LV-2013-114

Landsvirkjun

Afkomu- og hraðamælingar á Langjökli

Jökulárið 2010-2011

Lykilsíða

Landsvirkjun

Skýrsla LV nr: LV-2013-114

Dags: 10-10-2013

Fjöldi síðna: 24

Upplag: 4

Dreifing:

☒ **Birt á vef LV**

☒ **Opin**

☐ **Takmörkuð til**

Titill: Afkomu- og hraðamælingar á Langjökli jökulárið 2010-2011

Höfundar/fyrirtæki: Finnur Pálsson, Sverrir Guðmundsson og Helgi Björnsson

Verkefnisstjóri: Andri Gunnarsson

Unnið fyrir: Landsvirkjun

Samvinnuaðilar: Jarðvísindastofnun Háskólans

Útdráttur:

Afkoma Langjökuls á jökulárinu 2010-2011 var neikvæð um 1.18 m (vatnsgildi, jafndreift yfir allan jökulinn (~880 km2)). Afkoma hefur verið neikvæð öll þau 15 ár sem hún hefur verið mæld, samtals um 21.4 m að vatnsgildi jafndreift yfir jökulinn eða ísþynning um 23.8 m. Á þessu 15 ára tímabili hefur Langjökull tapað um 11 % massa síns. Vetrarafkoman var 1.75 m sem er um 4% yfir meðaltali mælitímabilsins og sumarleysing 2,94 m eða 94% meðalárs frá 1996-97 til 2009-10. Sumarleysing varð mun meiri en ella á safnsvæði jökulsins vegna öskuslikju, sem barst inn yfri jökulinn úr öskuflákum á Vatnajökli og suðurlandi (aska úr Eyjafjallajökulsgosinu 2010 og Grímsvatnagosinu í Maí 2011), en sumarið var í kaldara lagi einkum maí og júní. Þetta ár voru fyrningar eftir jökulárið á um 23% yfirborðsins hæð jafnvægislínu suðurhluta jökulsins 1180 m en 1265 m á norðurhvelinu. Afrennsli leysingarvatns frá jöklinum var um 81 rúmmetrar á sekúndu eða 93 lítrar á sekúndu á hvern ferkílómer að jafnaði yfir árið.

Lykilorð: Jöklar, Langjökull, hraðamælingar, afkoma

ISBN nr:

Samþykki verkefnisstjóra Landsvirkjunar

Andri Gunnarsson

Afkomu- og hraðamælingar á Langjökli jökulárið 2010-2011

Finnur Pálsson
Sverrir Guðmundsson
Helgi Björnsson

Jarðvísindastofnun Háskólans
og Landsvirkjun

september 2013
RH-19-2013

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 2010-2011 10
B. Dreifing afkomu með hæð jökulárið 2010-2011 11
C. Hnit hraðamælipunkta 2011, lega yfirborðshæðarsniða 12
D. Mældur láréttur yfirborðsskriðhraði 2011 14
E. Afrennsli leysingar sumarið 2011 15
F. Modis gervihnattamyndir af Langjökli og nágrenni 2010-11 21

Myndir:

1. mynd. Lega afkomumælipunkta 2011. 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 2010-2011. 3
5. mynd. Sumarhiti (maí - september) og vetrarúrkoma (október - maí) á Hveravöllum jökulárin 1960-61 til 2010-2011. Heildregnu línurnar eru 11 ára vegin (þríhyrningur) keðjumeðaltöl. (Veðurgögn frá Veðurstofu Íslands). 3
6. mynd. Kort sem sýna vetrar-, sumar- og ársafkomu Langjökuls jökulárið 2010-2011. 4
7. mynd. Flatardreifing Langjökuls með hæð og uppsöfnuð dreifing afkomu með hæð, 2010-2011. 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 1997-2011. 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, 2010,2011 og einnig haustið 1998. 8
12. mynd. Meðaltal lárétts yfirborðsskriðhraða sumarið 2011. 8

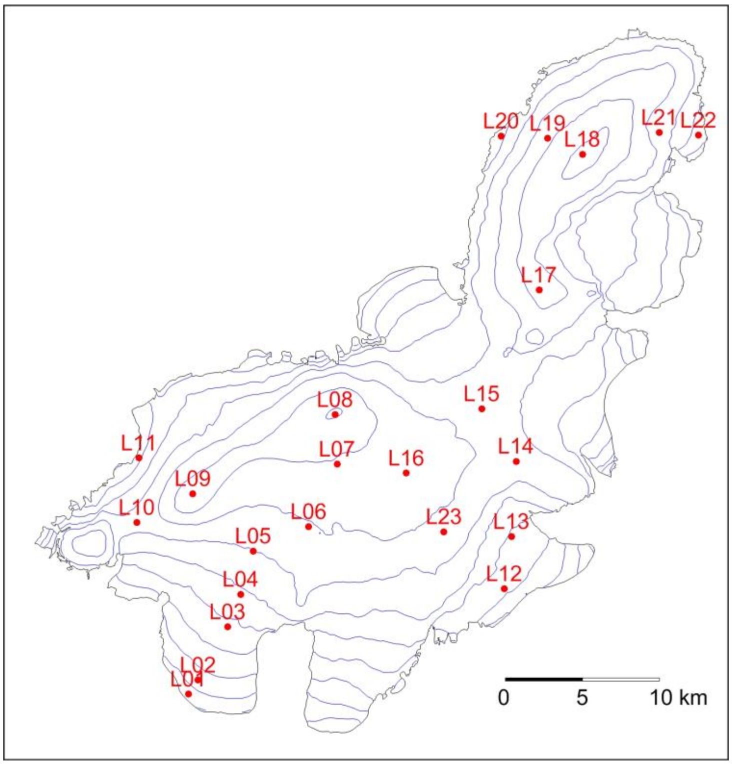
Töflur:

I. Afrennsli leysingavatns frá Langjökli til helstu vatnasviða. 7

1. Inngangur.

Árið 2011 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 Kinematic-GPS í öllum afkomumælinga punktunum, auk þess sem yfirborðshæðarsniðum var safnað með Kinematic-GPS mælinum bæði vor og haust í akstursleiðum milli mælipunkta.
Að vormælingum 16-19. apríl unnu Sverrir Guðmundsson, Sveinbjörn Steinþórsson, Þorsteinn Jónsson og Hlynur Skagfjörð Pálsson. Farartæki var snjóbíll HSSR og einn vélsleði Landsvirkjunar. 10. Júní var farið til að endurmæla L09 og L08 (Finnur Pálsson, Hannes H. Haraldsson, Andri Gunnarsson, Hlín Finnsdóttir og Caroline Ripoche).

Haustmælingar voru unnar í tveimur mæliferðum, sú fyrri 22. september á tveimur 4x4 bílum JH (Finnur Pálsson, Þorsteinn Jónsson og Hlín Finnsdóttir). Jökullinn var erfiður yfirferðar, úfinn og sprungin á köflum. Því var ávkveðið að bíða þar til snjóað hefði á jökulinn til að klára verkið. Vegna illviðra tafðist það til 18.-19 nóvember var farið á snjóbíll HSSR (Þorsteinn Jónsson, Sveinbjörn Steinþórsson, Hlynur Skagfjörð Pálsson og Halldór Ingi Ingimarsson).
Finnur Pálsson vann úrvinnslu og túlkun mæligagna.

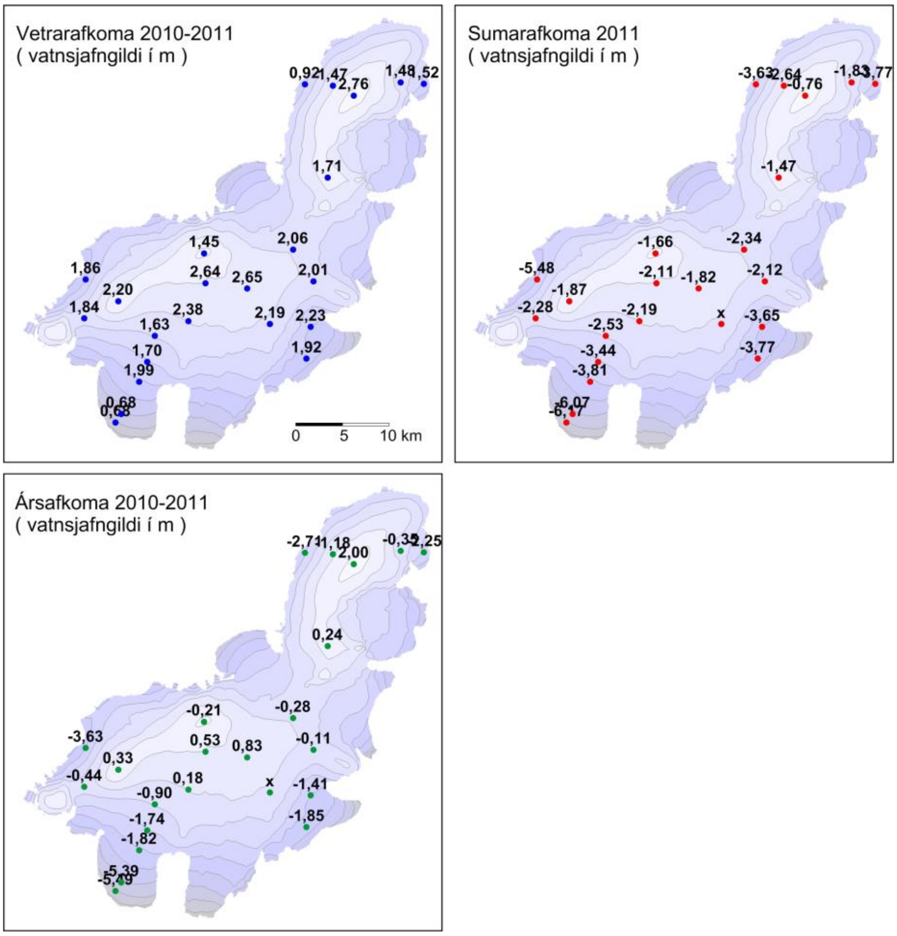


1. mynd. Lega afkomumælipunkta 2011.

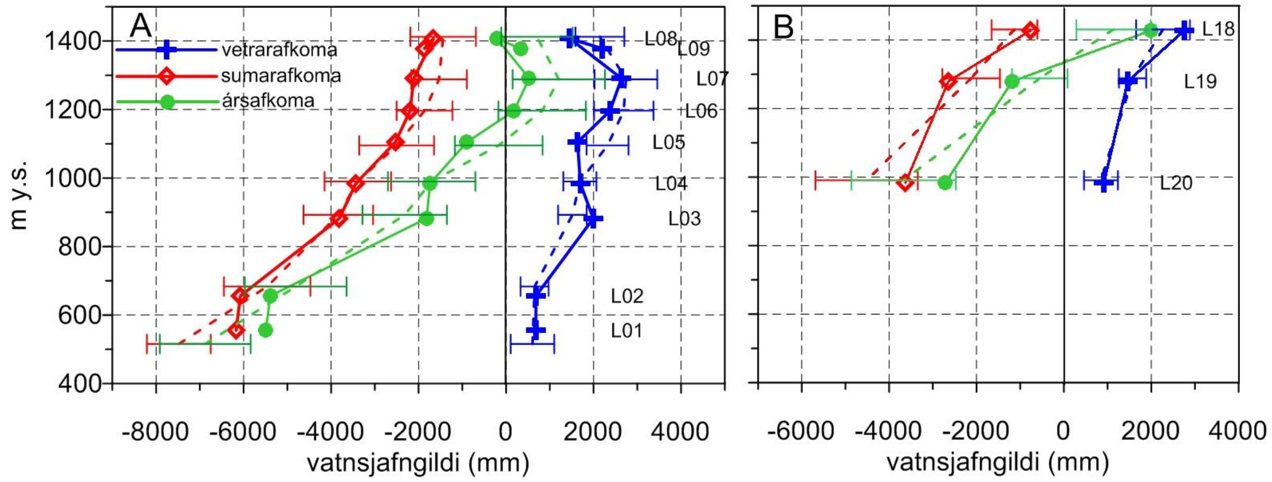
2. Afkomumælingar.

