

Greinargerð til Vegagerðarinnar vegna styrks til verkefnisins:

Afkoma og hreyfing Breiðamerkurjökuls og afrennsli leysingavatns til Jökulsárlóns á Breiðamerkursandi 2024



Jarðvísindastofnunar Háskólans
Jöklahópur
febrúar 2025
RH-02-25
Finnur Pálsson og Eyjólfur Magnússon

Inngangur

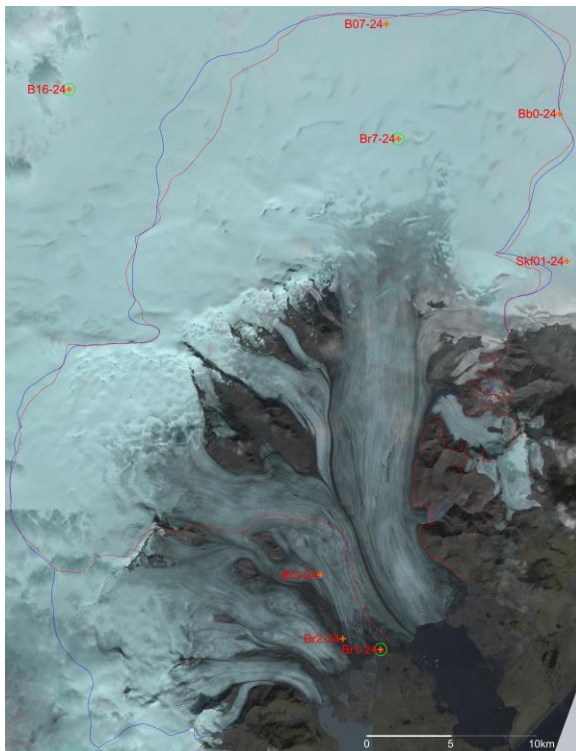
Jöklahópur Jarðvísindastofnunar hefur í áratugi aflað gagna um Breiðamerkurjökul, Jökulsárlón og Jökulsá á Breiðamerkursandi, lengst af í samstarfi við Vegagerðina. Hér er lýst helstu niðurstöðum rannsókna ársins 2024.

Tilgangur þessarar rannsóknar er margþættur, hér eru nefnd 4 atriði:

1. Leggja mat á afrennsli frá Breiðamerkurjökli til Jökulsárlóns.
2. Meta afkomu Breiðamerkurjökuls ár frá ári og yfir lengri tímabil frá lokum litlu ísaldar. Afkomumælingar sem hafa verið studdar af þessu verkefni eru nýttar ásamt afkomumælingum á um 60 öðrum stöðum víðsvegar á Vatnajökli (í samvinnu JH, Landsvirkjunar og Jökлараннсóknafélags Íslands til að gera kort af dreifingu vetrar-, sumar- og ársafkomu Vatnajökuls í heild. Þessi gögn nýtast einnig til gerðar samtengdra reiknilíkana um veður, afkomu og hreyfingu jökla. Slík samtengd líkön má nota til að skoða jöklunarsögu Breiðamerkurjökuls og einnig til að spá fyrir um þróun hans í næstu framtíð. Allt þetta nýtist líka þeim sem stunda mælingar á viðbrögðum skorpu við breytingum í jökulfargi og þróun reiknilíkana um landlyftingu.
3. Meta, eins nákvæmlega og kostur er, magn íss sem kelfir í lónið og breytileika þess. Gagnaöflun vegna rannsókna á eðli kelfingar íss og þróunar reiknilíkana sem lýsa henni.
4. Fylgjast með þeim öru breytingum sem nú eru á jökli, landi, farvegum og nýjum lónum á svæðinu milli Breiðamerkurlóns og Jökulsárlóns á Breiðamerkursandi.

Hér að aftan er gerð grein fyrir afkomumælingum, afrennsli leysingavatns af jökli til Jökulsárlóns og veðurathugunum sem unnið var að á árinu 2024.

Sumt af texta greinargerðarinnar er samhljóða greinargerð síðasta árs, til að halda samfellu, en hér er fyrst og fremst gerð grein fyrir gagnaöflun síðasta árs. Höfundar skýrslunnar bera ábyrgð á innihaldi hennar. Niðurstöður hennar ber ekki að túlka sem stefnu Vegagerðarinnar eða álit þeirrar stofnunar sem höfundar starfar hjá.



1. mynd. Afkomumælistaðir (+), veðurstöðvar (o), GPS stöðvar (Δ) á Breiðamerkurjökli. Ísaskil Breiðamerkurjökuls eru sýnd með blárrí línu og vatnaskil Jökulsárlóns með rauðri. Í bakgrunni er Landsat 9 gervihnattamynd frá 16. september 2022).

Verkefnið sem hér er lýst er framhald verkefna sem jöklahópur Jarðvísindastofnunar hefur staðið að á síðustu áratugum. Auk gerðar korta af yfirborði og botni og mati á afkomu, hafa þessar rannsóknir snúist um að meta innflæði sjávar í Jökulsárlón, kanna orkuskipti lónsins, magn íss sem bráðnar þar, ísflæði til lónsins og breytingar í stærð þess.

Frá jökulárinu 1991-92 hefur Jöklahópur Jarðvísindastofnunar mælt afkomu víða á Vatnajökli, og síðan um 1996 einnig á Breiðamerkurjökli, lengst af með stuðningi Vegagerðar. Jöklahópur hefur einnig í nær allan þann tíma rekið veðurstöð á sporði Breiðamerkurjökuls og árin 2012 til 2018 aðra í 600 m hæð á austurstraumi jökulsins, en rekstri hennar var hætt því nær ómögulegt var að komast að henni til viðhalds vegna sprungna. Frá 2016 hefur einnig árlega verið að sumarlagi veðurstöð í ríflega 1200 m hæð, en hún var flutt til, hafði áður verið í sumarrekstri í svipaðri hæð á Hoffellsjökli í um áratug. Gögn frá veðurstöðvunum eru notuð til að reikna orkubúskap við jökulyfirborð og þar með leysingu. Eftir afkomumælingum eru unnin kort af vetrar-, sumar- og ársafkomu jökulsins hvert ár og einnig metið heildar afrennsli leysingavatns frá jökli til Jökulsárlóns.

Jöklahópur hefur einnig gert stafræn kort af botni Breiðamerkurjökuls auk korta af yfirborði á mismunandi tímum á 20. öld og það sem af er þeirri 21. Árið 2000 var gerð rannsókn á þróun Jökulsárlóns frá því það myndaðist fyrst á miðjun 4. áratug tuttugustu aldar. Því verki var fylgt eftir með líkangerð af þróun lónsins til framtíðar, en auk vinnu jöklahópsins, var það einnig gert af samverkafólki í Hollandi og Austurríki. MS-nemi (Snævarr Guðmundsson) Helga Björnssonar, vísindamanns við JH, vann rannsókn á þróun Breiðamerkurjökuls og Breiðamerkursands frá lokum litlu ísaldar, en hann lauk námi vorið 2014. Snævarr og fleiri (m.a. annar skýrsluhöfundur (FP) og Helgi Björnsson, nú vísindamaður emerítus við JH) skrifaðu 2020 grein í tímaritið Jökul um þróun lóna við SA-Vatnajökul. Grein Svævarrs, HB, FP og fl. um jökluskerin í Breiðamerkurjökli og er í nýasta árgangi (2024) tímaritsins Jökuls.

Annar skýrsluhöfnada (EM), stóð að samfelldum mælingar á skriðhraða íss til Jökulsárlóns 2012-14 og aftur 2022-23 með GNSS landmælingatækjum sem voru um 1,5 km frá sporði jökulsins þar sem hann kelfir í lónið (sjá. <http://husbondi.rhi.hi.is/brda/>). EM hefur einnig unnið hraðasvið Breiðamerkurjökuls eftir gervitunglagögnum 2008-13 og nýtt ásamt hraðamælingum frá GNSS tækjunum. Nú hefur verið tryggður aðgangur jöklahóps JH að hraðasviðum Breiðamerkurjökuls, með allt að 6 daga upplausn í tíma, sem Austuríska fyrirtækið Enveo býr til úr eftir háupplausnar ratsjármyndum (<https://www.enveo.at/>), en sú mæliröð nær aftur til 2014, og muna halda áfram inn í framtíðina. Myndræn gervitunglagögn eru notuð til að kortleggja stöðu sporðsins árlega eða oftar. EM stóð einnig að uppsetningu og rekstri myndavélar sem tók myndir af jökulsporðinum sem kelfir í lónið á 5. mínútna fresti frá 2012-2014. Þær myndir munu nýtast með öðrum gögnum til að meta rúmmál þess íss sem kelfir.

Í tengslum við verkefnið hefur töluverður hluti botns Jökulsárlóns verið kortlagður í hárrí upplausn með fjölgeislamæli og ef allt gengur eftir mun verða lokið við kortlagningu botnsins á næstu árum.

Á árum 2017-2020 vann PhD-nemandi hjá Jöklahópi JH, Louise Steffensen Schmidt, að gerð reiknilíkans af afkomu Vatnajökuls frá 1980 til 2015 og tengdi afkomulíkanið við íshreyfilíkan til þess skoða þróun Vatnajökuls á ýmsum tímabilum: liðnum, núverandi og í framtíðinni. Grein hennar og fleiri um framtíð Vatnajökuls birtist á árinu 2020. Brice Noël við háskólan í Utrecht í Hollandi, vann ásamt öðrum, m.a. skýrsluhöfunum að rannsókn á framtíð jökla á Íslandi, þar sem gögn úr afkomumælingum og af veðurstöðvum á Breiðamerkurjökli reyndust einnig mikilvæg.

