

Landslag í grennd Kvískerja í fortíð og framtíð: Niðurstöður íssjármælinga á Kvíár-, Hrutár- og Fjallsjökli

Eyjólfur Magnússon, Helgi Björnsson og Finnur Pálsson

Jarðvísindastofnun Háskólans, Öskju, Sturlugötu 7, 101 Reykjavík; eyjolfm@raunvis.hi.is

ÁGRIP — Samkvæmt íssjármælingum, sem gerðar voru á Kvíár-, Hrutár- og Fjallsjökli sumarið 2006, er Fjallsjökull allt að 450 m þykkur og grafinn 180 m niður fyrir sjávarmál. Hrutárjökull er þykkastur um 300 m og botn hans liggur lægst í 10 m hæð yfir sjó. Þykkt Kvíárjökuls er mest 350 m en hann er grafinn allt að 100 m niður fyrir sjávarmál. Ef þessir jöklar hopa hratt mun Fjallsár-lón verða stærst tæpir 11 km^2 , um 70 m djúpt að jafnaði en dýpst um 210 m áður en það tekur að fyllast af seti. Einnig mun myndast lón framan við Kvíárjökul sem verður stærst um 3 km^2 , 60 m djúpt að meðaltali en 130 m dýpst. Sé gert ráð fyrir að í upphafi Litlu ísaldar hafi jadrar þessara jökla ekki náð niður fyrir 100 m hæð yfir sjó og þar fyrir neðan hafi verið árslétta má áætla að Kvíárjökull hafi síðan þá, rutt í burtu $0.25 \pm 0.06 \text{ km}^3$ af ár- og jökulseti. Á sama tíma munu Fjalls- og Hrutárjökull hafa rofið $1.3 \pm 0.3 \text{ km}^3$. Sé reiknað með að þetta rof hafi átt sér stað á fjórum öldum hefur rofhradinn verið um $\sim 12 \text{ ml/öld}$ að jafnaði yfir rofsvæði Kvíárjökuls og $\sim 15 \text{ ml/öld}$ fyrir Fjalls- og Hrutárjökul.

INNGANGUR

Sumarið 2006 voru gerðar íssjármælingar á Kvíár-, (1. mynd), Hrutár- og Fjallsjökli (2. mynd). Tilgangur mælinganna var að kortleggja landslag undir jöklunum og með því bregða ljósi á það hvernig landsvæðið í nágrenni Kvískerja mun líta út ef þessir jöklar hverfa en einnig að afla gagna til þess að meta hvernig land gæti hafa litið út við landnám og þar með rof jökla frá þeim tíma. Auk þess munu mæliniðurstöður nýtast til frekari rannsókna á þessum jöklum. Mælingarnar voru styrktar af Kvískerjasjóði en einnig hefur Alþingi styrkt íssjármælingar á suður-skriðjöklum Vatnajökuls, undanfarin ár.

MÆLINGAR OG ÚRVINNSLA

Sökum þess hve þessir jöklar eru ógreiðfærir voru einungis gerðar íssjármælingar í stökum punktum. Á hverjum mælistað voru sett út sendi- og móttökuloftnet með 30–80 m millibili og með því að mæla hversu lengi rafsegulbylgja er að berast frá sendiloftnetum

niður á jökulbotn og þaðan upp í móttökuloftnet má reikna út þykkt jökulsins miðja vegu milli loftnetanna. Alls voru gerðar 70 mælingar á Fjallsjökli, 31 mæling á Hrutárjökli og 34 á Kvíárjökli en auk þess voru gerðar 19 dýptarmælingar á Fjallsárlóni. Almennt voru 250 til 500 m á milli mælistaða.

Dreifni punktmælinga má sjá á 3. mynd og 4. mynd. Túlkun mælinga er ekki alltaf einhlít ef fleiri en eitt endurkast kemur fram og ekki ljóst hvert þeirra kemur frá jökulbotni. Þeir punktar þar sem einhlítar niðurstöður fengust eru sýndir með svörtum krossi. Þar sem greindust tvö eða fleiri endurköst var valin sú niðurstaða sem best féll að nálægum mælingum og því talin sú líklegasta. Þeir punktar eru sýndir með rauðum krossi. Af 3. mynd og 4. mynd má sjá að Fjallsjökull er mest 450 m þykkur og grefur sig allt að 180 m niður fyrir sjávarmál. Mesta þykkt Kvíárjökuls er röskir 350 m og hefur hann grafið nærri 100 m niður fyrir sjávarmál. Þykkt Hrutárjökuls er mest um 300 m en botn hans liggur lægst í um 10 m y.s.