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 2009-10 er sýnt með brotnum línum og staðalfrávik mæliraðar í hverjum punkti með láréttum línum.

3. Samdregnar niðurstöður afkomumælinga.

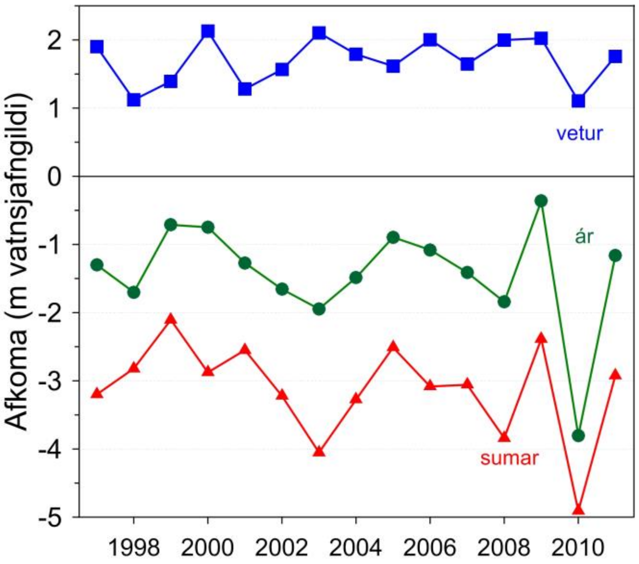
Eftir mæligildum í afkomumælipunktunum voru gerð stafræn kort til reikninga á rúmmáli afkomu og til að lýsa sumarleysingu á einstökum vatnasviðum. Heildarafkoma Langjökuls 2010-2011 var:

B_w = 1.54 km^3 eða **b_w = 1754** mm
B_s = -2.57 km^3 eða **b_s = -2938** mm
B_n = -1.03 km^3 eða **b_n = -1184** mm

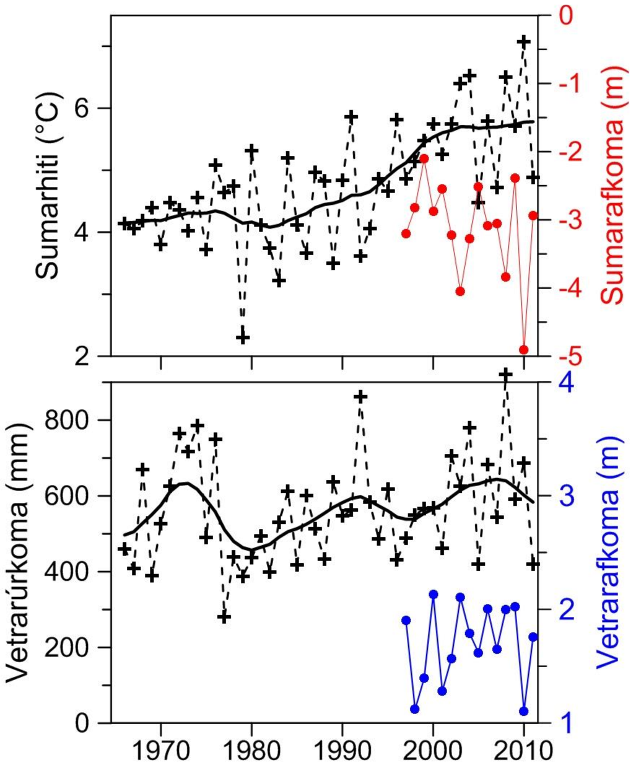
(**B** er heildarrúmmál vatnsgildis, en **b** þykkt vatnsgildis Jafndreift yfir jökulinn, w, s og n stendur fyrir vetur, sumar og ár).

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
2009-2010	1105	-4910	-3805
Meðaltal$_{(96-11)}$	***1680***	***-3130***	***-1450***



4. mynd. Afkoma jökuláranna 1996_97 til 2010_11.



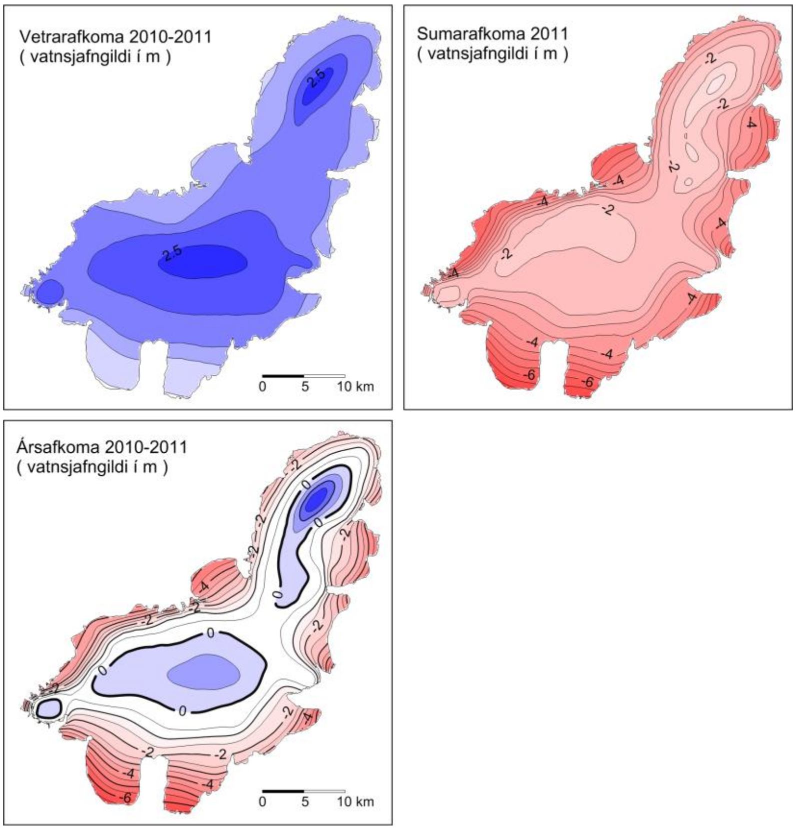
5. mynd. Sumarhiti (maí - september) og vetrarúrkoma (október - maí) á Hveravöllum jökulárin 1960-61 til 2010-2011. Heildregnu línurnar eru 11 ára keðjumeðaltöl (þríhyrnings-vægi). Veðurgögn eru frá Veðurstofu Íslands.

Snjósöfnun veturinn 2010-2011 var nærri meðaltali mælitímans (3% hærri), heldur minna safnaðist á sléttuna ofan 1100 m, en meira bæði neðan og ofan hennar (3. og 4. mynd). 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.

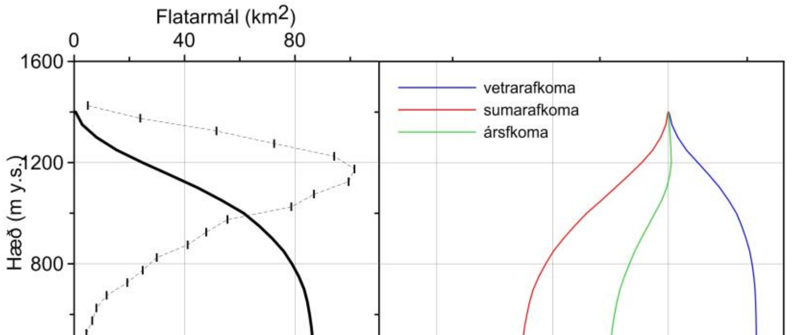
Sumarleysing var nærri meðallagi, meiri en í meðalagi á efsta hlutanum en minni neðst á jöklinum (3.mynd). Það sumraði seint, nær engin leysing var fyrr en eftir miðjan

júní, og sumarið var ekki sólríkt á Langjökli. Aska barst af yfirborði Vatnajökuls og umhverfi hans inn yfir Langjökul (frá öskuflekkjum úr Grímsvatnagosinu í lok maí 2011 sjá gervitunglamyndir í viðauka F). Þunn öskudreifin jók mjög á gleypni yfirborðsins á geislun frá sólu á ofanverðum jöklinum og olli aukinni leysingu þar. Á leysingasvæði jökulsins skolaðist askan að mestu burt þegar komið var niður á ís, en á safnsvæðinu sat askan að mestu föst í yfirborðinu. Greining orkubúskapar á veðurstöðvunum í L01 og L05 gefur til kynna að leysing hefði verið sú minnsta á mælitímanum án öskunnar, og afkoman hefði nálgast núll í fyrsta sinn (ekki ósvipað jökulárinu 2008-09. En vegna áhrifa öskunnar varð afkoman mjög nærri meðallagi.

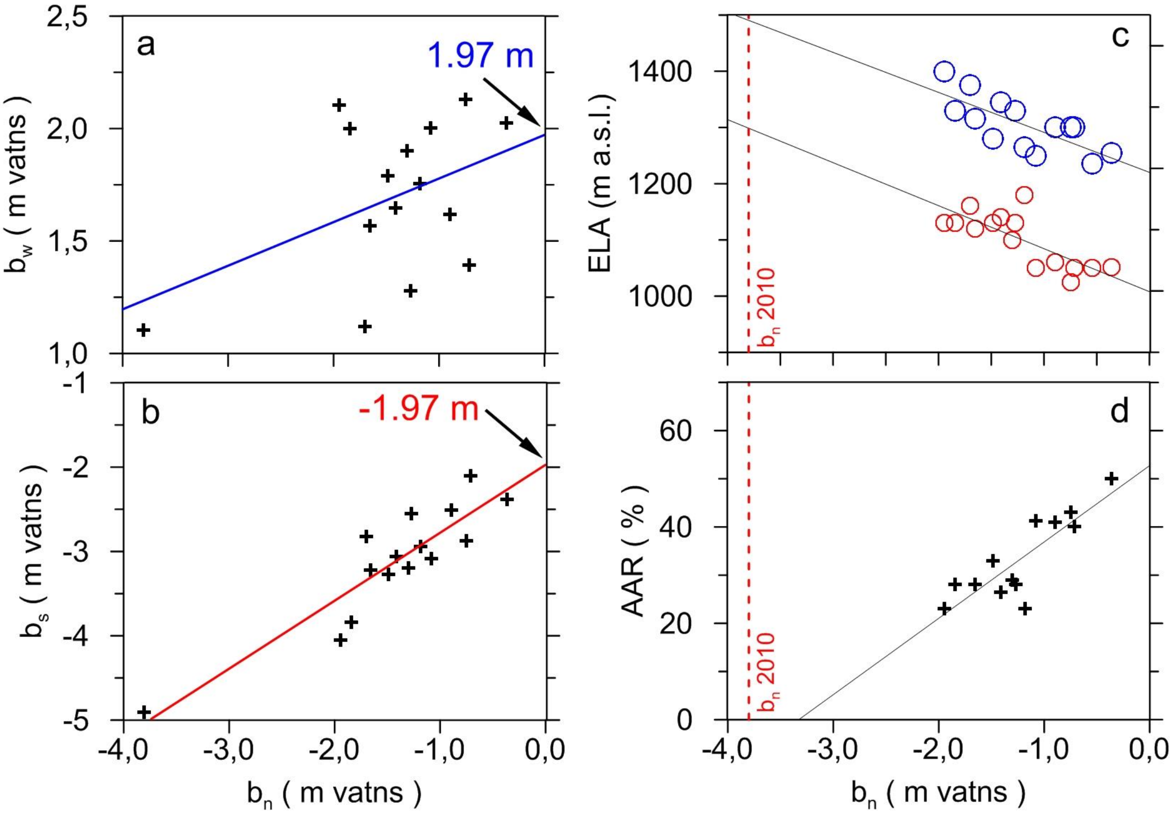
Meðalsumarhiti á Hveravöllum (maí – september) var 4.88°C, sem er 1°C lægra en að meðaltali áratuginn á undan (5. mynd). Maí og júní voru kaldari en flest undangengin ár, en júlí fremur hlýr og bjartur. Á 6. mynd eru sýnd stafræn kort af afkomu Langjökuls 2010-2011. Á 7. mynd er flatardreifing Langjökuls með hæð og uppsöfnuð dreifing afkomu með hæð. Flatardreifingar eru unnar eftir nýju yfirborðskorti Langjökuls fyrir árið 2012 sem byggt er á korti unnu eftir SPOT5-HRS gervitunglamyndum frá ágúst 2012, lagað eftir GPS hæðarsniðum sem mæld voru vítt og breytt um jökulinn 2011 og 2012.



