

Afkomu- og hraðamælingar á Langjökli jökulárið 2009-2010

Finnur Pálsson
Helgi Björnsson
Sverrir Guðmundsson

Jarðvísindastofnun Háskólans
og Landsvirkjun

desember 2010
RH-29-2010

Efnisyfirlit:

1. Inngangur	1
2. Afkomumælingar	2
3. Samandregnar niðurstöður afkomumælinga	3
4. Afrennsli leysingarvatns frá Langjökli	5
5. Hraðamælingar	7
6. Lokaorð	8

Viðaukar:

A. Afkoma í mælipunktum jökulárið 2009-2010	10
B. Dreifing afkomu með hæð jökulárið 2009-2010	11
C. Hnit hraðamælipunkta 2010	12
D. Mældur láréttur yfirborðsskriðhraði 2010	14
E. Afrennsli leysingar sumarið 2010	16
F. Modis gervihnattamyndir af Langjökli og nágrenni 2010.	21

Myndir:

1. mynd.	Lega afkomumælipunkta 2010.	1
2. mynd.	Vetrar-, sumar- og ársafkoma í mælipunktum.	2
3. mynd.	Afkoma á mælisniðum. A: Frá sporði Vestari Hagafellsjökuls upp á hábungu suðurhvels Langjökuls. B: Frá sporði upp á hábungu norðurhvels Langjökuls (norðvestur hluti jökulsins).	2
4. mynd.	Afkoma jökuláranna 1996-97 til 2009-2010.	3
5. mynd.	Sumarhiti (maí - september) og vetrarúrkoma (október - maí) á Hveravöllum jökulárin 1960-61 til 2009-2010. Heildregnu línurnar eru 11 ára vegin (þríhyrningur) keðjumeðaltöl. (Veðurgögn frá Veðurstofu Íslands).	3
6. mynd.	Kort sem sýna vetrar-, sumar- og ársafkomu Langjökuls jökulárið 2009-2010.	4
7. mynd.	Flatardreifing Langjökuls með hæð og uppsöfnuð dreifing afkomu með hæð, 2009-2010.	4
8. mynd.	Samhengi ársafkomu og: a. vetrarafkomu, b. sumarafkomu, c. hæð jafnvægislínu, d. hlutfalls safnsvæðis af heildarflatarmáli (AAR).	5
9. mynd.	Helstu vatnasvið og vatnaskil á Langjökli.	6
10. mynd.	Meðaltal ársafrennslis leysingarvatns frá vatnasviðum helstu vatnsfalla frá Langjökli 1997-2009. a: Vatnasvið Þingvallavatns (I); b: Vatnasvið Þingvallavatns (II); c: Hvítá í Borgarfirði; d: Hvítárvatn, Hvítá; e: Hagavatn, Sandvatn.	6
11. mynd.	Þversnið niður miðjan Hagafellsjökul vestari og mældur yfirborðshraði á því sniði sumurin 1997, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010 og einnig haustið 1998.	8
12. mynd.	Meðaltal lárétts yfirborðshraða sumarið 2010.	8

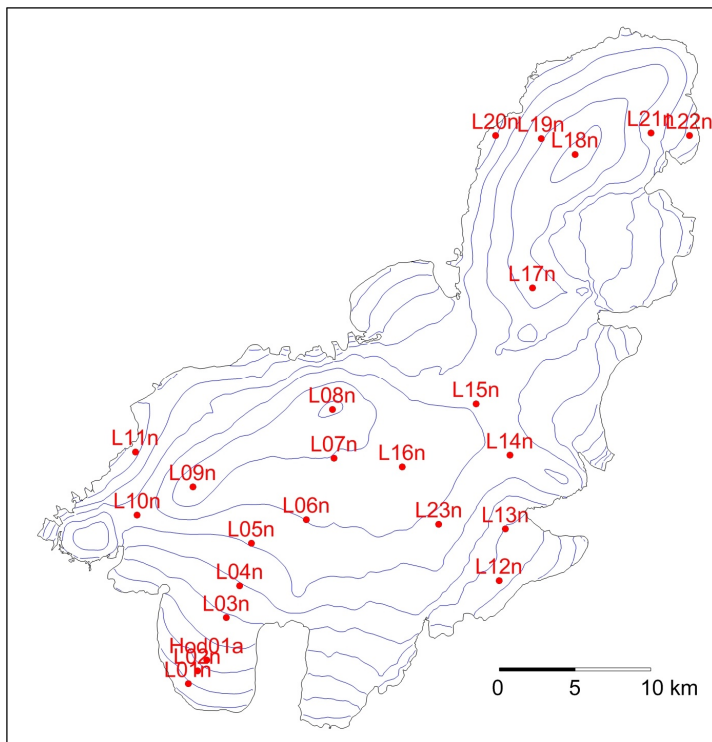
Töflur:

I.	Afrennsli leysingavatns frá Langjökli til helstu vatnasviða.	7
----	--	---

1. Inngangur.

Árið 2010 vann jöklahópur Jarðvísindastofnunar að afkomumælingum á Langjökli í samvinnu við Landsvirkjun. Í þriðju viku apríl var vetrarafkoma mæld á 24 stöðum á jöklinum og komið fyrir stikum eða vírum til að mæla sumarleysingu. Einnig voru settar upp tvær veðurstöðvar á Hagafellsjökul vestari, en grein verður gerð fyrir niðurstöðum veðurmælinganna annars staðar. Á 1. mynd sést lega mælipunkta, sem dreift var þannig að sem best mynd fengist af breytileika afkomu frá norðri til suðurs eftir jöklinum og á suðurhveli jökulsins. Hreyfing var mæld með DGPS-tækjum eða Kinematic-GPS í öllum afkomumælinga punktunum.

Að vormælingum 17-19. apríl unnu Sverrir Guðmundsson, Sveinbjörn Steinþórsson, Hlynur



1. mynd. Lega afkomumælipunkta 2010

Skagfjörð Pálsson og Ragnar Þórhallsson. Farartæki var snjóbíll HSSR og einn vélsleði Landsvirkjunar. Færið á jökli var ágætt og veður ákjósanlegt til mælinga.

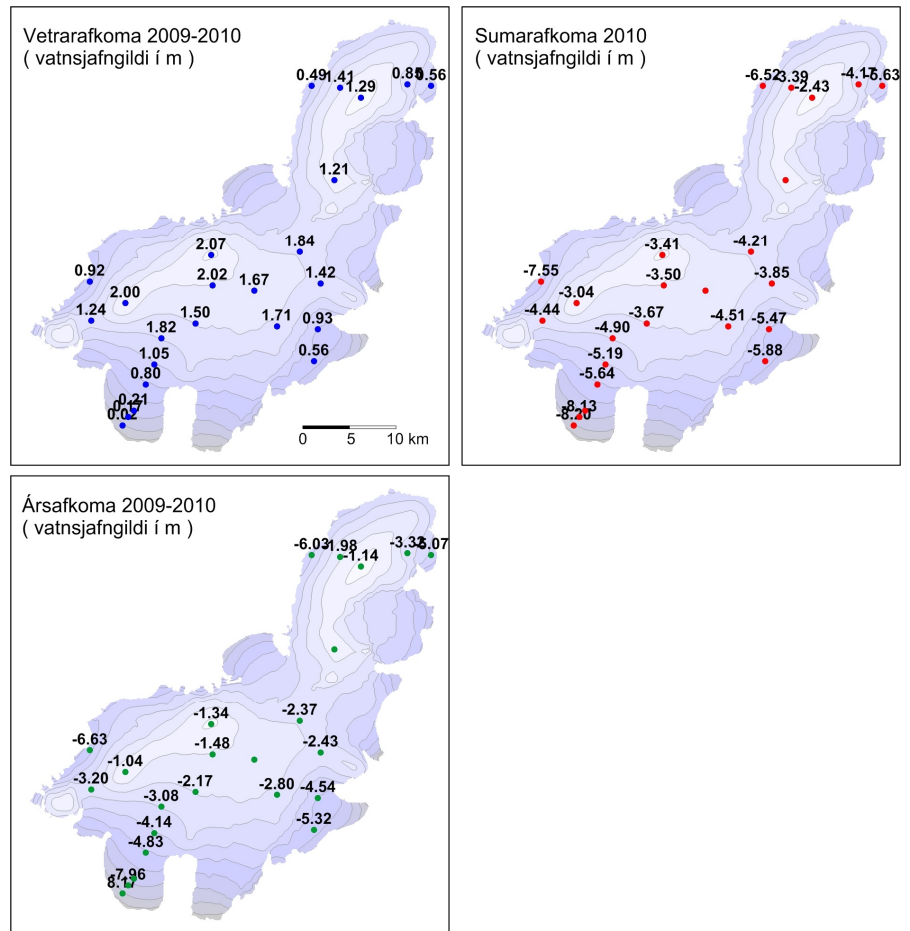
Að hausti voru farnar tvær ferðir á þyrlu 23. september og 4. október. Loks var farið á tveimur bílun JH 24. nóvember, neðri veðurstöðin tekin niður og lesið af L01, L07 og L11.

Að haustmælingum komu Sverrir Guðmundsson, Sveinbjörn Steinþórsson, Þorsteinn Jónsson, Svævarr Guðmundsson, Eyjólfur Magnússon og Finnur Pálsson. Þyrluflugmaður Norðurflugs var Snorri G. Steingrímsson.

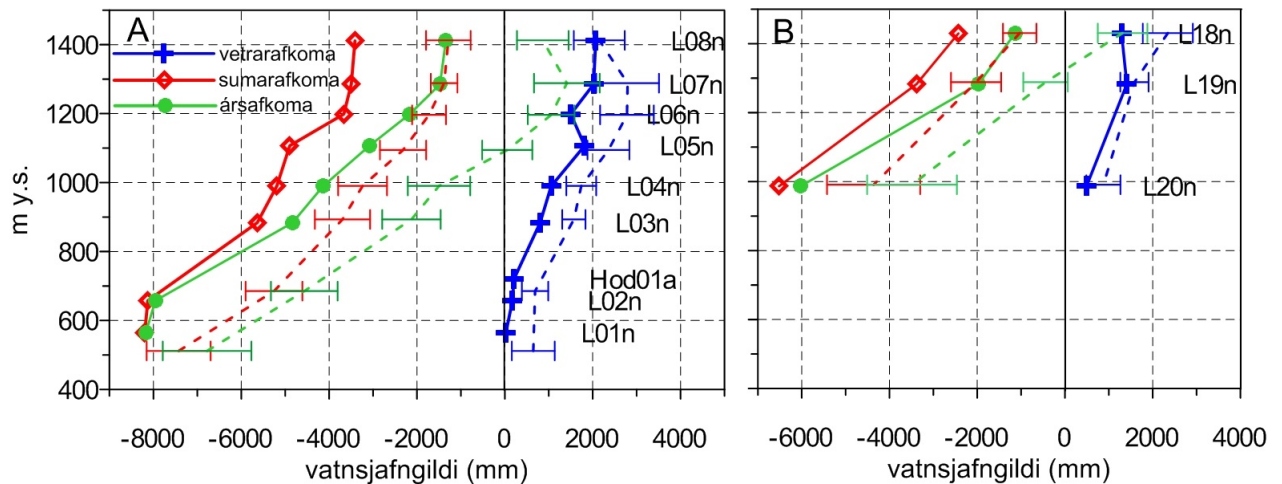
Finnur Pálsson vann úrvinnslu og túlkun mæligagna.

2. Afkomumælingar.

Afkoma var mæld á hefðbundinn hátt. Að vori var tekinn kjarni með rafknúnum kjarnabor niður gegnum árlagið og eðlismassi snævarins fundinn. Á ákomusvæðum voru settar plaststikur en á leysingarsvæðum vírar niður í holur sem boraðar voru með gufubor. Sumarleysing fannst með mælingu á mismun þess sem upp úr stóð vor og haust og eðlismassa fyrninga. Niðurstöður afkomumælinga í einstökum mælipunktum eru sýndar á 2. mynd og viðauka A. Á 3. mynd er afkomusnið frá sporði V-Hagafellsjökuls upp á miðja suðurbungu jökulsins og einnig frá sporði upp hábungu norðurhvels Langjökuls.



2. mynd. Vetrar-, sumar- og ársafkoma í mælipunktum.



3. mynd. Afkoma á mælisniðum. A: Frá sporði Vestari Hagafellsjökuls upp á hábungu suðurhvels Langjökuls. B: Frá sporði upp á hábungu norðurhvels Langjökuls (norðvestur hluti jökulsins). Meðaltal mælitímabilsins 1996-97 til 2008-09 er sýnt með brotnum línunum og staðalfrávik mælaðar í hverjum punkti með láréttum línunum.

