

Afkoma og hreyfing Breiðamerkurjökuls og afrennsli leysingavatns til Jökulsárlóns á Breiðamerkursandi

Greinargerð til Vegagerðarinnar vegna styrkumsóknar til verkefnisins: Afkoma og hreyfing Breiðamerkurjökuls og afrennsli leysingavatns til Jökulsárlóns á Breiðamerkursandi

Frá: Jöklahópi Jarðvísindastofnunar Háskólans: Finnur Pálsson, Eyjólfur Magnússon, Alexander Jarosch, Guðfinna Aðalgeirsdóttir, Sverrir Guðmundsson, Helgi Björnsson

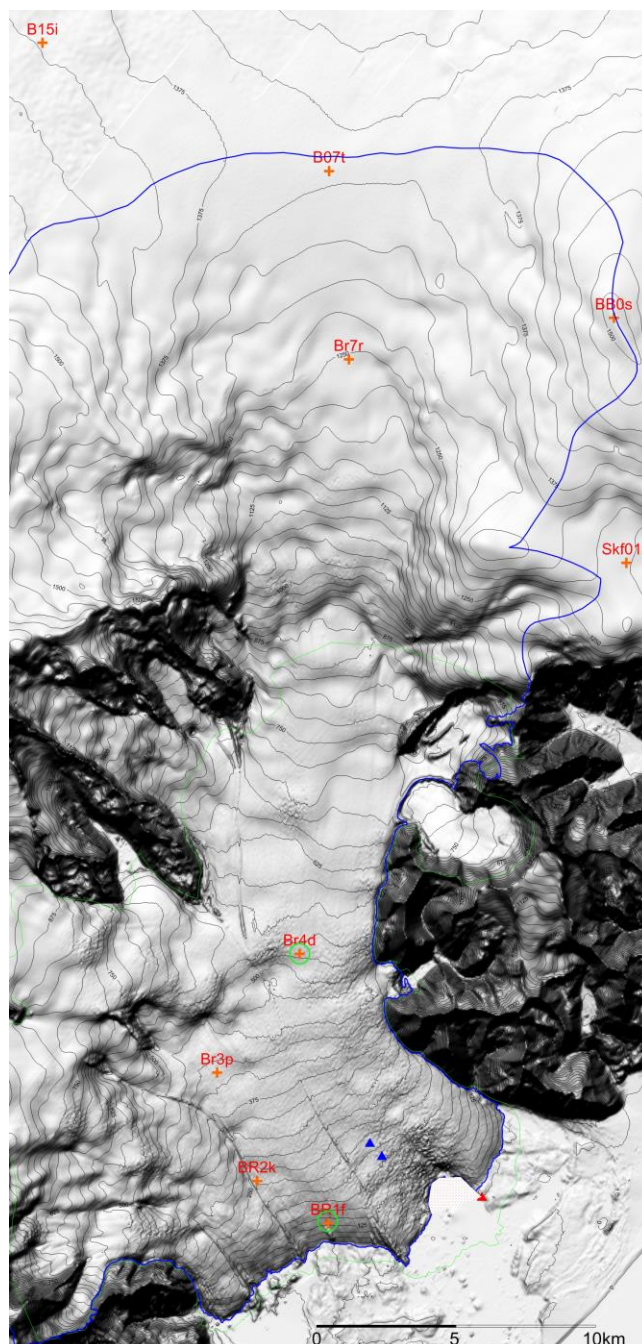
Jöklahópur Jarðvísindastofnunar hefur í ártugi aflað gagna um Breiðmerkurjökul og Jökulsárlón á Breiðamerkursandi, lengst af í nánu samstarfi við Vegagerðina.

Botn og yfirborð jökulsins voru kortlögð 1991 með íssjármælingum, en mæling afkomu og rekstur veðurstöða hófst árið 1996. Nokkur síðustu ár hefur rannsóknasjóður Vegagerðarinnar styrkt Jöklahóp til reksturs veðurstöðva og afkomumælinganna.