6. mynd. Kort sem sýna vetrar-, sumar- og ársafkomu Langjökuls jökulárið 2010-2011.



7. mynd. Flatardreifing Langjökuls með hæð (yfirborð 2012) og uppsöfnuð dreifing afkomu með hæð, 2010-2011.

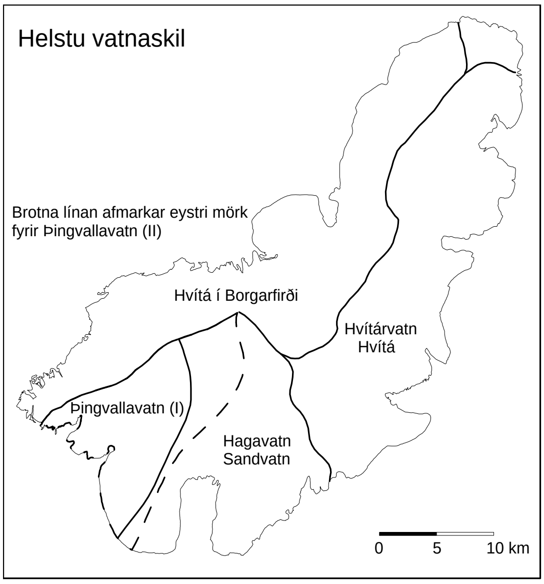


8. mynd. Samhengi ársafkomu og: **a**. *vetrarafkomu,* **b**. *sumarafkomu,* **c**. *hæð jafnvægislínu,* **d**. *hlutfalls safnsvæðis af heildarflatarmáli (AAR).*

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 nálga 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 árinu 2009-2010 sleppt; (2009-2010 voru engar fyrningar, flatarmál safnsvæðis 0). Þessar einföldu nálganir benda til að AAR væri nærri 55% og hæð jafnvægislínu á sunnanverðum 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. Samtals hefur jökullinn á 15 árum rýrnað um 21.4 m eða 19.3 km^3 (vatnsjafngildi). Þetta svarar til 21.4 km^3 af ís, sem er 11 % rýrnun rúmmáls alls jökulsins eða 0.73 % ári.

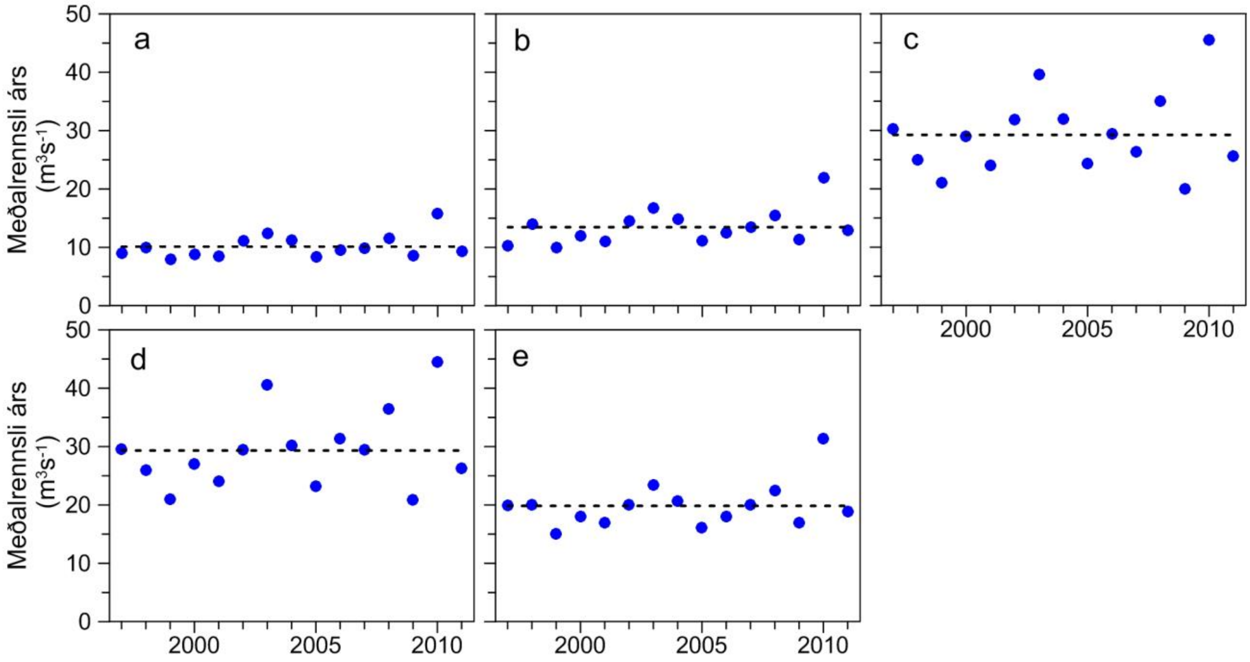
4. Afrennsli leysingavatns frá Langjökli.



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

Jökulleysing skilaði að jafnaði 195 m^3/s frá Langjökli tímabilið 1. maí til 30. september 2011, eða 82 m^3/s jafnað yfir heilt ár. Frá jöklinum runnu því að jafnaði um 93 $ls^{-1}km^{-2}$ 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:



10. mynd. Meðalársafrennsli leysingarvatns frá vatnasviðum helstu vatnsfalla frá Langjökli 1997-2011. 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.

Hagavatns og Sandvatns (eystra), vatnasviðs Þingvallavatns, Hvítár í Borgarfirði og Hvítárvatns, Hvítár í Árnessýslu. Í töflu I. eru settar fram tölur um leysingavatn sumurin 1997 til 2011. Meðalafrennsli á flatareiningu sumarið 2011 var nokkuð breytilegt milli vatnasviða, um 87-103 $ls^{-1}km^{-2}$, hæst á sunnanverðum jöklinum.
Töflur um afrennsli frá helstu vatnsviðum eftir hæðarbilum eru í viðauka E.
Meðalafrennsli á flatareiningu hefur verið á bilinu 71-158 $ls^{-1}km^{-2}$ frá því mælingar hófust 1997. Meðalafrennsli á flatareiningu vegna leysingar sumarsins 2011 var 93 $ls^{-1}km^{-2}$. Á 10. mynd er sýndur breytileiki meðal-ársafrennslis leysingarvatns Q_a. Meðalársafrennsli leysingar allt tímabilið (10. mynd brotin lína) er: a: Vatnasvið Þingvallavatns (I) 10,1 m^3s^{-1} ; b: Vatnasvið Þingvallavatns (II) 13,5 m^3s^{-1}; c: Hvítá í Borgarfirði 29,2 m^3s^{-1}; d: Hvítárvatn, Hvítá 29,3 m^3s^{-1}; e: Hagavatn, Sandvatn 19,8 m^3s^{-1}.

Tafla I. Afrennsli leysingavatns frá Langjökli til helstu vatnasviða.

Ár:	A (km^2) 96-06	07	12	ΣQ_s ($10^6 m^3$) 97	98	99	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	**11**
A	100	95	91	284	326	248	277	269	351	390	355	262	298	312	366	271	496	**294**
B	146	139	135	326	435	331	377	357	456	526	467	353	394	425	488	358	690	**406**
C	315	305	295	957	796	663	927	771	1002	1248	1007	768	928	830	1104	629	1433	**807**
D	295	294	289	934	816	660	842	751	931	1280	952	733	991	929	1149	658	1402	**829**
E	197	190	184	627	634	488	560	526	631	738	652	507	567	630	709	533	989	**593**

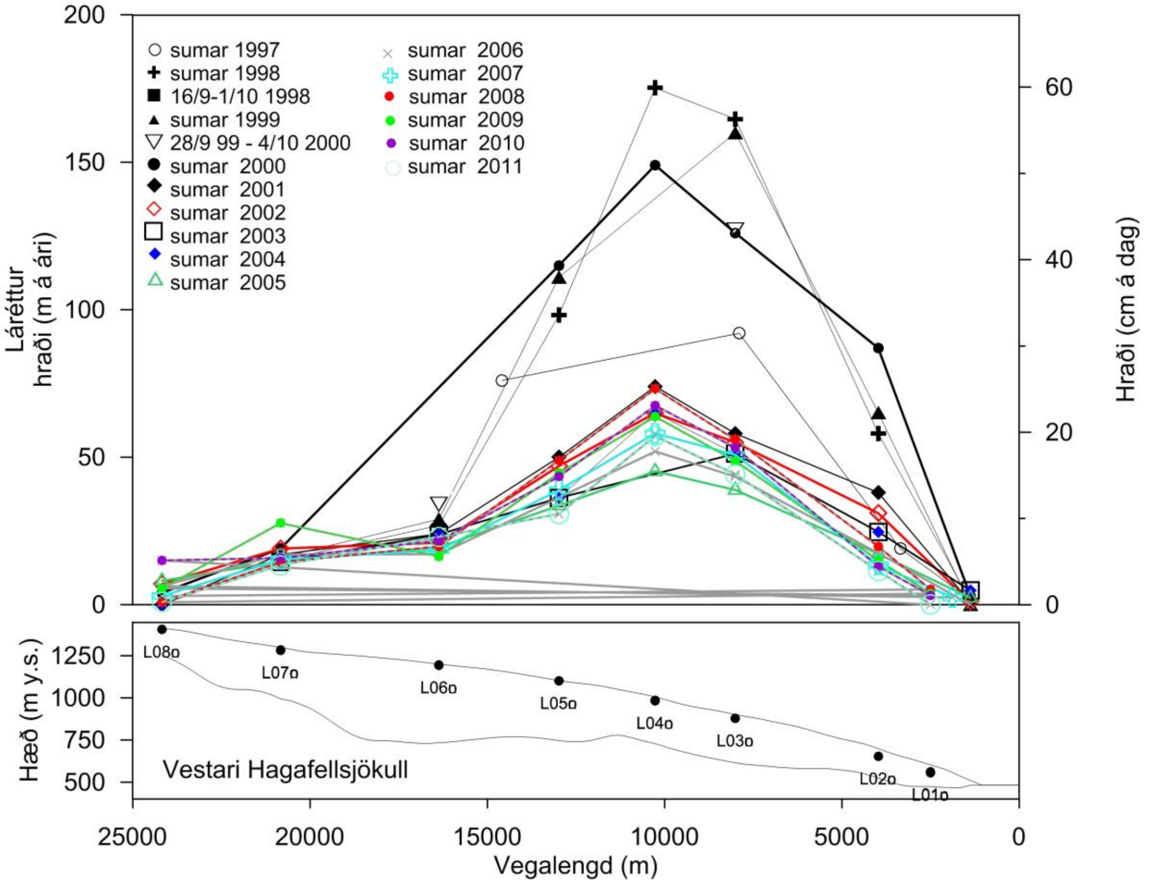
Ár:	Q_s (m^3s^{-1}) 97	98	99	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	**11**
A	22	25	19	21	20	27	30	27	20	23	24	28	20	38	**22**
B	25	33	25	29	27	35	40	35	27	30	32	37	27	52	**31**
C	72	60	50	70	58	76	94	76	58	70	63	84	48	108	**61**
D	71	62	50	64	57	70	97	72	55	75	70	87	50	106	**63**
E	47	48	37	42	40	48	56	49	38	43	48	54	40	75	**45**

