

Greinargerð til Vegagerðarinnar vegna styrks til verkefnisins:

**Afkoma og hreyfing Breiðamerkurjökuls og afrennsli
leysingavatns til Jökulsárlóns á Breiðamerkursandi 2018**



Jöklahópur Jarðvísindastofnunar Háskólans

mars 2019

(Umsjón: Finnur Pálsson, verkefnastjóri í jöklarannsóknum; fp@hi.is)

Inngangur

Jöklahópur Jarðvísindastofnunar hefur í ártugi aflað gagna um Breiðamerkurjökul, Jökulsárlón og Jökulsá á Breiðamerkursandi, lengst af í nánu samstarfi við Vegagerðina. Hér er lýst helstu niðurstöðum rannsókna ársins 2018.

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

Botn og yfirborð jökulsins voru kortlögð með íssjármælingum 1991 að beiðni Vegagerðarinnar vegna hugmynda um endurnýjun brúa yfir bæði Jökulsá og Stemma (sjá. skýrslu til Vegagerðarinnar frá 1992).

Mæling afkomu og rekstur veðurstöða hófst árið 1996 í tengslum við fjölpjódlegt verkefni (TEMBA) sem styrkt var af Evrópusambandinu. Um marga ára skeið hefur rannsóknasjóður Vegagerðarinnar styrkt Jöklahóp JH til reksturs veðurstöðva og afkomumælinganna.

Afkoma Breiðamerkurjökuls er mæld á 7 mælistöðvum og fleiri mælistaðir á Vatnajökli nýtast til að skorða afkomu hans (1. mynd). Unnið er að mælingum á þrem efstu mælistöðvunum í sérstökum leiðöngrum til afkomumælinga á öllum Vatnajökli í maí og október, en stuðningur Vegagerðar er nýttur til mælinga á stöðvum BR1, BR2, BR3 og BR4.

Sjálfvirkar veðurstöðvar hafa síðustu 6 ár verið reknar allt árið á tveimur stöðum, Br1, Br4 en að sumarlagi einnig á mælistað Br7 síðustu þrjú sumur. Á veðurstöðvunum er safnað gögnum sem nýtast til að meta orku sem berst að yfirborði jökuls og bræðir ís og snjó. Auk þess er lofthiti og hitastig mælt á við Jökulsárlón þar sem myndavél var í rekstri (sjá hér á eftir).

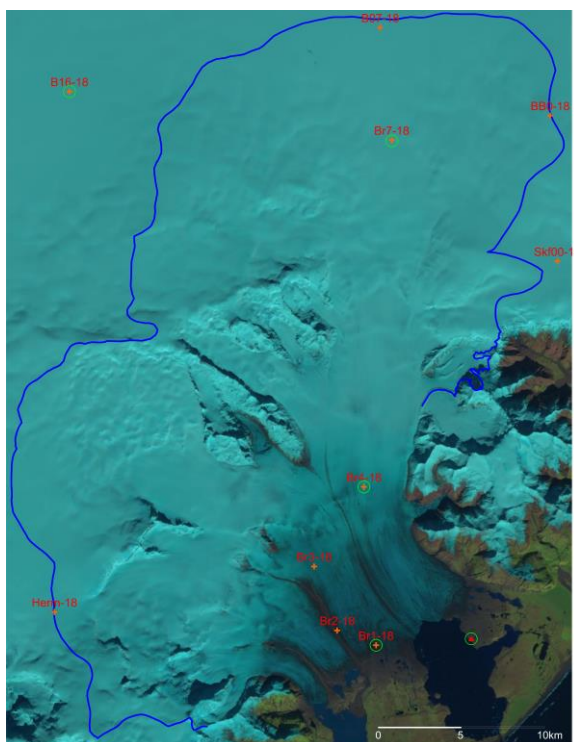
Staðsetning mælistika eða mælivíra á afkomumælistöðum er mæld með landmælinga GPS tækjum og meðalhraði milli mælinga reiknaður útfrá færslu þeirra. Á síðasta áratug var í nokkur missiri mældur skriðhraði jökulsins í átt til Jökulsárlóns með samfelldum GPS mælingum. Slíkum mælingum var ekki viðhaldið þar sem rekstur stöðvanna var mjög erfður í framkvæmd vegna sprungins jökulyfirborðs.

Þá hefur síðustu ár verið aflað margskonar gervihnattagagna sem nýtast til að meta legu jaðars og yfirborðshreyfingu stórra svæða yfir tiltekin tímabil (frá nokkrum dögum til nokkurra mánaða) og til gerðar hæðarlíkana jökulsins.

Um tveggja ára skeið rak Jöklahópur (Eyjólfur Magnússon) myndavél sem tók háupplausnarljósmyndir af kelfandi hluta jökulsins á 5 mínútna fresti. Myndaraðirnar nýtast til að sjá kelfingaraburði (myndaraðir má sjá hér:

https://notendur.hi.is/~eyjolfm/Breiðamerkurj_time_lapse_video.html).

Árið 2014 hófst verkefni þar sem flygildi með myndavél var notað til að afla gagna um breytingar á hæð og legu jökuljaðarsins og hreyfingu kelfandi hluta jökulsins. Gagnaöflun gekk vel árið 2014 og á árinu 2015 var unnið að frekari þróun mælitækni og búnaðar og hugbúnaði til að vinna hæðarlíkön og hraðasvið eftir þessum gögnum.



1. mynd. Afkomumælistaðir (+), veðurstöðvar (O), GPS stöðvar (Δ) og myndavél (Δ) á og við Breiðamerkurjökul. Ísaskil Breiðamerkurjökuls sýnd með blárrí línu. (í bakgrunni er Landsat 8 gervihnattamynd frá 26. september 2018).

Tvö síðastnefndu verkefni hafa haft stuðning af mælingaferðum á og að jöklinum til afkomumælinga og viðhalds veðurstöðvanna.

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 sem vann að gagnaöflun með flygildi og túlkun þeirra gagna, kynnti niðurstöður í erindi um þær á árlegri ráðstefnu American Geoscience Union í San Fransisco í desember 2014 og víðar. MS nemandi hans Tayo van Boeckel vann meistaraverkefni um vensl botnskriðs og vatnsprýstings á Breiðamerkurjökli, en í því verkefni nýtti hann gögn frá veðurstöðvunum, GPS tækjunum, afkomumælingarnar, um lögun botnsins og nýleg kort af yfirborði jökulsins sem jöklahópur hefur aflað. Ritgerð hans um þetta efni má nálgast hér:

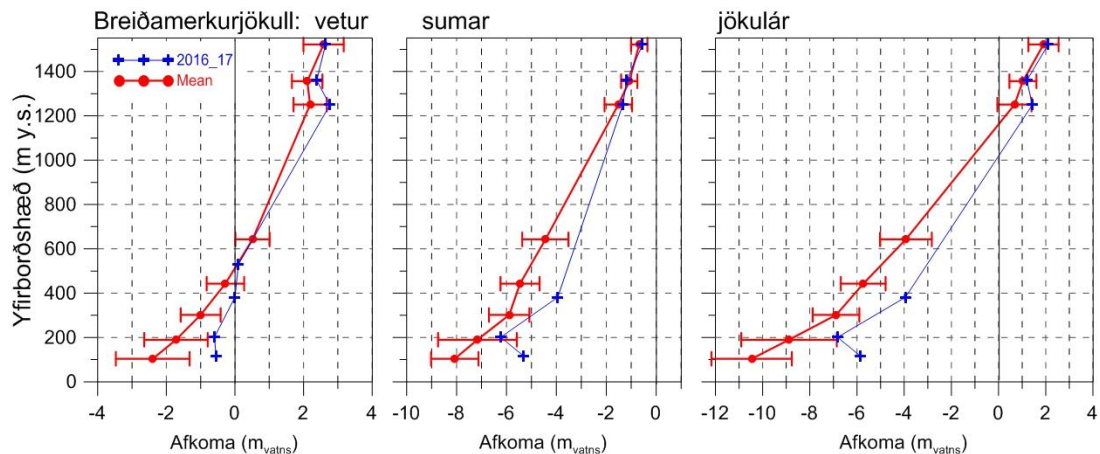
(<http://skemman.is/item/view/1946/23007;jsessionid=7E330A905BA14EFC419157BE3ADF CF2E>).