Jökulárið 2013-14 var afkoma Breiðamerkurjökuls mæld á 7 mælistöðvum, og fleiri mælistaðir á Vatnajökla nýtast til að skorða afkomu hans (1. mynd). Unnið er að mælingum á þrem efstu mælistöðvum í sérstökum leiðangri til afkomumælinga á öllum Vatnajökli í maíbyrjun og byrjun október, en stuðningur Vegagerðar er nýttur til mælinga á stöðvum BR1, BR2, BR3 og BR4. Sjálfvirkar veðurstöðvar eru í rekstri á tveimur stöðvum, Br1 og Br4. Þar er safnað gögnum sem nýtast til að meta orku sem berst að yfirborði jökuls og bræðir ís og snjó.

Einnig er fylgst með yfirborðshreyfingum jökulsins, einkum austasta arms hans sem skriður til Jökulsárlóns. Nokkrum km ofan við jaðarinn sem kelfir í lónið er samfelld mæling hreyfingar með GPS tækjum (með landmælinga nákvæmni). Staðsetning landmælinga GPS tækjanna er sýnd með bláum þríhyrningum á myndinni hér til hliðar. Einnig hefur verið aflað margskonar gervihnattagagna sem nýtast til að meta yfirborðshreyfingu alls flatarins yfir tiltekin tímabil (frá nokkrum dögum til nokkurra mánaða).

Um tveggja ára skeið hefur Jöklahópur rekið myndavél sem tekur háupplausnarljósmyndir af kelfandi hluta jökulsins.



1. mynd. Afkomumælistaðir (+), veðurstöðvar (O), GPS stöðvar (Δ) og myndavél (Δ) á og við Breiðamerkurjökul. Ísaskil Breiðamerkurjökuls sýnd með blárri línu.

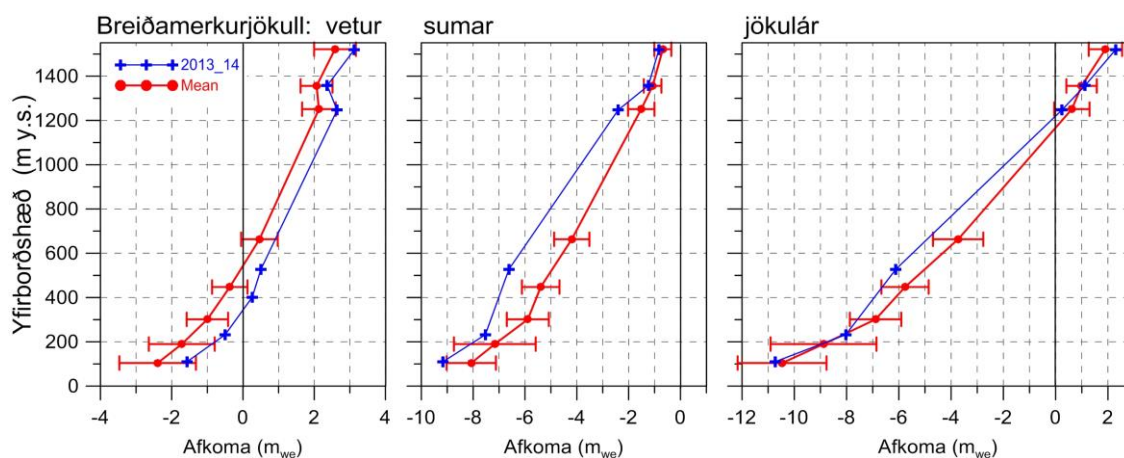
Myndaraðirnar nýtast til að sjá kelfingaraburði og ætlunin er að þróa aðferðir til að meta ísmagn sem hver atburður skilar (myndaraðir má sjá hér:

https://notendur.hi.is/~eyjolfm/Breidamerkurj_time_lapse_video.html). Einnig hófst á árinu verkefni um að nota flygildi með myndavél verið nýtt til að afla gagna um breytingar á hæð og legu jökuljaðarins. Þessi tvö síðast nefndu verkefni hafa haft stuðning af mælingaferðum á og að jöklinum til afkomumælinga og viðhalds veðurstöðvanna.