Andri Gunnarsson, skýrsluhöfundur (FP) hafa ásamt fleirum ritað grein (sem nú er í rýniferli í alþjóðlegu fagtímariti) þar sem dregnar eru saman helstu niðurstöður um aldafjórðungs samfelldar veðurmælingar með sjálfvirkum veðurstöðvum á Vatnajökli (um 10-12 stöðvar árlega) og gagnagrunni þar sem öll gögnin verða aðgengileg. Þarna eru mælingar í veðurstöðvum á Breiðamerkurjökli einkar mikilvægar vegna legu sinnar nærri algengustu lægðabrautum auk þess sem neðri veðurstöðin er í ca. 100 m hæð, um 600 m lægra en nokkur hinna ~10 veðurstöðva á Vatnajökli.

Í febrúar 2025 var birt í tímaritinu Nature grein um fjölþjóðlegt samstarf um mat á rýrnun allra jökla heimsins á tímabilinu 2000-2023. Þar voru m.a. nýtt gögn jöklahóps um afkomusögu Vatnajökuls þar sem afkomumælingarnar á Breiðamerkurjökli er mikilvægur þáttur. (sjá: The GLAMBE Team (2025): Community estimate of global glacier mass changes from 2000 to 2023. Nature. <https://doi.org/10.1038/s41586-024-08545-z>)

Leiðangrar vegna mælinga:

9. febrúar. Skipt um rafgeymi í veðurstöð í Br1.

2.-8. maí. Vetrarafkomumælingar á safnsvæði Breiðamerkurjökuls. Veðurstöð sett upp í ~1250 m hæð.

12.-13. júní 2024: Gerður var 3 manna leiðangur í júní og þá lesið af afkomumælivírum og vetrarsnjór mældur. Nýjir afkomumælivírar boraðir niður með gufubor. Veðurstöð í Br1 heimsótt og boraðir 10 m fyrir nýjum röllum fyrir snjóhæðarmælinn með snigilbor.

28. september. Lesið af afkomuvírum á Breiðamerkurjökli og veðurstöð í BR1 flutt ofar á sporðin, hún var á leið útaf jökli vegna hörfunar jökulsporðsins.

21-23. nóvember. Sumarafkoma á safnsvæði mæld. Veðurstöð í 1250 m hæð tekin niður.

Kostnaður á árinu 2024:

Styrkur var : 2.800.000 kr.

Kostnaðarliðir

Vinna við frumúrvinnslu og túlkun mælinga (1.6 mannmánuðir): 1.630.000 kr.

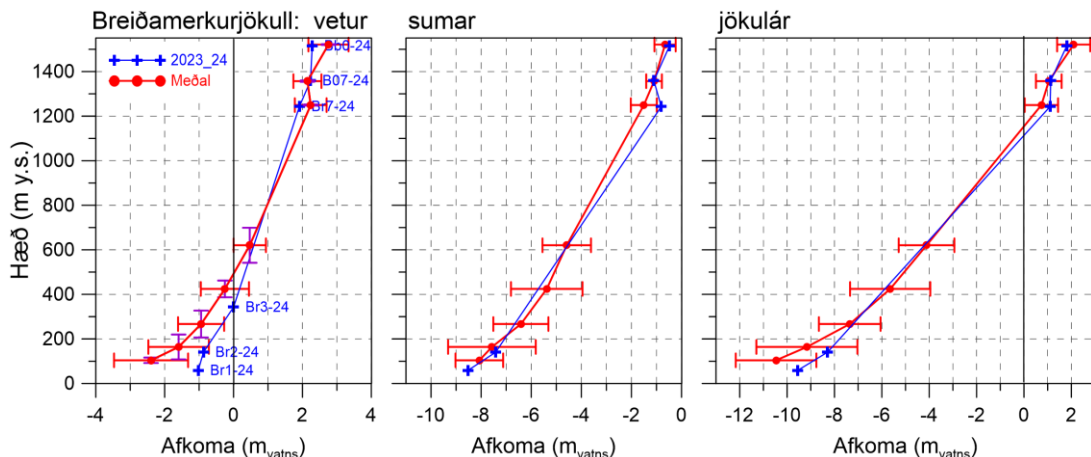
Viðhald veðurstöðva og efni til afkomumælinga: 170.000 kr.

Kostnaður við mæliferðir: 950.000 kr.

Stjórnunarkostnaður (aðstöðugjald 2.5%): 70.000 kr.

Samtals kostnaður : 2.816.000 kr.

Niðurstöður afkomumælinga 2023-24.

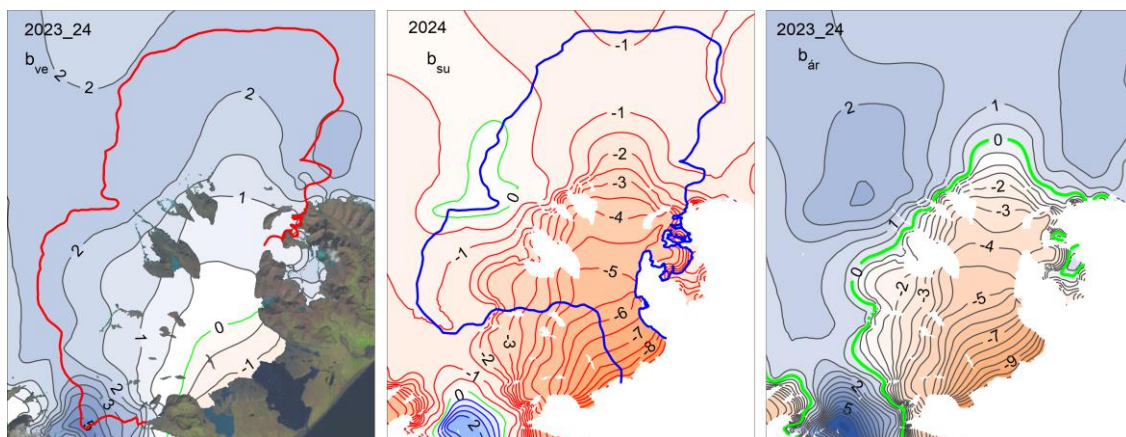


2. mynd. Breytileiki afkomu með hæð á Breiðamerkurjökli jökulárið 2023_24 og meðaltal allra ára sem afkoma hefur verið mæld (flest ár frá 1995-96, afkoma í m vatns og hæð mælistaða í m yfir sjó). Þverstrikin sýna staðalfrávik mæliraðar í mælistöðvunum.

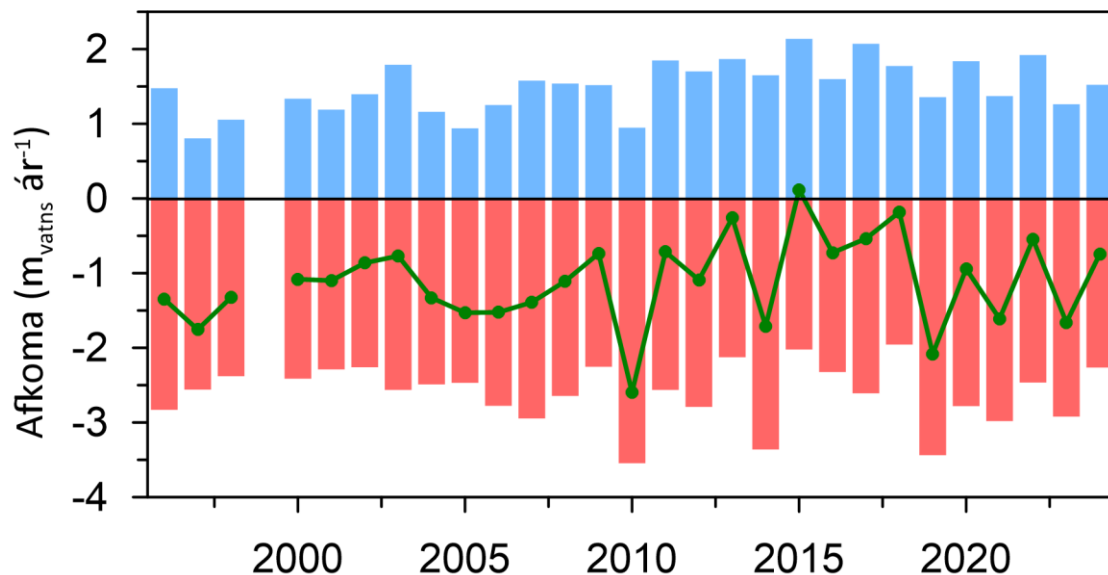
Farnar voru fjórar ferðir til afkomumælinga og viðhalds veðurstöðva jökulárið 2023_24, flestar voru tengdar öðrum verkum til að lágmarka kostnað. Vetrarmælingar á efri hluta Breiðamerkurjökuls (safnsvæði) voru gerðar í byrjun maí og veðurstöð við afkomumælistöð Br7 var sett upp.

Mæliferðin var ekki farin á neðri hluta jökulsins (leysingasvæði) fyrr en 12. -13. júní. Reynt var að koma þarna við á leið úr afkomuferðinni í maí, en snúið frá vegna erfiðleika við að komast á jökulinn yfir leðju og vatnsaga við jökulsporð. Í júní var lesið af eldri afkomuvírum og boraðar holur (~10-15 m djúpar) með snigilbor og komið fyrir nýjum afkomumælivírum í Br2 og Br3 en ¼ römur fyrir snjöhæðarmæli veðurstöðvar við Br1. Til að komast til að lesa seinni aflestur af leysingavírum í Br1, Br2 og Br3 þarf hafa verið frost í nokkra daga (til að koma farartækjum yfir svaðið við jökuljaðar, æskilegt að eitthvað hafi snjóað og veður skaplegt, þetta var gert 28. september, en vegna aðstæðna ekki hægt að komast í Br3. Vegna erfiðra veðuraðstæðna var ekki farið mæliferð á safnsvæði fyrr en í nóvemberlok.