Ár:	Q_a (m^3s^{-1}) 97	98	99	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	**11**
A	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	**9,3**
B	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	**12,9**
C	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	**25,6**
D	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	**26,3**
E	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	**18,8**

Ár:	q_s ($ls^{-1}km^{-2}$) 97	98	99	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	**11**
A	90	103	79	88	85	111	124	113	83	95	105	123	91	167	**103**
B	71	94	72	82	78	99	114	102	76	86	97	111	82	157	**95**
C	96	80	67	93	78	101	126	101	77	93	86	114	65	149	**87**
D	100	88	71	91	81	100	138	102	79	106	100	124	71	151	**91**
E	101	102	79	90	85	102	119	105	82	91	105	118	89	165	**102**

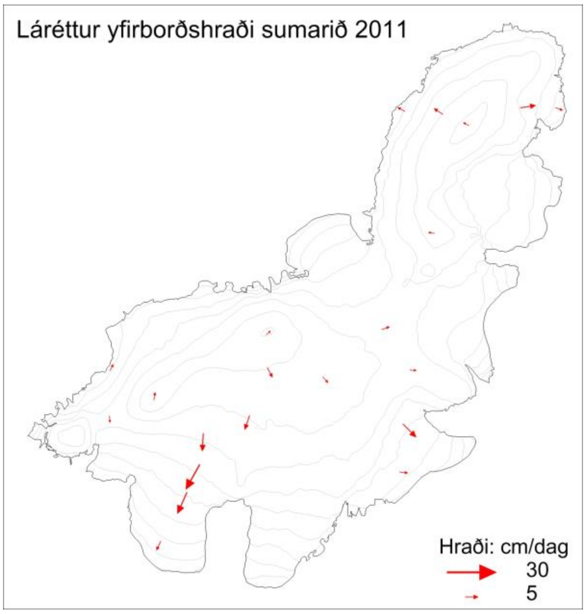
A: Þingvallavatn-I; ***B***: Þingvallavatn-II, ***C***:Hvítá í Borgarfirði, ***D***: Hvítárvatn, Hvítá, ***E:*** Hagavatn, Sandvatn.
A: Flatarmál vatnasviðs undir jökli
ΣQ_s: heildarafrennsli leysingavatns
Q_s: meðalrennsli (maí-september, 5 mánuðir)
Q_a: meðalrennsli (12 mánuðir)
q_s: meðalafrennsli á flatareiningu jökuls (12 mánuðir)
(ath: flatarmál vatnsviða árið 2011 eru unnin eftir hæðarkorti af Langjökli fyrir árið 2012)

5. Hraðamælingar.



11. mynd. Þversnið niður miðjan Hagafellsjökul vestari (yfirborð 1997, punktar sýna yfirborðshæð 2010) og mældur yfirborðshraði á því sniði sumurin 1997, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011 og haustið 1998.

Yfirborðshreyfing jökulsins var mæld í öllum afkomumæli-punktum, með nákvæmri GPS staðsetningu stika 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



12. mynd. Meðaltal lárétts yfirborðshraða sumarið 2011.

á Vestari Hagafellsjökli frá sumrinu 1997 til sumarsins 2011. 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 2010-2011 var neikvæð um 1.18 m (vatnsgildi, jafndreift yfir allan jökulinn (~880 km^2)). Afkoma hefur verið neikvæð öll þau 15 ár sem hún hefur verið mæld, samtals um 21.4 m að vatnsgildi jafndreift yfir jökulinn eða ísþynning um 23.8 m. Á þessu 15 ára tímabili hefur Langjökull tapað um 11 % massa síns.
Vetrarafkoman var 1.75 m sem er um 4% yfir meðaltali mælitímabilsins og sumarleysing 2,94 m eða 94% meðalárs frá 1996-97 til 2009-10. Sumarleysing varð mun meiri en ella á safnsvæði jökulsins (einkum á sléttunni á sunnanverðum jöklinum) vegna öskuslikju, sem barst inn yfri jökulinn úr öskuflákum á Vatnajökli og suðurlandi (aska úr Eyjafjallajökulsgosinu 2010 og Grímsvatnagosinu í Maí 2011), en sumarið var í kaldara lagi einkum maí og júní.
Þetta ár voru fyrningar eftir jökulárið á um 23% yfirborðsins hæð jafnvægislínu suðurhluta jökulsins 1180 m en 1265 m á norðurhvelinu. Afrennsli leysingarvatns frá jöklinum var um 81 m^{3}s^{-1} eða 93 ls^{-1}km^{-2} að jafnaði yfir árið.

Viðauki A : Afkoma í mælipunktum 2010-2011.

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 (mm)
L01	64	30,641	20	27,477	555	110418	110930	681	-6171	-5490	0
L02	64	31,135	20	26,720	656	110418	111118	682	-6073	-5391	0
L03	64	33,023	20	24,425	882	110418	111118	1993	-3811	-1818	98
L04	64	34,169	20	23,412	984	110418	111118	1697	-3435	-1738	105
L05	64	35,691	20	22,473	1105	110418	110922	1634	-2531	-897	70
L06	64	36,589	20	18,007	1196	110418	110922	2375	-2195	180	0
L07	64	38,790	20	15,799	1291	110417	110922	2638	-2110	528	0
L08	64	40,518	20	16,038	1407	110417	110922	1453	-1661	-208	35
L09	64	37,649	20	27,487	1378	110417	110922	2196	-1866	330	11
L10	64	36,599	20	31,986	1131	110418	111118	1841	-2283	-442	168
L11	64	38,852	20	31,933	893	110610	110922	1855	-5482	-3627	0
L12	64	34,537	20	2,014	836	110416	111118	1921	-3775	-1854	67
L13	64	36,371	20	1,501	884	110416	111118	2234	-3647	-1413	175
L14	64	39,005	20	1,221	1154	110416	110922	2007	-2118	-111	53
L15	64	40,817	20	4,091	1184	110416	110922	2055	-2335	-280	53
L16	64	38,520	20	10,137	1262	110417	110922	2648	-1820	828	0
L17	64	45,005	19	59,572	1341	110416	111118	1714	-1474	240	648
L18	64	49,773	19	56,195	1428	110417	111118	2756	-758	1998	630
L19	64	50,306	19	59,052	1279	110417	111118	1466	-2643	-1177	511
L20	64	50,367	20	2,865	984	110417	111118	915	-3625	-2710	298
L21	64	50,573	19	49,889	1147	110417	111118	1481	-1832	-351	301
L22	64	50,489	19	46,688	960	110417	111118	1520	-3770	-2250	119
L23	64	36,498	20	6,991	1161	110419		2188			462

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 2010 - 2011

ΔS : flatarmál á hverju hæðarbili, ∑ΔS: uppsafnað flatarmál ofan gefinnar hæðar, bw: vetrarafkoma, bs: sumarafkoma. bn: ársafkoma, ΔB_w : vetrarafkoma á hæðarbili, $\sum\Delta B_w$: uppsöfnuð vetarafkoma ofan hæðarbils, ΔB_s: sumarafkoma á hæðarbili, $\sum\Delta B_s$: uppsöfnuð sumarafkoma ofan hæðarbils, ΔB_n: ársafkoma á hæðarbili, $\sum B_n$: uppsöfnuð ársafkoma ofan hæðarbils. (Til grundvallar er stafrænt kort af yfirborði sumarsins 2012).

Hæðarbil (m y. s.)			**ΔS (km^2)**	**∑ΔS (km^2)**	**bw (mm)**	**bs (mm)**	**bn (mm)**	**ΔB_w ($10^6 m^3$)**	**$\sum\Delta B_w$ ($10^6 m^3$)**	**ΔB_s ($10^6 m^3$)**	**$\sum\Delta B_s$ ($10^6 m^3$)**	**ΔB_n ($10^6 m^3$)**	**$\sum B_n$ ($10^6 m^3$)**
1400	1450	1425	5,0	5,0	2534	-1044	1489	12,5	12,5	-5,2	-5,2	7,4	7,4
1350	1400	1375	24,0	29,0	2094	-1535	559	50,2	62,7	-36,8	-42,0	13,4	20,8
1300	1350	1325	51,6	80,6	1986	-1740	246	102,5	165,2	-89,8	-131,8	12,7	33,5
1250	1300	1275	72,5	153,1	2049	-1875	174	148,5	313,8	-135,9	-267,7	12,6	46,1
1200	1250	1225	94,3	247,4	2107	-2039	68	198,7	512,5	-192,3	-459,9	6,5	52,6
1150	1200	1175	101,9	349,3	1942	-2210	-267	198,0	710,5	-225,3	-685,2	-27,3	25,3
1100	1150	1125	99,8	449,1	1848	-2398	-550	184,5	895,0	-239,4	-924,7	-55,0	-29,7
1050	1100	1075	87,3	536,4	1753	-2739	-985	153,0	1048,0	-239,1	-1163,7	-86,1	-115,7
1000	1050	1025	79,7	616,1	1679	-3205	-1526	133,8	1181,9	-255,5	-1419,3	-121,7	-237,4
950	1000	975	56,8	672,9	1614	-3701	-2086	91,6	1273,5	-210,1	-1629,4	-118,5	-355,9
900	950	925	49,0	721,9	1565	-4068	-2503	76,7	1350,2	-199,2	-1828,6	-122,6	-478,4
850	900	875	42,1	764,0	1528	-4220	-2691	64,4	1414,6	-177,8	-2006,5	-113,4	-591,9
800	850	825	30,9	794,9	1380	-4439	-3058	42,6	1457,2	-137,0	-2143,4	-94,4	-686,2
750	800	775	25,6	820,5	1191	-4712	-3521	30,5	1487,7	-120,8	-2264,2	-90,3	-776,5
700	750	725	20,2	840,7	1083	-5024	-3941	21,9	1509,6	-101,5	-2365,7	-79,6	-856,1
650	700	675	12,5	853,2	911	-5419	-4508	11,4	1521,0	-67,9	-2433,6	-56,5	-912,6
600	650	625	8,4	861,6	744	-5810	-5065	6,2	1527,3	-48,7	-2482,4	-42,5	-955,1
550	600	575	6,9	868,5	678	-6155	-5477	4,6	1531,9	-42,2	-2524,5	-37,5	-992,6
500	550	525	4,8	873,3	626	-6432	-5806	3,0	1534,9	-30,6	-2555,1	-27,6	-1020,2
450	500	475	2,2	875,5	590	-6592	-6002	1,3	1536,2	-14,8	-2569,9	-13,5	-1033,7
400	450	425	0,5	876,0	522	-6854	-6332	0,3	1536,5	-3,8	-2573,7	-3,5	-1037,2