Hér er að aftan er gerð grein fyrir afkomumælingum, afrennsli til Jökulsárlóns og veðurathugunum. Eyjólfur Magnússon sem unnið hefur að rannsóknum á hreyfingu jökulsins, flutti erindi um þær á árlegri ráðstefnu American Geoscience Union í San Fransisco í desember 2013 og á ráðstefnu International Glaciological Society í Finnlandi í nóvember 2013. Alexander Jarosch vinnur að gagnaöflun með flygildi og túlkun þeirra gagna og kynnti niðurstöður á flutti erindi um þær á árlegri ráðstefnu American Geoscience Union í San Fransisco í desember 2014 og víðar. MS nemandi hans Tayo van Boeckel vinnur að meistaraferfni um vensl botnskriðs og vatnsþrýstings á Breiðamerkurjökli, en í því verkefni nýtir hann gögn frá veðurstöðvunum, GPS tækjunum, afkomumælingarnar, um lögun botnsins og nýleg kort afyfirborði jökulsins sem jöklahópur hefur aflað.

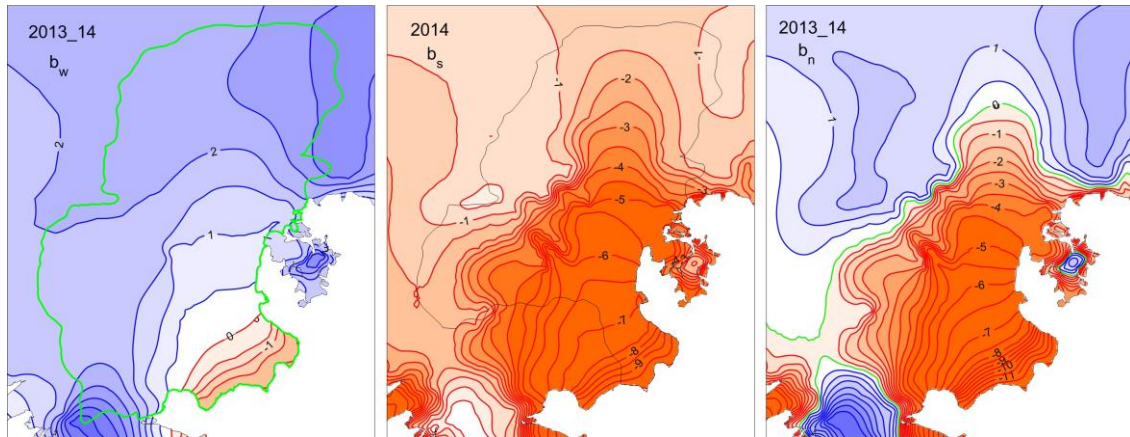
Niðurstöður afkomumælinga 2013-14.

Þegar gögnum hefur verið safnað um afkomu (2. mynd) eru unnin stafræn kort vetrar-, sumar og ársafkomu alls Vatnajökuls. Flatartegur yfir safnsvæði jökulsins skila afkomu hans og einstakra skriðjökla (3. mynd) og á sama hátt (tegur yfir vatnasvið) fæst heildarafrennsli leysingavatns til Jökulsárlóns (5. mynd). Breytileiki afkomu eftir mælisniði er sýndur á 2. mynd.



2. mynd. Breytileiki afkomu með hæð á Breiðamerkurjökli jökulárið 2013-14 og meðaltal allra ára (flest ár frá 1995-96) sem afkoma hefur verið mæld (afkoma í m vatnsjafngildi og hæð (y-ás) í m yfir sjó). Þverstrikin sýna staðalfrávik mæliraðar í mælipunktum.