Á 2. mynd sést að vetrarsnjósöfnun var talsvert undir meðallagi á safnsvæðinu, en neðantil á leysingasvæði var vetrarýrnun með minnsta móti. Það sumraði seint og haustaði snemma, en júlí að mestu hlýr og bjartur, sumarryrnun var nærri meðallagi á öllum mælistöðum, nema í Br7 þar sem sumarryrnun var verulega minni en í meðalsumri. Í mælistöðvum á safnsvæði var ársafkoma nærri meðallagi en rýrnun á leysingasvæði verulegi minni en í meðalári.

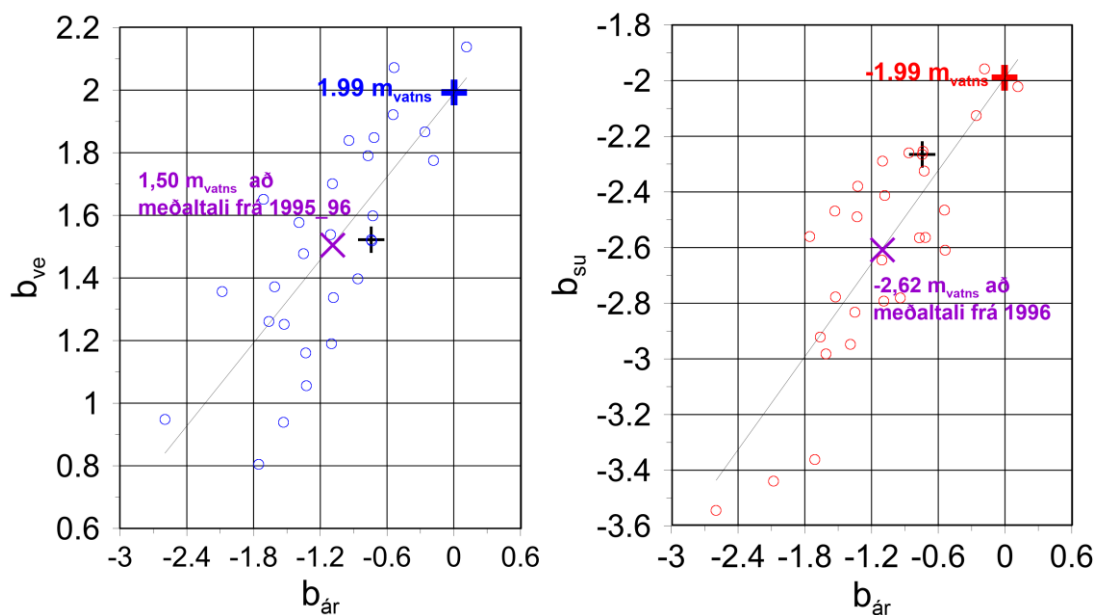


3. mynd. Dreifing vetrar- (vinstri) sumar- (miðja) og ársafkomu (hægri) á Breiðamerkurjökli 2023-24 (afkoma í m vatns). Ísasvið Breiðamerkurjökuls er sýnt með rauðri línu (vinstri rammi) og vatnasvið Jökulsárlóns á Breiðamerkursandi með blárrí línu (miðju rammi).

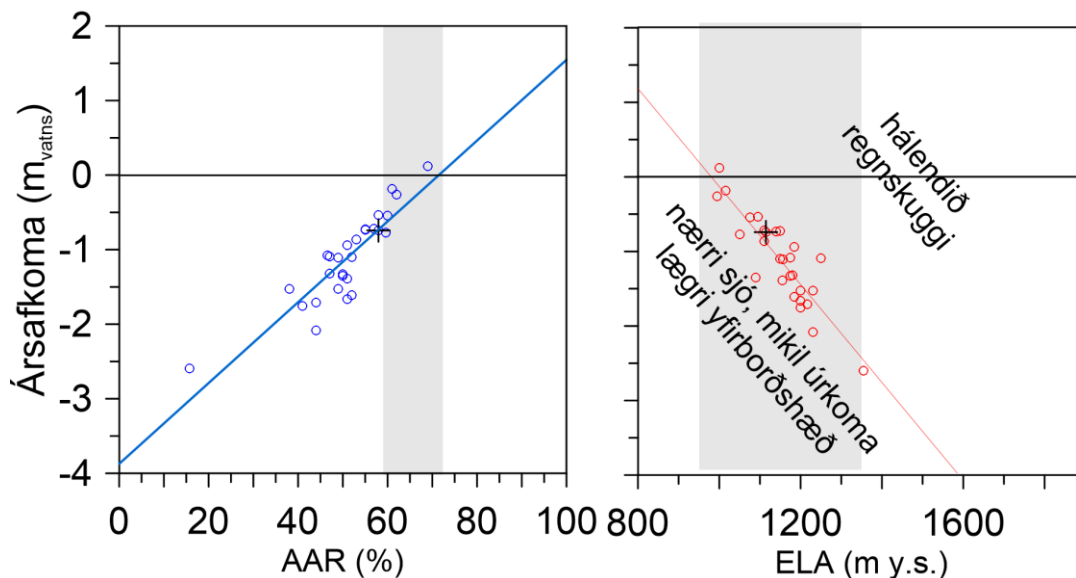


4. mynd. Yfirborðsafkoma Breiðamerkurjökuls metin eftir afkomumælingum *vetur*, *sumar* og *jökulár*. Hér ekki er tekið tillit til kelfingar, en síðustu ár er kelfing metin svara til $\sim 0,6$ m viðbótar rýrnunar.

Flatartegur afkomukortanna yfir ísavið jökulsins skilar heildarafkomutölum (3. og 4. mynd). Ársafkoma 2022_23 var nærri meðallagi efst á safnsvæðinu og heildarýrnun verulega meiru en í meðalári. Vetrarafkoma reyndist $1,52 \text{ m}_{\text{vatns}}$ eða um 2 % umfram meðaltal mælitímans. Rýrnun sumarsins var $-2,27 \text{ m}_{\text{vatns}}$ eða um 87 % af meðalrýrnun mælitímans. Jökulárið 2023_24 var ársafkoman $-0,74 \text{ m}_{\text{vatns}}$, eða rýrnun um 66 % þess sem verið hefur í meðalári frá því mælingar hófust um miðjan tíunda áratug síðustu aldar. Ef frá er talið jökulárið 2014_15 hefur ársafkoman verið neikvæð allt mælitímabilið ($-1,13 \text{ m}_{\text{vatns}}$ á ári að meðaltali). Auk massataps vegna afkomu við yfirborð tapast ís vegna kelfingar í Jökulsárlón, samkvæmt nýjasta mati um $0,4$ til $0,5 \text{ km}^3$ af ís á ári (sjá umfjöllun hér aftar).



5. mynd. Ársafkoma ($b_{\text{ár}}$) Breiðamerkurjökuls teiknuð á móti vetrarafkomu (b_{ve} , vinstri) og sumarafkomu (b_{su} , hægrei). Mæligildi jökulársins 2023_24 eru merkt með svörtum +.



6. mynd. Ársafkoma Breiðamerkurjökuls teiknuð á móti mældri hæð jafnvægislínu (ELA) á mælisniði og hlutfalli safnsvæðis af heildarflatarmáli (AAR). Svartur + er gildi jökulársins 2023_24. Gráa svæðið sýnir spannið sem mælingar sýna að $b_n(ELA)$ og $b_n(AAR)$ annarra skriðjökla Vatnajökuls skeri $b_n=0$ línuna.

Á 5. mynd er sýnt sambengi ársafkomu Breiðamerkurjökuls við vetrar- og sumarafkomu með því að teikna ársafkomu á móti vetrarafkomu annars vegar en sumarafkomu hins vegar. Bæði línuritirn sýna sterkt samband og gefa vísbendingu um að til þess að afkoma Breiðamerkurjökuls sé í jafnvægi miðað við núverandi lögun ætti umsetning að vera um $1,99 m_{vatns}$ ($b_{ve} = 1,99 m_{vatns} = -b_{su}$). Mæliröðin sýnir hins vegar að meðalvetrarafkoma er aðeins $1,50 m_{vatns}$ eða $\sim 75\%$ af $1,99 m_{vatns}$ og meðalsumarleysing um 31% umfram ($-2,62 m_{vatns}$). 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 Vatnajökuls þar sem afkoma er mæld er summarrýrnun 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 sambengi 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 með AAR og b_n með ELA er svipaður fyrir Breiðamerkurjökul og hina skriðjökla; um $0,6 m_{vatns}$ fyrir 10% breytingu AAR og $0,65 m_{vatns}$ fyrir 100 m breytingu ELA.

Samandregnar upplýsingar um afkomu Breiðamerkurjökuls jökulárið 2023_24 eru sem hér segir:
Flatarmál = $874 km^2$ (samkvæmt jaðri 2023)

$B_{ve} = 1,33 km^3$; $b_{ve} = 1,52 m_{vatns}$ (meðatal 1995_96-2022_23 er: $b_{ve} = 1,50 m_{vatns}$)
 $B_{su} = -1,98 km^3$; $b_{su} = -2,26 m_{vatns}$ (meðatal 1996-2023 er: $b_{su} = -2,61 m_{vatns}$)
 $B_{ár} = -0,65 km^3$; $b_{ár} = -0,74 m_{vatns}$ (meðatal 1995_96-2022_23 er: $b_{ár} = -1,11 m_{vatns}$)

ELA (hæð jafnvægislínu) = ~ 1115 m y.s. (á mælisniði);

AAR (hlutfall safnsvæðis af heildarflatarmáli) = 58%

(Afkomustærðir eru 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 er sýnt á 7. mynd eins og hún er metin eftir sumarafkomu (ekki tekið tillit til úrkomu hvort heldur sem er rigning eða snjócoma sem fellur og bráðnar jafnharðan, sem líklega er af stærðargráðu 10-20% til viðbótar). Sumarafrennsli til lónsins jafnað yfir jökulárið 2022_23 var rétt tæplega $44 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ sem er um 77% meðalafrennslis til lónsins frá 1996 til 2022 sem er $57 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$.