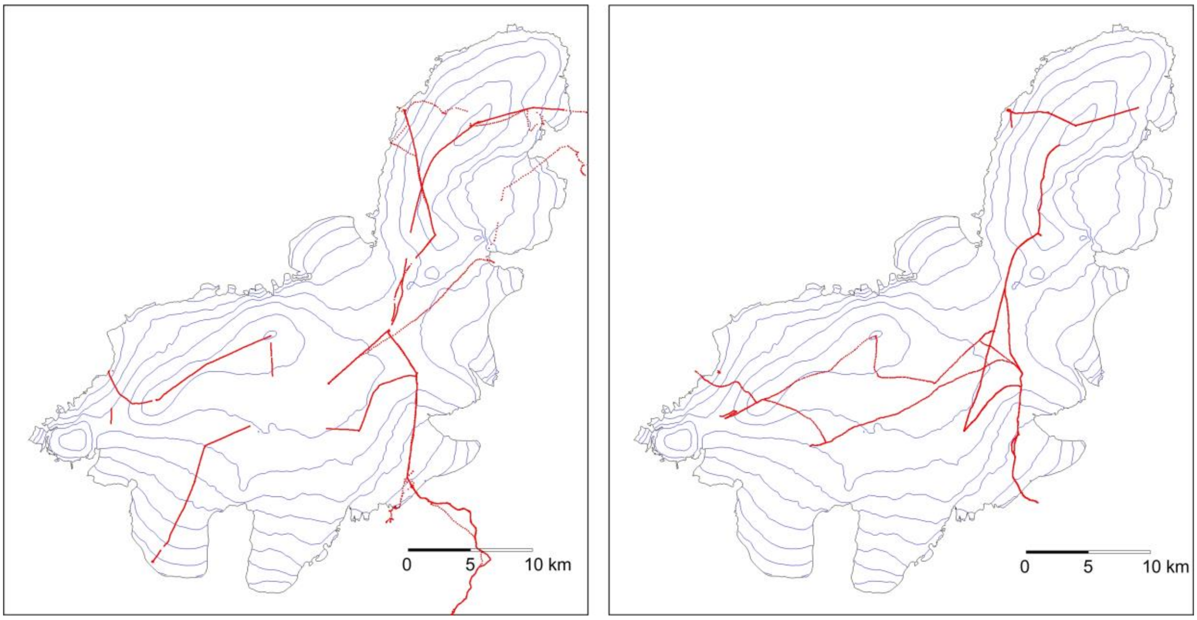
Viðauki C: Hnit hraðamælipunkta 2011

Mæld staðsetning mælistika á Langjökli 2011, GPS mælingar. Nákvæmni er áætluð um 5 cm fyrir mælingar merktar K og FS (Kinematic eða faststatic GPS). h_l er hæð yfir ellipsóíðu (ISNET-93, NKG96 Geoíða), ΔL loftnetshæð og N áætlaður mismunur ellipsóíðu og geóíðuhæðar, ($H=h_l-N-\Delta L$).

Stika		Dags.		Dagur árs	Ár	Breiddar- gráða		Lengdar- gráða		h_l (m y. e.)	ΔL (m)	N (m)	H (m y. s.)	
L01o	17,47	18	4	108	2011	64	30,64141	20	27,47699	622,47	0,00	-67,05	555,41	K
L02o	18,28	18	4	108	2011	64	31,13530	20	26,71988	723,00	0,00	-67,08	655,92	K
L02o	14,14	18	11	322	2011	64	31,13199	20	26,72324	715,95	0,00	-67,08	648,87	K
L03o	19,80	18	4	108	2011	64	33,02275	20	24,42505	949,35	0,00	-67,17	882,19	K
L03o	13,68	18	11	322	2011	64	33,00988	20	24,43748	942,67	0,00	-67,16	875,50	K
L04o	20,43	18	4	108	2011	64	34,16880	20	23,41164	1051,48	0,00	-67,21	984,27	K
L04o	13,26	18	11	322	2011	64	34,15282	20	23,43109	1045,88	0,00	-67,21	978,66	K
L05o	22,45	18	4	108	2011	64	35,69114	20	22,47292	1172,03	0,00	-67,25	1104,78	K
L05o	17,17	22	9	265	2011	64	35,68401	20	22,47348	1165,54	0,00	-67,25	1098,29	FS
L06o	0,00	18	4	108	2011	64	36,58856	20	18,00692	1263,50	0,00	-67,27	1196,23	O
L06o	16,51	22	9	265	2011	64	36,58351	20	18,01079	1257,23	0,00	-67,27	1189,95	FS
L07o	18,42	17	4	107	2011	64	38,79016	20	15,79853	1358,06	0,00	-67,28	1290,77	K
L07o	13,81	22	9	265	2011	64	38,78745	20	15,79496	1345,01	0,00	-67,28	1277,73	FS
L08o	19,30	17	4	107	2011	64	40,51807	20	16,03815	1474,49	0,00	-67,27	1407,22	K
L08o	13,38	22	9	265	2011	64	40,51820	20	16,03782	1470,71	0,00	-67,27	1403,44	FS
L09o	20,85	17	4	107	2011	64	37,64912	20	27,48683	1445,25	0,00	-67,24	1378,01	K
L09o	12,61	22	9	265	2011	64	37,65048	20	27,48641	1439,27	0,00	-67,24	1372,03	FS
L10o	13,72	18	4	108	2011	64	36,59923	20	31,98560	1198,20	0,00	-67,16	1131,04	K
L10o	12,88	18	11	322	2011	64	36,59839	20	31,98539	1194,76	0,00	-67,16	1127,59	K
L11o	12,48	18	4	108	2011	64	38,85183	20	31,93251	960,19	0,00	-67,13	893,06	K
L11o	10,75	22	9	265	2011	64	38,85280	20	31,93143	951,75	0,00	-67,13	884,62	FS
L12o	14,93	16	4	106	2011	64	34,53726	20	2,01375	903,03	0,00	-67,16	835,87	K
L12o	10,63	18	11	322	2011	64	34,53703	20	2,00864	896,00	0,00	-67,16	828,84	K
L13o	16,83	16	4	106	2011	64	36,37074	20	1,50112	951,02	0,00	-67,20	883,82	K
L13o	11,06	18	11	322	2011	64	36,36357	20	1,48366	944,80	0,00	-67,20	877,60	K
L14o	18,35	16	4	106	2011	64	39,00492	20	1,22102	1221,01	0,00	-67,24	1153,77	K
L14o	15,48	22	9	265	2011	64	39,00490	20	1,21964	1216,49	0,00	-67,24	1149,24	FS
L15o	19,38	16	4	106	2011	64	40,81715	20	4,09112	1250,79	0,00	-67,27	1183,52	K
L15o	14,85	22	9	265	2011	64	40,81775	20	4,08737	1246,71	0,00	-67,27	1179,44	FS
L16o	17,13	17	4	107	2011	64	38,52024	20	10,13665	1328,87	0,00	-67,28	1261,59	K
L16o	14,25	22	9	265	2011	64	38,51918	20	10,13434	1323,73	0,00	-67,28	1256,45	FS
L17o	20,63	16	4	106	2011	64	45,00510	19	59,57235	1408,09	0,00	-67,26	1340,83	K
L17o	13,38	18	11	322	2011	64	45,00520	19	59,57383	1405,19	-0,80	-67,26	1337,13	FS
L18o	11,25	17	4	107	2011	64	49,77297	19	56,19536	1495,24	0,00	-67,25	1427,99	K
L18o	17,51	18	11	322	2011	64	49,77328	19	56,19684	1490,81	0,00	-67,25	1423,57	K

L19o	10,23	17	4	107	2011	64	50,30644	19	59,05217	1346,58	0,00	-67,23	1279,35	K
L19o	15,75	18	11	322	2011	64	50,30852	19	59,06004	1342,77	-0,96	-67,23	1274,58	FS
L20o	9,28	17	4	107	2011	64	50,36741	20	2,86469	1050,75	0,00	-67,18	983,57	K
L20o	14,72	18	11	322	2011	64	50,36844	20	2,86923	1047,36	-0,96	-67,18	979,22	FS
L21o	12,32	17	4	107	2011	64	50,57290	19	49,88929	1213,98	0,00	-67,23	1146,75	K
L21o	18,90	18	11	322	2011	64	50,57419	19	49,87089	1212,07	0,00	-67,23	1144,84	K
L22o	13,90	17	4	107	2011	64	50,48939	19	46,68835	1026,86	0,00	-67,19	959,68	K
L22o	18,47	18	11	322	2011	64	50,48883	19	46,68435	1021,31	0,00	-67,19	954,13	K
L23o	0,77	19	4	109	2011	64	36,49768	20	6,99110	1227,87	0,00	-67,25	1160,61	K

Ath. Hæð að hausti er miðuð við sumarflöt (hausthvörf), þ.e. grafið er í gegnum nýsnjóinn og hæð mæld að hjarni/ís undir nýsnjónum.



Lega yfiborðshæðarsniða sem mæld voru með nákvæmum (~10 cm) GPS tækjum. Snið mæld að vori á vinstri mynd en að hausti á þeirri hægri.

Viðauki D: Mældur láréttur yfirborðshraði á Langjökli 2011

Stika	dags.	dagur árs	dags.	dagur árs	daga fjöldi	færsla (m)	(°)	láréttur (cm/dag)	hraði (m/ári)
L02o	110418	108	111118	322	214	6,69	204	3,13	11,42
L03o	110418	108	111118	322	214	25,82	203	12,07	44,04
L04o	110418	108	111118	322	214	33,42	208	15,62	57,01
L05o	110418	108	110922	265	157	13,21	182	8,42	30,72
L06n	100418	108	101004	277	169	10,01	216	5,93	21,63
L06o	110418	108	110922	265	157	9,85	198	6,27	22,90
L07o	110417	107	110922	265	158	5,77	150	3,65	13,32
L08o	110417	107	110922	265	158	0,36	47	0,23	0,82
L09o	110417	107	110922	265	158	2,54	8	1,61	5,87
L10o	110418	108	111118	322	214	1,56	174	0,73	2,67
L11o	110418	108	110922	265	157	1,99	26	1,27	4,63
L12o	110416	106	111118	322	216	4,10	96	1,90	6,93
L13o	110416	106	111118	322	216	19,24	134	8,91	32,51
L14o	110416	106	110922	265	159	1,10	92	0,69	2,52
L15o	110416	106	110922	265	159	3,18	70	2,00	7,31
L16o	110417	107	110922	265	158	2,69	137	1,70	6,22
L17o	110416	106	111118	322	216	1,19	279	0,55	2,01
L18o	110417	107	111118	322	215	1,30	296	0,61	2,21
L19o	110417	107	111118	322	215	7,32	302	3,40	12,42
L20o	110417	107	111118	322	215	4,06	298	1,89	6,90
L21o	110417	107	111118	322	215	14,74	81	6,86	25,02
L22o	110417	107	111118	322	215	3,33	108	1,55	5,65

Viðauki E: Afrennsli vegna jökulleysingar sumarið 2011:

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

Allur Langjökull

Hæðarbil m y. s.		ΔS km^2	ΔQ_s ($10^6 m^3$)	$\sum Q_s$ ($10^6 m^3$)
1400	1450	5,0	5,2	5,2
1350	1400	24,0	36,8	42,0
1300	1350	51,6	89,8	131,8
1250	1300	72,5	135,9	267,7
1200	1250	94,3	192,3	459,9
1150	1200	101,9	225,3	685,2
1100	1150	99,8	239,4	924,7
1050	1100	87,3	239,1	1163,7
1000	1050	79,7	255,5	1419,3
950	1000	56,8	210,1	1629,4
900	950	49,0	199,2	1828,6
850	900	42,1	177,8	2006,5
800	850	30,9	137,0	2143,4
750	800	25,6	120,8	2264,2
700	750	20,2	101,5	2365,7
650	700	12,5	67,9	2433,6
600	650	8,4	48,7	2482,4
550	600	6,9	42,2	2524,5
500	550	4,8	30,6	2555,1
450	500	2,2	14,8	2569,9
400	450	0,5	3,8	2573,7

Vatnasvið Þingvallavatns (I)

Hæðarbil m y. s.		ΔS km^2	ΔQ_s $(10^6 m^3)$	$\sum Q_s$ $(10^6 m^3)$
1350	1400	1,0	1,9	1,9
1300	1350	4,8	9,3	11,2
1250	1300	6,8	13,7	24,9
1200	1250	6,5	13,7	38,6
1150	1200	7,7	17,4	55,9
1100	1150	8,6	20,6	76,6
1050	1100	7,9	20,9	97,5
1000	1050	7,3	22,2	119,7
950	1000	6,2	21,1	140,8
900	950	6,9	25,1	165,9
850	900	6,6	25,7	191,7
800	850	5,4	23,2	214,8
750	800	5,0	23,3	238,1
700	750	4,1	20,8	258,9
650	700	2,4	13,5	272,4
600	650	1,9	11,2	283,6
550	600	1,3	8,1	291,6
500	550	0,3	2,2	293,8

Vatnasvið Þingvallavatns (II)

Hæðarbil m y. s.		ΔS km^2	ΔQ_s ($10^6 m^3$)	$\sum Q_s$ ($10^6 m^3$)
1400	1450	0,0	0,0	0,0
1350	1400	3,0	5,6	5,7
1300	1350	11,0	21,4	27,0
1250	1300	13,6	27,5	54,5
1200	1250	17,3	36,6	91,1
1150	1200	13,6	30,4	121,5
1100	1150	11,8	28,4	149,9
1050	1100	9,7	25,9	175,8
1000	1050	8,7	26,3	202,1
950	1000	7,0	23,8	225,9
900	950	7,5	27,3	253,2
850	900	7,2	28,1	281,3
800	850	5,9	25,3	306,5
750	800	5,5	25,7	332,2
700	750	4,7	23,8	356,0
650	700	3,0	16,8	372,7
600	650	2,5	15,1	387,8
550	600	1,9	12,1	399,9
500	550	0,9	5,9	405,8
450	500	0,0	0,4	406,2

Hvítá í Borgarfirði

Hæðarbil m y. s.		ΔS km^2	ΔQ_s $(10^6 m^3)$	$\sum Q_s$ $(10^6 m^3)$
1400	1450	1,9	2,1	2,1
1350	1400	12,5	18,9	21,0
1300	1350	26,1	44,8	65,7
1250	1300	35,4	65,2	130,9
1200	1250	35,7	70,9	201,8
1150	1200	35,6	78,5	280,4
1100	1150	33,5	81,3	361,7
1050	1100	33,1	93,2	454,9
1000	1050	24,5	83,3	538,2
950	1000	17,6	71,2	609,4
900	950	13,6	64,1	673,6
850	900	9,1	45,5	719,1
800	850	6,8	35,2	754,3
750	800	4,6	24,2	778,5
700	750	3,2	18,0	796,4
650	700	1,8	10,3	806,8
600	650	0,0	0,5	807,3

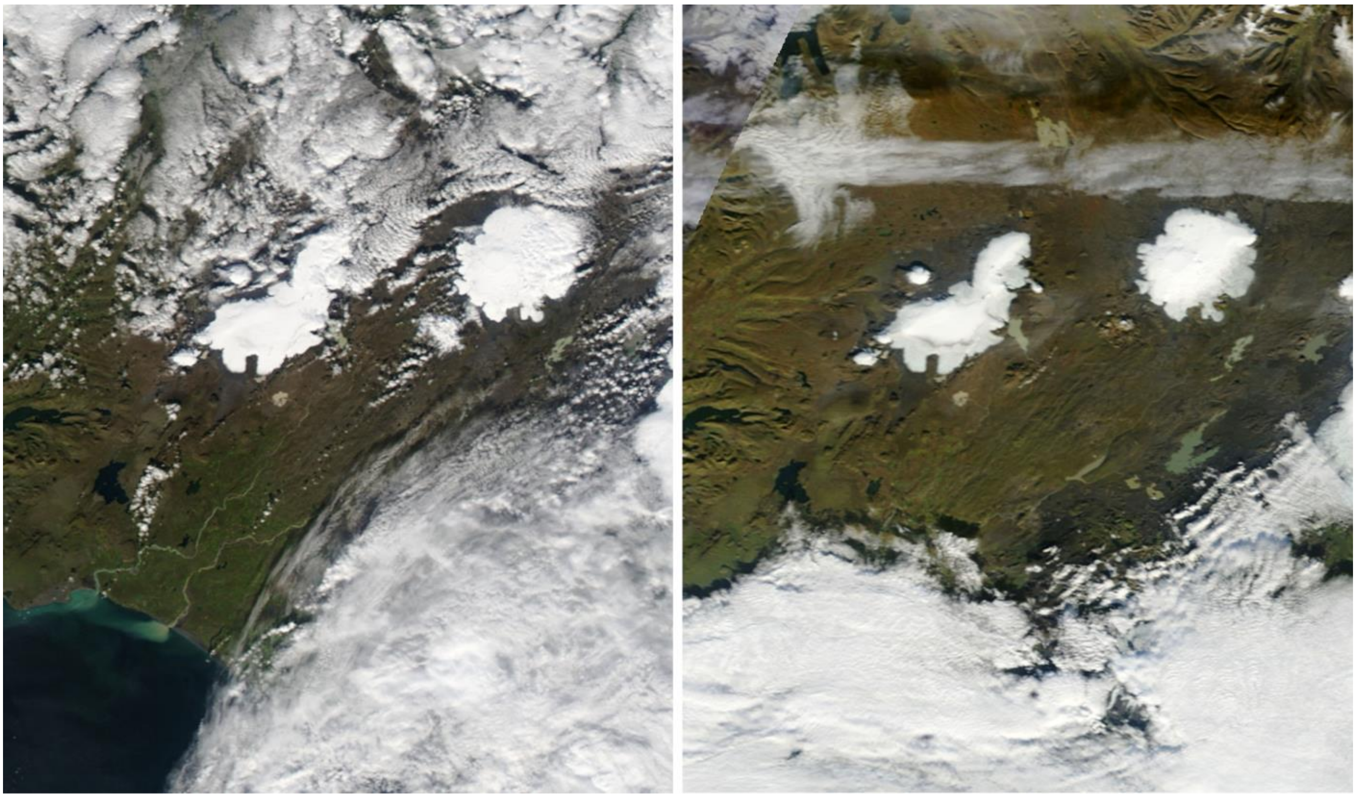
Hvítárvatn, Hvítá í Árnessýslu

Hæðarbil m y. s.		ΔS km^2	ΔQ_s $(10^6 m^3)$	ΣQ_s $(10^6 m^3)$
1400	1450	3,0	3,0	3,0
1350	1400	7,2	10,0	13,0
1300	1350	12,0	19,0	32,0
1250	1300	15,3	26,9	58,9
1200	1250	24,6	49,5	108,4
1150	1200	39,1	85,6	193,9
1100	1150	37,5	88,3	282,3
1050	1100	29,1	77,5	359,8
1000	1050	32,2	101,2	461,0
950	1000	22,5	81,6	542,6
900	950	19,4	76,8	619,3
850	900	17,5	71,8	691,1
800	850	10,6	45,4	736,5
750	800	7,9	36,0	772,5
700	750	5,9	28,3	800,8
650	700	2,2	11,5	812,3
600	650	1,1	6,3	818,6
550	600	1,0	5,5	824,1
500	550	0,6	3,5	827,6
450	500	0,2	1,0	828,6

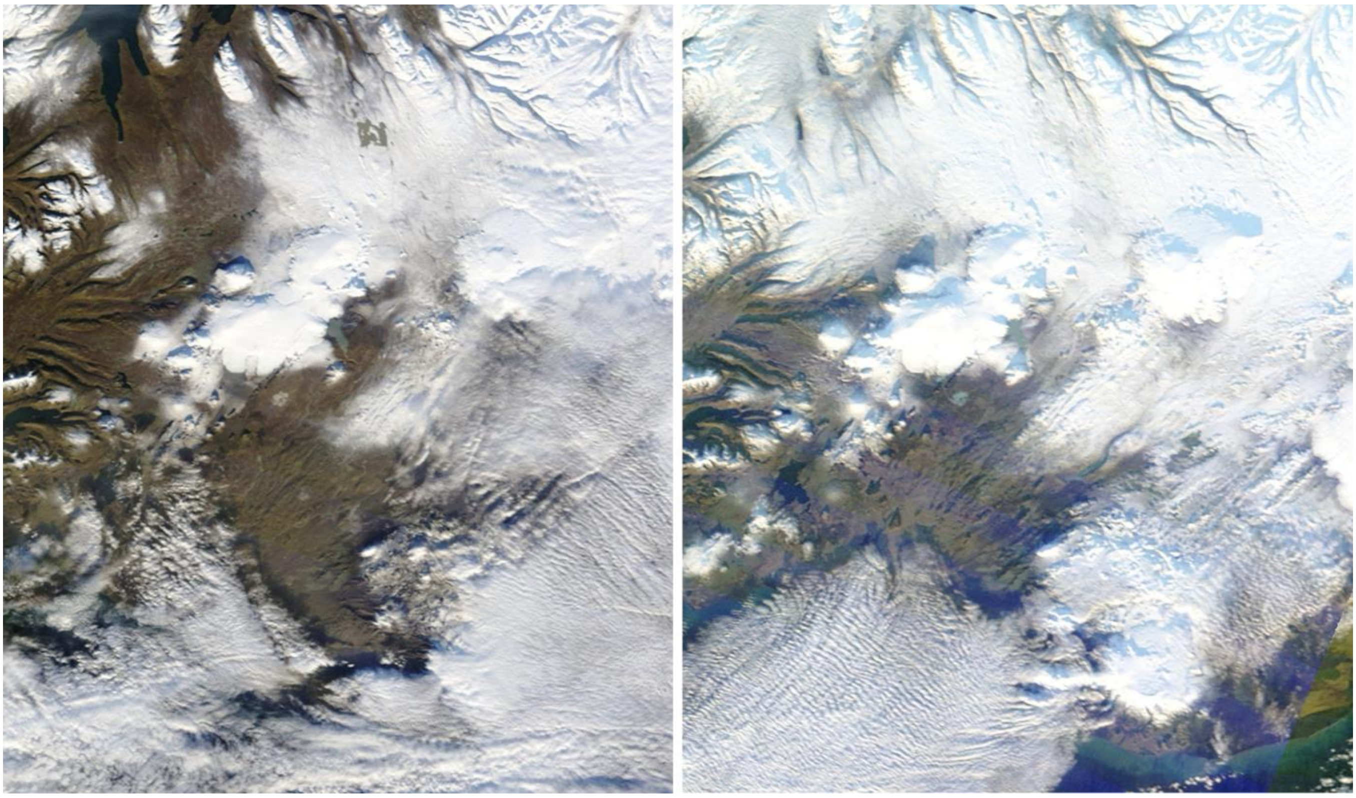
Hagavatn (og Sandvatn)