3. Samdregnar niðurstöður afkomumælinga.

Eftir mæligildum í afkomumælipunktunum voru gerð stafræn kort til reikninga á rúmmáli afkomu og til að lýsa sumarleysingu á einstökum vatnasviðum. Heildarafkoma Langjökuls 2009-2010 var:

$B_w = 1.00 \text{ km}^3$ eða $b_w = 1105 \text{ mm}$

$B_s = -4.45 \text{ km}^3$ eða $b_s = -4910 \text{ mm}$

$B_n = -3.45 \text{ km}^3$ eða $b_n = -3805 \text{ mm}$

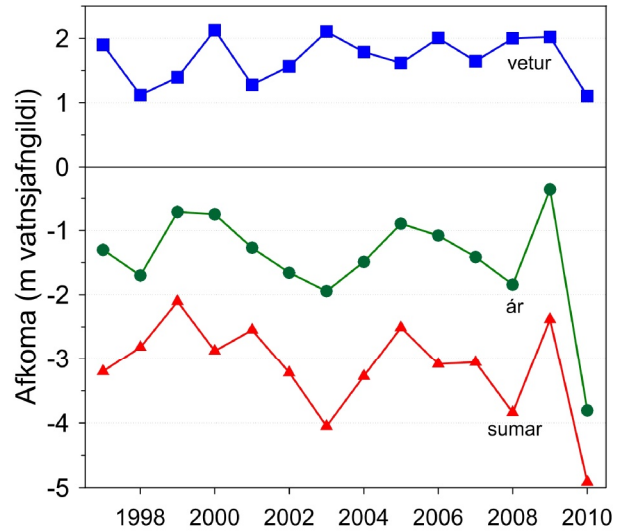
(B er heildarrúmmál vatnsgildis, en b þykkt vatnsgildis Jafndreift yfir jökulinn, w, s og n stendur fyrir vetur, sumar og ár).

Til samanburðar voru gildi fyrri ára:

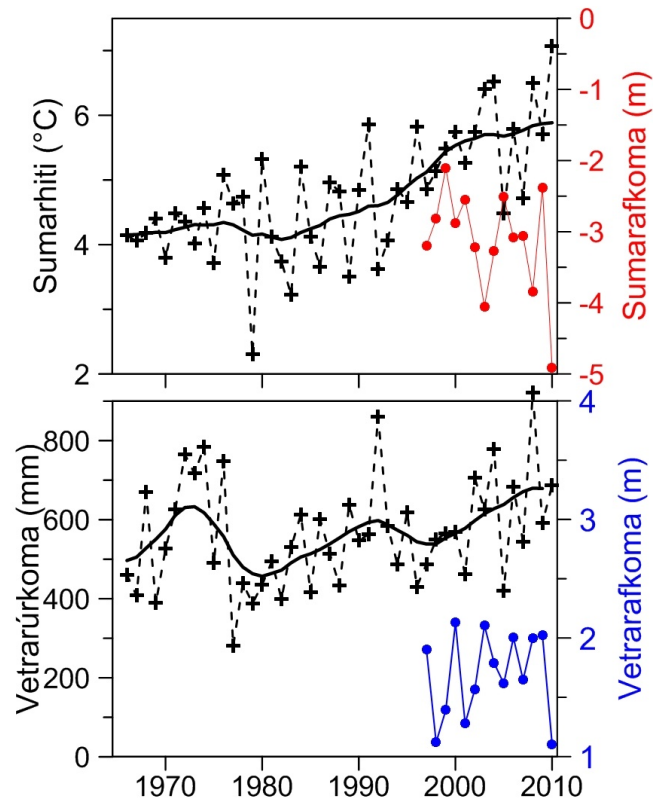
	b_w	b_s	b_n (mm)
1996-1997	1900	-3200	-1300
1997-1998	1120	-2820	-1700
1998-1999	1502	-2270	-768
1999-2000	2130	-2880	-750
2000-2001	1273	-2550	-1271
2001-2002	1566	-3222	-1656
2002-2003	2105	-4051	-1946
2003-2004	1789	-3276	-1487
2004-2005	1617	-2511	-894
2005-2006	1690	-2970	-1279
2006-2007	1647	-3058	-1411
2007-2008	1999	-3840	-1842
2008-2009	2024	-2386	-362
Meðaltal₍₉₆₋₁₀₎	1691	-3135	-1444

Snjósöfnun veturinn 2009-2010 var sú minnsta á mælitímanum (frá 1996-97), lítið eitt minni en 1997-98 (3. og 4. mynd). Á mynd 3. sést að snjósöfnun er víðast meira en heilu staðalfrávikni minni en meðalgildi tímabilsins. Ekki er einfalt samband milli úrkomu á Hveravöllum og vetrarafkomu Langjökuls (5. mynd); hitastig þegar úrkoma fellur og úrkomuáttir skipta miklu máli. Á röð gervitunglamynda (viðauki F) sést að nær enginn snjór safnaðist á hálendið í kringum Langjökul allan veturinn.

Sumarleysing var langt yfir meðallagi á öllum hæðarbilum, einkum þó á safnssvæðinu. Þetta skýrist að mestu af tveim þáttum: meðalhiti sumarsins var sá hæsti síðan afkomumælingar hófust (ríflaga

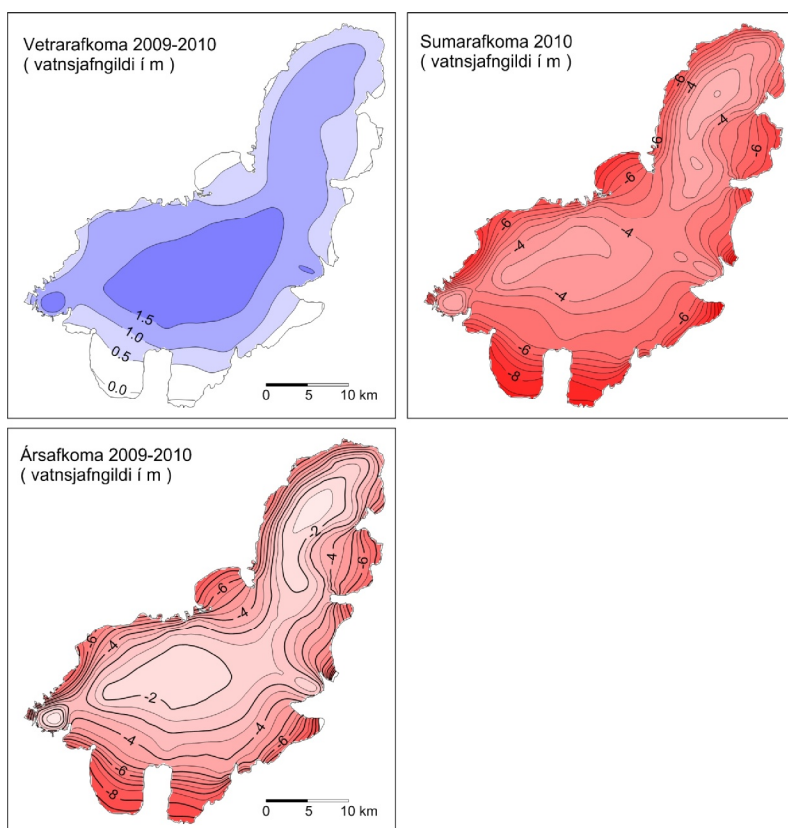


4. mynd. Afkoma jökuláranna 1996-97 til 2009 - 2010

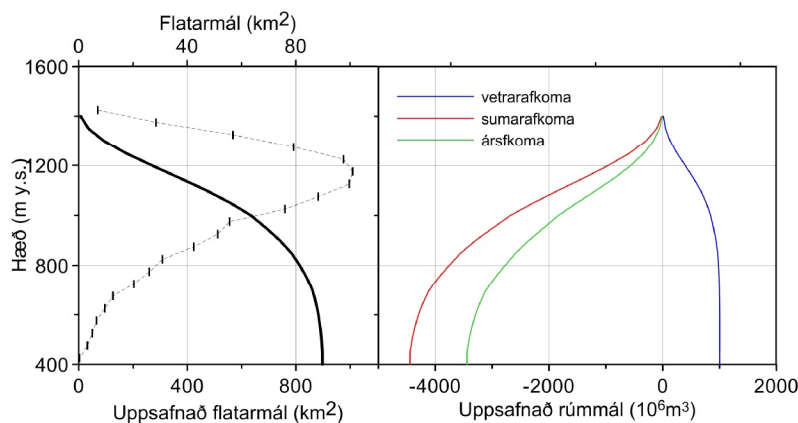


5. mynd. Sumarhiti (maí - september) og vetrarúrkoma (október - maí) á Hveravöllum jökulárin 1960-61 til 2009-2010. Heildregnu línurnar eru 11 ára keðjumeðaltöl (þrihyrningsvægi). Veðurgögn frá Veðurstofu Íslands.

7°C), en þó einkum sú að aska frá Eyjafjallajökli barst yfir Langjökul í lok gossins (sjá röð gervihnattamynda í viðauka F). Auk þessa var vetrarsnjólagið mjög þunnt á neðanverðum jöklinum, ísinn því fljótt ber og ísog sólgeislunar aukið. Þunn öskudreifin jók mjög á gleypni yfirborðsins á geislun frá sólu á ofanverðum jöklinum og olli margföldum bráðnunarhraða. Á leysingasvæði jökulsins skolaðist askan að mestu burt þegar komið var niður á ís, en á safnsvæðinu sat askan að mestu föst í yfirborðinu og olli aukinni bráðnun allt sumarið.

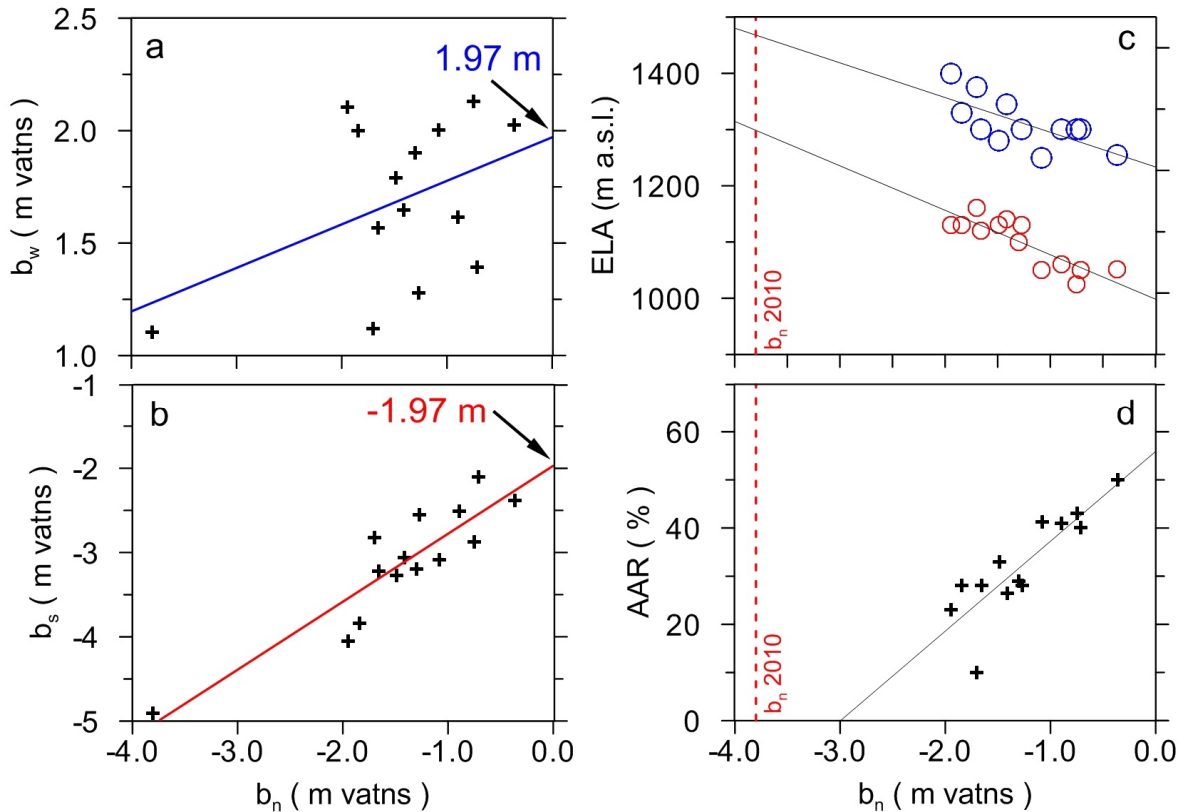


6. mynd. Kort sem sýna vetrar-, sumar- og ársafkoma Langjökuls jökulárið 2009-2010.