Afrennsli vegna vetrarleysingar eru miklu minna, af stærðargráðu nokkrir rúmmetrar, en erfitt að meta eftir afkomumælingunum einum, því að vetur eru úrkomusamir og snjóa neðan 500 m leysir að mestu jafnharðan. Niðurstöður nýrrar könnunar okkar á kelfingu útfrá skriðhraðamælingum eftir gervitunglagögnum (og sagt var frá í skýrslu ársins 2023) benda til að kelfing um þessar mundir (jökulárið 2020_21) sé nærri $0,4 \text{ km}^3$, en hafi árið 2014_2015 verið $0,48 \text{ km}^3$ með um 10% óvissu.

Jöklahópur hefur í fyrri greinargerðum metið að kelfing hafi verið fjórðungur úr km^3 um miðjan fyrsta áratug aldarinnar (sem samsvarar 15% meðalsumarleysingar á vatnasviðinu). Sterkar vísbendingar eru um að kelfing hafi aukist í kjölfarið, það voru niðurstöður vinnu fransks nemenda sem var hjá jöklahópi sumarið 2009 og vann að mati kelfingar út frá ýmsum gervitunglagögnum. Samkvæmt þeirri vinnu var kelfing árið 2007 $\sim 0,25 \text{ km}^3$ en $\sim 0,7 \text{ km}^3$ árið 2009, það ár var þó einstakt að því leyti að lónið var meira og minna þakið ísjökum langtímum saman. Ef gert er ráð fyrir að bráðnun íss í lóninu sé nálægt $0,5 \text{ km}^3$ af ís á ári eru það nærri $16 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ að meðaltali, en mest bráðnar yfir sumarmánuðina (mun minna í nóvember til febrúar/mars), þannig gæti tillegg þessa verið nálægt $50 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ yfir sumartímann.

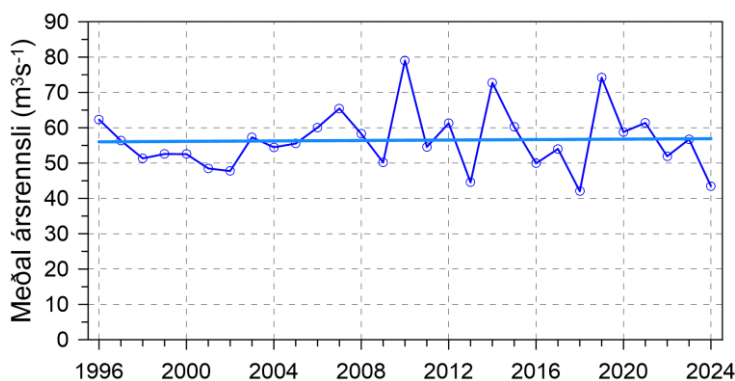
Samandregið má meta meðalársrennsli sem yfirborðsbráð auk úrkomu sem rennur jafnóðum burt og kelfingar = $57 + (0,1 \text{ til } 0,2) \cdot 57 + 16$ eða nærri 80 til 90 m^3s^{-1} (miðliðurinn er 10-20% viðbót vegna regns og snjós sem leysir jafnharðan).

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 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 400-600 m^3s^{-1} . Þetta má vinna betur með reiknilíkönunum sem byggja þeirri röð veðurgagna sem til eru.

Mat á hámarksrennsli til Jökulsárlóns má nálgast á eftirfarandi hátt:

Breiðmerkurjökull og Jökulsárlón eru á einu 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 ($\sim 740 \text{ km}^2$) 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 $\sim 6 \text{ m}$ ef ekkert rynni burt). Atburður af þessu tagi eru mjög ólíklegir að sumarlagi, en atburðir sem svara til helming þessa ætti ekki að útiloka.

Að minnsta kosti þrjú jökulstífluð lón geta hlaupið til Jökulsárlóns undir Breiðamerkurjökul: Vel þekkt lón í Veðurárdal (um 2 km^2), 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 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 samsvarar 1 m yfirborðshækkun í Jökulsárlóni). Nánari umfjöllun er um bæði þessi lón hér að aftan. 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.



7. mynd. Meðalársafrennsli yfirborðsleysingarvatns (metið útfrá sumarafkomu) til Jökulsárlóns sumurin 1996 til 2024 (á jökulári þ.e. október til september). Ef einnig tekið er tillit til kelfingar og úrkomu sem rennur burt nær jafnóðum fæst að meðalársafrennsli er $80\text{-}90 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$.

Veðurathuganir

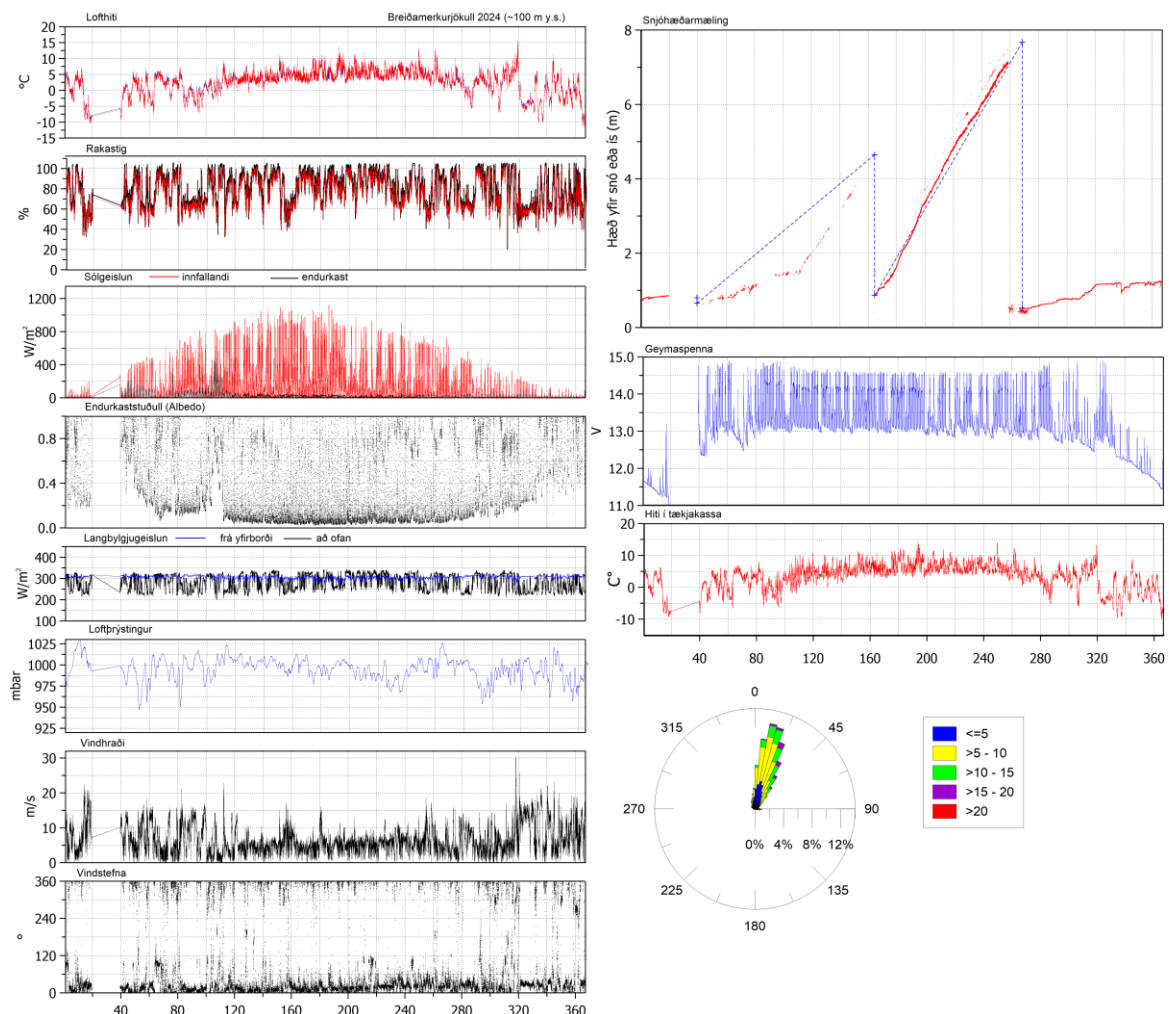
Til að auka skilning á samhengi veðurs og jöklabreytinga hefur verið aflað veðurgagna á jökli með sjálfvirkum veðurstöðvum. Á Breiðamerkurjökli var árið 2024 ein veðurstöð í rekstri allt árið (í um 100 m hæð (Br1)). Um sumarið var einnig rekin veðurstöð í um ~1250 m (Br7) hæð á Breiðamerkurjökli, en þar er ekki fjarskiptasamband. Þegar neðri stöðin var heimsótt í lok september var ljóst að svo stutt var í jöklurönd að á næsta leysingatímabili mætti minnstu muna að hún vær komin af jökli út á fastalandið. Hún var þess vegna flutt ofar á jökulinn um 400 m vegalengd og situr nú um 60 m hærra (úr um 50 í 117 m hæð yfir sjó) en í sumarlok.