Árið 2017 kom úr grein í alþjóðlegu tímariti um þar sem rakin er þróun Breiðamerkurjökuls: Snævarr Guðmundsson, Helgi Björnsson, Finnur Pálsson, 2017. Changes of Breiðamerkurjökull glacier, SE-Iceland, from its late nineteenth century maximum to the present. Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography, (4), 338-352 201710.1080/04353676.2017.1355216, <http://dx.doi.org/10.1080/04353676.2017.1355216>

Hér að aftan er gerð grein fyrir afkomumælingum, afrennsli leysingavatns af jökli til Jökulsárlóns og veðurathugunum sem unnið var að á árinu 2018. Sumt af texta greinargerðarinnar er samhljóða greinargerð síðasta árs, til að halda samfellu, en hér er fyrst og fremst gerð grein fyrir gagnaöflun á síðasta árs.



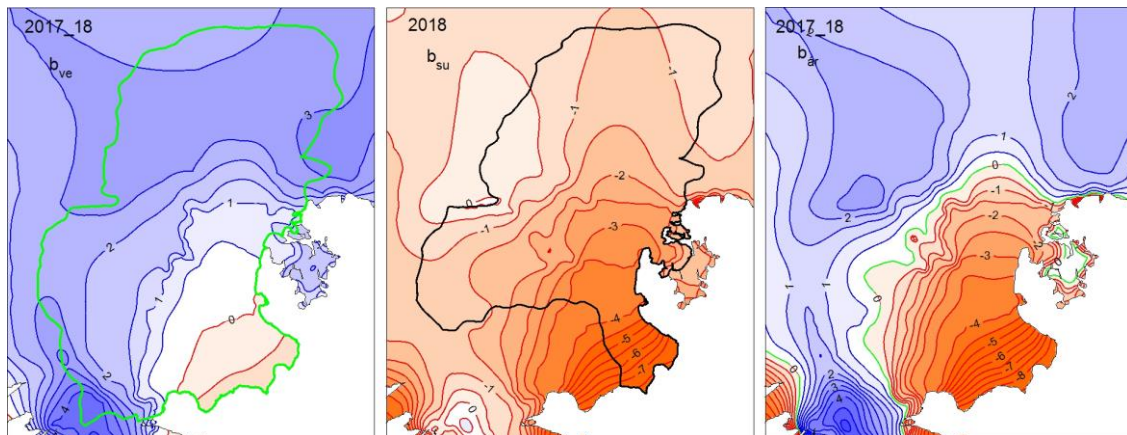
Niðurstöður afkomumælinga 2017-18.



2. mynd. Breytileiki afkomu með hæð á Breiðamerkurjökli jökulárið 2017-18 og meðaltal allra ára (flestar ár frá 1995-96) sem afkoma hefur verið mæld (afkoma í m vatnsígildis og hæð mælistaða í m yfir sjó). Pverstrikin sýna staðalfrávik mæliraðar í mælistöðvunum.

Farnar voru nokkrar ferðir til afkomumælinga og viðhalds veðurstöðva jökulárið 2017-18, flestar mátti tengja öðrum verkum til að lágmarka kostnað þessa verkefnis. Aðalmæliferðin var farin 23.-24. mars 2018 á neðri hluta jökulsins (leysingasvæði). Lesið var af eldri afkomuvírum og boraðar holur (~10-15 m djúpar) með gufubor og komið fyrir nýjum afkomumælivírum í Br2 og Br3 en $\frac{3}{4}$ rorum fyrir snjóhæðarmæla við veðurstöðvarnar í Br4 og Br1. Vetrarmælingar á efri hlutanum (safnsvæði) voru gerðar í byrjun maí. Þá var einnig farið í veðurstöðina í Br4 og hugað að henni. Veðurstöð við Br7 var sett upp 9. maí. Haustmælingar á safnsvæði voru gerðar 9. október. Á leysingasvæðinu var mælt í Br1, Br2 og Br3 í ágúst og þá einnig lagaður snjóhæðarmælir í Br1 sem var við það að falla. Haustmæling afkomu í Br1 fékkst útfrá sjálfvirkum snjóhæðarmælingum í veðurstöðinni en viðbótarleysing frá ágúst til loka september í Br3 og Br2 metin útfrá samtímabreytingunni í Br1. Í október 2018 og aftur í marsbyrjun 2019 var reynt að komast í Br4, en tókst ekki. Þarna er mjög sprungið og hættlegt að fara um nema aðstæður séu hagstæðar.

Veður haustið 2017 var breytilegt, október óvenju hlýr en nóvember kaldur og snjósöfnun í meira lagi. Veturinn var ekki langt frá meðallagi í hita og úrkomu. Vorveður var fremur kalt en þurrt. Afar sólríkt og stillt veður var fyrstu viku júní og mestan maí, en sumarið eftir það var kalt og þungbúinn himinn, en lagaðist heldur í ágúst. September var fremur kaldur og blautur. Á 2. mynd sést að vetrarsnjósöfnun var heldur yfir meðallagi á safnsvæðinu, og á leysingasvæði var vetrarýrnun ríflega einu staðalfrávikki undir meðalagi. Á safnsvæðinu var sumarafkoma nærri meðallagi, leysing svipuð og í meðalári. Mjög gott veður var lengst af

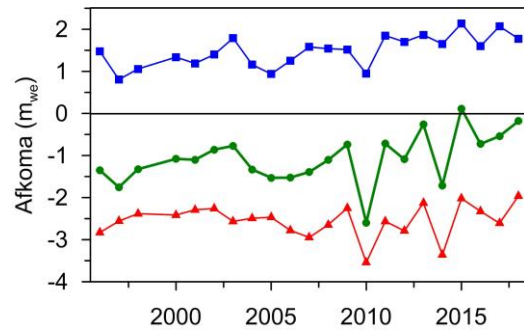


3. mynd. Dreifing vetrar- (vinstri) sumar- (miðja) og ársafkomu (hægri) á Breiðamerkurjökli 2017-18 (afkoma í m vatnsjafngildi). Ísasið Breiðamerkurjökuls er sýnt með grænni línu (vinstri rammi) og vatnasvið Jökulsárlóns á Breiðamerkursandi með svartri línu (miðju rammi).