7. mynd. Flatardreifing Langjökuls með hæð og uppsöfnuð dreifing afkomu með hæð, 2008-2009.

Vetrarsnjór bráðnaði burt allstaðar, en að auki hluti fyrninga síðustu ára. Flatarmál safnsvæðis var því núll (AAR=0%), og var það strax á miðju sumri og þá var hæð jafnvægislínu líka ofar hæstu stöðum á jökulyfirborðinu. Út frá röð gervitunglamynda (viðauki F) má líka sjá að aldrei snjóaði á safnsvæðið allt sumarið, en snjócoma á sumri dregur mjög úr leysingu. Sumarið var mjög hlýtt, þurrt og venju fremur sólríkt, meðalsumarhitinn á Hveravöllum var nærri 1.5°C hærri en meðaltal mælitímabilsins (5. mynd). Ársafkoma var sú langlægsta frá upphafi mælinga. Á 6. mynd eru sýnd stafræn kort af afkomu Langjökuls 2008-2009. Á 7. mynd er sýnd flatardreifing Langjökuls með hæð og uppsöfnuð dreifing afkomu með hæð. Flatardreifingar eru unnar eftir nýju yfirborðskorti Langjökuls fyrir árið 2007 sem byggt er á korti unnu eftir gervitunglamyndum frá 2004, lagað eftir GPS hæðarsniðum sem mæld voru vítt og breytt um jökulinn vorið 2007.

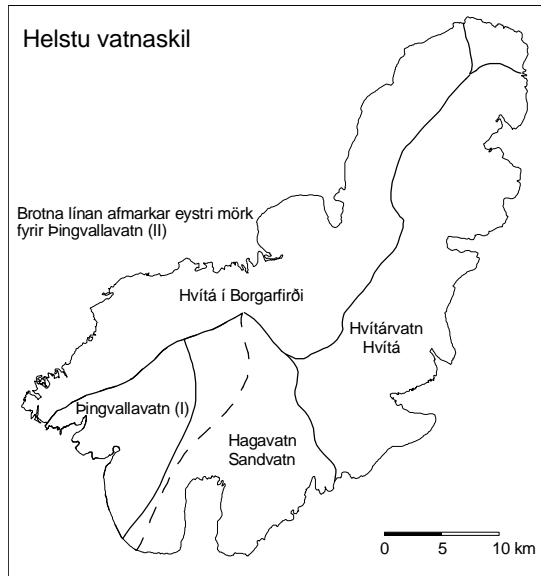


8. mynd. Samhengi ársafkomu og: **a.** vetrarafkomu, **b.** sumarafkomu, **c.** hæð jafnvægislínu, **d.** hlutfalls safnsvæðis af heildarflatarmáli (AAR).

Á 8. mynd er sýnt samband milli ársafkomu og: a. vetrar-afkomu, b. sumarafkomu, c. Hæð jafnvægislínu (ELA) og d. hlutfalls ákomusvæðis af heildar-flatarmáli jökulsins (AAR). Samhengi milli þessara stærða má nálgast með beinni línu eins og sýnt er á myndunum. Þetta samband má nota til að nálgast gildi ársafkomu ef ELA eða AAR er þekkt, t.d. fundið með myndatöku úr lofti eða utan úr geimnum. Við mat bestu beinu línu fyrir ELA og AAR er árunum 1997-98 og 2010 sleppt; (1997-98 var efri hluti jökulsins óvanalega skítugur vegna ryks sem barst yfir hann af hálendinu, þetta magnaði leysingu, einkum á efri hluta jökulsins en sumarið 2010 voru engar fyrningar). Þessar einföldu nálganir benda til að AAR væri nærri 55% og hæð jafnvægislínu á snanverðum jöklinum um 1000 m ef Langjökull væri í jafnvægi miðað við núverandi lögun (heildarársafkoman væri 0). Af mynd 8. a og b má ráða að til að halda jafnvægi við núverandi lögun (ársafkoma=0) þyrfti vetrarafkoma og sumarleysing að vera rétt tæpir 2 m.

Afkoma Langjökuls hefur verið neikvæð allan tímann sem hún hefur verið mæld, frá 1996-97 þó síðasta ár tuki steininn úr. Samtals hefur jökullinn á 14 árum rýrnað um 20.22 m eða 18.2 km³ (vatnsjafngildi). Þetta svarar til 20.2 km³ af ís, sem er 10.6 % rýrnun rúmmáls alls jökulsins eða 0.76 % ári.

4. Afrennsli leysingavatns frá Langjökli.

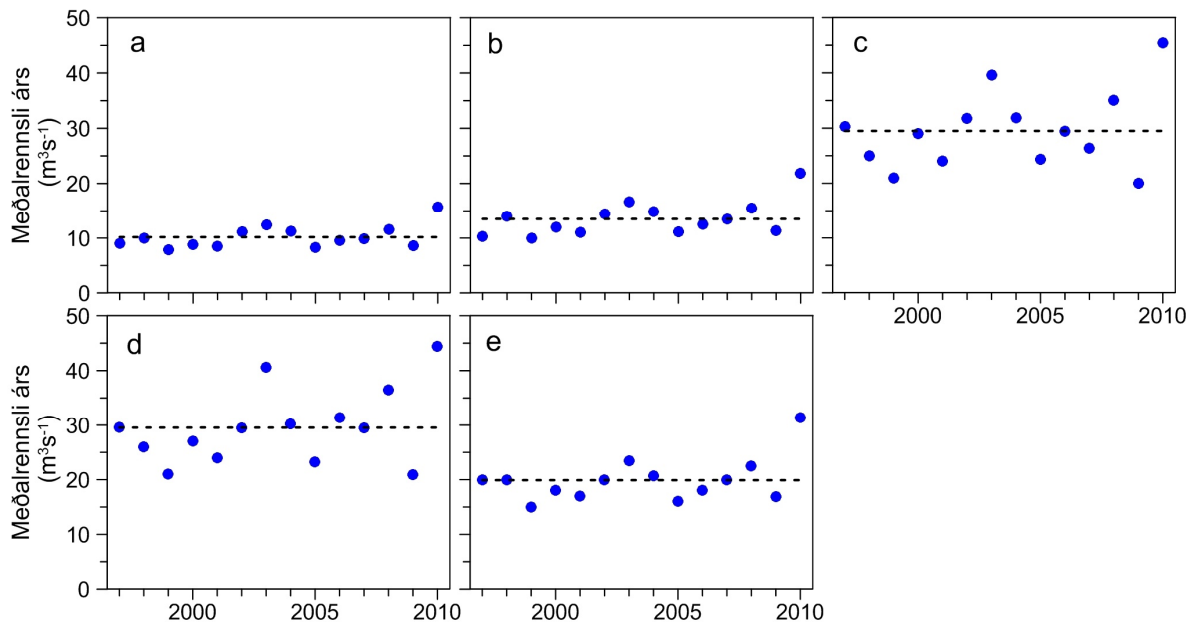


9. mynd. Helstu vatnasvið og vatnaskil á Langjökli. Vatnsvæði Þingvallavatns er afmarkað á tvo vegu, I og II, sjá texta.

Jökulleysing skilaði að jafnaði $337 \text{ m}^3/\text{s}$ frá Langjökli tímabilið 1. maí til 30. september 2010, eða $141 \text{ m}^3/\text{s}$ jafnað yfir heilt ár. Frá jöklinum runnu því að jafnaði um $158 \text{ ls}^{-1}\text{km}^{-2}$ af jökulbráð. Til mats á heildarafrennsli frá jöklinum þarf að bæta við regni sem fellur á hann og rennur af honum.

Einstök vatnasvið á jökli hafa verið afmörkuð eftir korti af mætti vatns við jökulbotn. Vatnaskil við jökulrönd voru ákvörðuð eftir kortum Landmælinga Íslands og loftmyndum. Vatnaskilin eru sýnd á 9. mynd. Vatnasvið Þingvallavatns var afmarkað á tvo vegu. Annars vegar voru vatnaskil á sporði vestari Hagafellsjökuls ákvörðuð út frá rennsli í ám sem greinilega sjást á kortum og flugmyndum (kallað vatnasvið Þingvallavatns (I)). Hins vegar voru dregin vatnaskil nokkru austar (brotin lína á 9. mynd) upp frá jökuljaðrinum að tillögu Freysteins Sigurðssonar, Orkustofnun, en vatnaskil undir

jökli dregin með sömu aðferðum og fyrir önnur vatnaskil (vatnasvið Þingvallavatns (II)). Reiknað var sumarleysingavatn frá jöklinum til nokkurra vatnasviða: Hagavatns og Sandvatns (eystra),



10. mynd. Meðalársafrennsli leysingarvatns frá vatnasviðum helstu vatnsfalla frá Langjökli 1997-2010. a: Vatnasvið Þingvallavatns (I); b: Vatnasvið Þingvallavatns (II); c: Hvítá í Borgarfirði; d: Hvítárvatn, Hvítá; e: Hagavatn, Sandvatn. Meðalársafrennsli leysingar allt tímabilið er sýnt með brotinni línu.

vatnasviðs Þingvallavatns, Hvítár í Borgarfirði og Hvítárvatns, Hvítár í Árnassýslu. Í töflu I. eru settar fram tölur um leysingavatn sumurin 1997 til 2010. Meðalafrennsli á flatareiningu sumarið 2010 var nokkuð breytilegt milli vatnasviða, um 151-167 $\text{ls}^{-1}\text{km}^{-2}$, hæst á sunnanverðum jöklinum. Töflur um afrennsli frá helstu vatnsviðum eftir hæðarbílum eru í viðauka E.

Meðalafrennsli á flatareiningu hefur verið á bilinu 71-158 $\text{ls}^{-1}\text{km}^{-2}$ frá því mælingar hófust 1997. Meðalafrennsli á flatareiningu vegna leysingar sumarsins 2010 var 158 $\text{ls}^{-1}\text{km}^{-2}$. Á 10. mynd er sýndur breytileiki meðal-ársafrennslis leysingarvatns Q_a . Meðalársafrennsli leysingar allt tímabilið (10. mynd brotin lína) er: a: Vatnasvið Þingvallavatns (I) 10,2 m^3s^{-1} ; b: Vatnasvið Þingvallavatns (II) 13,5 m^3s^{-1} ; c: Hvítá í Borgarfirði 29,5 m^3s^{-1} ; d: Hvítárvatn, Hvítá 29,5 m^3s^{-1} ; e: Hagavatn, Sandvatn 19,9 m^3s^{-1} .

Tafla I. Afrennsli leysingavatns frá Langjökli til helstu vatnasviða.

A (km^2)	ΣQ_s (10^6m^3)												Q_s (m^3s^{-1})																	
	96-06	07	97	98	99	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	97	98	99	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10
A	100	95	284	326	248	277	269	351	390	355	262	298	312	366	271	496	22	25	19	21	20	27	30	27	20	23	24	28	20	38
B	146	139	326	435	331	377	357	456	526	467	353	394	425	488	358	690	25	33	25	29	27	35	40	35	27	30	32	37	27	52
C	315	305	957	796	663	927	771	1002	1248	1007	768	928	830	1104	629	1433	72	60	50	70	58	76	94	76	58	70	63	84	48	108
D	295	294	934	816	660	842	751	931	1280	952	733	991	929	1149	658	1402	71	62	50	64	57	70	97	72	55	75	70	87	50	106
E	197	190	627	634	488	560	526	631	738	652	507	567	630	709	533	989	47	48	37	42	40	48	56	49	38	43	48	54	40	75

Q_a (m^3s^{-1})												q_s ($\text{ls}^{-1}\text{km}^{-2}$)															
97	98	99	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	97	98	99	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10
9,0	10,3	7,9	8,8	8,5	11,1	12,4	11,3	8,3	9,5	9,9	11,6	8,6	15,7	90	103	79	88	85	111	124	113	83	95	105	123	91	167
10,3	13,8	10,5	12,0	11,3	14,5	16,7	14,8	11,2	12,5	13,5	15,5	11,4	21,9	71	94	72	82	78	99	114	102	76	86	97	111	82	157
30,3	25,2	21,0	29,4	24,4	31,8	39,6	31,9	24,3	29,4	26,3	35,0	19,9	45,4	96	80	67	93	78	101	126	101	77	93	86	114	65	149
29,6	25,9	20,9	26,7	23,8	29,5	40,6	30,2	23,2	31,4	29,4	36,4	20,9	44,5	100	88	71	91	81	100	138	102	79	106	100	124	71	151
19,9	20,1	15,5	17,8	16,7	20,0	23,4	20,7	16,1	18,0	20,0	22,5	16,9	31,4	101	102	79	90	85	102	119	105	82	91	105	118	89	165

A: Þingvallavatn-I; **B:** Þingvallavatn-II; **C:** Hvítá í Borgarfirði; **D:** Hvítárvatn, Hvítá; **E:** Hagavatn, Sandvatn.