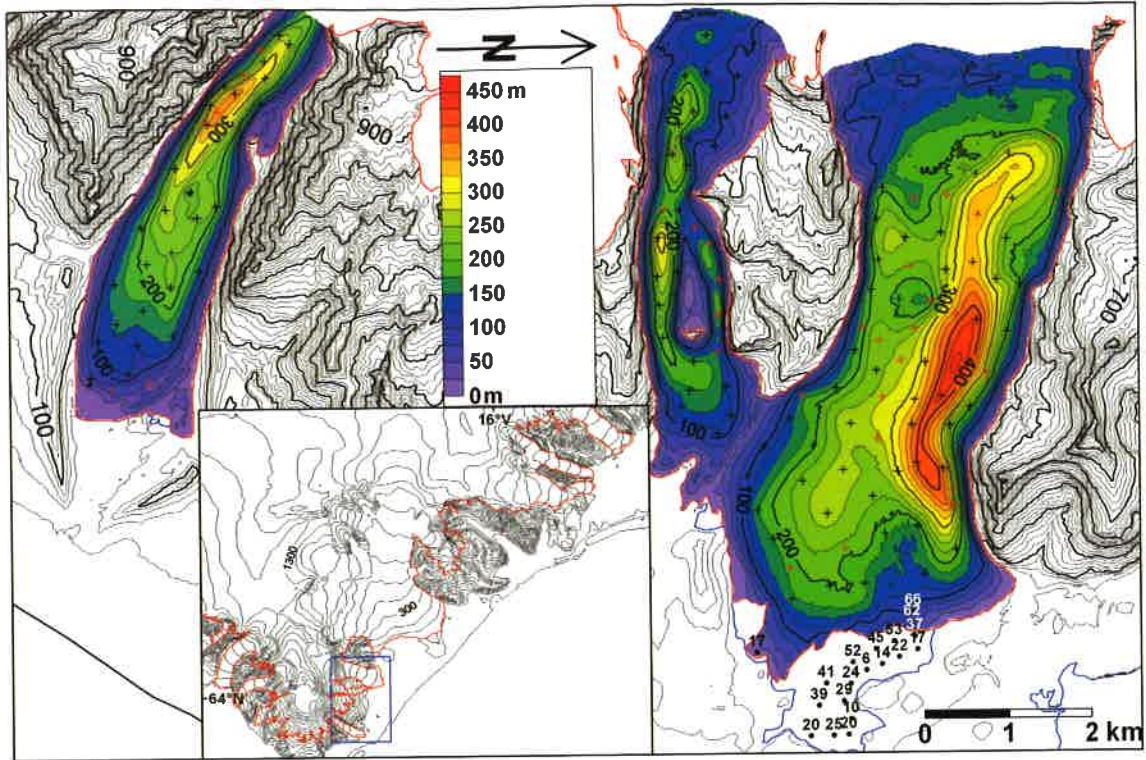
1. mynd. Kvíárjökull í ágúst 2006. – *Kvíárjökull in August 2006.* Ljósmynd. Eyjólfur Magnússon.



2. mynd. Öraefajökull úr austri og tveir skriðjökklar hans, Hrútár- (t.v.) og Fjallsjökull (t.h.) í ágúst 2006. Á milli þeirra er Ærfjall en hægra megin Breiðamerkurfjall. – *Two outlets of Öraefajökull, Hrútárjökull (left) and Fjallsjökull (right) in August 2006.* Ljósmynd. Eyjólfur Magnússon.