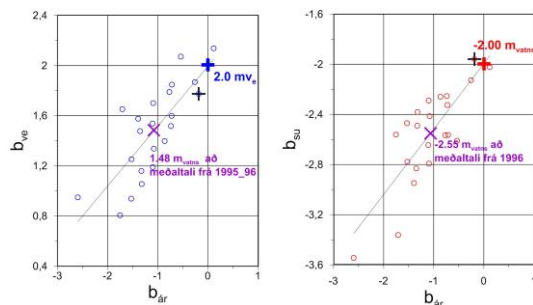
sumri á austurlandi og þess gætir hér. Á stærstum hluta leysingasvæðis var leysing hins vegar langt undir meðallagi. Leysing á neðsta mælistað sker sig frá öðrum mælistöðvum á leysingasvæðinu, er óvenju lítil. Þarna er yfirborð mjög skítugt, jafnvel svo að farið er að gæta einangrunar. Ársafkoma 2017-18 er nærri meðallagi efst en rýrnun verulega minni en að meðaltali þar fyrir neðan.

Flatartegur yfir safnsvæði jökulsins skila heildarafkomutölum (3. og 4. mynd). Vetrarafkoma reyndist 1.78 m_{ve} eða um 19% umfram meðallag. Sumarrýrnun vegna leysingar var -1.96 m_{ve} eða um 80% af meðaltali mælitímans., Dreifing rýrnunar var óvanaleg, nærri meðallagi á safnsvæðinu en verulega minni en að jafnaði á leysingasvæðinu. Ef frá er talið jökulárið 2014-15 hefur ársafkoman verið neikvæð allt mælitímabilið (-1.07 m_{ve} á ári að meðaltali). Jökulárið 2017-18 var ársafkoman -0.18 m_{ve} , eða aðeins tæp 20% þess sem verið hefur að jafnaði.

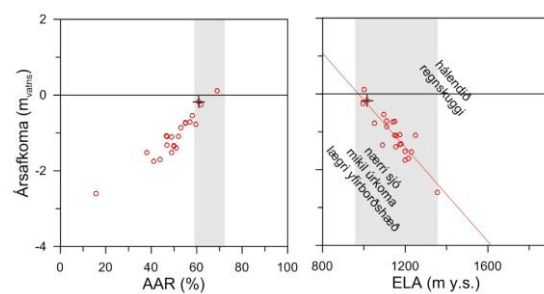
Auk massataps vegna afkomu við yfirborð tapast ís vegna kelfingar í Jökulsárlón (ís sem brotnar af sporðinum og bráðnar í lóninu). Jöklahópur hefur í fyrri greinargerðum metið að kelfing hafi verið fjórðungur úr km^3 um miðjan fyrsta áratug aldarinnar (sem samsvarar 10 hluta meðal sumarleysingar). Sterkar vísbendingar eru um að kelfing hafi aukist á síðasta áratug, það voru niðurstöður vinnu fransks nemenda sem var hjá jöklahópi sumarið 2009 og vann að mati kelfingar út frá ýmsum gervitunglagögnum. Skv. þeirri vinnu var að kelfing árið 2007 væri $\sim 0.25 km^3$ en $\sim 0.7 km^3$ árið 2009. Það ár var þó einstakt að því leiti að lónið var



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



5. mynd. Ársafkoma (b_{ar}) Breiðamerkurjökuls teiknuð á móti vetrarafkomu (b_{ve} , vinstri) og sumarafkomu (b_{su} , hægri). Mæligildi jökulársins 2017-18 eru merkt með svörtum +.



6. mynd. Ársafkoma Breiðamerkurjökuls teiknuð á móti mældri hæði jafnvægislínu (ELA) á mælisniði og hlutfalli safnsvæðis af heildarflatarmáli (AAR). Svartur + er gildi ársins. Gráa svæðið sýnir svæði þar sem aðrir annarra skriðjökla Vatnajökuls sker $b_{n=0}$ línuna skv. mælingum.

meira og minna þakið ísjökum langtímum saman. Á 5. mynd er sýnt samhengi ársafkomu Breiðamerkurjökuls við vetrar- og sumarafkomu með því að teikna ársafkomu á móti vetrarafkomu annars vegar en sumarafkomu hins vegar. Bæði línuritirn sýna sterkt samhengi og gefa vísbendingu um að til þess að afkoma Breiðamerkurjökuls sé í jafnvægið miðað við núverandi lögun ætti umsetning að vera um 2 m_{vatns} ($b_{ve} = 2 = -b_{su}$). Mælingiröðin sýnir hins vegar að meðalvetrafkoma er aðeins 1.48 m_{vatns} eða $\sim 74\%$ af 2 m_{vatns} og meðalsumarleysing um 30% umfram (-2.55 m_{vatns}). Þannig hníga rök til þess að hin afgerandi neikvæða afkoma Breiðamerkurjökuls á mælitímanum sé bæði vegna skorts á snjósöfnun að vetri og mikillar leysingar að sumarlagi. Fyrir aðra skriðjökla þar sem afkoma er mæld er sumarýrnun langtum stærri orsakabáttur og vetrarafkoma vel yfir 90% af því sem til þarf. Á 6. mynd er ársafkoma Breiðamerkurjökuls teiknuð á móti mældri hæð jafnvægislínu (ELA) á mælisniði og einnig hlutfalli safnsvæðis af heildarflatarmáli (AAR). Þetta samhengi bendir til að AAR

Breiðamerkurjökuls þurfi að jafnaði að vera nærri 72% og ELA nærri 960 m til að ársafkoma hans sé núll. Bæði eru þessi gildi útmörk þess sem mælist fyrir skriðjökla Vatnajökuls (sjá gráu svæðin á 6. mynd), AAR hæst en ELA lægst. En stigull b_n - AAR og b_n - ELA er svipaður fyrir Breiðamerkurjökul og alla hina jöklana; um $0.5 m_{we}$ fyrir 10% breytingu AAR og $0.7 m_{we}$ fyrir 100 m breytingu ELA.

Samandregnar upplýsingar um afkomu Breiðamerkurjökuls jökulárið 2017-18 eru sem hér segir:

Flatarmál = 938 km^2 (samkvæmt yfirborðshæðarkorti ársins 2010)

$B_{ve} = 1.67 \text{ km}^3$; $b_{ve} = 1.78 \text{ m}$ (meðatal 1995_96-2016_17 er: $\underline{b}_{ve} = 1.48 \text{ m}$)

$B_{su} = -1.84 \text{ km}^3$; $b_{su} = -1.96 \text{ m}$ (meðatal 1996-2017 er: $\underline{b}_{su} = -2.55 \text{ m}$)

$B_{ár} = -0.17 \text{ km}^3$; $b_{ár} = -0.18 \text{ m}$ (meðatal 1995_96-2016_17 er: $\underline{b}_{ár} = -1.11 \text{ m}$)

ELA (hæð jafnvægislínu) = $\sim 1015 \text{ m}$ (á mælisniði);

AAR (hlutfall safnsvæðis af heildarflatarmáli) = 61%

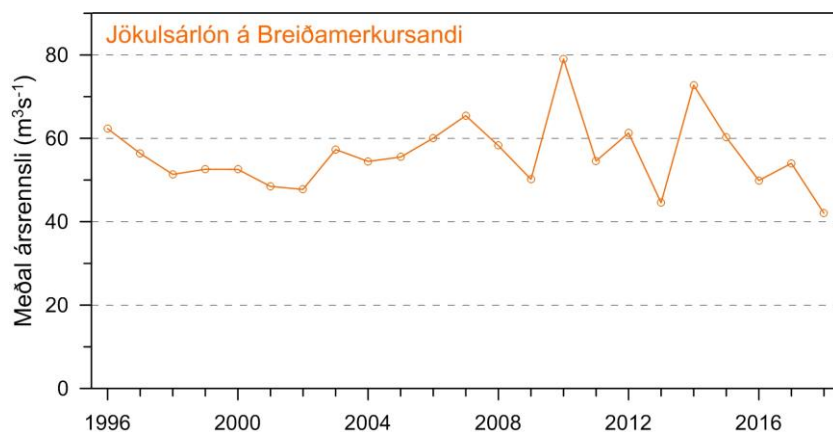
(Afkomustærðir er gefnar sem vatnsjafngildi. B er rúmmál afkomu, b er þykkt afkomu jafndreift á flötinn, bæði gefin sem vatnsjafngildi, ve, su, ár standa fyrir vetur, sumar og jökulár)