A: Flatarmál vatnasviðs undir jökli

ΣQ_s : heildarafrennsli leysingavatns

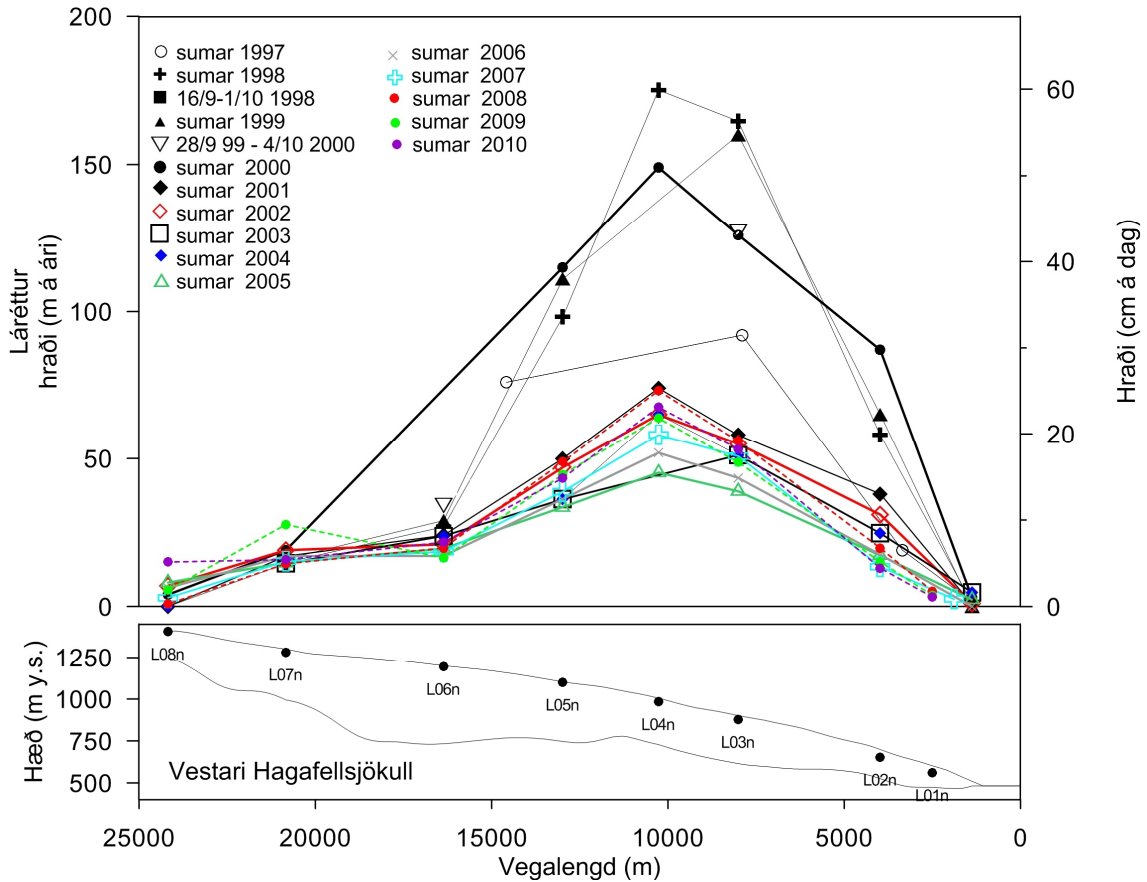
Q_s : meðalafrennsli (maí-september, 5 mánuðir)

Q_a : meðalafrennsli (12 mánuðir)

q_s : meðalafrennsli á flatareiningu jökuls (12 mánuðir)

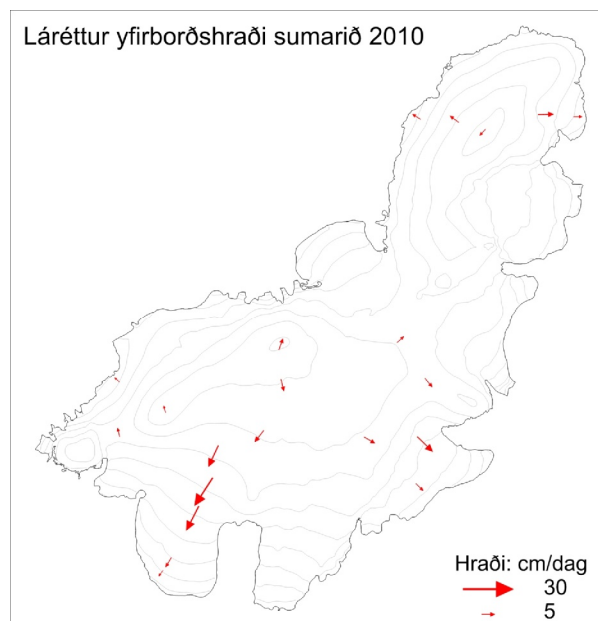
(ath: flatarmál vatnasviða árið 2010 eru unnin eftir hæðarkorti af Langjökli fyrir árið 2007)

5. Hraðamælingar.



11. mynd. Þversnið niður miðjan Hagafellsjökul vestari (yfirborð 1997, punktar sýna yfirborðshæð 2010) og mældur yfirborðshraði á því sniði sumurinn 1997, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010 og haustið 1998.

Yfirborðshreyfing jökulsins var mæld í öllum afkomumæli-punktum, með nákvæmri GPS staðsetningu stíka að vori og hausti. Þessar mælingar eru gerðar til að kanna flutning fyrninga frá ákomusvæði til leysingasvæðis. Ef jökullinn er í jafnvægi flyst jafnmikið niður á leysingasvæðin og safnast á ákomusvæðin og hraðinn sem til þarf kallast jafnvægishraði. Með samanburði mælds yfirborðshraða og reiknaðs jafnvægis-hraða sést hvort jökullinn hreyfist nægilega hratt til að bera fram afkomu sem á hann safnast. Ef jafnvægishraðinn er hærri en mældur hraði safnast fyrningar á ákomusvæði, jökullinn verður æ brattari og stefnir í framhlaup. Á 11. mynd sést hvernig hraði hefur breyst á



12. mynd. Meðaltal láréttis yfirborðshraða sumarið 2010.

Vestari Hagafellsjökli frá sumrinu 1997 til sumarsins 2010. Lárétti hraðinn er nú svipaður og síðustu ár. Á 12. mynd eru sýndir hraðavigrar í öllum mælistikum. Engar vísbendingar eru um að framhlaup sé í aðsigi á skriðjöklum Langjökuls. Hnit allra hraðamælipunkta eru sýnd í viðauka C og hraði í viðauka D.

6. Lokaorð.

Afkoma Langjökuls á jökulárinu 2009-2010 var neikvæð um 3.81 m (vatnsgildi, jafndreift yfir allan jökulinn (~900 km²)). Afkoma hefur verið neikvæð öll þau 14 ár sem hún hefur verið mæld, samtals um 20.2 m að vatnsgildi jafndreift yfir jökulinn eða ísþynning um 22.4 m. Á þessu 13 ára tímabili hefur Langjökull tapað um 10.6 % massa síns.

Vetrarafkoman var 1.10 m sem er um 65% af meðaltali mælitímabilsins og sumarleysing 4.91 m eða 57% yfir meðallagi frá 1996-97 til 2009-10. Leysing var mjög aukin vegna öskuslikju frá Eyjafjallajökli sem lagðist yfir Langjökul undir goslok (um miðjan maí), en sumarið var líka óvenjulega hlítt (um 1.5 °C yfir meðatali mælitímabilsins) og sólríkt.

Þetta ár voru engar fyrningar eftir jökulárið, ákomusvæði Langjökuls því 0 % af flatarmáli hans og hæð jafnvægislínu ofan hæstu toppa jökulsins bæði á Baldjökli (1435 m) og á suðurhluta jökulsins (1415 m). Afrennsli leysingarvatns frá jöklinum var um 141 m³s⁻¹ eða 158 ls⁻¹km⁻² að jafnaði yfir árið.

Viðauki A : Afkoma í mælipunktum 2009-2010.

b_w : vetrarafkoma, b_s : sumarafkoma, b_n : ársafkoma.

Mæli- stika	Staðsetning Breidd	Lengd	Hæð (m y.s.)	Dags. að vori	Dags. að hausti	b_w (mm)	b_s (mm)	b_n (mm)	nýsnjór að hausti		
L01	64	30,638	20	27,467	565	100417	101124	24	-8196	-8172	0
L02	64	31,114	20	26,734	658	100417	101004	173	-8129	-7956	0
Hod01	64	31,500	20	25,996	720	100417		206			
L03	64	33,020	20	24,443	884	100417	101004	803	-5636	-4833	0
L04	64	34,168	20	23,396	989	100417	101004	1053	-5193	-4140	0
L05	64	35,690	20	22,512	1107	100417	101004	1816	-4896	-3080	0
L06	64	36,581	20	17,990	1199	100418	101004	1500	-3666	-2166	10
L07	64	38,781	20	15,795	1285	100419	101124	2020	-3496	-1476	950
L08	64	40,518	20	16,031	1411	100419	101004	2068	-3412	-1344	40
L09	64	37,649	20	27,465	1379	100419	101004	2000	-3044	-1044	500
L10	64	36,601	20	32,009	1136	100419	101004	1240	-4443	-3203	30
L11	64	38,850	20	32,297	858	100419	101124	920	-7553	-6633	500
L12	64	34,533	20	1,950	836	100419	100923	561	-5880	-5319	0
L13	64	36,371	20	1,490	886	100419	100923	930	-5475	-4545	0
L14	64	39,000	20	1,220	1157	100419	101004	1420	-3850	-2430	0
L15	64	40,813	20	4,106	1187	100418	101004	1840	-4210	-2370	30
L16	64	38,520	20	10,140	1264	100419		1670			
L17	64	44,997	19	59,576	1345	100418		1210			
L20	64	50,389	20	2,859	987	100418	100923	490	-6520	-6030	0
L19	64	50,314	19	59,049	1283	100418	100923	1410	-3386	-1976	50
L18	64	49,773	19	56,185	1430	100418	100923	1290	-2430	-1140	100
L21	64	50,571	19	49,880	1150	100418	100923	850	-4171	-3321	50
L22	64	50,492	19	46,664	961	100418	100923	560	-5627	-5067	0
L23	64	36,500	20	7,009	1165	100418	101004	1710	-4514	-2804	10

Ath. Afkomutölur eru vatnsjafngildi. Grafið var niður á sumaryfirborð að hausti, og snjóþekja ofan á því ekki talin til sumars (verður með í næsta vetri). Í töflunni eru vatnsgildi nýsnævis í mælipunktum; snjórinn var ekki mjög þéttur og eðlismassi metinn 350 kg/m^3 .

Viðauki B : Dreifing afkomu með hæð jökulárið 2009 - 2010

ΔS : flatarmál á hverju hæðarbili, $\dot{\Delta}S$: uppsafnað flatarmál ofan gefinnar hæðar, bw: vetrarafkoma, bs: sumarafkoma. bn: ársafkoma, ΔB_w : vetrarafkoma á hæðarbili, $\dot{\Delta}B_w$: uppsöfnuð vetrarafkoma ofan hæðarbils, ΔB_s : sumarafkoma á hæðarbili, $\dot{\Delta}B_s$: uppsöfnuð sumarafkoma ofan hæðarbils, ΔB_n : ársafkoma á hæðarbili, $\dot{\Delta}B_n$: uppsöfnuð ársafkoma ofan hæðarbils.