Við gerð botnkorts af jöklunum var leitast við að tengja botn og land utan jökuls sem best saman. Í því sjónarmiði var notað landhæðarlíkan Loftmynda ehf. og ofan á það var felld SPOT5 gervihnattamynd frá sumrinu 2002. Þar með var hægt að draga upp jökul- og lónjaðar frá þeim tíma og finna landhæð á jöðrunum. Út frá þessu og botnhæðum fengnum úr mælingum var handteiknað hæðarlínukort af jökulbotni. Við gerð botnkorts var einnig haft til hliðsjónar yfirborðs-

kort og gervihnattamyndin og stefna hæðarlína milli mælipunkta dregin þannig að það endurspeglaði mis-hæðir og sprungusvæði á yfirborði jökulsins. Hæðarlínur af teiknuðu korti voru því næst hnitsettar og út frá því reiknað stafrænt hæðarlíkan af botni jöklanna (4. mynd). Með því að draga síðan botnkort frá yfirborðskorti Loftmynda ehf. fékkst jökulþykkt árið 2003 (ártal korts Loftmynda ehf.), (3. mynd).

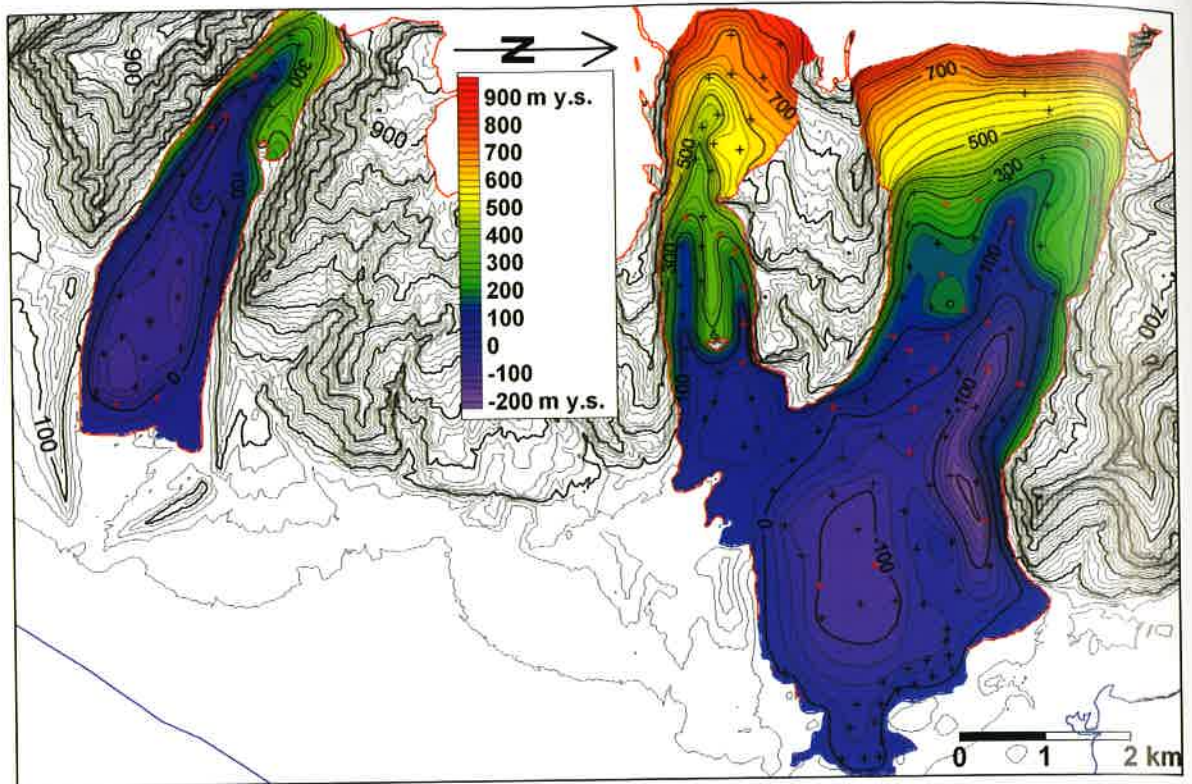


3. mynd. Þykkt Kvíárjökuls (syðst, þ.e. vinstra megin á mynd), Hrutárjökuls (í mið), Fjallsjökuls (nyrst) og dýpi Fjallsárlóns (gildi ofan punkta) túlkuð út frá íssjarmælingum. Í þeim punktum sem sýndir eru með svörtum krossi fengust einhlítar mæliniðurstöður. Í mælipunktum sem sýndir eru með rauðum krossi var túlkun ekki ótvíræð en með hliðsjón af nálægum punktum var líklegasta niðurstaðan notuð við gerð botns- (4. mynd) og þykktarlíkans. Jaðrar jökla (rauð lína) og lóna (blá lína) voru dregnir upp af SPOT5 gervihnattamynd frá 2002. Hæðarlínukort er frá Loftmyndum ehf. – *The thickness of Kvíárjökull, Hrutárjökull and Fjallsjökull and the depth of Fjallsárlón (values above black dots). Black crosses indicate unambiguous results but red ones indicate where multiple backscatter was observed and the most likely result used for deriving bedrock DEM (4. mynd) and thickness model.*

