágmarksaldur á jökulhörfun. Setkjarnar úr stöðuvötnum eru auk þess tilvaldir til rannsókna á sögu umhverfisbreytinga, þótt það sé ekki hluti af þessu verkefni. Ennfremur eru margir staðir álitlegir til mælinga á afhjúpunaraldri berggrunns eða grettistaka með geimgeislunaraðferð (e. cosmogenic radionuclide exposure dating), sem gæfi einnig lágmarksaldur á jökulhörfun. Á næstu árum er áætlað að taka kjarna úr stöðuvötnum og sýni af berggrunni og grettistöku í þessum tilgangi. Það yrði gert á langsniði sem næði frá strönd inn til landsins, t.d. frá Digranesi/Bakkaheiði, upp Vopnafjarðardali og -heiðar, og inn á Jökuldalsheiði. Þegar niðurstaða slíkra rannsókna liggur fyrir og er tengd þeim gögnum verkefnisins sem þegar hefur verið aflað mun það stórauka þekkingu okkar og skilning á hegðun og sögu íslenska ísaldarjökulsins frá hámarki síðasta jökulskeiðs til upphafs nútíma.

22.12.2021

Ívar Örn Benediktsson, verkefnissjóri, Jarðvísindastofnun Háskólans.