Hæðarbil			ΔS	$\dot{\Delta}S$	bw	bs	bn	ΔB_w	$\dot{\Delta}B_w$	ΔB_s	$\dot{\Delta}B_s$	ΔB_n	$\dot{\Delta}B_n$
(m y. s.)			(km^2)	(km^2)	(mm)	(mm)	(mm)	(10^6m^3)	(10^6m^3)	(10^6m^3)	(10^6m^3)	(10^6m^3)	(10^6m^3)
1400	1450	1425	7,1	7,1	1343	-2745	-1401	9,5	9,5	-19,4	-19,4	-9,9	-9,9
1350	1400	1375	28,5	35,6	1413	-3068	-1655	40,3	49,8	-87,5	-106,9	-47,2	-57,1
1300	1350	1325	56,9	92,5	1434	-3321	-1886	81,7	131,5	-189,1	-296,0	-107,4	-164,5
1250	1300	1275	79,2	171,7	1488	-3573	-2084	117,8	249,3	-283,0	-579,0	-165,1	-329,7
1200	1250	1225	97,6	269,3	1502	-3887	-2385	146,7	396,0	-379,4	-958,4	-232,7	-562,4
1150	1200	1175	101,4	370,7	1413	-4214	-2801	143,3	539,3	-426,7	-1385,1	-283,5	-845,8
1100	1150	1125	99,9	470,6	1273	-4551	-3277	127,3	666,6	-454,6	-1839,7	-327,3	-1173,1
1050	1100	1075	88,6	559,2	1126	-4940	-3814	99,8	766,4	-439,0	-2278,7	-339,2	-1512,3
1000	1050	1025	76,4	635,6	1004	-5257	-4253	76,7	843,1	-404,5	-2683,1	-327,8	-1840,1
950	1000	975	56,4	692,0	904	-5514	-4609	51,0	894,1	-315,4	-2998,5	-264,4	-2104,5
900	950	925	52,8	744,8	809	-5748	-4939	42,7	936,8	-310,3	-3308,8	-267,6	-2372,0
850	900	875	43,4	788,2	690	-5975	-5284	29,9	966,7	-265,5	-3574,3	-235,6	-2607,6
800	850	825	31,8	820,0	525	-6434	-5909	16,7	983,4	-209,9	-3784,2	-193,1	-2800,8
750	800	775	27,2	847,2	367	-6974	-6606	10,0	993,5	-191,8	-3976,0	-181,8	-2982,5
700	750	725	21,2	868,4	253	-7468	-7215	5,4	998,8	-159,3	-4135,3	-153,9	-3136,4
650	700	675	13,0	881,4	170	-8030	-7860	2,2	1001,1	-103,4	-4238,7	-101,2	-3237,6
600	650	625	10,0	891,4	97	-8608	-8510	1,0	1002,0	-81,3	-4319,9	-80,3	-3317,9
550	600	575	6,7	898,1	41	-9159	-9117	0,3	1002,3	-56,0	-4375,9	-55,7	-3373,6
500	550	525	5,4	903,5	4	-9557	-9552	0,0	1002,3	-46,2	-4422,2	-46,2	-3419,9
450	500	475	3,4	906,9	-23	-9857	-9881	0,0	1002,2	-29,7	-4451,9	-29,8	-3449,6
400	450	425	0,3	907,2	-43	-10021	-10065	0,0	1002,2	-2,5	-4454,4	-2,5	-3452,1

Viðauki C: Hnit hraðamælipunkta 2010

Mæld staðsetning mælistika á Langjökli 2010, GPS mælingar. Nákvæmni er áætluð betri en 1 m lárétt og 2 m lóðrétt fyrir mælingar merktar I (submeter DGPS) og um 5 cm fyrir mælingar merktar K og FS (Kinematic eða faststatic GPS). h_1 er hæð yfir ellipsóíðu (ISNET-93, NKG96 Geoíða), ΔL loftnetshæð og N áætlaður mismunur ellipsóíðu og geóíðuhæðar, ($H=h_1-N-\Delta L$).

Stíka	Dags.	Dagur árs	Ár	Breiddar- gráða	Lengdar- gráða	h_1 (m y. e.)	ΔL (m)	N (m)	H (m y. s.)
L01n	16,26	17	4 107	2010	64 30,63793	20 27,46690	632,06	0,00 -67,05	565,01 K
L01n	11,75	24	11 328	2010	64 30,63709	20 27,46831	622,98	0,00 -67,05	555,92 K
L02n	16,87	17	4 107	2010	64 31,11408	20 26,73416	724,69	0,00 -67,08	657,61 K
L02n	15,28	4	10 277	2010	64 31,11128	20 26,73794	716,47	-0,74 -67,08	648,65 I
Hod01	17,45	17	4 107	2010	64 31,49987	20 25,99570	786,96	0,00 -67,10	719,86 K
L03n	18,60	17	4 107	2010	64 33,01986	20 24,44322	950,87	0,00 -67,17	883,70 K
L03n	15,03	4	10 277	2010	64 33,00786	20 24,45673	940,77	-0,74 -67,16	872,86 I
L04n	19,35	17	4 107	2010	64 34,16757	20 23,39633	1056,63	0,00 -67,21	989,42 K
L04n	14,88	4	10 277	2010	64 34,15321	20 23,41721	1045,81	-0,72 -67,21	977,88 I
L05n	21,61	17	4 107	2010	64 35,69018	20 22,51161	1174,30	0,00 -67,25	1107,05 K
L05n	12,36	4	10 277	2010	64 35,68022	20 22,52170	1161,58	-0,73 -67,25	1093,60 I
L06n	10,21	18	4 108	2010	64 36,58141	20 17,98964	1265,97	0,00 -67,27	1198,70 K
L06n	13,57	4	10 277	2010	64 36,57706	20 17,99710	1258,09	-0,72 -67,27	1190,09 I
L07n	15,09	19	4 109	2010	64 38,78060	20 15,79533	1352,45	0,00 -67,28	1285,16 E
L07n	15,45	24	11 328	2010	64 38,77568	20 15,79216	1344,11	0,00 -67,28	1276,83 FS
L08n	16,20	19	4 109	2010	64 40,51750	20 16,03057	1478,37	0,00 -67,27	1411,10 K
L08n	12,61	4	10 277	2010	64 40,52102	20 16,02778	1468,26	-0,77 -67,27	1400,21 I
L09I	14,04	4	10 277	2010	64 37,65379	20 27,47362	1439,38	-1,20 -67,24	1370,94 I
L09n	17,48	19	4 109	2010	64 37,64904	20 27,46480	1446,14	0,00 -67,24	1378,90 K
L10n	18,71	19	4 109	2010	64 36,60095	20 32,00925	1202,84	0,00 -67,16	1135,67 K
L10n	13,82	4	10 277	2010	64 36,60287	20 32,01041	1198,03	-0,74 -67,16	1130,13 I
L11n	19,85	19	4 109	2010	64 38,84968	20 32,29668	924,91	0,00 -67,12	857,79 K
L11n	16,75	24	11 328	2010	64 38,84998	20 32,29753	915,72	0,00 -67,12	848,61 FS
L12n	10,30	19	4 109	2010	64 34,53326	20 1,95033	903,01	0,00 -67,16	835,85 K
L12n	17,13	23	9 266	2010	64 34,53156	20 1,94612	895,70	-0,70 -67,16	827,84 I
L13n	11,08	19	4 109	2010	64 36,37063	20 1,48968	953,11	0,00 -67,20	885,92 K
L13n	16,93	23	9 266	2010	64 36,36451	20 1,47451	946,59	-0,70 -67,20	878,69 I
L14n	12,11	19	4 109	2010	64 38,99970	20 1,22045	1224,61	0,00 -67,24	1157,37 K
L14n	13,07	4	10 277	2010	64 38,99714	20 1,21534	1216,33	-0,73 -67,24	1148,36 I
L15n	13,78	18	4 108	2010	64 40,81312	20 4,10638	1254,67	0,00 -67,27	1187,40 K
L15n	12,83	4	10 277	2010	64 40,81457	20 4,10276	1246,03	-0,73 -67,27	1178,03 I
L16n	13,96	19	4 109	2010	64 38,51996	20 10,13990	1331,63	0,00 -67,28	1264,35 K
L17n	14,98	18	4 108	2010	64 44,99707	19 59,57590	1412,10	0,00 -67,26	1344,84 K
L18n	18,53	18	4 108	2010	64 49,77269	19 56,18481	1497,12	0,00 -67,25	1429,87 K
L18n	15,53	23	9 266	2010	64 49,77141	19 56,18749	1491,30	-0,70 -67,25	1423,35 I
L19n	17,45	18	4 108	2010	64 50,31372	19 59,04891	1349,89	0,00 -67,23	1282,67 K
L19n	15,25	23	9 266	2010	64 50,31550	19 59,05476	1341,87	-0,70 -67,23	1273,94 I

L20n	16,62	18	4	108	2010	64	50,38860	20	2,85855	1053,78	0,00	-67,18	986,60	K
L20n	15,05	23	9	266	2010	64	50,38973	20	2,86295	1045,66	-0,70	-67,18	977,78	I
L21n	19,37	18	4	108	2010	64	50,57081	19	49,87977	1217,19	0,00	-67,23	1149,96	K
L21n	15,78	23	9	266	2010	64	50,57109	19	49,86665	1211,37	-0,70	-67,23	1143,44	I
L22n	20,24	18	4	108	2010	64	50,49246	19	46,66386	1028,68	0,00	-67,19	961,49	K
L22n	15,97	23	9	266	2010	64	50,49248	19	46,65984	1021,95	-0,70	-67,19	954,06	I
L23b	13,34	4	10	277	2010	64	36,46773	20	6,94195	1220,69	-0,73	-67,25	1152,70	I
L23n	12,65	18	4	108	2010	64	36,50049	20	7,00938	1232,52	0,00	-67,25	1165,27	K
L23n	13,27	4	10	277	2010	64	36,49842	20	7,00072	1222,92	-0,73	-67,25	1154,93	I
L00a	14,43	4	10	277	2010	64	39,65081	20	18,88528	1418,08	-0,87	-67,27	1349,93	I

Ath. Hæð að hausti er miðuð við sumarflöt (hausthörf), þ.e. grafið er í gegnum nýsnjóinn og hæð mæld miðað gamla hjarnið/ísinn undir nýsnjónum.

Viðauki D: Mældur láréttur yfirborðshraði á Langjökli 2010

Stíka	dagur		dagur		daga fjöldi	færsla (m)	láréttur (°)	hraði	
	dags.	árs	dags.	árs				(cm/dag)	(m/ári)
L01n	100417	107	101124	328	221	1,92	216	0,87	3,17
L02n	100417	107	101004	277	170	6,00	210	3,53	12,89
L03n	100417	107	101004	277	170	24,71	206	14,53	53,05
L04n	100417	107	101004	277	170	31,39	212	18,46	67,39
L05n	100417	107	101004	277	170	20,13	204	11,84	43,21
L06n	100418	108	101004	277	169	10,01	216	5,93	21,63
L07n	100419	109	101124	328	219	9,45	165	4,32	15,76
L08n	100419	109	101004	277	168	6,89	19	4,10	14,96
L09l	80831	244	101004	277	763	6,23	344	0,82	2,98
L10n	100419	109	101004	277	168	3,67	345	2,19	7,98
L11n	100419	109	101124	328	219	0,88	309	0,40	1,46
L12n	100419	109	100923	266	157	4,61	133	2,93	10,71
L13n	100419	109	100923	266	157	16,58	133	10,56	38,54
L14n	100419	109	101004	277	168	6,25	139	3,72	13,57
L15n	100418	108	101004	277	169	3,94	47	2,33	8,50
L18n	100418	108	100923	266	158	3,18	222	2,01	7,35
L19n	100418	108	100923	266	158	5,68	305	3,59	13,12
L20n	100418	108	100923	266	158	4,06	301	2,57	9,38
L21n	100418	108	100923	266	158	10,38	87	6,57	23,99
L22n	100418	108	100923	266	158	3,18	89	2,01	7,34
L23b	70925	268	101004	277	1104	47,17	145	4,27	15,59
L23n	100418	108	101004	277	169	7,90	119	4,67	17,06

Viðauki E: Afrennsli vegna jökulleysingar sumarið 2009:

ΔS : flatarmál á gefnu hæðarbili, ΔQ_s : afrennsli á gefnu hæðarbili, $\dot{a}Q_s$: uppsafnað afrennsli leysingarvatns af jökli ofan nefndrar hæðar.