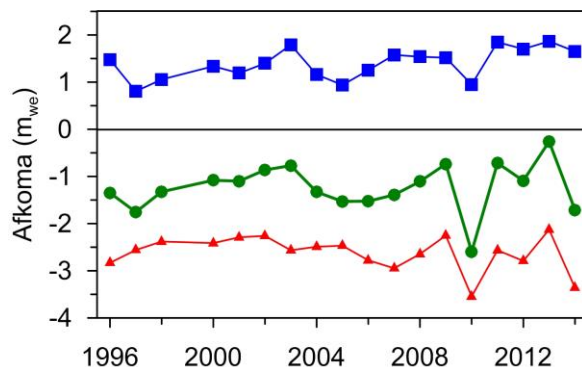
Haustið 2013 var heldur kaldara en verið hefur síðasta áratug; október var frekar þurr en úrkoma í nóvember yfir meðallagi. Vetrarmánuðirnir desember til mars voru hlýrri en að meðaltali, Óvenju lítil úrkoma um var suðvestanvert landið en mikil úrkoma norðan og austanlands í þrálátum austan og norðaustan áttum. Við þessar aðstæður safnast mikill snjór á suðaustur Vatnajökul, eins greinilegt er á mynd 2., en vetrarafkoma er um einu staðalfrávik ofan meðallags í öllum mælistöðvum. Sumarið 2014 var óvenjulega hlítt á landinu, en votviðrasamt á suður og vesturlandi í júní og júlí. Könnun daglegra MODIS gerfitunglamynda sýnir að bjartir dagar á Vatnajökli voru ~6 í júní, engir fyrri hluta júlí en 3 seinni hluta hans en í ágúst voru bjartir sólríkir dagar ~10. September var hlýr og veruleg jöklaleysing alveg til loka hans.



3. mynd. Dreifing vetrar- (vinstri) sumar- (miðja) og ársafkomu (hægri) á Breiðamerkurjökli 2013-13 (afkoma í m vatnsjafngildi). Ísasvið Breiðamerkurjökuls er sýnt með grænni línu (vinstri rammi) og vatnasvið Jökulsárlóns á Breiðamerkursandi með svartri línu (miðju rammi).

Vetrarleysing neðst á jöklinum var mun minni en að jafnaði. Vetrarafkoma var 20% umfram meðallag. Þó sumarið hafi ekki verið sólríkt og snjór óvanalega mikill leysti drjúgt í hlýjum vindi, leysing var 30% umfram meðallag. Ársafkoman var verulega neikvæð (40% umfram meðallag); hún hefur verið neikvæð frá því mælingar hófust 1995-96 (4. mynd).

Auk massataps vegna afkomu við yfirborð tapast ís vegna kelfingar í Jökulsárlón (ís sem brotnar af sporðinum og bráðnar í lóninu). Jöklahópur hefur í eldri verkum metið að kelfing hafi verið fjórðungur úr km^3 um miðjan fyrsta áratug aldarinnar (sem samsvarar 10 hluta meðal sumarleysingar). Sterkar vísbendingar eru um að kelfing hafi aukist á síðasta áratug, niðurstöður úr vinnu fransks nemenda sem var hjá jöklahópi sumarið 2009 og vann að mati kelfingar út frá ýmsum gervitunglagögnum var að kelfing árið 2007 væri $\sim 0.25 \text{ km}^3$ en $\sim 0.7 \text{ km}^3$ árið 2009 (það ár var einstakt að því leiti að lónið var meira og minna þakið ísjökum langtímum saman). Á árinu 2015 verður áfram unnið að nákvæmara mati á kelfingu síðasta áratuginn, en tími og peningur dugðu ekki til þetta vinnuár.



4. mynd. Afkoma Breiðamerkurjökuls metin eftir afkomumælingum *vetur*, *sumar* og *jökulár* (ekki er tekið tillit til kelfingar).

Samandregnar upplýsingar um afkomu Breiðamerkurjökuls jökulárið 2012-13:

Flatarmál = $\sim 938 \text{ km}^2$ (þetta er flatarmál árið 2010)