UMRÆÐA

Út frá botnkorti (4. og 5. mynd) voru stærðir Kvíár- og Fjallsárlóns áætlaðar án jöklanna. Gert var ráð fyrir að setupsöfnun í lónunum meðan jöklarnir hopa upp fyrir innri mörk lónanna væri hverfandi lítil miðað við heildarrúmmál þeirra (6. mynd). Þannig verður Fjallsárlón stærst tæpir 11 km² að flatarmáli og að meðaltali um 70 m djúpt en dýpst um 210 m. Áætluð hámarksstærð Kvíárlóns er rúmir 3 km². Það lón yrði áður en það færi að fyllast af seti að jafnaði um 60 m

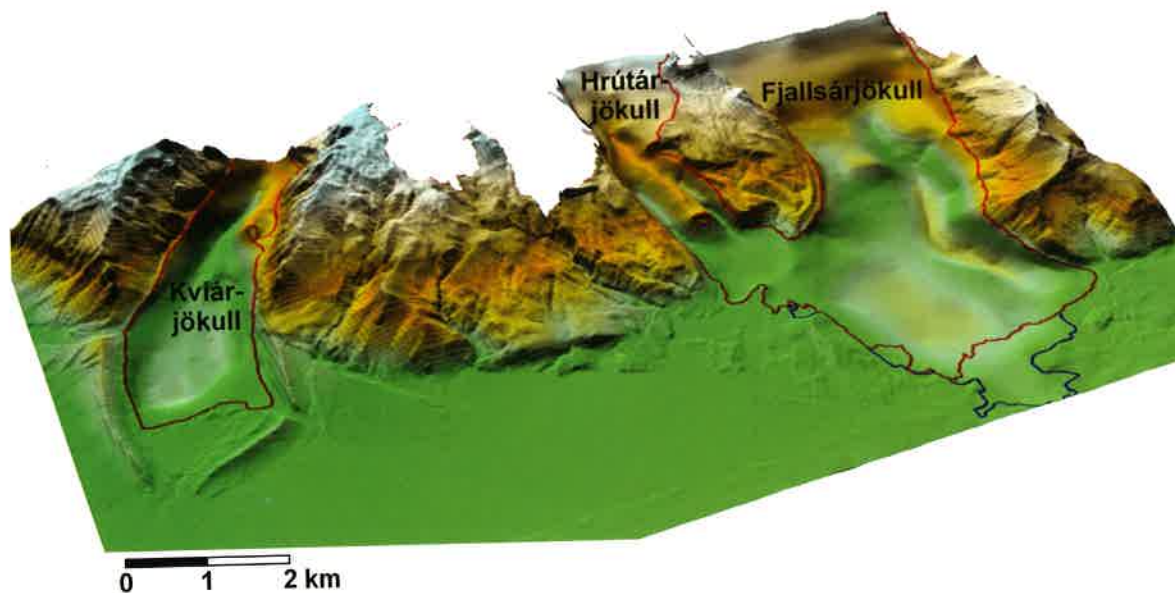
djúpt en dýpst um 130 m. Þó svo 6. mynd sýni lítið lón þar sem Hrutárjökull er nú, er útreiknað lón svo grunnt að líklega mun það aldrei myndast heldur fyllast af seti jafnóðum og jökullinn hörfar. Á 7. mynd sést landið í nágrenni Kvískerja eins og það gæti hafa verið í kringum landnám. Bratti ársléttunnar frá sjó að Kvískerjum hefur verið framlengdur upp að Ærfjalli og Breiðamerkurfjalli. Bratti Kálfafellsdals í Suðursveit (35 km austur) var síðan notaður til að framlengja ársléttuna inn dalina. Að gefnum þeim forsend-