Yfirlit mældra veðurþátta veðurstöðvar í Br1 er sýnt á 8. mynd og á þeirri 9. yfirlit mældra veðurþátta á Br7. Veðurstöðin er einkar mikilvæg því hún er sú eina á jöklum landsins í svo lágrí hæð yfir sjó, en einnig sú sem er í hafrænu loftslagi þar sem áhrif Atlantshafs lágþrýstisvæðanna eru mikilvirkust.

Gögnin sem aflað hefur verið á veðurstöðvunum hafa verið og verða notuð sem inntak í reiknilíkön orkubúskaps við jökulyfirborð (sjá t.d. Louise Schmidt ofl. 2017, 2018 og 2020, Brice Noel ofl. 2022) til að meta leysingu og stilla af afkomulíkön sem byggja á reikningum útfrá lofthjúpslíkönnum (lofthjúpslíkön sem byggja á mældum veðurþáttum). Þannig fæst möguleiki til að reikna tímaraðir afrennslis bæði aftur og einnig fram í tímann eftir loftlagsspám.

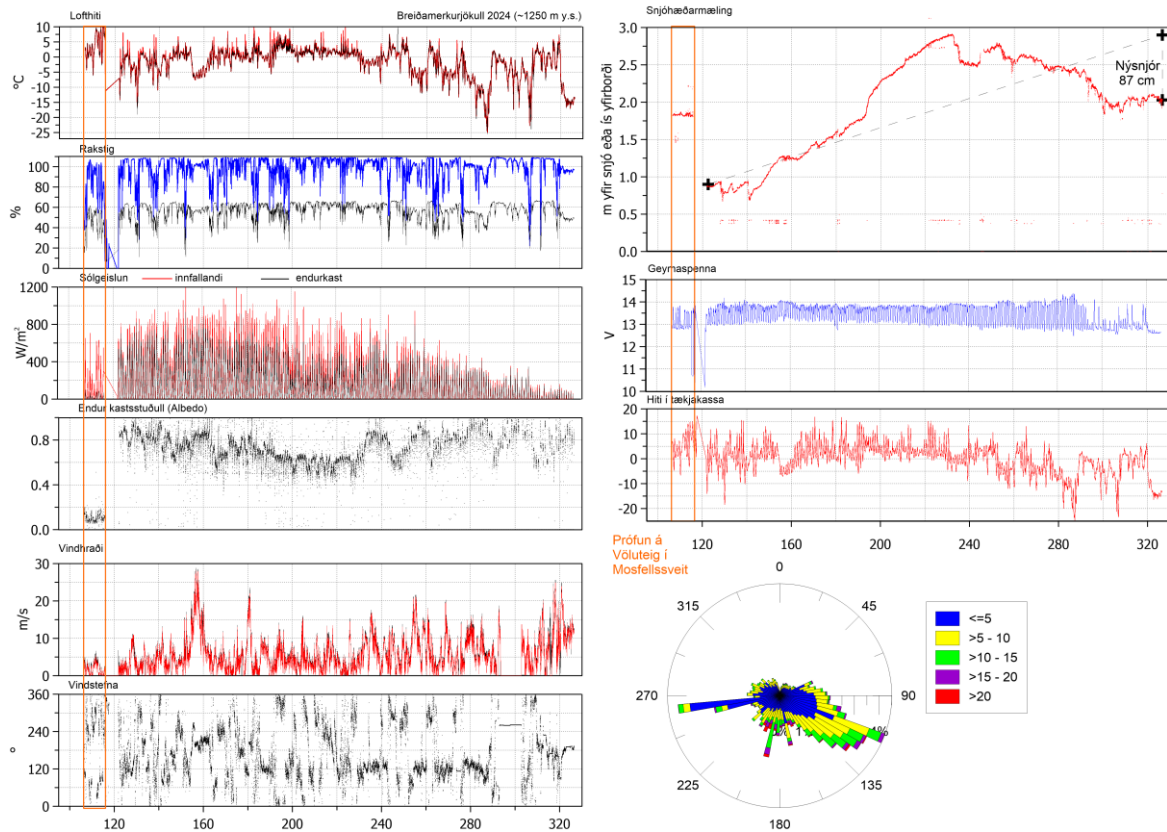
Einnig má nýta þessar mælingar til að dreifa afrennslis frá jöklinum á tíma og fá þannig betra mat á dreifingu afrennslis og hámark þess. Jöklahópur JH og Landsvirkjun hafa í nær þrjá áratugi átt samvinnu um rekstur ~10 veðurstöðva á Vatnajökli. Nú hefur verið gerður gagnagrunnur allra veðurgagna sem aflað hefur verið á jöklum, og grein um þetta gagnasafn og helstu einkennum veðurþátta send ritryndu fagtímariti til birtingar.

Í framhaldinu verður reiknaður orkubúskapur sumars á öllum veðurstöðvum öll árín og það síðan nýtt til að sannreyna og skala reiknilíkön orkubúskaps útfrá almennum veðurlíkönnum. Sú vinna mun skila jöklaleysingu sem falli af tíma og rúmi sem heilda má yfir tiltekin svæði, t.d. vatnasvið Jökulsárlóns og fá þannig tímabreytileika afrennslis leysingavatns þangað.



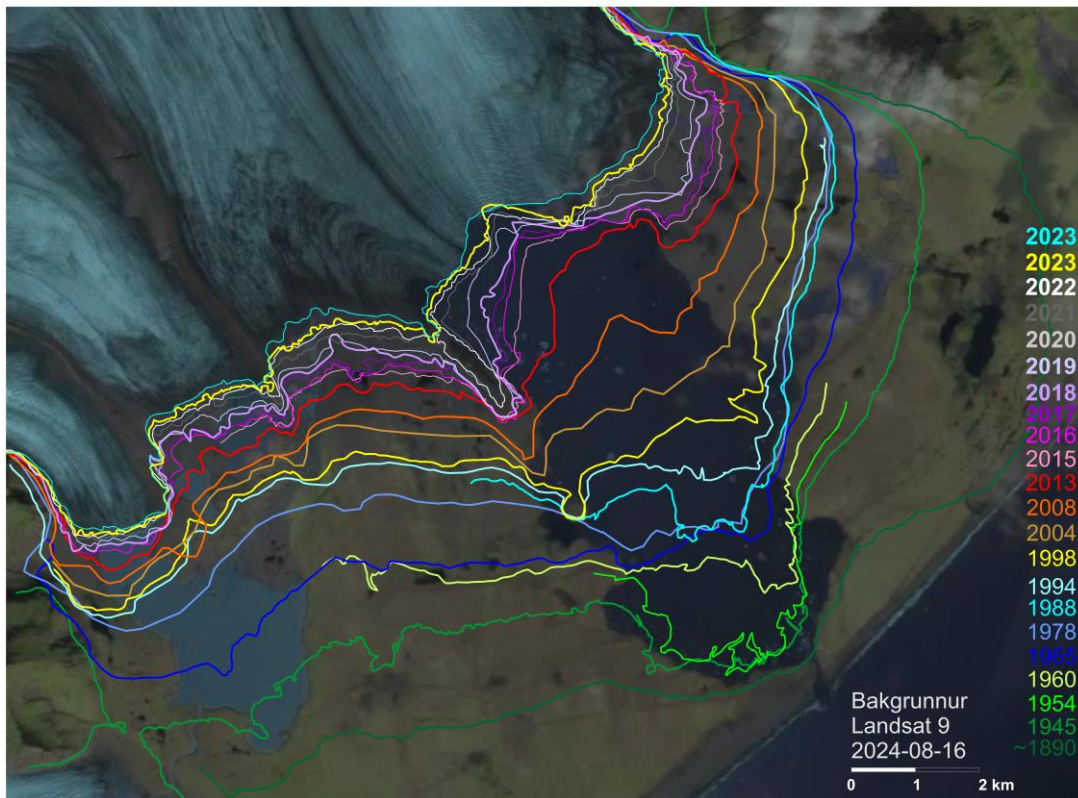
8. mynd. Mældir veðurþættir árið 2024 á veðurstöð í um 100 m hæð á sporði Breiðamerkurjökuls.

Könnun línurita veðurþátta á 8. og 9. mynd sýnir vel hve stormasamt var árið 2024. Tímabil ofsaveðurs um mánaðarmótin maí-júní og aftur um miðjan júní og röð norðan og austan hauststorma einnig. Sólgeislun sýnir tvö tímabil sumarheiðríkju, í tvær vikur frá maílokum fram í júní, og tæpar þrjár vikur frá síðustu viku júní fram í júlí. Eftir miðjan ágúst hættir leysing í 1250 m hæð og skörp snjósöfnun verður á nokkrum dögum, og eftir það kaffli leysingar á ný í nokkra daga, síðan safnast fyrir snjór jafnt og þétt þar til í lok október, en lítið sem ekkert í nóvember. Kuldakafli með frosti undir -20°C voru miðjan október, fyrstu viku nóvember og aftur í 3. viku þess mánaðar dagana áður en stöðin var tekin niður.



9. mynd. Mældir veðurþættir árið 2024 á veðurstöð í um 1250 m hæð á austurstraumi Breiðamerkurjökuls.