$B_w = 1.55 \text{ km}^3$; $b_w = 1.65 \text{ m}$

$B_s = -3.15 \text{ km}^3$; $b_s = -3.36 \text{ m}$

$B_n = -1.60 \text{ km}^3$; $b_n = -1.71 \text{ m}$

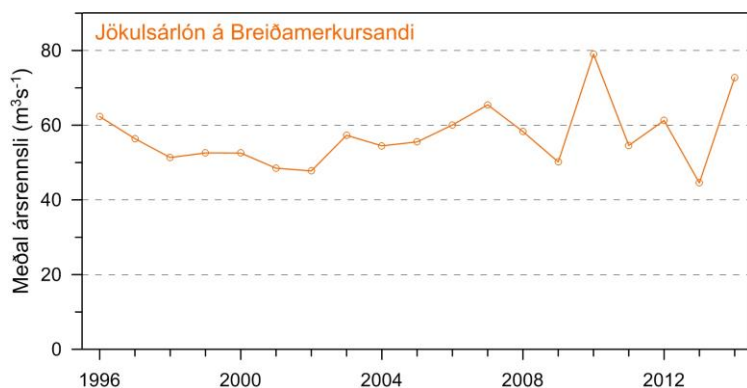
ELA (hæð jafnvægislínu) = 1215 m (á mælisniði)

AAR (hlutfall safnsvæðis af heildarflatarmáli) = 44 %

(B er rúmmál afkomu, b er þykkt afkomu jafndreift á flötinn, bæði gefin sem vatnsjafngildi, w , s , n standa fyrir *vetur*, *sumar* og *ár*)

Afrennsli til Jökulsárlóns

Meðalársafrennsli til Jökulsárlóns vegna yfirborðsleysingar er sýnt á 5. mynd. Meðlafrennsli til lónsins 1996 til 2014 er nærri $60 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Leysing á miðju sumri ræðst að stærstum hluta af sólgeislun, þannig má nálgá dreifingu leysingar með tíma gróflega með sólarhæð; þ.e. gera ráð fyrir að lítil sem engin leysing sé á tímabilinu nóvember til febrúar, en nota sínuslögun það sem eftir er árs með hámarki á miðju sumri. Ef þetta er gert fæst hámarksafrennsli í meðalári nálægt $200 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ um miðjan júlí. Raunverulegur toppur er líklega mun hærri, ekki er óvarlegt að gera ráð fyrir að í ofsaleysingu sé topprennsli 2-3 sinnum meira eða 400-600 m^3s^{-1} ; þetta má vinna miklu betur með reiknilíkönunum sem byggja þeirri röð veðurgagna sem til eru.



5. mynd. Meðlafrennsli yfirborðsleysingarvatns til Jökulsárlóns 1996 til 2014.

Ef gert er ráð fyrir að bráðnun íss í lóninu sé nálægt 0.5 km^3 af ís á ári eru það nærri $16 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ að meðaltali, en mest bráðnar yfir sumarmánuðina (mjög lítið í nóvember til febrúar/mars), þannig gæti tillegg þessa verið nálægt $50 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ yfir sumartímann.