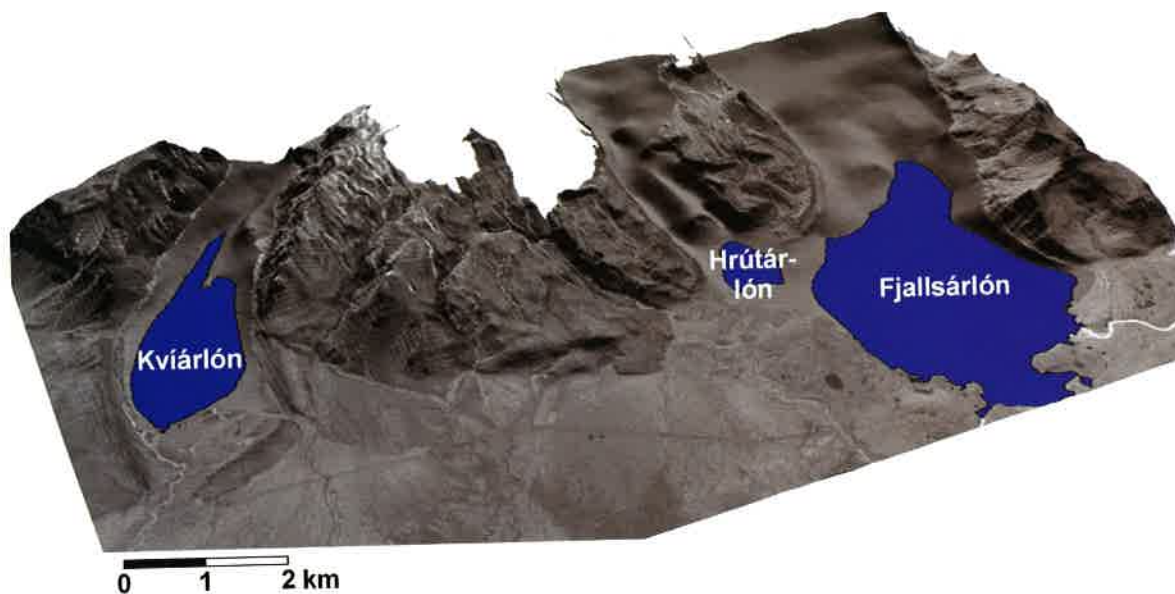
4. mynd. Jökul- og lónbotn undir Kvíárjökli (syðst), Hrutárjökli (í mið), og Fjallsjökli (nyrst). – Glacier and lagoon bed elevation of Kvíárjökull, Hrutárjökull and Fjallsjökull.

um að áður en jöklar tóku að vaxa á kuldaskiði eftir landnám (sem oft er nefnt Litla ísöld) hafi sporðarnir staðið í meira en 100 m hæð yfir sjó og þar fyrir neðan hafi verið samfelld árslétta, má áætla hversu miklu efni skriðjöklarnir ruddu burt á Litlu ísöld, með því að reikna mismun þess landslags og mælds botns (5. mynd). Samkvæmt því hafa Fjalls- og Hrutárjökull rofið $1.3 \pm 0.3 \text{ km}^3$ af lausu ár- og jökulseti, meðan rof Kvíárjökuls er um $0.25 \pm 0.06 \text{ km}^3$. Til samanburðar er samanlagt rúmmál Kambs, Kvíármýrar- og Kambsmýrarkambs (stóru jökulgarðanna framan við Kvíárjökul) $\sim 0.2 \text{ km}^3$. Efnið sem Kvíárjökull ruddi í burtu á Litlu ísöld er þó ekki nema að litlu leyti í Kömbunum þar sem elsti hluti þeirra er talinn um 2000 ára gamall (Black, 1990; Sigurður Þórarinnsson, 1956) og því má gera ráð fyrir að ár hafi borið mest af því til sjávar. Sé reiknað með fjögurra alda framrás jöklanna,