Afrennsli til Jökulsárlóns

Meðalársafrennsli til Jökulsárlóns vegna yfirborðsleysingar að sumarlagi (eins og hún er metin eftir sumarafkomu en þar er ekki tekið tillit til úrkomu, hvort heldur sem er rigningar eða snjókomu sem fellur og bráðnar) er sýnt á 7. mynd. Sumarafrennsli til lónsins jafnað yfir jökulárið 2017-18 er sú minnsta á mælitímanum, metin rétt rúmlega $40 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ en meðalafrennsli til lónsins 1996 til 2017 er nærri $55 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$.

Leysing á miðju sumri ræðst að stærstum hluta af sólgeislun, þannig má nálga 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 sínuslögum 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 $400\text{-}600 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Þetta má vinna miklu betur með reiknilíkönunum sem byggja þeirri röð veðurgagna sem til eru.

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.



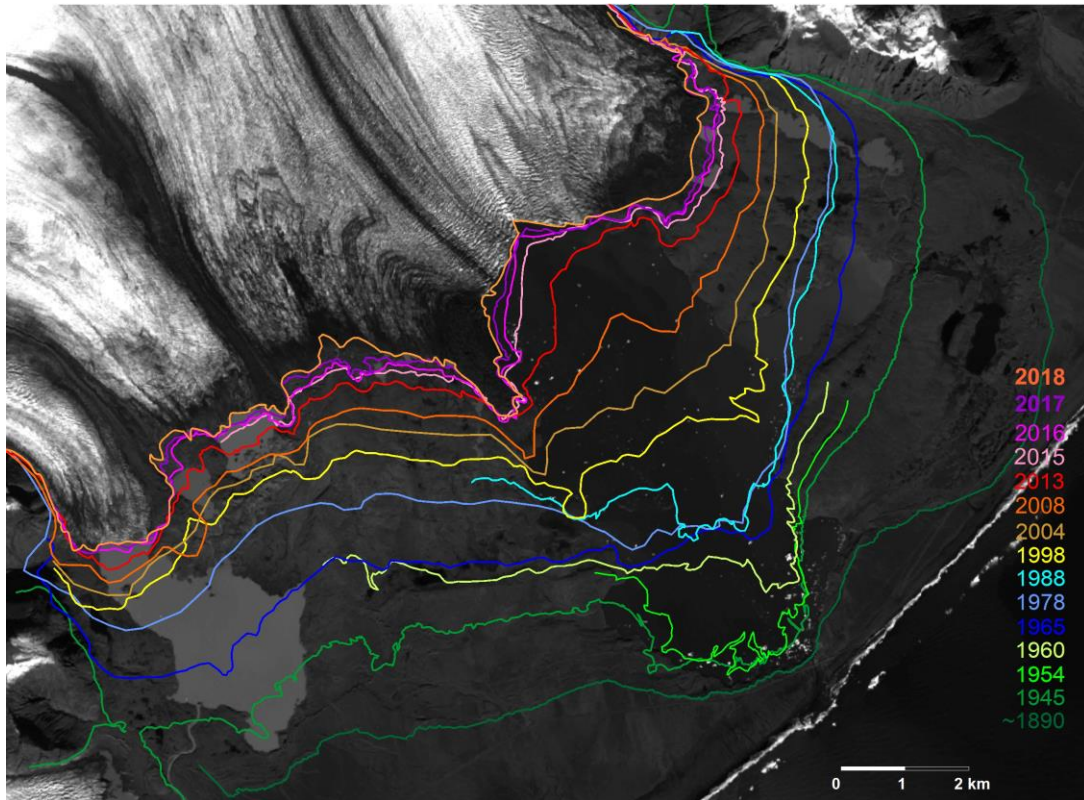
7. mynd. Meðalafrennsli yfirborðsleysingarvatns (metið út frá sumarafkomu) til Jökulsárlóns sumurin 1996 til 2018.

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 u.þ.b. sólarhringur fyrir það sem fellur efst á safnsvæðið. Metúrkoma var á þessu svæði í október 1979 þegar sólarhringsúrkoma á Kvískerjum mældist 242.7 mm. Í febrúar 1968 mældist 228.4 mm í sólarhringsúrkoma á Kvískerjum og sama dag 233.9 mm á Vagnstöðum í Suðursveit. Ef slík úrkoma félli á vatnasvið Jökulsárlóns (~740 km²) og skilaði sér á einum sólarhring í lónið væri meðalrennsli $(0,2 \text{ m} \cdot 740.000.000 \text{ m}^2 / (3600 \cdot 24 \text{ s})) = 1720 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (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 Breiðamerkurjökul: Vel þekkt lón í Veðurárdal (um 2 km²), lítið lón við enda Skálabjarga í Esjufjöllum og lón sem fór að myndast rétt fyrir aldamót í Fossadal milli Skálabjarga og Vesturbjarga stækkar enn (nú um 1 km²); 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. 100-1000 m³s⁻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 km² og 25 m djúpt samsvarar 1 m yfirborðhækkun í Jökulsárlóni).

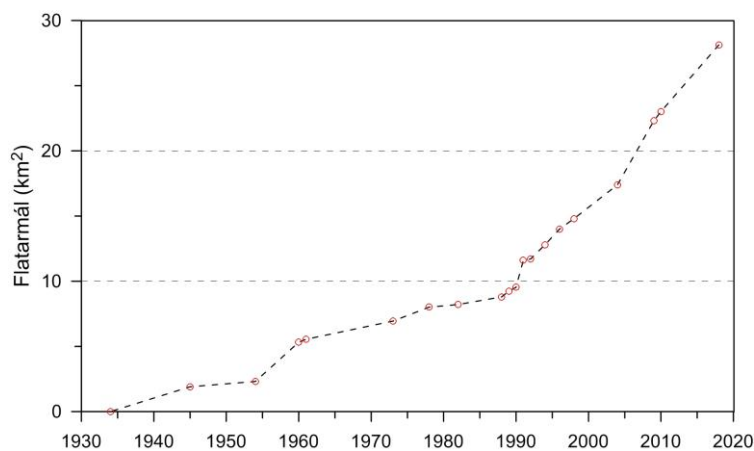
Ef saman færu í röð sólarhringur með ofsarigningu og sólarhringur með ofsaleytingu er ekki ólíklegt að innrennsli til Jökulsárlóns gæti verið 1000-1500 m³s⁻¹ í einn til tvo sólarhringa. Áfram verður unnið að betra mati á þessum stærðum; gera þarf reiknilíkön sem nýta gagnasafnið sem til er.