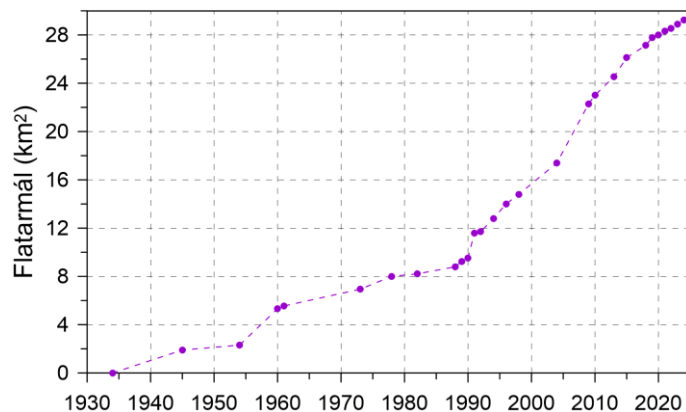
Breiðamerkurjökull rýrnar og hörfar



10. 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, Landsat-8 og 9, Sentinel-2), annað eftir flugmyndum Landmælinga Íslands. Í bakgrunni er mynd frá Landsat 09 (sýnilega sviðið, 15 m upplausn, NASA) tekin 16. ágúst 2024 en jaðarinn 2024 er rakinn eftir henni.

Fylgst hefur verið með legu jaðars Breiðmerkurjökuls eftir ýmsum tiltækum gögnum m.a. gervihnattamyndum. Á 10. mynd er sýnd lega jökuljaðars á ýmsum tímum frá lokum Litlu ísaldar um 1890. Nýjasti jaðarinn er unnin eftir Landsat 9 gervihnattamynd frá 16. ágúst 2024. 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 áratuginn. Þetta endurspeglar þróun veðurfars þetta tímabil.

Auk Jökulsárlóns eru nokkur önnur jaðarlón, sum nýlega mynduð vegna hörfunar jökuls af lægðum í botninum. Vestast og langstærst þeirra er Breiðárlón, rétt rúmlega 6 km², en hefur lítið stækkað síðustu árin. Breiðárlón liggur í lægð sem heldur áfram inn undir jökulinn til norðurs og svo vesturs og miðað við núverandi vatnshæð (~21 m) gæti lónið lengst um nærri 6 km, og dýpi þess orðið ríflega 100 m rétt inn við núverandi sporð. Rétt austan Breiðárlóns eru tvö lón sem myndast hafa við hörfun jökulsins síðasta áratuginn við jaðarinn milli Breiðárlóns og Mávabyggðarandar. Vestara lónið sem nú er ~0,35 km², en mun líkast til ekki stækka meira, skv. botnkorti hækkar landið þarna fyrir innan. Eystra lónið er nú ríflega 1,0 km² en botnkortið gefur kynna að það geti stækkað til NNV og orðið allt að 6 km langt, dýpst um 100 m og nærri 10 km² að flatarmáli. Varla líða mörg ár áður en þarna fer að kelfa, því botninn lækkar til

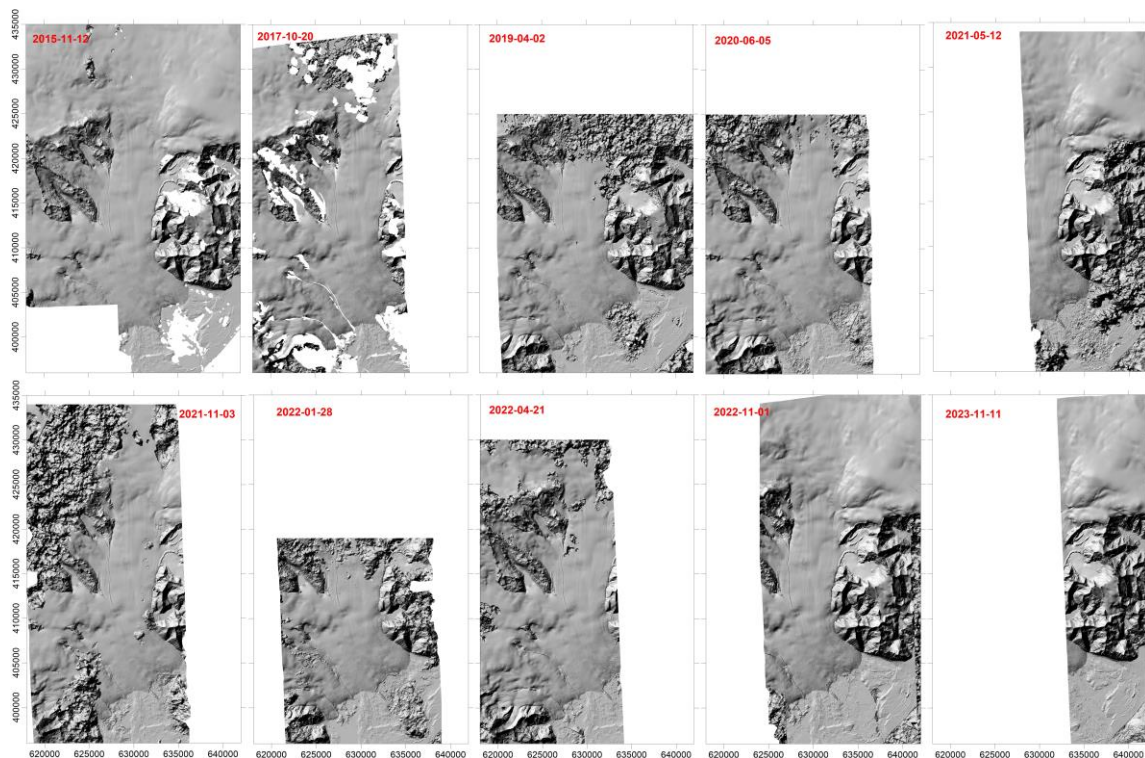


11. mynd. Flatarmál Jökulsárlóns unnið eftir flugmyndum úr safni Landmælinga Íslands til 1998 en frá 2003 eftir gervihnattamyndum (SPOT-5, Landsat og Sentinel-2).

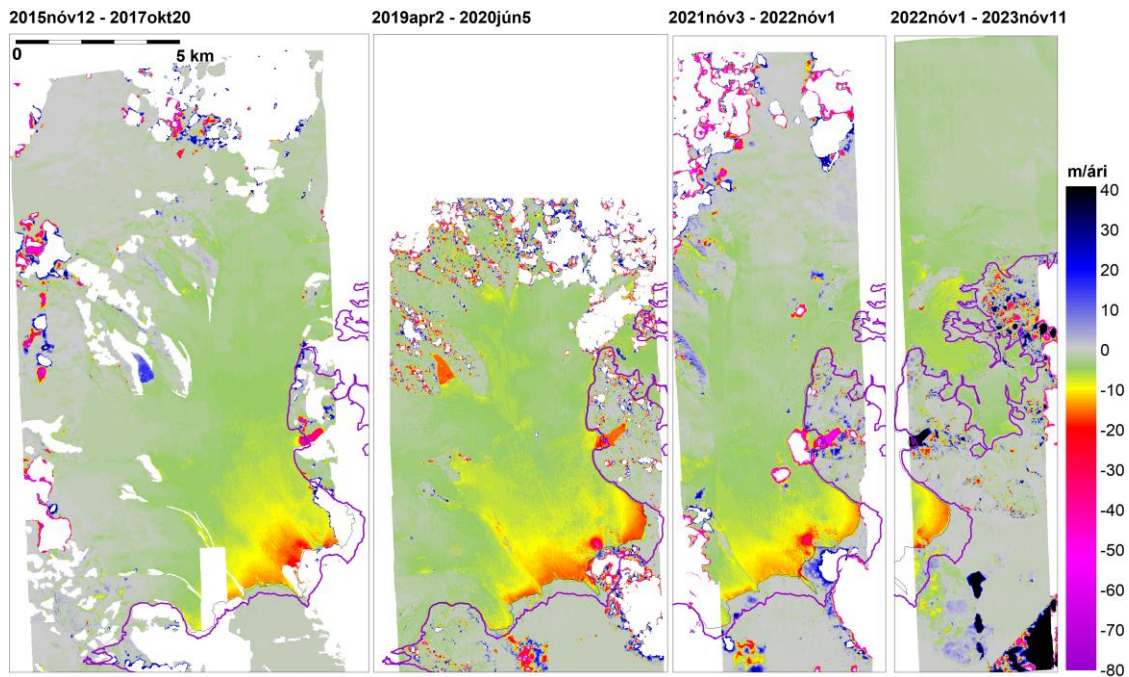
norðurs. 2020 kom út ritrýnd grein í tímaritinu Jökli (Snævarr Guðmundsson o.fl. 2020), en skýrsluhöfundar eru meðal höfunda. Í greininni eru lýst þróun helstu jaðarlóna við SA skriðjökla Vatnajökuls, m.a. bæði Breiðarlóns og Jökulsárlóns, þróun lónanna lýst og helstu kennistærðir þeirra settar fram. Efni greinarinnar verður ekki endurtekið hér, en á 11. mynd má lesa þróun flatarmáls Jökulsárlóns frá um 1935, þegar fyrstu ummerki um lón sáust. Skyndileg breyting flatarmál 1991-92 er vegna þess að þá sameinaðist Stemmulón (nú austur frá miðbiki Jökulsárlóns) Jökulsárlóni. Milli 2023 og 2024 stækkaði Jökulsárlón um 0,5 km², er nú 29,3 km² en stækkun lónsins síðasta ártuginn hefur að jafnaði verið 0,43 km²/ári.

Í grein jöklahóps árið 2001 (Helgi Björnsson og fleiri) var gerð grein fyrir hvernig Jökulsárlón dregur í sig orku sem er í hlutfalli við stærð lónsins, einkum sólgeislun og þó í enn meiri mæli frá orkuríkum (7-11°C heitum) sjó sem streymir inn og út úr lóninu á sjávarföllum (mælingar gerðar að frumkvæði Jóns Ólafssonar haffræðings, með stuðningi Vegagerðar, hafa verið kynntar á veggspjöldum og notaðar í nemendaverkefnum, en ekki enn birst í greinum nema Brandon o.fl. 2017). Orkan nýtist til að bræða ís í lóninu er nú mun meiri en þarf til að bræða það magn íss sem kelfir út í lónið.