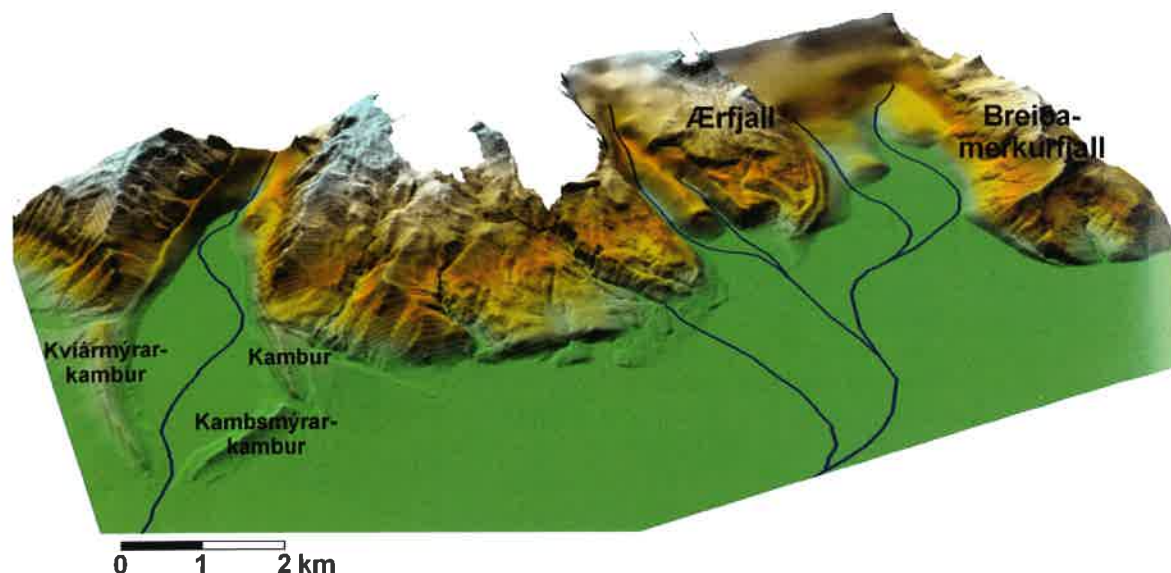
frá 1500–1900 (Sigurður Þórarinnsson, 1974) og rúmmáli setsins jafnað yfir rofsvæði þessara jökla niðri á láglendi (áætlaðri ársléttu) samsvarar það rofi upp á 15 m/öld fyrir Fjalls- og Hrutárjökul og 68 m/öld þar sem það er mest. Á Kvíárjökli reiknast rofið 12 m/öld að jafnaði og 36 m/öld þar sem það er mest. Þessar niðurstöður gefa nokkru hægara rof en fengist hefur fyrir Breiðamerkurjökul (Helgi Björnsson, 1996 og 1998) og Hoffellsjökul (Helgi Björnsson og Finnur Pálsson, 2004) á Litlu ísöld. Þeim skal þó tekið með þeim fyrirvara að lega Kvíár-, Hrutár- og Fjallsjökuls í upphafi upphafi Litlu ísaldar er óþekkt. Sé gert ráð fyrir að rofið hefjist þegar kólnaði við upphaf Mýraskeiðs síðara fyrir um 2500 árum (Þorleifur Einarsson, 1999) og engin setuppsöfnun hafi átt sér stað yfir sama tímabil fæst um 6-falt hægara rof að jafnaði yfir 2400 ár.



5. mynd. Jökulbotn og umhverfi Kvíar-, Hrútár- og Fjallsjökuls séð úr austsuðaustri. Rauðu og bláu línurnar sýna jökul- og lónjaðar frá 2002. Hæðarlíkan utan jökuls er frá Loftmyndum ehf. – *Glacier bed and surroundings seen from east-southeast.*



6. mynd. Nágrenni Kvískerja eftir að jökultungurnar hafa horfið og í stað þeirra komin lón. Ofan á hæðarlíkanið hefur verið lögð SPOT5-gervihnattamynd. – *The glacier outlets replaced by lagoons if the glaciers disappear in the future.*



7. mynd. Landslag í nágrenni Kvískerja eins og það gæti hafa verið í kringum landnám. Lega áa eftir ársléttum er ágískun höfunda. – *The study area as it might have appeared prior to the Little Ice Age.*

Þakkir

Við þökkum Kvískerjasjóði og Alþingi kærlega fyrir hafa gert þessa rannsókn mögulega með fjárstuðningi sínum. Loftmyndir ehf. fá bestu þakkir fyrir afnot af landhæðarlíkani. Einnig er SPOT Image í Frakklandi þakkað fyrir not af SPOT5-gervihnattamynd. Að mælingunum unnu auk Eyjólf, Haukur Elvar Hafsteinsson, Einar Ísfeld Steinarsson, Alexander Jarosch, Óliver Hilmarsson og Sigurlína Þóra Héðinsdóttir og fá þau kærar þakkir fyrir allt streðið. Að lokum skal þakkað sérstaklega Sigurði, Helga og Hálfadáni Björnssonum á Kvískerjum fyrir góð ráð um framkvæmd mælinga sem og ýmsan annan fróðleik um jöklana í nágrenni þeirra.