Breiðamerkurjökull hörfar



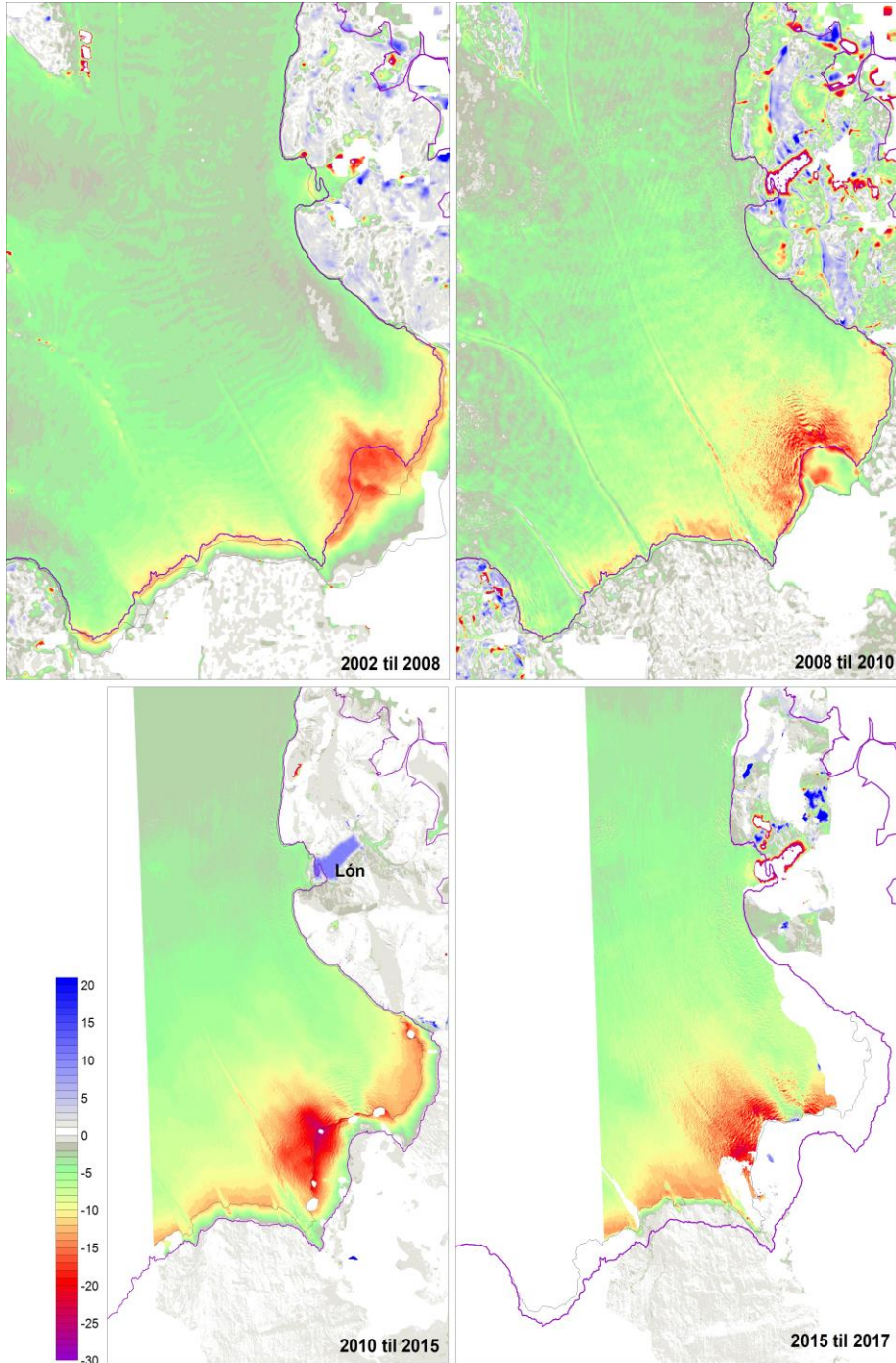
8. mynd. Lega jaðars Breiðamerkurjökuls á ýmsum árum frá lokum litlu ísaldar um 1890. Jaðarinn 1890 er unnin eftir korti danska herforingjaráðsins og legu ystu jökulgarða. Jaðrar eftir 2004 eru unnir eftir gervihnattamyndum (SPOT-5 og Landsat 8), annað eftir flugmyndum Landmælinga Íslands. Í bakgrunni er mynd frá Landsat 8 (sýnilega sviðið, 15m upplausn, NASA og USGS) tekin 26. september 2018.

Fylgst hefur verið með legu jaðars Breiðmerkurjökuls eftir ýmsum tiltækum gögnum m.a. gervihnattamyndum. Á 8. mynd er sýnd lega jaðars Breiðamerkurjökuls á ýmsum tímum frá lokum Litlu ísaldar um 1890. Nýjasti jaðarinn er unnin eftir Landsat 8 gervihnattamynd frá 26. september 2018. Af 9. mynd má lesa þróun flatarmáls Jökulsárlóns frá um 1935, þegar fyrstu ummerki um lón sáust. Vel má sjá hraða hörfun jökulsins frá ~1890 til um 1960, nær stöðnun frá 1960 til 1965 og aftur frá um 1978 til 1988 en hratt hop eftir miðjan tíunda



9. mynd. Flatarmál jökulsárlóns unnið eftir flugmyndum úr safni Landmælinga Íslands en eftir 2003 eftir gervihnattamyndum (SPOT-5 og Landsat 8).

áratuginn. Þetta endurspeglar að mestu þróun veðurfars þetta tímabil. Samstarfsmaður okkar og áður MS nemi, Snævarr Guðmundsson, nú sérfræðingur á Náttúrustofnun Suðausturlands, hefur unnið að enn ítarlegri greiningu jaðargagnanna og kortlagningu Breiðamerkursands. Grein um þetta efni hefur nú birst í fagtímaritinu Geografiske Annaler. Í grein jöklahóps árið 2001 (Helgi Björnsson og fleiri) var gerð grein fyrir hvernig hvernig jökulsárlón safnar í sig orku sem er í nær réttu hlutfalli við stærð lónsins, einkum sólgeislun og enn heldur innflæði af heitum sjó eftir sjávarföllum. Þessu verki hefur verið fylgt eftir með ýmsum nemendaverkum, innlendum og erlendum. Orkan nýtist til að bræða þann ís sem kelfir og er nú meiri en þarf til að bræða það magn íss sem brotnar af jöklinum út í lónið.