Allur Langjökull

Hæðarbil m y. s.		ΔS km^2	ΔQ_s (10^6m^3)	$\dot{a}Q_s$ (10^6m^3)
1400	1450	7,1	19,4	19,4
1350	1400	28,5	87,5	106,9
1300	1350	56,9	189,1	296,0
1250	1300	79,2	283,0	579,0
1200	1250	97,6	379,4	958,4
1150	1200	101,4	426,7	1385,1
1100	1150	99,9	454,6	1839,7
1050	1100	88,6	439,0	2278,7
1000	1050	76,4	404,5	2683,1
950	1000	56,4	315,4	2998,5
900	950	52,8	310,3	3308,8
850	900	43,4	265,5	3574,3
800	850	31,8	209,9	3784,2
750	800	27,2	191,8	3976,0
700	750	21,2	159,3	4135,3
650	700	13,0	103,4	4238,7
600	650	10,0	81,3	4319,9
550	600	6,7	56,0	4375,9
500	550	5,4	46,2	4422,2
450	500	3,4	29,7	4451,9
400	450	0,3	2,5	4454,4

Vatnasvið Þingvallavatns (I)

Hæðarbil m y. s.		ΔS km^2	ΔQ_s (10^6m^3)	$\dot{a}Q_s$ (10^6m^3)
1350	1400	1,50	4,8	4,8
1300	1350	5,80	19,6	24,5
1250	1300	6,60	23,7	48,2
1200	1250	7,30	28,4	76,6
1150	1200	7,30	31,3	107,9
1100	1150	8,20	38,3	146,2
1050	1100	8,00	39,4	185,6
1000	1050	7,30	37,3	222,9
950	1000	6,50	33,9	256,8
900	950	7,00	37,7	294,6
850	900	6,60	38,5	333,0
800	850	5,60	35,8	368,9
750	800	5,40	37,9	406,8
700	750	4,00	30,3	437,1
650	700	2,90	22,9	460,0
600	650	2,20	17,8	477,8
550	600	1,30	10,9	488,7
500	550	0,70	6,1	494,8
450	500	0,20	1,4	496,2

Vatnasvið Þingvallavatns (II)

Hæðarbil m y. s.		ΔS km^2	ΔQ_s (10^6m^3)	$\dot{a}Q_s$ (10^6m^3)
1400	1450	0,10	0,4	0,4
1350	1400	4,10	13,5	13,9
1300	1350	12,50	43,1	56,9
1250	1300	13,60	48,6	105,5
1200	1250	17,90	67,1	172,6
1150	1200	12,40	51,8	224,5
1100	1150	11,10	51,8	276,2
1050	1100	9,90	48,9	325,1
1000	1050	8,40	43,0	368,2
950	1000	7,20	37,9	406,0
900	950	7,70	41,6	447,6
850	900	7,10	41,5	489,1
800	850	6,10	39,5	528,6
750	800	5,90	41,4	570,0
700	750	4,70	35,2	605,2
650	700	3,40	27,4	632,5
600	650	3,00	24,3	656,8
550	600	2,00	16,5	673,3
500	550	1,30	10,8	684,2
450	500	0,70	5,9	690,0

Hvítá í Borgarfirði

Hæðarbil m y. s.		ΔS km^2	ΔQ_s (10^6m^3)	$\dot{a}Q_s$ (10^6m^3)
1400	1450	3,30	9,4	9,4
1350	1400	14,60	45,1	54,5
1300	1350	28,60	95,6	150,1
1250	1300	36,60	132,2	282,3
1200	1250	36,60	145,1	427,5
1150	1200	34,40	148,5	576,0
1100	1150	35,90	165,7	741,7
1050	1100	31,90	164,1	905,8
1000	1050	24,40	137,9	1043,8
950	1000	17,30	104,2	1147,9
900	950	14,60	94,0	1242,0
850	900	9,50	65,0	1307,0
800	850	7,00	49,8	1356,8
750	800	4,70	33,6	1390,5
700	750	3,60	27,0	1417,5
650	700	1,60	12,8	1430,2
600	650	0,40	2,9	1433,1

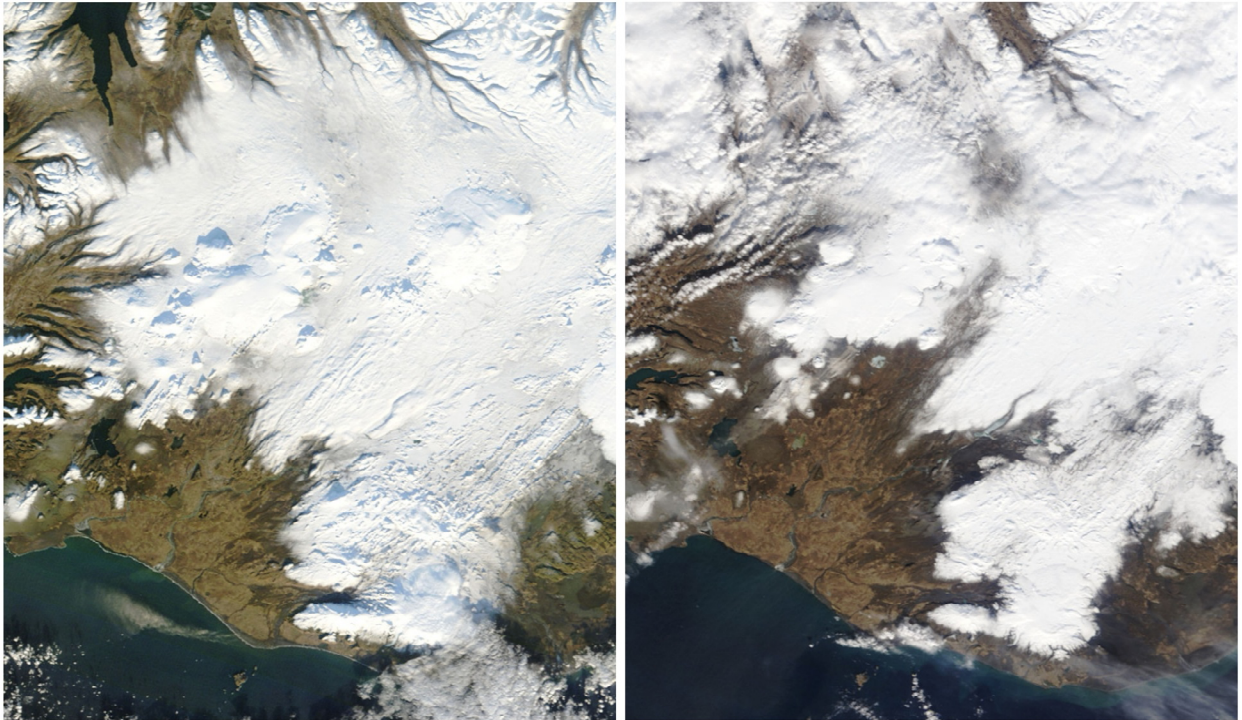
Hvítárvatn, Hvítá í Árnassýslu

Hæðarbil m y. s.		ΔS km^2	ΔQ_s (10^6m^3)	$\dot{a}Q_s$ (10^6m^3)
1400	1450	3,50	9,1	9,1
1350	1400	8,20	23,5	32,6
1300	1350	12,90	40,4	73,0
1250	1300	18,00	62,7	135,7
1200	1250	28,20	110,0	245,8
1150	1200	40,20	165,5	411,3
1100	1150	36,20	159,0	570,2
1050	1100	29,90	141,6	711,9
1000	1050	29,20	149,2	861,0
950	1000	21,00	115,5	976,5
900	950	20,30	118,3	1094,9
850	900	17,40	104,3	1199,1
800	850	10,20	65,6	1264,8
750	800	8,20	56,9	1321,7
700	750	5,40	40,2	1361,9
650	700	1,90	15,3	1377,2
600	650	1,20	9,9	1387,0
550	600	0,70	6,5	1393,5
500	550	0,60	5,6	1399,1
450	500	0,30	2,7	1401,8
400	450	0,00	0,4	1402,2

Hagavatn (og Sandvatn)

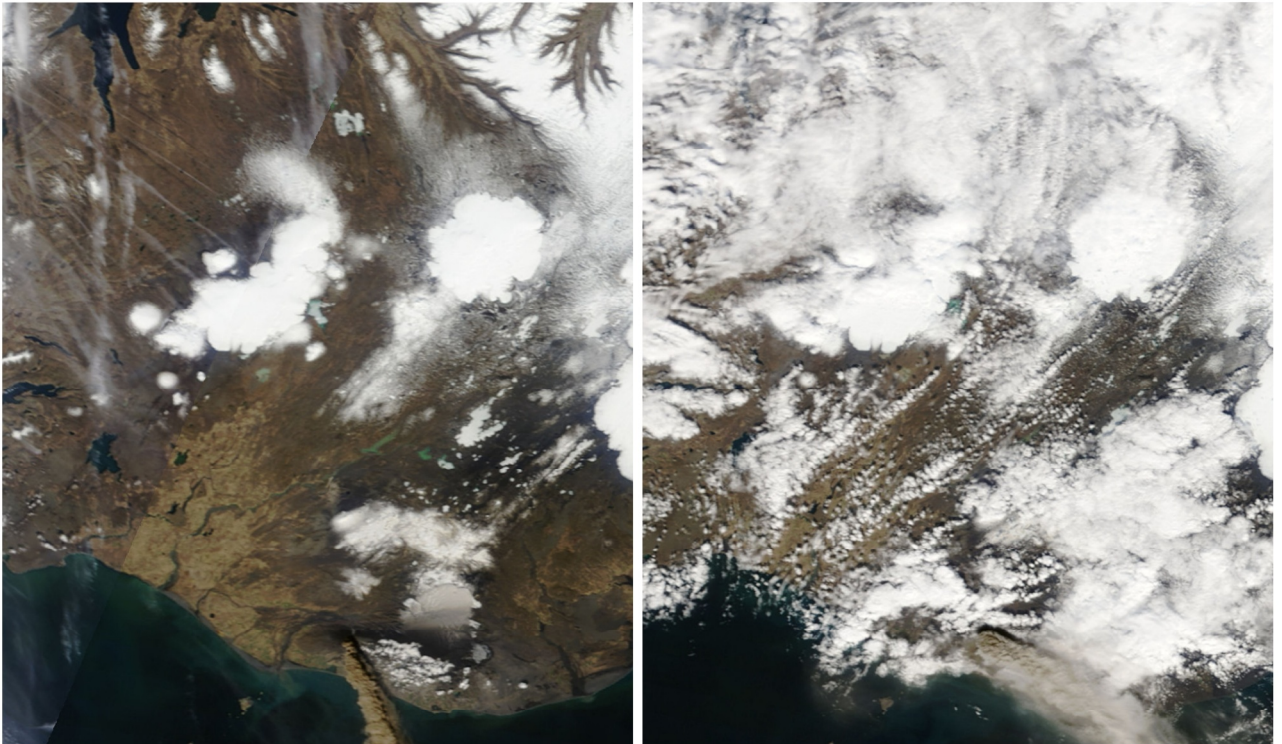
Hæðarbil		ΔS	ΔQ_s	$\dot{a}Q_s$
m y. s.		km²	(10⁶m³)	(10⁶m³)
1400	1450	0,30	0,9	0,9
1350	1400	4,20	14,1	15,0
1300	1350	9,60	33,4	48,4
1250	1300	17,10	61,1	109,5
1200	1250	22,90	86,1	195,6
1150	1200	16,40	69,0	264,6
1100	1150	16,60	77,7	342,3
1050	1100	15,20	74,7	417,0
1000	1050	12,80	65,3	482,3
950	1000	10,50	54,8	537,1
900	950	10,00	54,0	591,1
850	900	9,30	54,0	645,0
800	850	8,50	55,1	700,1
750	800	8,20	58,0	758,1
700	750	7,50	56,3	814,4
650	700	5,50	43,9	858,3
600	650	5,40	43,5	901,8
550	600	4,40	36,3	938,1
500	550	3,80	32,1	970,2
450	500	2,20	18,6	988,8

Viðauki F: MODIS gervihnattamyndir af Langjökli og nágrenni 2010.

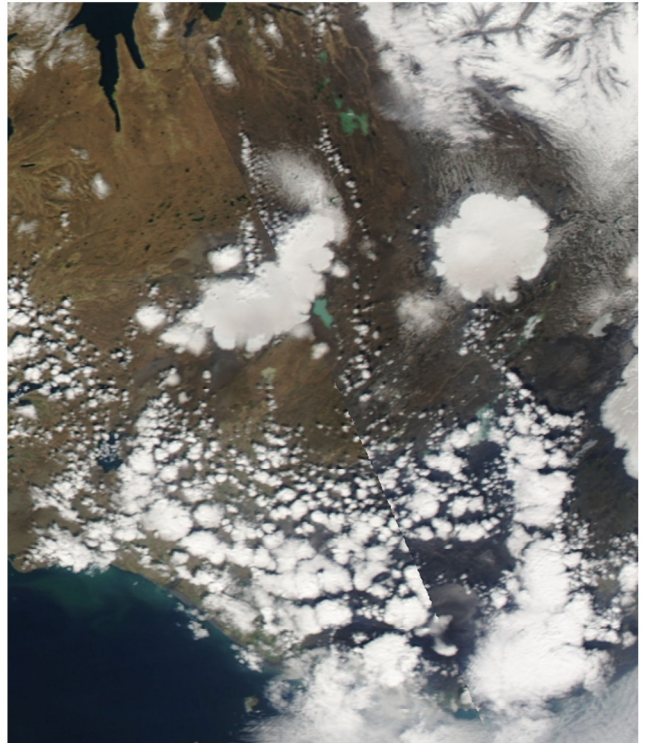
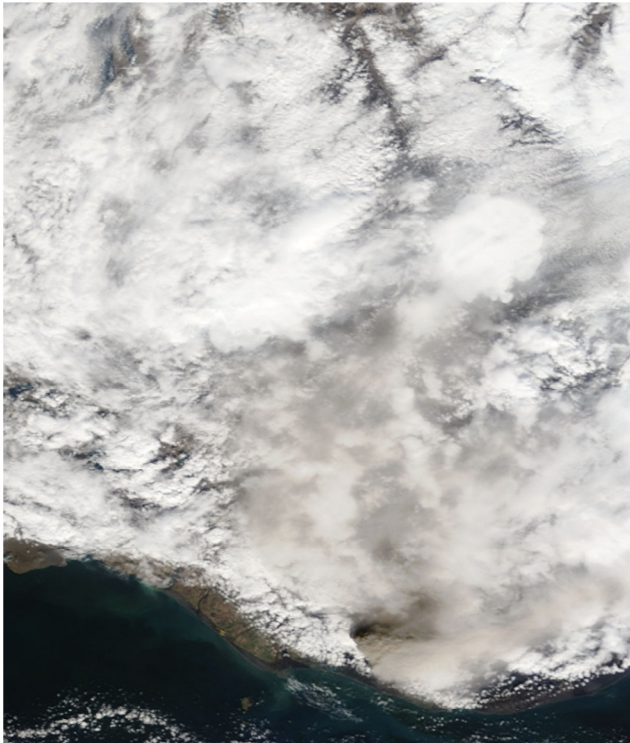


Vinstri: 3. febrúar 2010; Mjög lítill snjór á hálendinu, sérstaklega sunnanlands.