Jöklahópur hefur í áratugi aflað eða búið til hæðarlíkön eftir ýmsum gögnum til að fylgjast með hæðar og rúmmálsbreytingum Breiðamerkurjökuls og m.a. birt niðurstöður í fyrri skýrslum, síðast var skoðuð hlæðarbreyting á tímabilinu 2010 til 2021. Nýlega urðu aðgengileg ArcticDem hæðarlíkön á árabílinu 2020 til 2023 (sjá hér: <https://arcticdem.apps.pgc.umn.edu/>). Hæðarlíkön af Breiðamerkurjökli í þessu safni hafa veið sótt, þeim varpað í ISN93 hnitakerfi og varpað úr hæð yfir sporvölu í hæð yfir sjó. Hæðarlíkönin eru oftast dálítið hliðruð (oft af stærðargráðu 1-5 m í þrívíðu). Með því að nota hæðarsnið eftir hringveginum sunnan Breiðamerkurjökuls hefur þeim nú verið hliðrað (í hæð) að hæð þjóðvegans í IslandsDem v1.0 Landmælinga Íslands. Á 12. mynd eru þessi hæðarlíkön sýnd. Þau spanna mismundi stór svæði jökulsins og eru mismunandi að gæðum, á nokkrum eru stór svæði rusl líklega mest vegna skýja ofantil á jöklinum og það á líka við um lónstæðin á sumum þeirra etv. vegna þokuslæðinga í röku loftinu yfir þeim. Engu að síður má vinna eftir þessum hæðarlíkönunum mismunakort til að skoða hæðarbreytingar yfir stutt eða löng tímabil, og nýta til að rekja með betri nákvæmni legu jökulsporða.



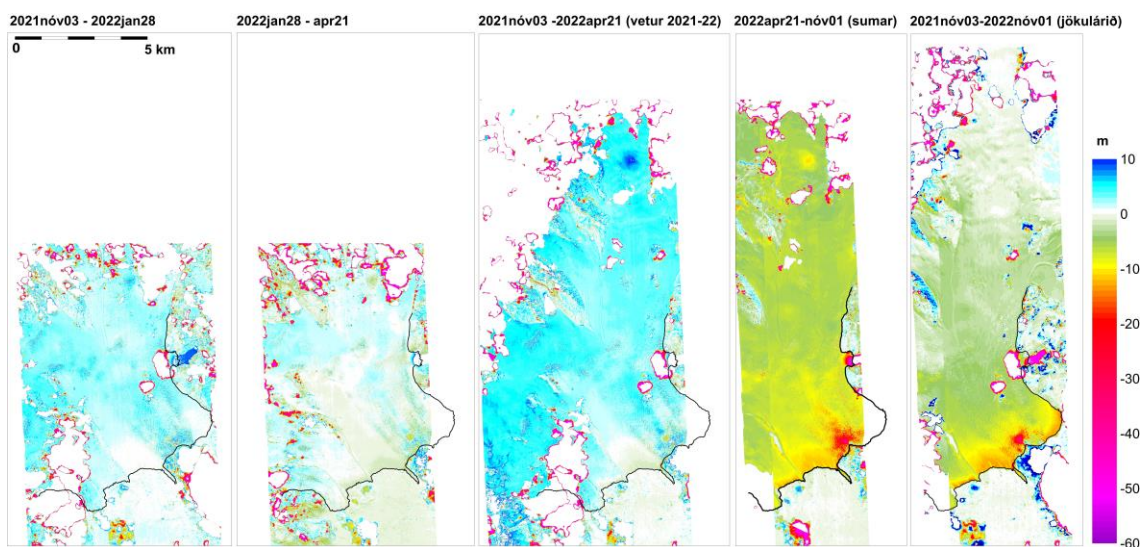
12. mynd. ArcticDem hæðarlíkön Breiðamerkurjökuls og nágreinnis á ýmsum tímum á árabílinu 2015 til 2023. Hæðarlíkönin eru í 10 m upplausn í ISN93 hnitakerfi og hæð yfir sjó. Hæðarhliðrun hefur veið leiðrétt með því að nota til viðmiðunar hæðarsnið eftir hringveginum sunnan Breiðamerkurjökuls í IslandsDem v1.0 Landmælinga Íslands. Frumgerð hæðarlíkananna var sótt á vefinn <https://arcticdem.apps.pgc.umn.edu/>



13. mynd. Röð eins árs hæðarbreytinga gerð eftir mismuni ArcticDem hæðarlíkana Breiðamerkurjökuls og nágrennis á ýmsum tímum á árabílinu 2015 til 2023.

Nokkur slík hæðarbreytingkort eru sýnd á 13. mynd. Allur jökullinn neðan um 1200 m lækkar, hröðust er lækkunin þar sem sporðurinn kelfir í Jökulsárlón, þar verður mikil tognun á ísnum auk þess sem af honum kelfir til lónsins. Einnig er áberandi hve rýrnunin hefur hraðað á sér á svæðinu milli Mávabyggða- og Esjufjallaranda vegna þess að ísflæði þangað hefur minnkað, ísinn flæðir nú sífellt meir úr norðvestri að Jökulsárlóni í stað þess að fara til suðurs í átt að sporðinum milli randanna. Þangað er nú nærri ekkert ísflæði þannig að sá hluti jökulsins hjaðnar hratt og gengur til baka. Það á einnig við um austasta hluta jökulsins, tunguna austan Jökulsárlóns.

Á 14. mynd er sýnd þróun hæðarbreytinga á Breiðamerkurjökli á jökulárinu 2021_22, frá hausti til loka janúar, þaðan til vors (21. apríl), þá veturinn í heild, svo sumarið 2022 og loks breytingar á öllu árinu. Á neðanverðum jöklinum er snjósöfnun lítil sem engin þannig að hæðarbreytingar þar eru fyrst og fremst vegna ísskriðs. Það er áberandi á fyrri vetrarmyndinni hvernig straumurinn er til Jökulsárlóns en nær engin til sömu jaðarsvæða og nefnd eru hér að ofan. Þetta er ekki eins áberandi á síðvetrarmyndinni, enda er talsverð leysing að jafnaði í apríl þannig að lækkun vegna leysingar vegur upp að nokkru leiti



14. mynd. Þróun hæðarbreytinga jökulárið 2021_22 samkvæmt mismuni ArcticDem hæðarlíkana Breiðamerkurjökuls og nágrennis á ýmsum tímum á árabílinu frá hausti 2021 til hausts 2022.

hækkun vegna ísskriðs. Þar sést einnig að leysing við hina kyrrstæðu jaðra frá nóvemberbyrjun til aprílloka er 1-3 m. Sumarlækkunin er mjög tengd yfirborðshæðinni, nema þar sem ísflæðið er hraðast til lónsins, þar er lækkunin margföld það sem er í svipaðri hæð annarsstaðar.

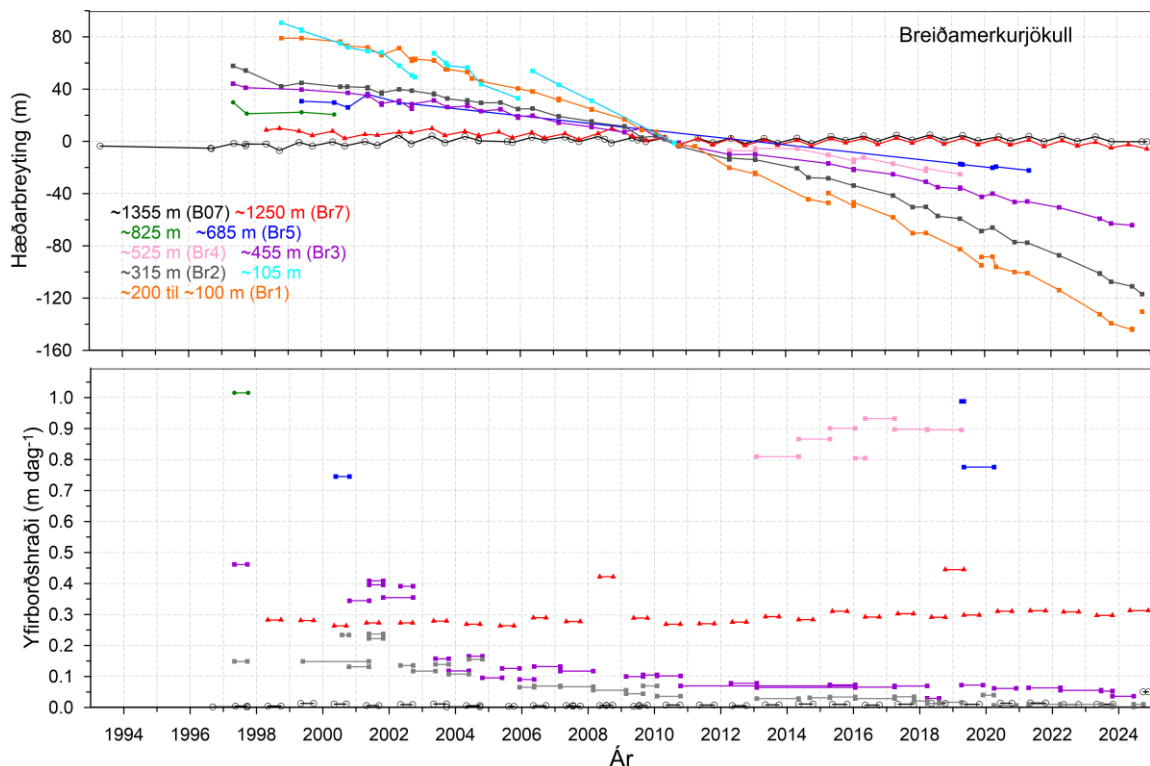
Skriðhraðamælingar

Allir afkomumælistaðir eru mældir inn með landmælinga GNSS-tækjum þegar vitjað er um þá. Þannig fæst skriðhraðamæling í stökum mælipunktum. Niðurstöður þeirra mælinga og breytileiki með tíma eru sýndar á 15. mynd. Í tengslum við CISIM verkefnið sem rætt verður hér aftar, var sett upp síritandi GNSS stöð á mælistað Br3 vorið 2021 og var í rekstri út árið 2022, og gerð var grein fyrir í greinargerð síðasta árs. Þá var frá 2022-2023 einnig rekstri GNSS mælistöð (BRDA) nærri jaðri á kelfandi hluta jökulsins við Jökulsárlón, en sú stöð tekin niður í júní 2023 (sjá: <http://husbondi.rhi.hi.is/brda/>).