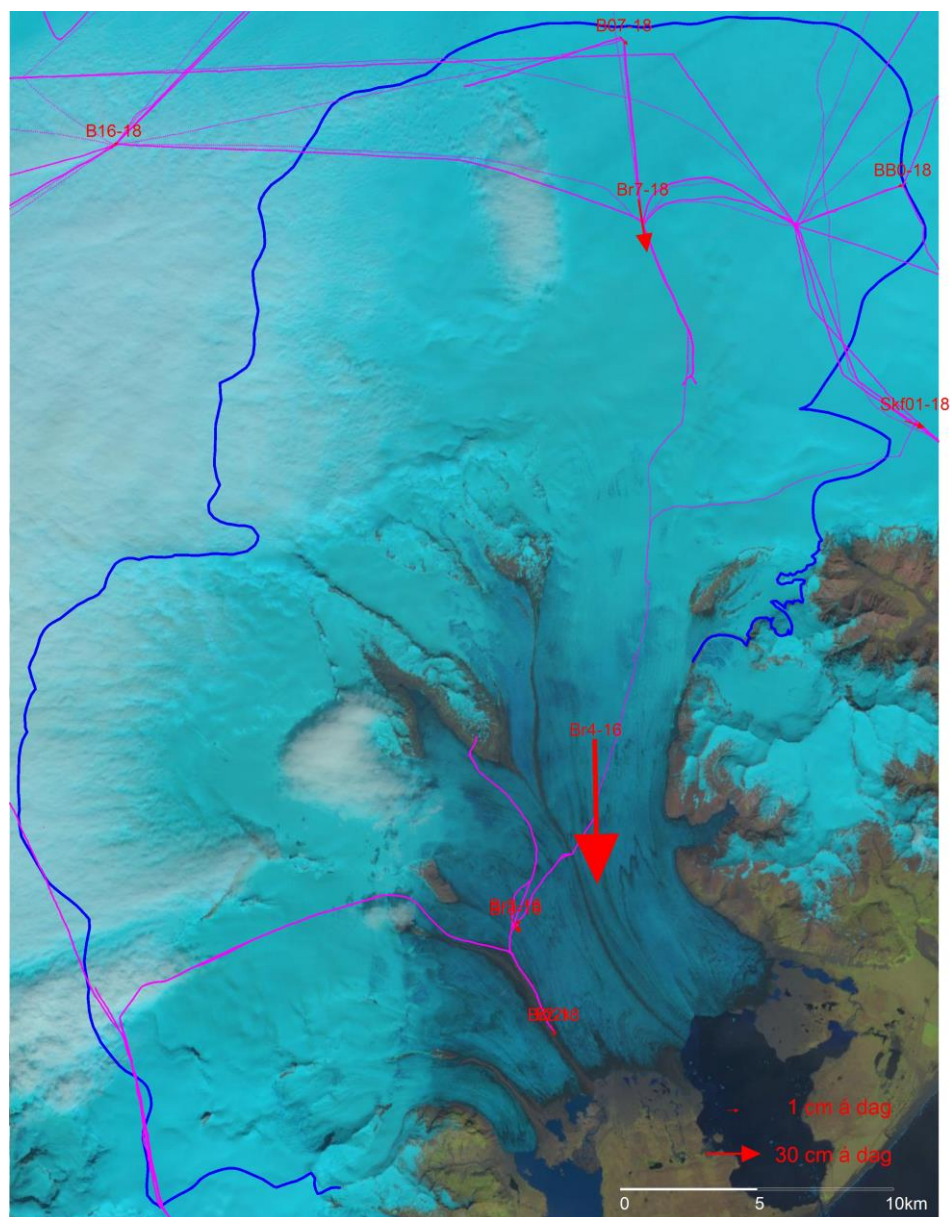
10. mynd. Rýrnunarhraði Breiðamerkurjökuls (árleg þynning í m á ári) á þrem tímabilum. Mismunakortin eru unnin eftir stafrænum hæðarlíkunum 2002 og 2008 (gerð eftir SPOT5 gervitunglamyndum frá SPOT Image og Legos í Toulouse Frakklandi, 2010 (gert eftir Lidar mælingu úr flugvél, sjá Tómas Jóhannesson o.fl. 2013) en 2015 og 2017er úr bandaríska Arctic DEM safninu.

Skriðhraði á blásporðinum hefur mælst um 500 m á ári; kelfandi tungan er um 3 km löng og miðað við að sporðurinn er 25-30 yfir vatnsborðinu er hann um ~300 m þykkur í endann. Rúmtak ískelfingar er þá gróflega $3 \cdot 0.3 \cdot 0.5 = 0.45 \text{ km}^3$. En auk þess hefur kelfandi hluti sporðsins líka hörfað um nærri 750 m frá 2013. Þetta er tapað ísrúmmál um $\sim 0.7 \text{ km}^3$ eða 0.17 km^3 á ári. Samtals verður þá árlegt rúmtak kelfingar $\sim 0.6 \text{ km}^3$. Þetta er stærðagráðureikningur en skilar svipaðri tölu og áður hefur verið metið.

Veruleg breyting hefur á síðustu árum orðið á því hvaðan ísinn sem kelfir streymir að. Á 9. mynd er sýndur rýrnunarhraði (árleg þynning) á þrem tímabilum. Mismunakortin eru unnin eftir stafrænum hæðarlíkunum 2002 og 2008 gerð eftir SPOT5 gervitunglamyndum (frá SPOT Image og Legos, 2010 (gert eftir Lidar mælingu úr flugvél, sjá Tómas Jóhannesson o.fl. 2103) en 2015 og 2017 er úr bandaríska ArcticDEM safninu. Þarna sést vel hvernig rýrnunin á fyrsta tímabilinu er mest beint norður af kelfandi jökultungunni sem að hluta er á floti og myndar „sillu“ upp af lóninu. Á tímabilinu 2010-2015 kemur mestu ísinn æ meir úr vestri og lækun vegna ísflæðis farin að teygja sig æ meir inn á miðstrauminn. Ísflæðið tekur með sér Esjufjallaröndina til austurs, hún hefur slitnað frá suðurendanum og liggur á miðjum kelfandi hluta sporðsins, en markaði áður vesturjaðar lónsins og ísflæðis þangað. Þessari tilfærslu randarinnar var lýst í stuttri grein Snævarrs Guðmundsson og Helga Björnssonar í 65. árgangi tímaritsins Jökuls (2016).

Skriðhraðamælingar

Allir afkomumælistaðir mældir inn með landmælinga GPS-tækjum og þannig fékkst skriðhraðamæling í stökum mælipunktum. Niðurstöður þeirra mælinga eru sýndar á 11. mynd.



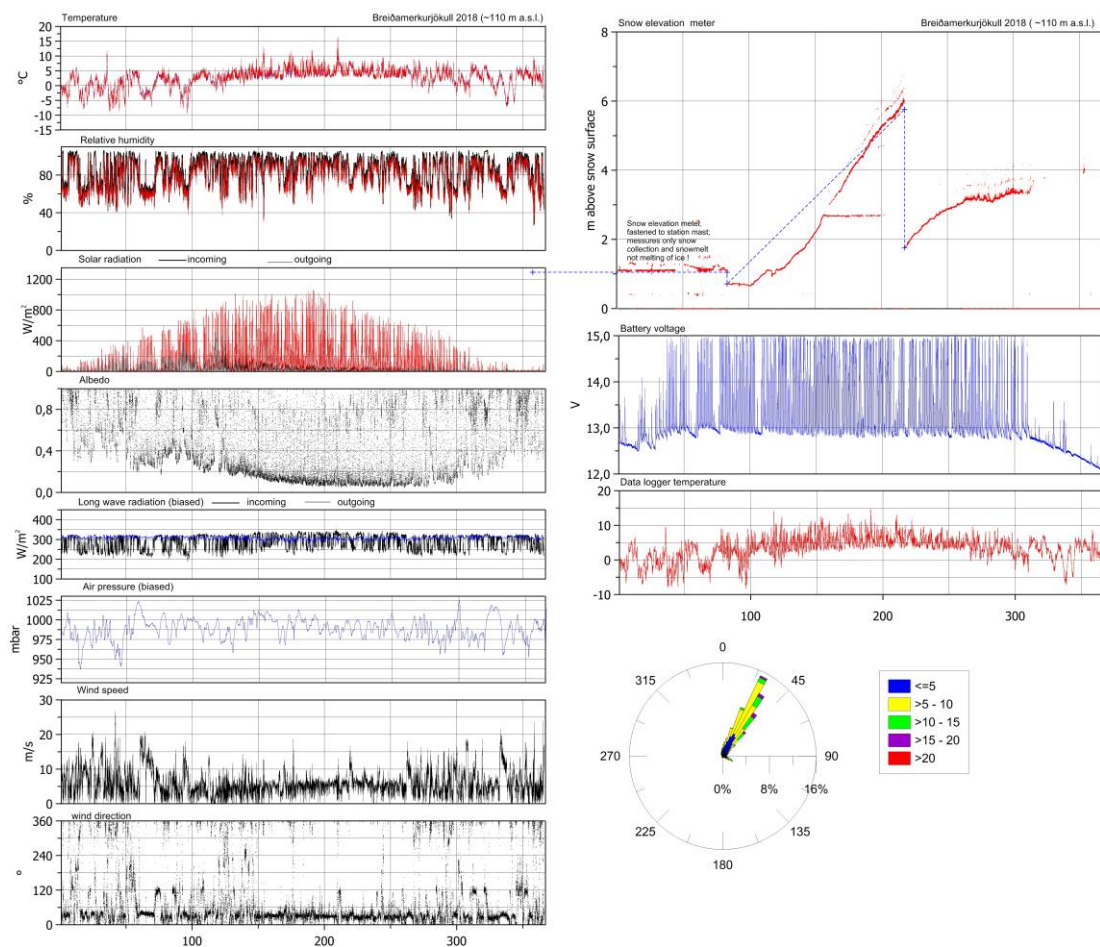
11. mynd. Yfirborðsskriðhraði á afkomumælistöðum á Breiðamerkurjökli 2018. Á safnsvæðinu er mælingin gerð í maí og síðan í október 2017, í Br4 (þar sem hraðinn er mestur) mars 2017 og 2018, en í neðstu punktinum í mars og ágúst 2018. Lillabláar línur eru hæðarsnið mæld með landmælinga GPS tækjum á vélsleða (safn lína í mars, maí, júní og október 2018). Ísaskil Breiðamerkurjökuls sýnd með blárrí línu. (í bakgrunni er Landsat 8 gervihnattamynd frá 22. júní 2018).