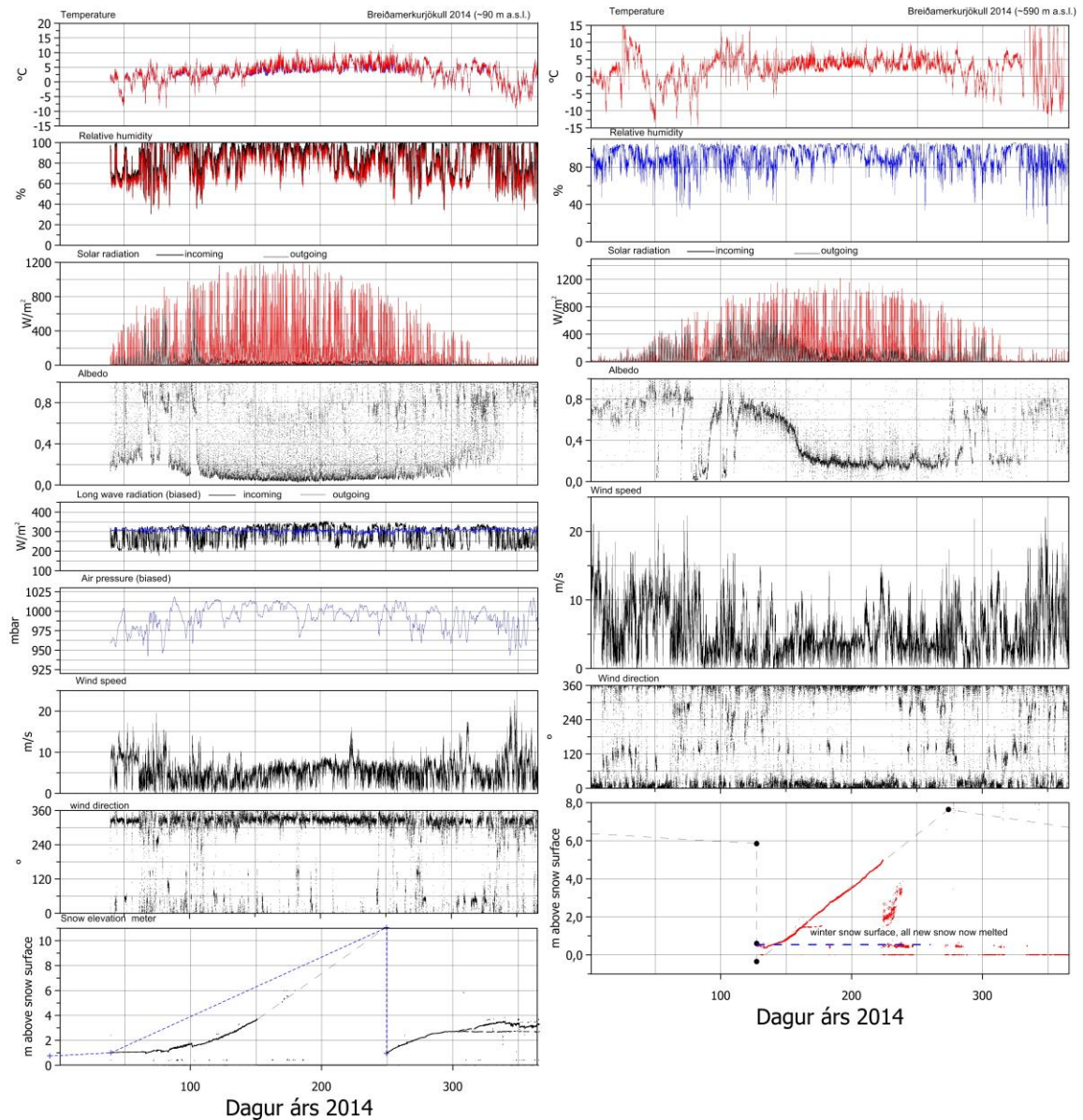
Breiðmerkurjökull og Jökulsárlón eru á úrkomusamasta svæði Íslands. Regnvatn sem fellur á vatnasvið Jökulsárlóns á jökli að sumarlagi skilar sér allt sem afrennsli til lónsins með breytilegri seinkun, nær engri seinkun fyrir það sem fellur á sporðinn en ~sólarhringur fyrir það sem fellur efst á safnsvæðið. Metúrkoma var á þessu svæði í október 1979, sólarhringsúrkoma á Kvískerjum mældist 242.7 mm, einnig í febrúar 1968 228.4 mm í Kvískerjum og samtímis 233.9 mm á Vagnstöðum í Suðursveit. Ef slík úrkoma félli á vatnasvið Jökulsárlóns ($\sim 740 \text{ km}^2$) og skilaði sér á einum sólarhring í lónið væri meðalrennsli ($0.002 \text{ m} \cdot 740.000.000 \text{ m}^2 / (3600 \cdot 24\text{s}) = 1720 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (vatnsmagnið myndi hækka yfirborð lónsins um 6 m ef ekkert rynni burt). Atburður af þessu tagi er ekki líklegur að sumarlagi en ekki ósennilegt að helmingur þessa sé ekki útilokað, það þarf að kanna betur í úrkomugögnum Veðurstofu.

Að minnsta kosti þrjú jökulstífluð lón geta hlaupið til Jökulsárlóns undir Breiðmerkurjökul. Vel er þekkt lón í Veðurárdal (um 2 km^2), lítið lón er við enda Skálaljarga í Esjufjöllum, og lón sem fór að myndast rétt fyrir aldamót í Fossadal milli Skálaljarga og Vesturbjarga stækkar enn (nú um 1 km^2); á gervitunglamyndum sést að úr því hleypur. Í samanburði við Jökulsárlón eru öll þessi lón mjög lítil; þó rennslistoppur í hlaupum frá þeim gæti orðið stór (e.t.v. $100\text{-}1000 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$) er hann skammær og vatnsmagnið það lítið að ekki myndi hækka í Jökulsárlóni nema um nokkra tugi cm. (hlaup úr lóni sem er 1 km^2 og 25 m djúpt myndi hækka yfirborð Jökulsárlóns um 1 m).