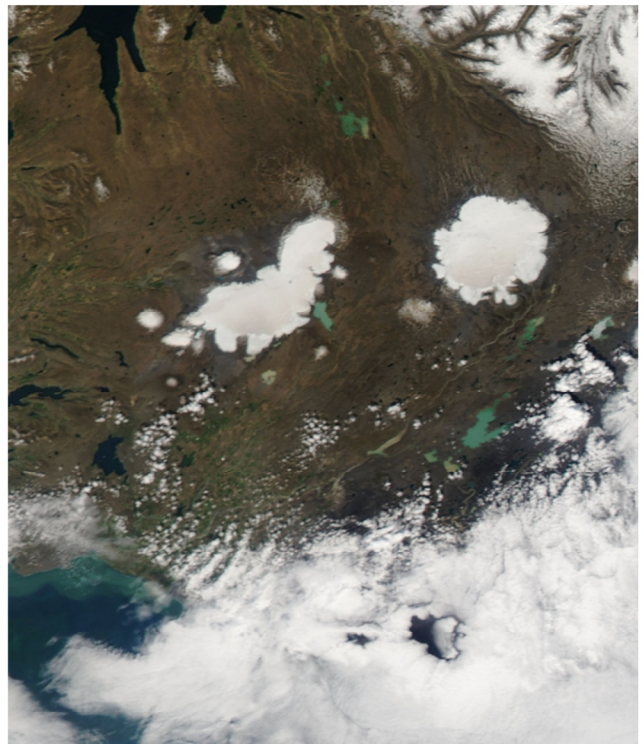
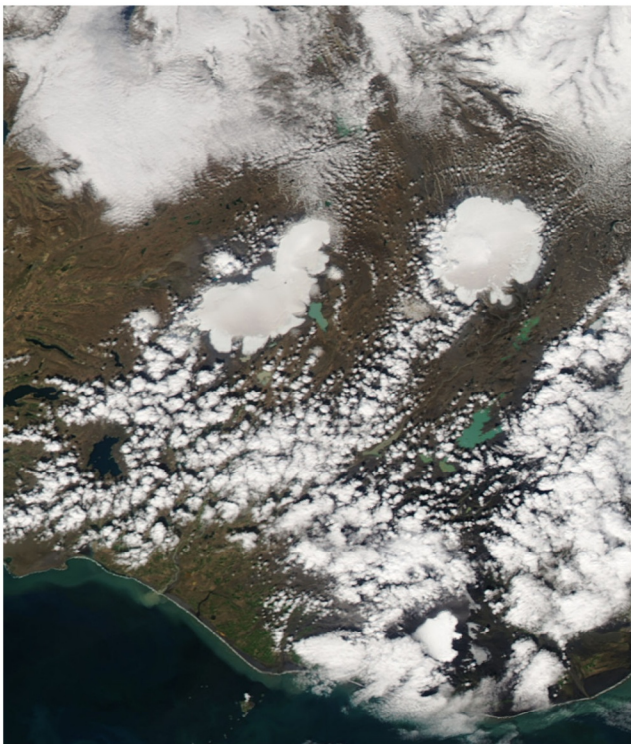
Hægri: 30. mars 2010; Enn mjög lítill snjór á hálendinu, hefur minnkað ef eitthvað er.



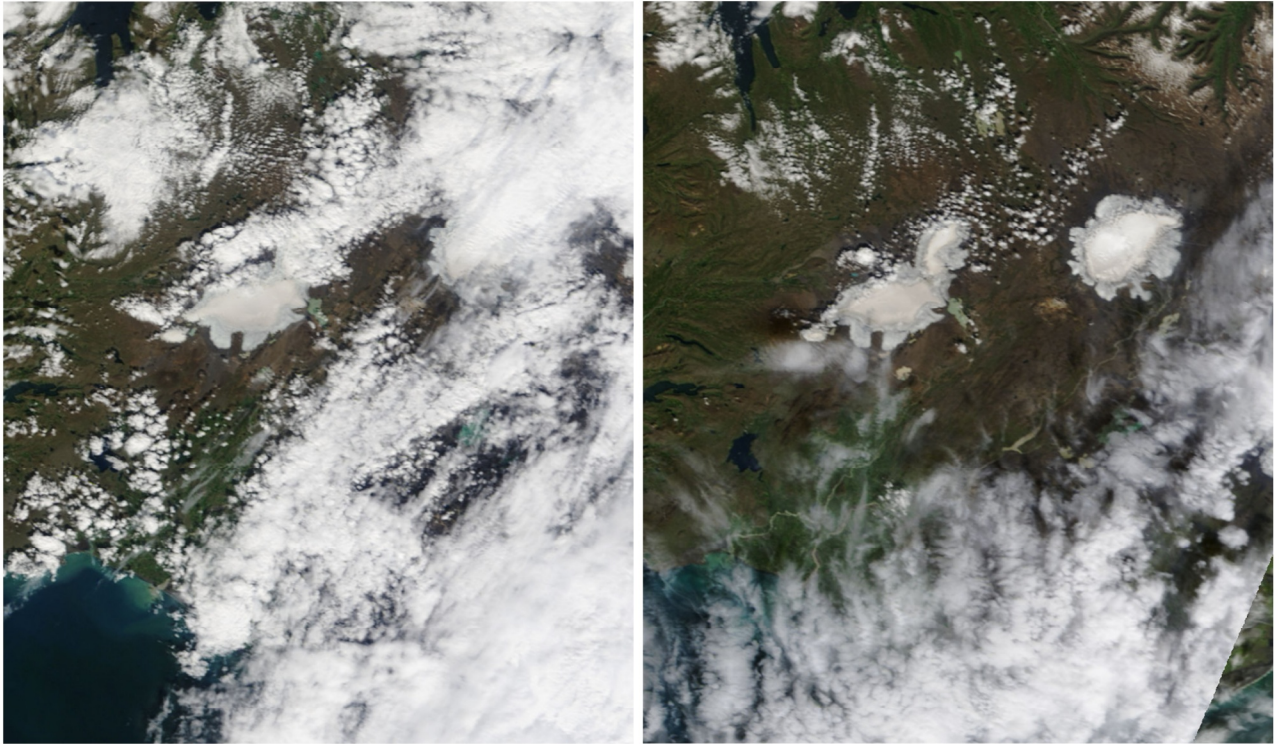
Vinstri: 11. maí 2010; Snjó á hálendinu hefur tekið upp að mestu, gosmökkur frá Eyjafjallajökli sést vel. Hægri: 16. maí 2010; Sama hér en mökkurinn stefnir austsuðaustur.



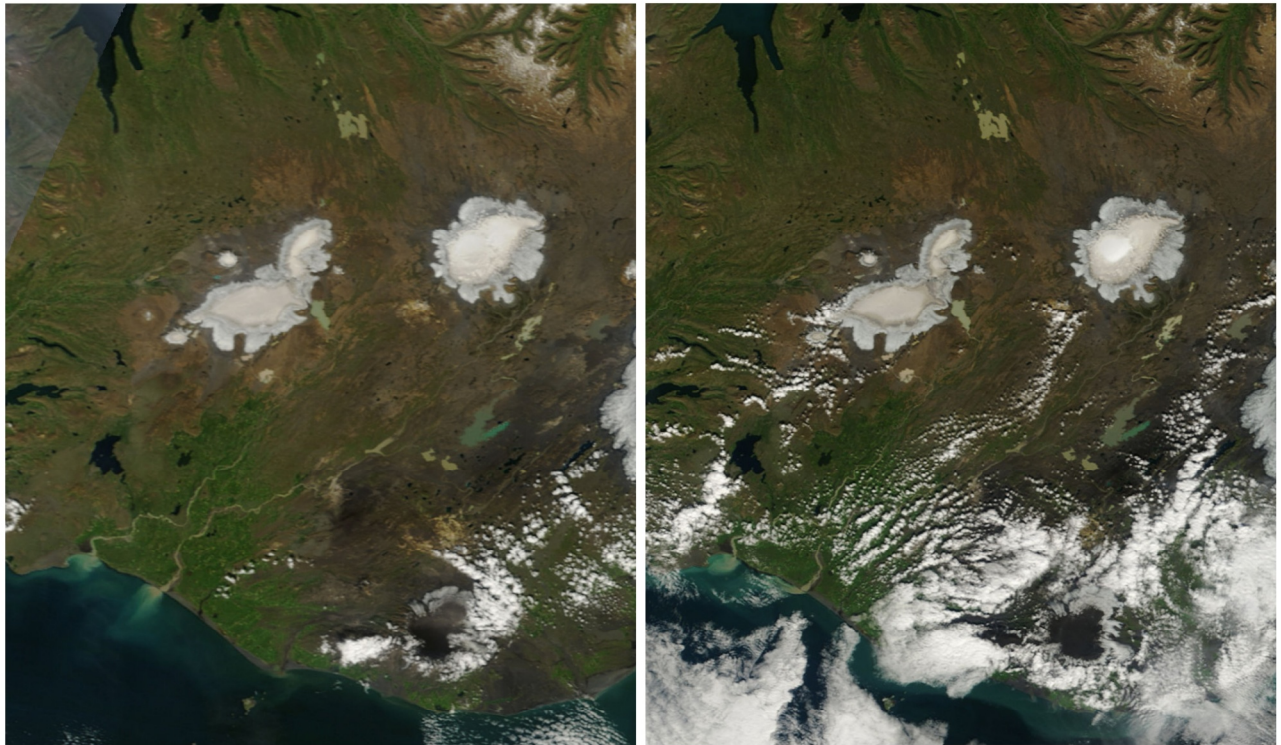
Vinstri: 17. maí 2010; Gosmökkur frá Eyjafjallajökli sem dreifist í allar áttir norður af gosstöðinni sést vel, þetta hafði ekki gerst áður. Hægri: 23. maí 2010; Fysrta mynd í heiðskíru sem sýna hvernig aska hefur lagst yfir Langjökul og Hofsjökul.