Staður	hæð m y.s.	Tímabil		fjöldi daga	færsla stefna		hraði cm á dag	hraði m á ári
		ár-man-dag	ár-man-dag		m	°		
B07-18	1358	18-05-09	18-10-09	153	1,9	138	1,3	4,6
B16-18	1528	18-05-09	18-10-09	153	0,6	53	0,4	1,5
BB0-18	1519	18-05-08	18-10-08	153	0,9	250	0,6	2,0
Br2k	201	17-10-29	18-03-24	146	3,0	161	2,1	7,6
Br2-18	198	18-03-24	18-08-02	131	1,7	156	1,3	4,8
Br3-16	384	17-03-28	18-03-24	361	25,0	148	6,9	25,3
Br4-16	504	17-03-28	18-03-24	361	323,9	179	89,7	327,5
Br7-18	1246	18-05-09	18-10-09	153	44,5	171	29,1	106,3
Skf01-18	1283	18-05-08	18-10-08	153	11,8	108	7,7	28,1

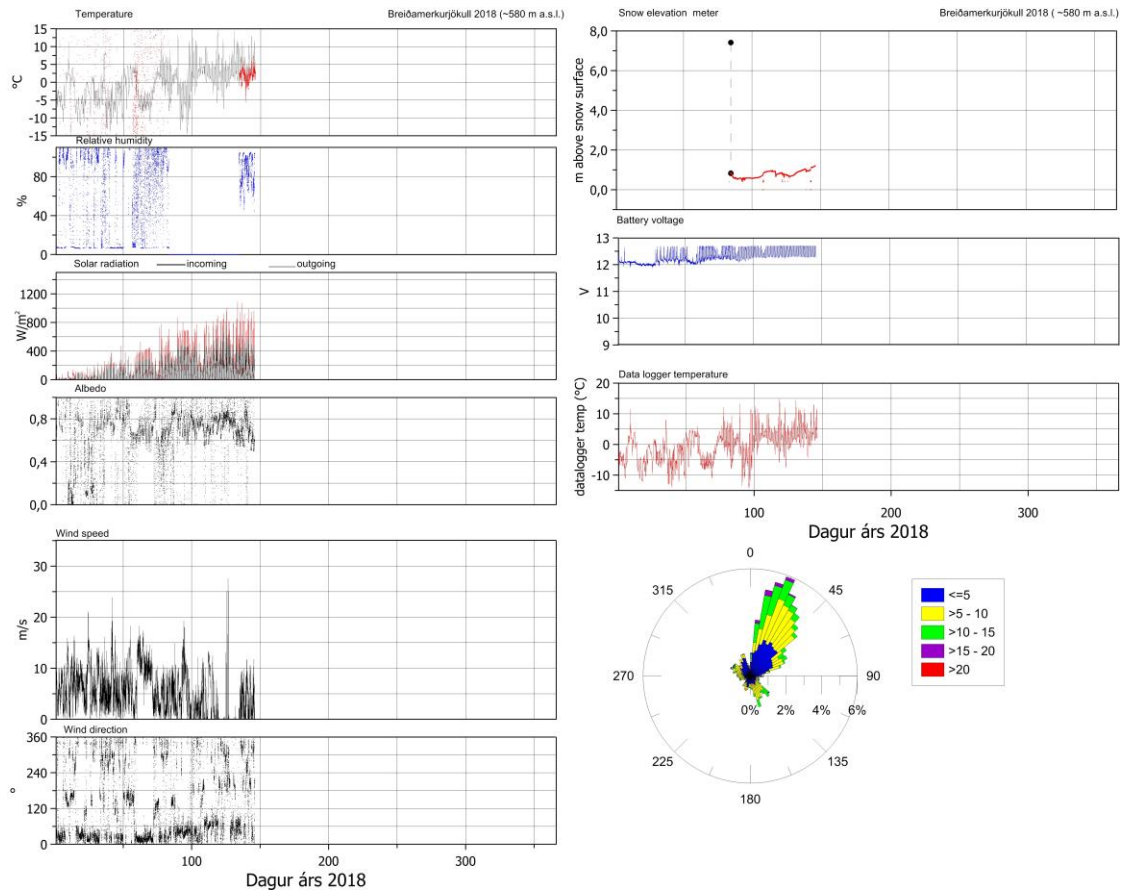
Veðurathuganir

Til að auka skilning á samhengi veðurs og jöklabreytinga hefur veðurgagna á jökli verið aflað með sjálfvirkum veðurstöðvum. Á Breiðamerkurjökli eru nú tvær veðurstöðvar í rekstri allt árið (í um 130 (Br1) og 580 m (Br4) hæð). Þá er einnig rekin að sumrinu veðurstöð í um ~1250 m hæð á Breiðamerkurjökli. Stöðin í Br4 var heimsótt í mars 2018 og hún flutt til um nokkur hundruð metra til að tryggja betra símasamband (gögn eru lesin af stöðvunum með GSM mótöldum, en stöðin er þar sem árshraði er tæplega 400 m og hún flyst niður skarð þar sem ísinn er mjög þykkur). Bilun í símamótaldi olli því að samband við stöðina rofnaði, en það var lagað í maí. Einhver ótilgreind bilun varð aftur seinna í maí, en ekki hefur tekist að komast að stöðinni þó það hafi verið reynt bæði í október 2018 og mars 2019. Þannig gæti vel verið að stöðin hafi mælt eðlilega allan tímann. Mælingar eru einnig gerðar með stöðluðum mælitækjum á lofthita og vindhraða við NA-jaðar Jökulsárlóns þar sem var búnaður til sjálfvirkar myndatöku (sjá 1. mynd). Yfirlit mældra veðurþátta allra veðurstöðvanna er sýnt á 12-15. mynd.