Hæðarbil m y. s.		ΔS km^2	ΔQ_s $(10^6 m^3)$	$\sum Q_s$ $(10^6 m^3)$
1400	1450	0,0	0,1	0,1
1350	1400	3,3	6,0	6,1
1300	1350	8,7	16,7	22,8
1250	1300	14,4	29,0	51,8
1200	1250	25,1	53,0	104,8
1150	1200	16,5	36,9	141,6
1100	1150	17,1	41,0	182,6
1050	1100	14,1	38,0	220,6
1000	1050	14,0	43,4	264,1
950	1000	9,9	34,0	298,0
900	950	8,8	32,2	330,2
850	900	8,8	33,9	364,1
800	850	7,8	32,3	396,3
750	800	8,0	36,4	432,8
700	750	6,7	33,3	466,0
650	700	5,8	31,2	497,2
600	650	5,1	29,6	526,9
550	600	4,4	27,3	554,1
500	550	3,6	23,6	577,7
450	500	1,9	12,5	590,2
400	450	0,4	3,1	593,2

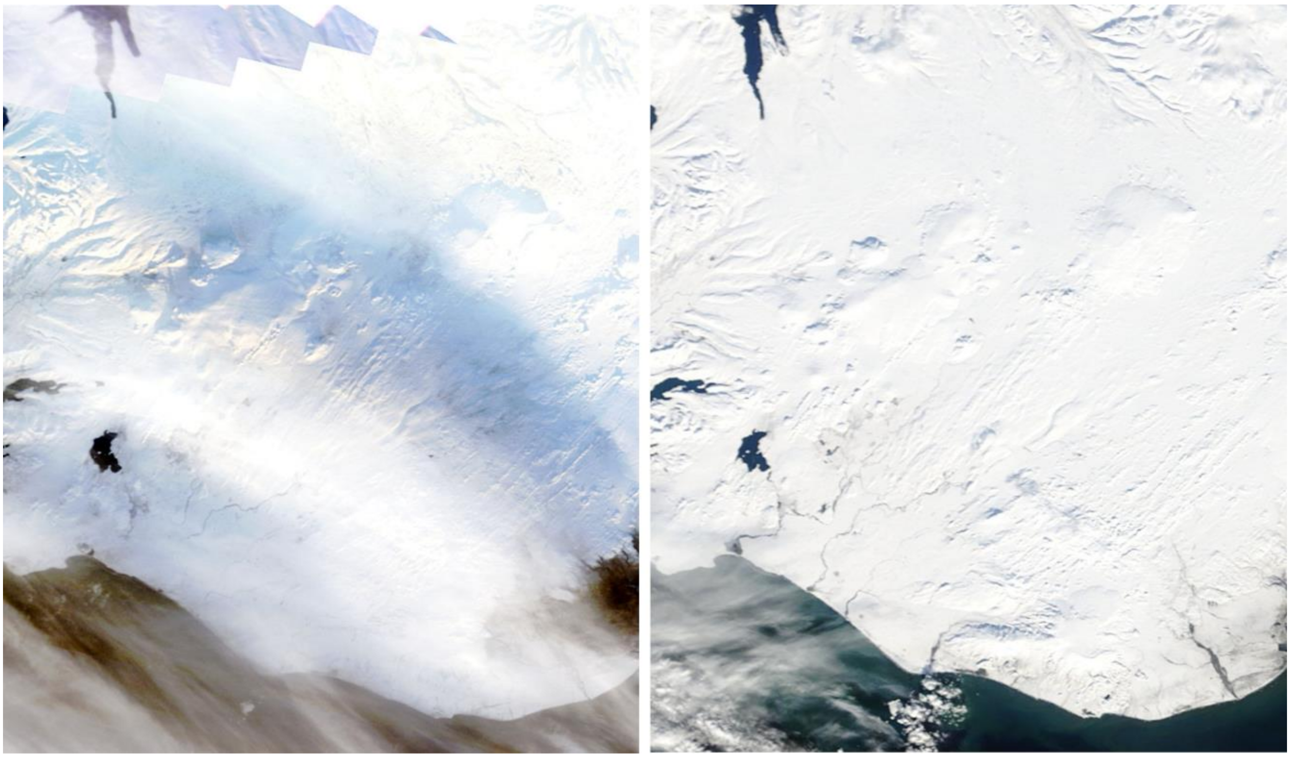
Viðauki F: MODIS gervihnattamyndir af Langjökli og nágrenni 2010-2011.



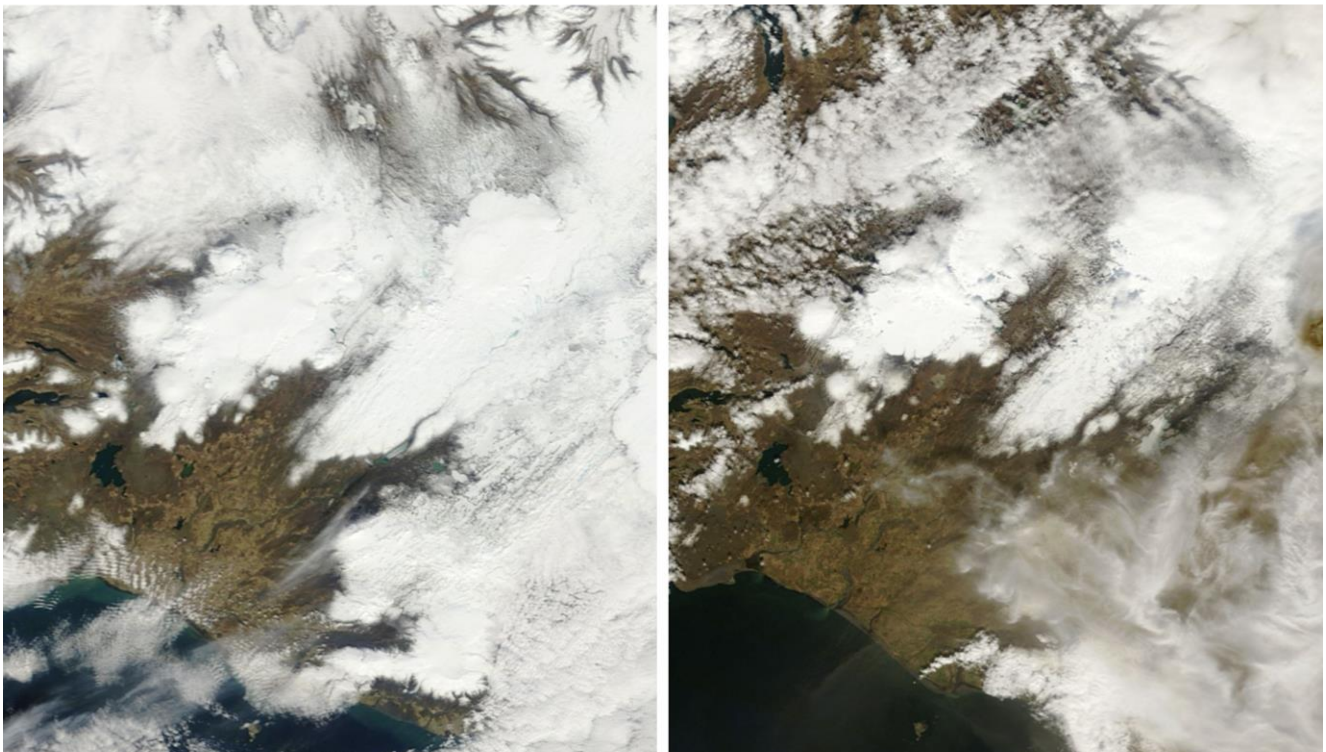
Vinstri: 22. september 2010; Snjóföl á Langjökli í sumarlok. Hægri: 2. október 2010; nýsnjó neðan um 1150 m hefur tekið upp.



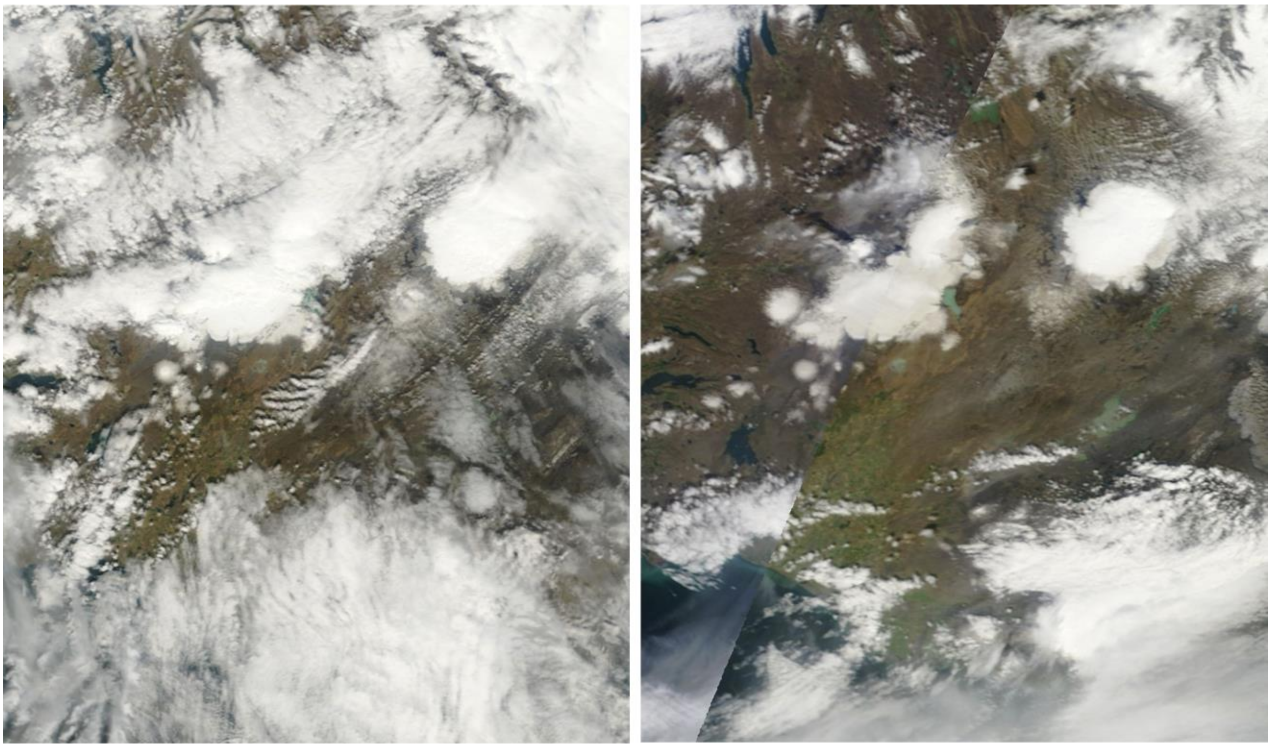
Vinstri: 31.október 2010; Snjór um allan Langjökul en nær ekkert á hálendinu. Hægri: 21. nóvember 2010; Nær óbreytt, aðeins bætt í snjó á norðurhálendinu.