Á 15. mynd (neðri) er sýnd útlínun skriðhraða á afkomumælistöðvum á Breiðamerkurjökli. Þar sést meðal annars að blásporðurinn milli Jökulsárlóns og Breiðárlóns (í miðstraumi jökulsins) er nærri kyrrstæður (Br1) og láréttur hraði jökulsins þar fyrir ofan (Br2 og Br3) nokkrir tugir metra á ári (5-10 cm á dag), en á austur straumnum er skriðhraðinn Br4, Br5 og Br7 ~0,3 til 1 m á dag og hraðinn á GNSS BRDA mælistöðinni að jafnaði um 1,25 m á dag, en breytilegur með tíma, mestur um 3 m á dag. Sveiflurnar í hraðanum tengjast væntanleg mest skyndilegum breytingum á vatnsþrýstingi við botninn, sem ræðst af framboði leysingavatns frá yfirborði og rigningu.

Skriðhraði í Br3 hefur lækkað með tíma, líklega vegna þessa að vegna þess að ísstraumur til austurs hefur þokast norðar.

Á árinu 2020 hófst rannsóknaverkefnið CISIM sem stutt er af RANNÍS, en í forsvari eru Tómas Jóhannesson á Veðurstofu Íslands og EM (annar skýrsluhöfundar). Eitt verkefna innan CISIM (rannsókn doktorsnema við Jarðvísindadeild) er að kanna með ísflæðilíkani samspil vatns við botn (vatnsþrýstings) og hreyfingar jökulíss, en þar verður Breiðamerkurjökull eitt helsta viðfangsefnið og mæliraðir okkar um afkomu, skriðhraða, yfirborðsbreytingar og veðurþætti mikilvæg grunn gögn. Auk VÍ og JH kemur að CISIM verkefninu fyrirtækið ENVEO í Austurríki sem vinnur eftir radarmælingum gervitungla hraðasvið yfirborðs jarðar. Enveo vinnur fyrir allt Ísland með sjálfvirkum hætti hraðasvið á 6 daga eftir



15. mynd. Á efri myndinni eru sýndar hæðarbreytingar á afkomumælistöðvum, unnar sem mismunur hæðarmælinga með landmælinga GPS tækjum og Lidarhæðarkorts frá 2010. Á neðri myndinni er sýndur yfirborðsskriðhraði í mælistöðvum metin út frá staðsetningu mælistika og víra sem mæld er með landmælinga GNSS tækjum vor og haust.

radarmælingum Sentinel gervitungla ESA (sjá Jan Wuite ofl. 2022). Þó hraðasviðin séu misjöfn að gæðum eru meginrættir ljósir á þeim öllum. Öflugur ísstraumur er úr norðri niður austurstrauminn, meðalárshraði er víða á bilinu 1-2 m á dag um miðbik straumsins, en mestur nærri jaðri kelfandi hluta jökulsins til Jökulsárlóns, þar sem ársmeðalhraðinn er á 3 m á dag. Einnig er sterkur ísstraumur úr vestri norðan Mávabyggða og flytur ís að austurstraumnum, einnig sunnan Mávabyggða frá Hermannskarði og norðurdögum Öræfajökuls og af Öræfajökli til Breiðárlóns.

Þessar upplýsingar um hraðasvið má nýta ásamt botn og yfirborðskortum til að reikna ísflæði til einstakra svæða, t.d. að jaðarlónunum, en gerð var grein fyrir slíku mati í skýrslu síðasta árs (2023).

Lokaorð

Hér að ofan hefur verið gerð grein fyrir verkum, mælingum og úrvinnslu, sem aflað var á verkárinu 2024. Auk þeirra var unnið með hæðarlíkön Breiðamerkurjökuls, mismunur þeirra nýttur til að skoða hæðarbreytingar og draga af þeim ályktanir. Eftir hæðarlíkönunum og gervihnattamyndum má einnig skoða rúmmál lóna og hlauptíðni lóna sem hleypur úr til Jökulsárlóns en það verk bíður næsta verkárs. Einnig er vonast til að afla megi nýrra gagna sem leyfa endurnýjað mat á magni kelfingar til Jökulsárlóns.

Tilvísanir:

The GlaMBIE Team. Community estimate of global glacier mass changes from 2000 to 2023. *Nature* **639**, 382–388 (2025). <https://doi.org/10.1038/s41586-024-08545-z>

Jan Wuite, Ludivine Libert, Thomas Nagler and Tómas Jóhannesson. 2022. Continuous monitoring of ice dynamics in Iceland with Sentinel-1 satellite radar images. *Jökull* No 72, 2022. .
<https://jokull.jorfi.is/articles/jokull2022.72/jokull2022.72.001.pdf>

Brice Noël, Guðfinna Aðalgeirsdóttir, Finnur Pálsson, Wouters, B., Lhermitte, S., Haacker, J. M., & van den Broeke, M.R. (2022). North Atlantic cooling is slowing down mass loss of Icelandic glaciers. *Geophysical Research Letters*, 49, e2021GL095697. <https://doi.org/10.1029/2021GL095697>

Hrafnhildur Hannesdóttir, Oddur Sigurðsson, Ragnar H. Þrastarson, Snævarr Guðmundsson, Joaquín M.C. Belart, Finnur Pálsson, Eyjólfur Magnússon, Skúli Víkingsson, Ingibjörg Kaldal and Tómas Jóhannesson. A national glacier inventory and variations in glacier extent in Iceland from the Little Ice Age maximum to 2019. *Jökull* 2020: 1-34.

Guðfinna Aðalgeirsdóttir, Eyjólfur Magnússon, Finnur Pálsson, Thorsteinn Thorsteinsson, Joaquín M. C. Belart., Tómas Jóhannesson, Hrafnhildur Hannesdóttir, Oddur Sigurðsson, Andri Gunnarsson, Bergur Einarsson, Berthier Etienne, Schmidt Louise Steffensen, Hannes H. Haraldsson, Helgi Björnsson, 2020. Glacier Changes in Iceland From ~1890 to 2019 . *Frontiers in Earth Science*, Vol 8., 2020.
<https://www.frontiersin.org/article/10.3389/feart.2020.523646>, DOI=10.3389/feart.2020.523646 , ISSN=2296-6463

Snævarr Guðmundsson, Helgi Björnsson, Finnur Pálsson, Eyjólfur Magnússon, Þorsteinn Sæmundsson and Tómas Jóhannesson. 2020. Terminus lakes on the south side of Vatnajökull ice cap, SE-Iceland. *Jökull* 69, pp.1-28.

Louise Steffensen Schmidt, Aðalgeirsdóttir G, Pálsson F, Langen PL, Guðmundsson S, Björnsson H (2020). Dynamic simulations of Vatnajökull ice cap from 1980 to 2300. *Journal of Glaciology* 66(255), 97–112.
<https://doi.org/10.1017/jog.2019.90>

Louise Steffensen Schmidt; Langen, Peter; Aðalgeirsdóttir, Guðfinna; Pálsson, Finnur; Guðmundsson, Sverrir; Gunnarsson, Andri.; 2018. Sensitivity of Glacier Runoff to Winter Snow Thickness Investigated for Vatnajökull Ice Cap, Iceland, Using Numerical Models and Observations. *Atmosphere* 2018. 9, 450 2018 Multidisciplinary Digital Publishing Institut

Snævarr Guðmundsson, Helgi Björnsson, Finnur Pálsson, 2017. Changes of Breiðamerkur-jökull 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>

Louise Steffensen Schmidt, Guðfinna Aðalgeirsdóttir, Sverrir Guðmundsson, Peter L. Langen, Finnur Pálsson, Ruth Mottram, Simon Gascoin, and Helgi Björnsson. 2017. The importance of accurate glacier albedo for estimates of surface mass balance on Vatnajökull: evaluating the surface energy budget in a regional climate model with automatic weather station observations *The Cryosphere*, 11, 1665-1684, <https://doi.org/10.5194/tc-11-1665-2017>, 2017

Brandon, M., Hodgkins, R., Björnsson, H., & Ólafsson, J. (2017). Multiple melt plumes observed at the Breiðamerkurjökull ice face in the upper waters of Jökulsárlón lagoon, Iceland. *Annals of Glaciology*, 58(74), 131-143. doi:10.1017/aog.2017.101

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.

Tómas Jóhannesson, 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.

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

Helgi Björnsson, Finnur Pálsson og Magnús T. Guðmundsson. 1992. Breiðamerkurjökull, niðurstöður íssjármælinga 1991. Raunvísindastofnun Háskólans RH-92-12. 19 s. og 7 kort.