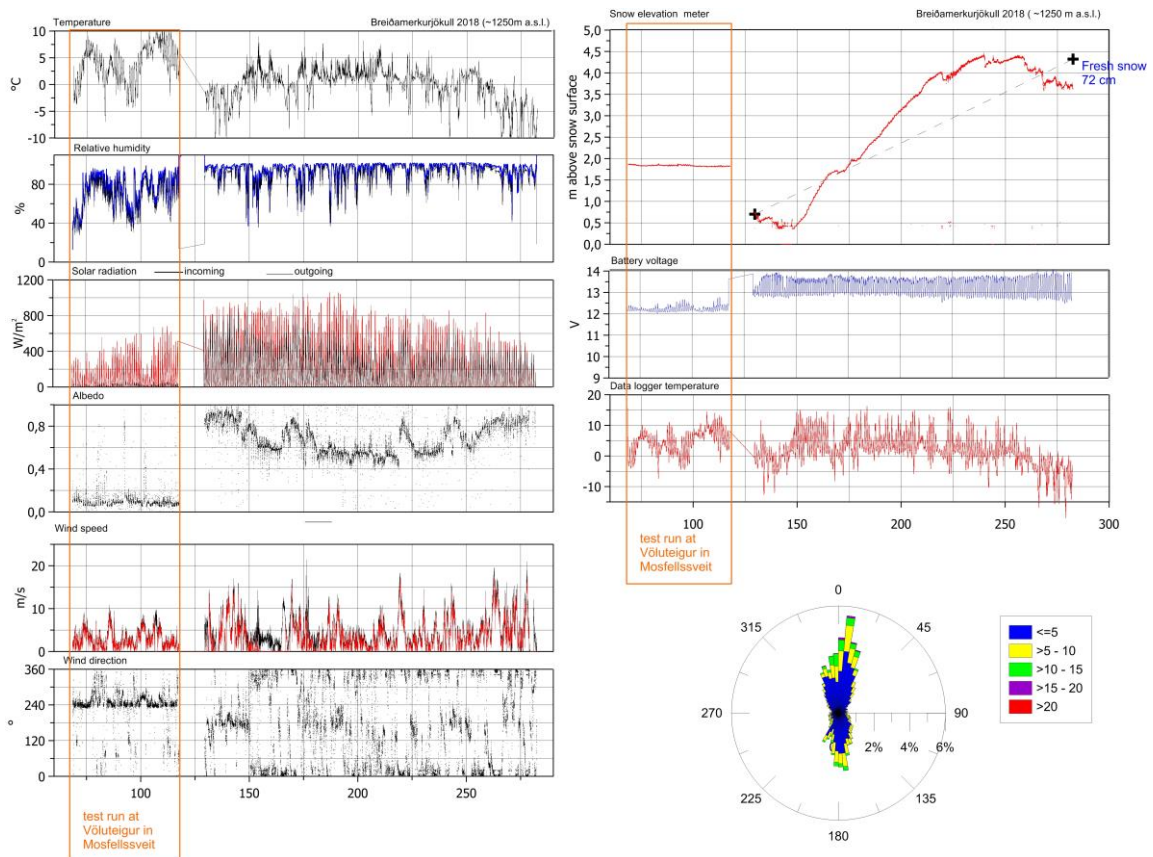
Gögnin sem aflað er á veðurstöðvunum verða notuð sem inntak í orkubúskapsreiknilíkon til að meta leysingu og stilla afkomulíkon sem byggja á reikningum útfrá lofthjúpslíkonum. Þannig fæst möguleiki til að reikna tímaraðir afrennslis bæði aftur í tímann (lofthjúpslíkon sem byggja á mældum veðurþáttum) og fram í tímann eftir loftlagsspám.



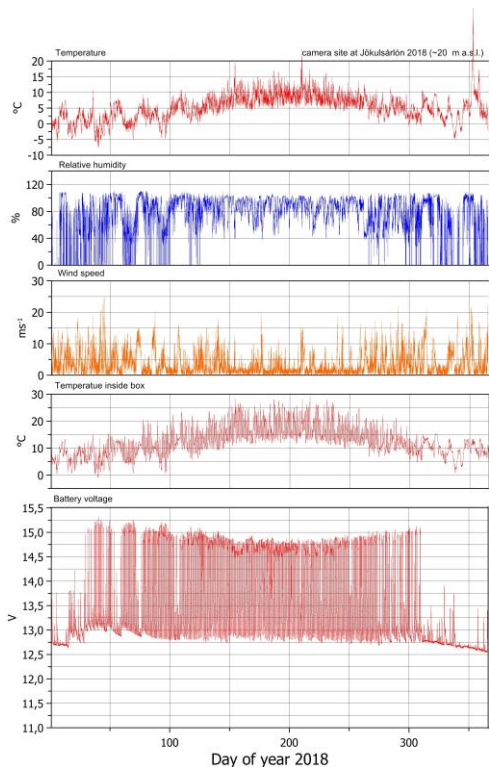
12. mynd. Mældir veðurþættir á veðurstöð í um 130 m hæð á sporði Breiðamerkurjökuls.



13. mynd. Mældir veðurþættir á veðurstöð í um 580 m hæð á austurstraumi Breiðamerkurjökuls.



14. mynd. Mældir veðurþættir á veðurstöð í um 1250 m hæð á austurstraumi Breiðamerkurjökuls.



15. mynd. Lofthiti, raki og vindstyrkur mælt á veðurstöð í um 20 m hæð við NA jaðar Jökulsárlóns.

Heimildir:

Snævarr Guðmundsson og Helgi Björnsson, 2016. Changes in the flow of Breiðamerkurjökull reflected by bending of the Esjufjallarönd medial moraine. *Jökull* No. 66, ISSN 0449-0576.

Guðmundsson, Snævarr, Björnsson, H., Pálsson, F. 2017. Changes of Breiðamerkurjökull glacier, SE-Iceland, from its late nineteenth century maximum to the present. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, (4), 338-352, 2017 10.1080/04353676.2017.1355216, <http://dx.doi.org/10.1080/04353676.2017.1355216>.

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.

Björnsson, Helgi, Finnur Pálsson and Sverrir Guðmundsson. 2001. Jökulsárlón at Breiðamerkursandur, Vatnajökull, Iceland: 20th century changes and future outlook. *Jökull*, 50, 1-1

Kostnaður á árinu 2018:

Styrkur til þessa verkefnis af tilraunafé Vegagerðar var 2000 þkr.

Rekstrarkostnaður mælistöðva (viðgerð veðurstöðva, verkstæðisvinna, varahlutir, rafgeymar o.fl.) var 180 þkr., kostnaður vegna mælileiðangra (4 ferðir, sumar tengdar öðrum verkum til að halda kostnaði í lágmarki, greiðslur fyrir notkun bíla og vélsleða auk launa starfsmanna) reyndist 1250 þkr., laun starfsmanns við frumúrvinnslu og túlkun gagna (1 mannmán) 850 þkr., og umsjónargjald til yfirstjórnar Raunvísindastofnunar 2.5% eða 50 þkr. Samtals eru þetta 2330 þkr.

23. mars 2019. f.h. Jöklahóps Jarðvísindastofnunar Háskólans;
Finnur Pálsson verkefnastjóri í Jöklarannsóknum