SUMMARY

Radio echo sounding on Kvíárjökull, Hrutárjökull and Fjallsjökull

Radio echo soundings were carried out on the outlets Kvíárjökull, Hrutárjökull and Fjallsjökull, in Vatnajökull, flowing east from Örfajökull, the highest mountain in Iceland. The results show that the largest one, Fjallsjökull, is up to 450 m thick and dug down

to 180 m below sea level. The neighbouring outlet Hrutárjökull has maximum thickness of 300 m and its bed reaches 10 m a.s.l. Kvíárjökull outlet is up to 350 m thick and its bed goes down to 100 m below sea level. At present these glaciers are retreating rapidly. Assuming that the retreat continues and the refilling of sediment deposit is negligible while these outlets are disappearing, the glacier lagoon, Fjallsárlón, in front of Fjallsjökull will reach maximum size of 11 km², with average depth of 70 m and maximum depth of 210 m. Another glacier lagoon will appear in front of Kvíárjökull, which will be 3 km² when it is largest, around 60 m deep on average and 130 m deep where it will be deepest. We estimate that during the Little Ice Age the outlet Kvíárjökull excavated 0.25±0.06 km³ of sediments, assuming that the glacier margin was above 100 m a.s.l. with a river delta below in the beginning of that period. The corresponding sediment erosion of Fjalls- and Hrutárjökull outlets during the same period is 1.3±0.3 km³. Assuming this excavation took place over four centuries, this equals an erosion rate of ~12 m/century averaged over the area affected by the Kvíárjökull outlet and ~15 m/century

for Fjalls- and Hrutárjökull outlets from the beginning of the 16th century to the end of the 19th.

The results give significantly lower erosion rates than reported for the neighbouring outlets, Breiðamerkurjökull (Björnsson, 1996, 1998) and Hoffellsjökull in south-eastern Vatnajökull (Björnsson and Pálsson, 2004), during the Little Ice Age.

HEIMILDIR

Helgi Björnsson 1996. Scales and rates of glacial sediment removal: a 20 km long and 300 m deep trench created beneath Breiðamerkurjökull during the Little Ice Age. *Annals of Glaciology* 22, 141–146.

Helgi Björnsson 1998. Frá Breiðumörk til jökulsands: mótun lands í þúsund ár. Í Gísli Sverrir Árnason, ritstj. *Kvískerjabók*. Sýslusafn Austur-Skaftafellssýslu, Höfn í Hornafirði, 164–176.

Helgi Björnsson og Finnur Pálsson 2004. Jöklar í Hornafirði. Í Helgi Björnsson, Egill Jónsson, Sveinn Runólfsson, ritstj. *Jöklaveröld*. Skrudda ehf., Reykjavík, 125–164.

Black, T.A. 1990. *The Holocene fluctuation of the Kvíárjökull glacier, southeastern Iceland*. Óbirt M.Sc. ritgerð, University of Colorado.

Sigurður Þórarinnsson 1956. On the Variations of Svínafellsjökull, Skaftafellsjökull and Kvíárjökull in Örnefi. *Jökull* 6, 1–15.

Sigurður Þórarinnsson 1974. Saga lands og lýðs í ellefu aldir. Í Sigurður Línadal, ritstj. *Saga Íslands I*. Hið íslenska bókmenntafélag, Reykjavík, 29–97.

Þorleifur Einarsson 1999. *Myndun og mótun lands - Jarðfræði* (fjórða útgáfa). Mál og menning, Rvk., 301 bls.



Íssjármælingar á sporði Kvíárjökuls. – *Radio-echo sounding measurements at the snout of Kvíárjökull*. Ljósmynd. / Photo. Eyjólfur Magnússon.