Ef saman færu í röð sólarhringur með ofsarigningu og sólarhringur með ofsaleysingu er ekki ólíklegt að innrennsli til Jökulsárlóns gæti verið $1000\text{-}1500 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ í einn til tvo sólarhringa. Áfram verður unnið að betra mati á þessum stærðum; gera þarf reiknilíkön sem nýta gagnasafnið sem til er.

Veðurathuganir

Til að auka skilning á samhengi veðurs og jöklabreytinga hefur veðurgagna á jökli verið aflað. Á Breiðamerkurjökli eru nú tvær veðurstöðvar í rekstri allt árið (í ~130 m og um 550 hæð). Þá er einnig rekin að sumarlagi veðurstöð í um 1150m hæð á Hoffellsjökli, en leysing og veður þar er mjög svipuð og á Breiðamerkurjökli. Neðri veðurstöðin hefur verið í rekstri í mörg ár; undir árslok 2012 var ljóst að alvarlegar bilanir væru komnar upp þar. Stöðin var því flutt til Reykjavíkur í byrjun árs og búnaður yfirfarinn og endurnýjaður eftir þörfum. Efri stöðin heimsótt í maí og hún flutt til um nokkur hundruð metra til að tryggja betra símasamband (gögn eru lesin af stöðvunum með GSM mótöldum). Þessi gögn ásamt veðurgögnum annarra ára verða nýtt í verkefninu.



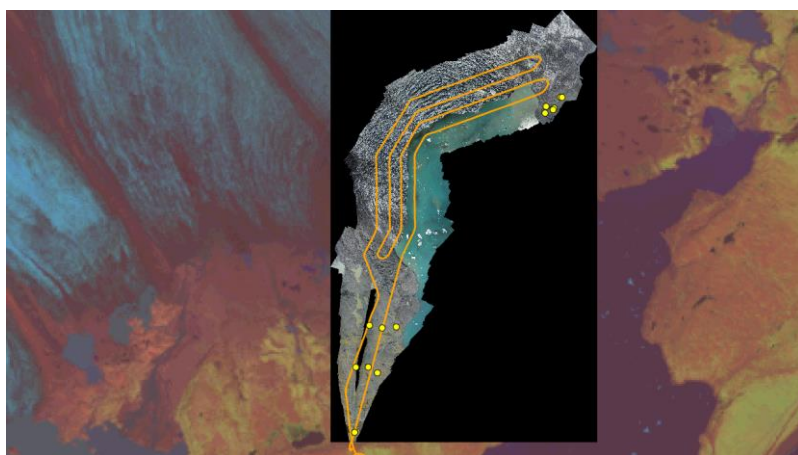
6. mynd. Helstu veðurþættir á veðurstöðvunum á Breiðamerkurjökli 2014.

Niðurstöður afkomumælinga 2013-14.