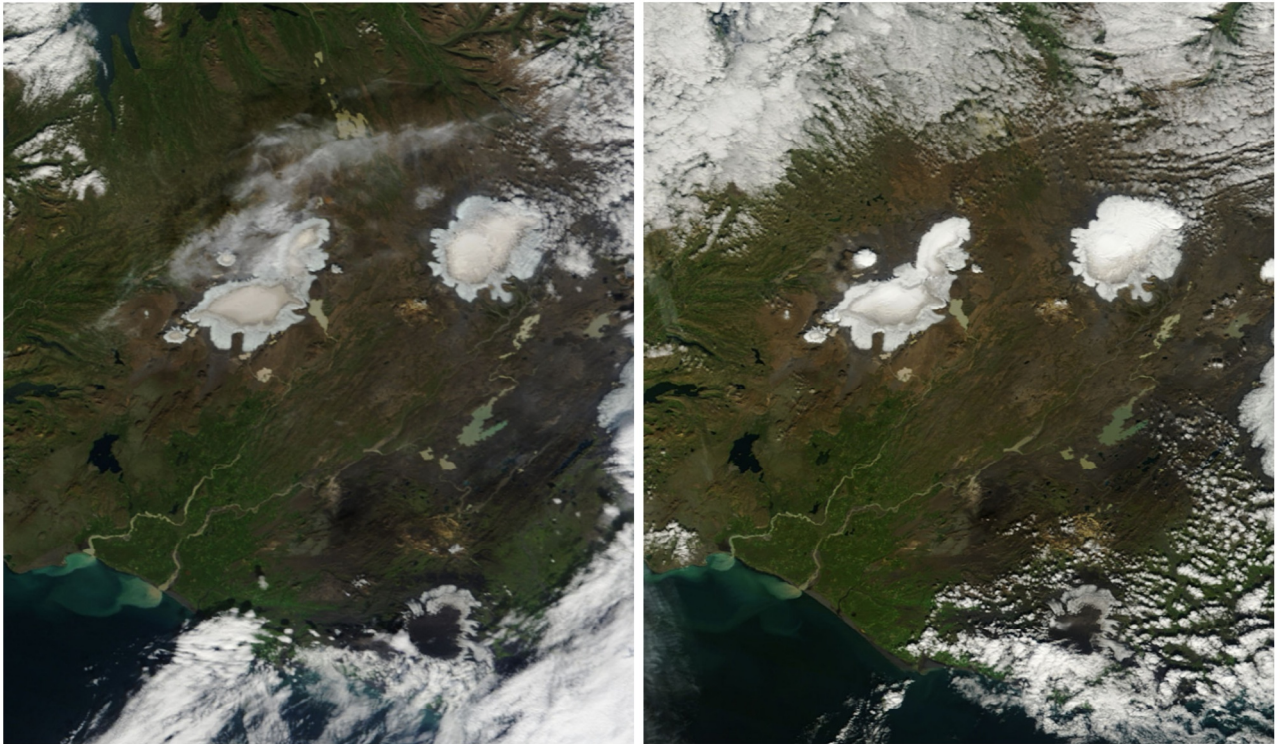
2. og 6. júní 2010; Snjór á lögstu spordum hefur þegar bráðnað og askan þar skolast af, snælína er auðgreinanleg.



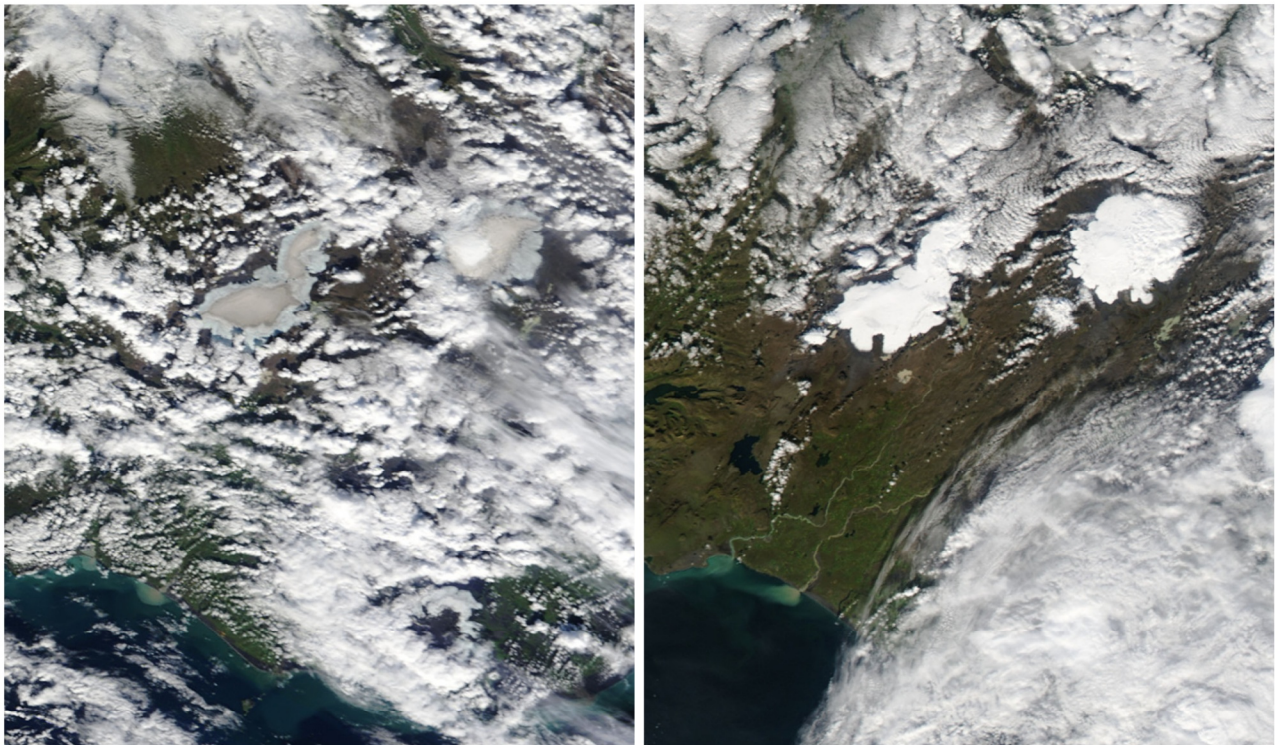
23. júní og 16. júlí 2010; Snælinan fíkrast uppá við.



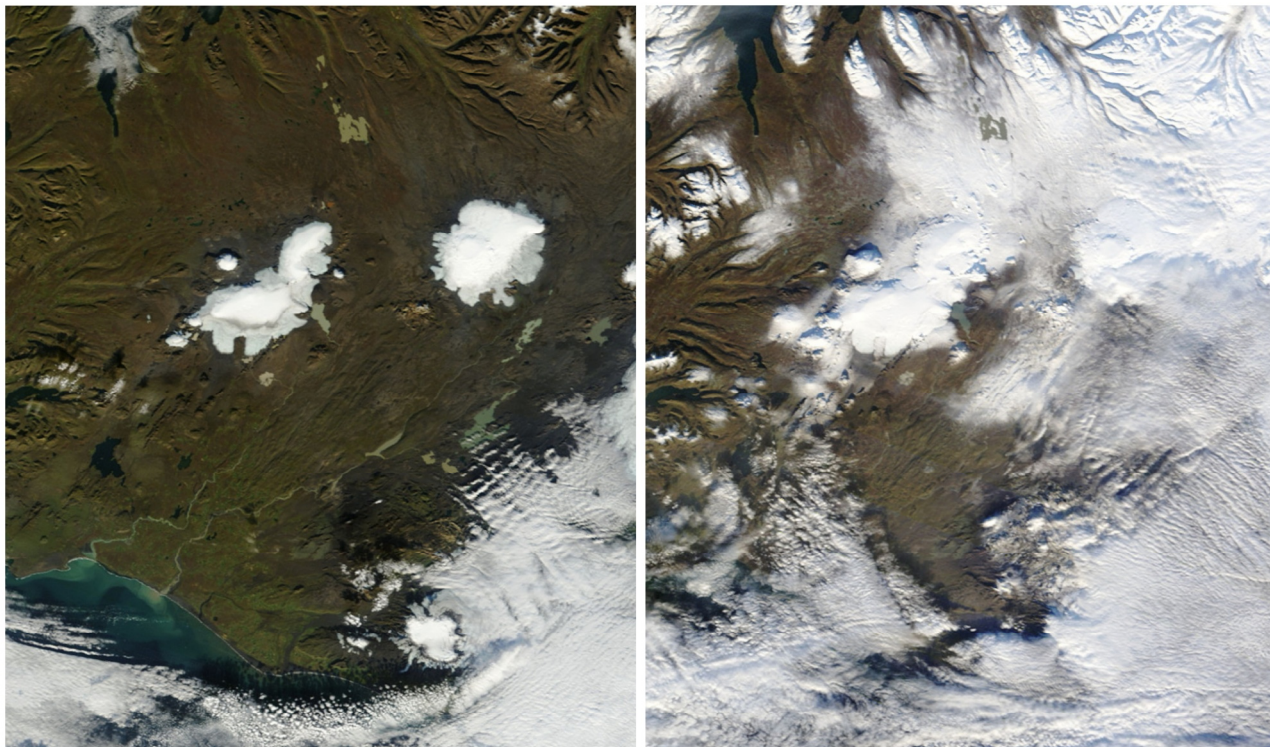
21. júlí og 9. ágúst 2010; Snælinan fíkrast uppá við, örlítið hefur snjóað á topp Hofsjökuls en ekkert á Langjökul.



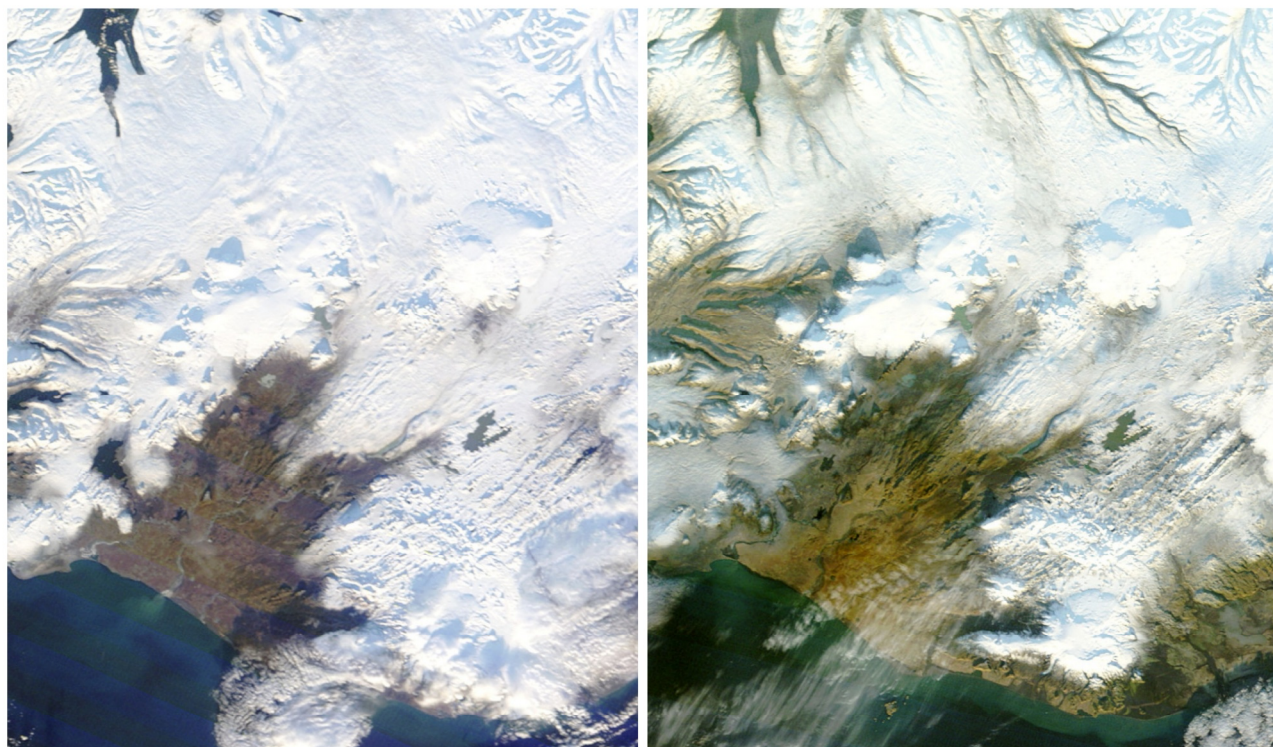
19. og 24. ágúst; Enn leysir snjó og hjarn, þann 24. hefur snjóað í norðanátt, þetta mun draga úr leysingu á NV-Baldjökli og hæstu svæðum suðurjökulsins.



11. og 22. september; Eftir miðjan September var veður risjótt, Langjökull er að mestu hulin nýsnjó þann 22.



*Vinstri: 10. október; Eftir risjótt veður kom afteu bjartur kafli, snjó á leysingasvæði tók upp.
Hægri: 31. október; nú var vetur genginn í garð, snjór farinn að safnast á allan jökulinn.*



14. og 22. nóvember 2010; Þó snjór safnist á jöklana er nær enginn snjór á suðurhálendinu þó kominn sé miður vetur.

Þessar myndir eru ýmist úr MODIS Aqua eða MODIS Terra gervitunglunum, á sýnilega ljóssviðinu með 250 m upplausn. (Sjá t.d. <http://rapidfire.sci.gsfc.nasa.gov/>)

The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) flies onboard NASA's Aqua and Terra satellites as part of the NASA-centered international Earth Observing System. Both satellites orbit the Earth from pole to pole, seeing most of the globe every day. Onboard Terra, MODIS sees the Earth during the morning, while Aqua MODIS orbits the Earth in the afternoon.