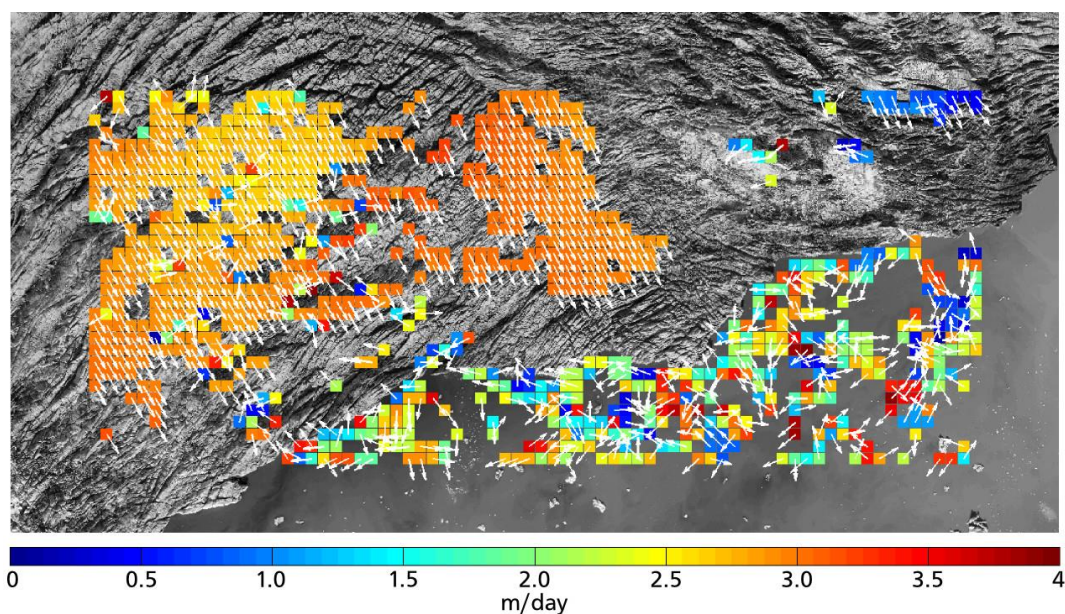
Á árinu hófst verkefni um að nota flygildi með myndavél verið til að afla gagna um breytingar á hæð og legu jökuljaðarins í Jökulsárlóni. Þetta verkefni hefur haft stuðning af mælingaferðum á og að jöklinum til afkomumælinga og viðhalds veðurstöðvanna. Alexander Jarosch vinnur að þróun mælitækninnar og gagnaöfluninni með flygildi og túlkun þeirra gagna. Hann hefur kynnt fyrstu niðurstöður í erindum á árlegri ráðstefnu American Geoscience Union í San Fransisco í desember 2014 og víðar. Flygildið sem getur flogið um 40 km vegalengd og fylgt fyrirfram ákveðnum flugferli ber ljósmyndavél með góðri upplausn og linsu. Myndir eru teknar í sífellu, með mikill skörun og nýtast þannig til gerðar landhæðarlíkans með upplausn á desimetra skala. Nákvæmni líkansins er enn bætt með því að kennileiti (málaðir steinar) voru mældir inn með nákvæmum GPS tækjum. Þessi kennileiti nýtur hugbúnaðurinn við gerð hæðarlíkansins.

Augljóst er að á næstunni verður hægt að nýta þessa tækni ásamt öðrum mælingum til að fá mun nákvæmara mati á kelfingarhraða í Jökulsárlóni en áður.

Til gamans eru hér tvær myndir úr fyrilestrum Alexanders: sú fyrri sýnir legu fluglína flygildisins (flogið var tvisvar haustið 2014) en sú seinni skriðhraða jökulsporðsins metinn eftir flugmyndunum.



7. mynd. Fluglínur flygildis yfir kelfandi sporð Breiðamerkurjökuls haustið 2014.



8. mynd. Skriðhraði jökultungunnar í Breiðamerkurlóni, metinn með samanburði tveggja hæðarlíkana með um mánaðar millibili sem gerð voru eftir flugmyndum úr flygildi. Skriðhraði tungunnar er víða nærri 2-3 m á dag.

Kostnaður á árinu 2014:

Styrkur til þessa verkefnis af tilraunafé Vegagerðar var 1000 þkr.

Rekstrarkostnaður mælistöðva (viðgerð veðurstöðva, verkstæðisvinna, varahlutir, rafgeymar ofl.) var 220 þkr., kostnaður vegna mælileiðangra (4 ferðir, sumar tengdar öðrum verkum til að halda kostnaði í lágmarki) reyndist 750 þkr., laun starfsmanns við frumúrvinnslu og túlkun gagna (1.5 mannmán) 700 þkr., og umsjónargjald til yfirstjórnar Raunvísindastofnunar 12.5% eða 163þkr. Samtals eru þetta 1795 þkr.

27. apríl 2015. f.h. Jöklahóps Jarðvísindastofnunar Háskólans;
Finnur Pálsson verkefnastjóri