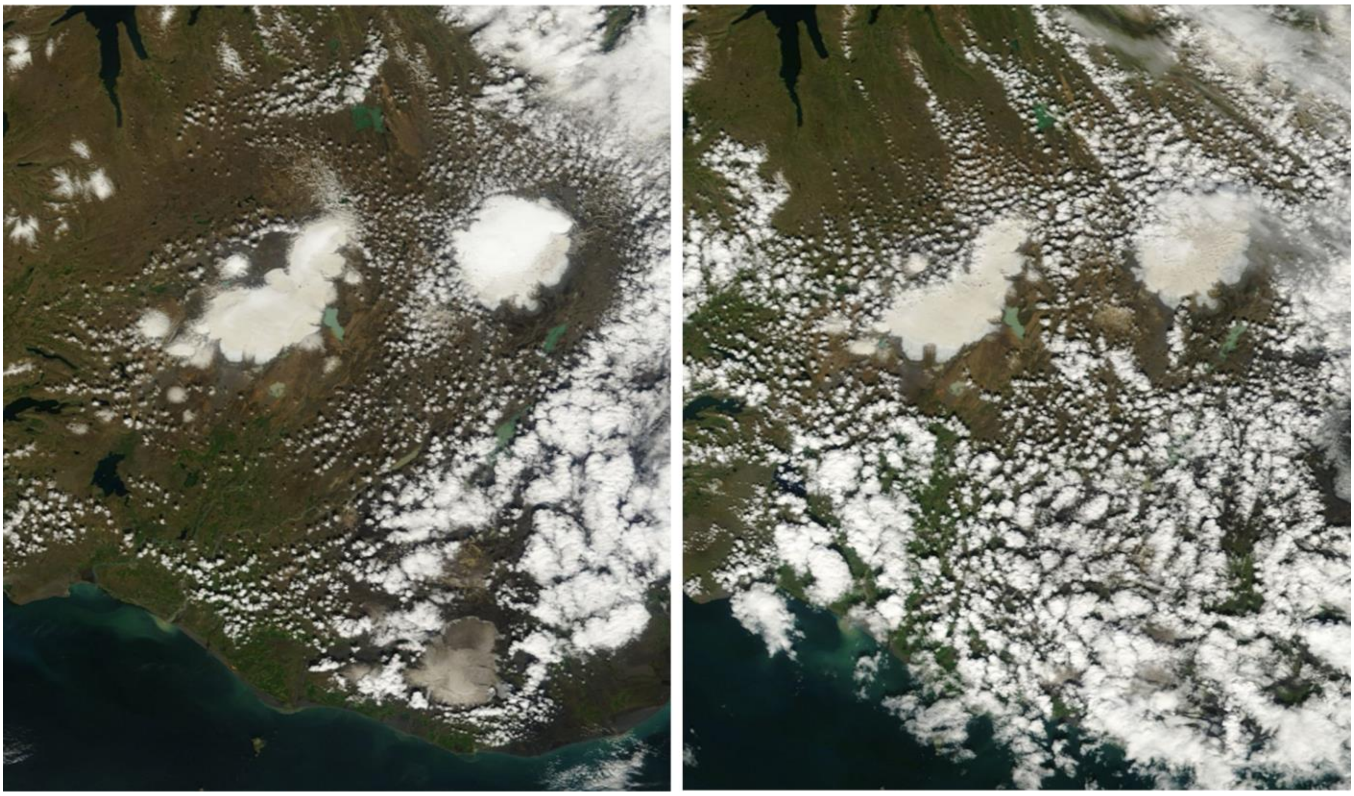
Vinstri: 18. janúar 2011; Enn grámar í land gegnun snjó á hálendinu. Hægri: 9. mars; snjóþekja hefur þykknað.



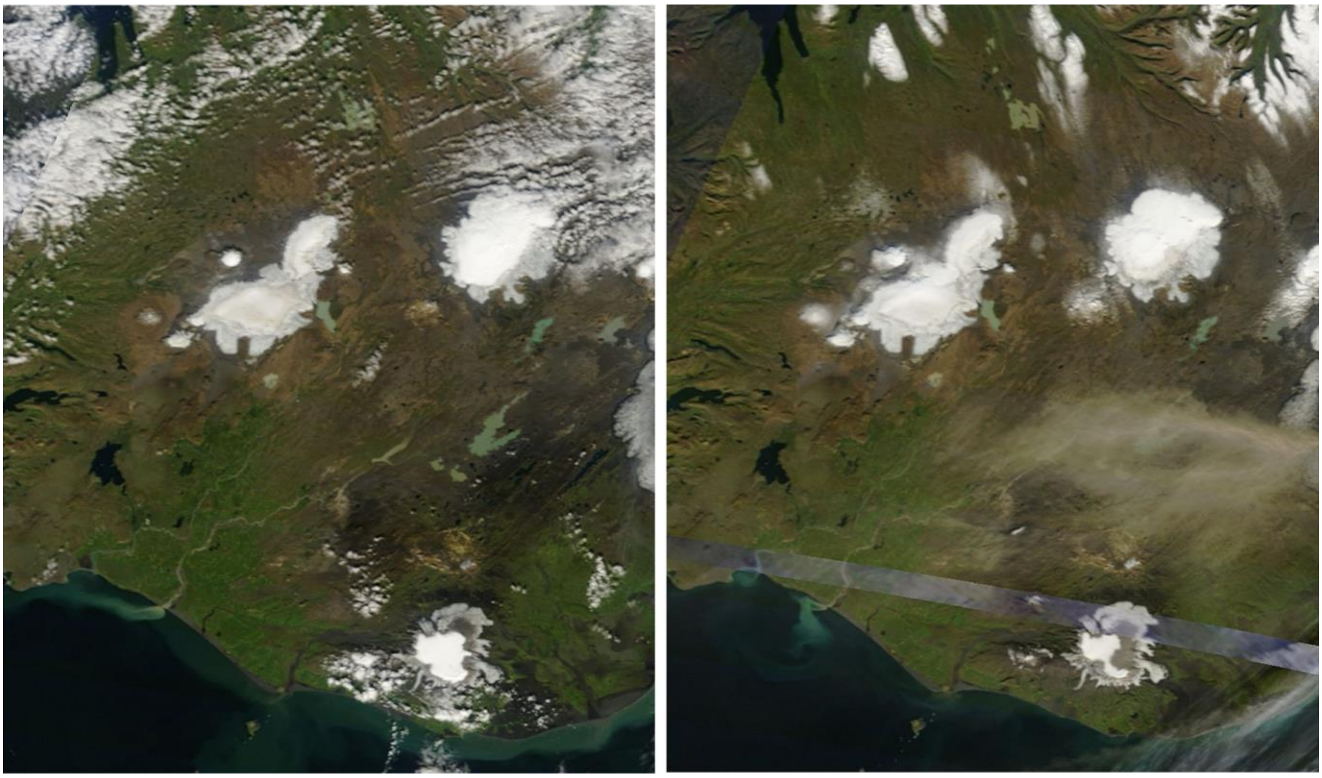
Vinstri: 3.maí. Snjó á hálendi hefur að mestu tekið upp. Hægri: 22. maí; Lítil breyting, kuldatíð.



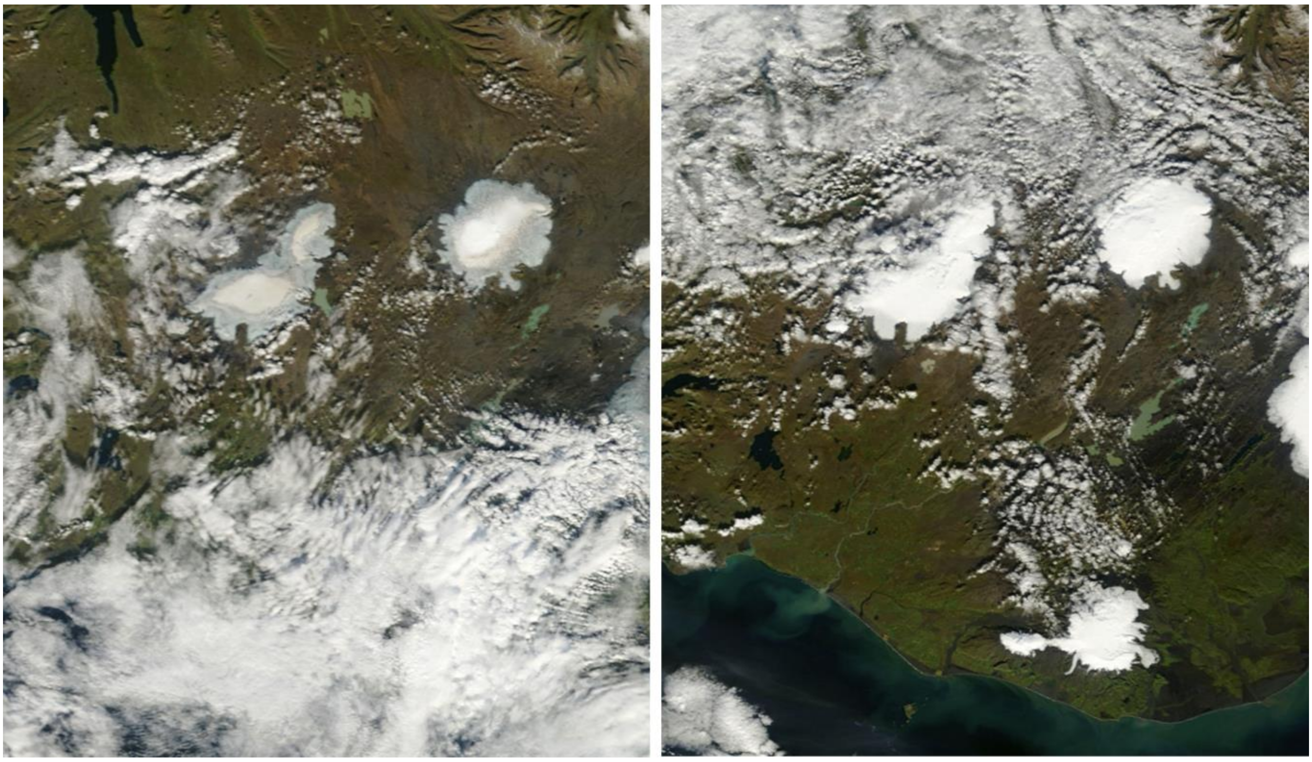
Vinstri: 9. júní. Leysing hafin á jökulsporðum, lítil sem engin aska hefur enn borist á yfirborðið. Hægri: 15. júní. Nú er jökullinn orðinn öskugrár, nema rétt efst þar sem líklega hefur lítillega snjóað.



Vinstri: 30. júní. Greinilega hefur leyst niður á ís (grátt) neðst á Hagfellsjöklum, en snjóað hefur ofan ~1350 m. Hægri: 20. júlí. Á Hagfellsjökli er snjólína komin í um 900 m hæð, en allur snjórinn öskugrár.



Vinstri: 25. ágúst; Snjólína á Hagafellsjökli í um 1100 m, greinilega hefur snjóað efst á jökulinn. Hægri: 10. september er staðan mjög svipuð, en heldur meiri nýsnjór á hájöklinum.



Vinstri: 17. september; Snjólína á Hagafellsjökli hefur enn hækkað og nýsnjór horfinn. Hægri: 22. September, vetur er genginn í garð.

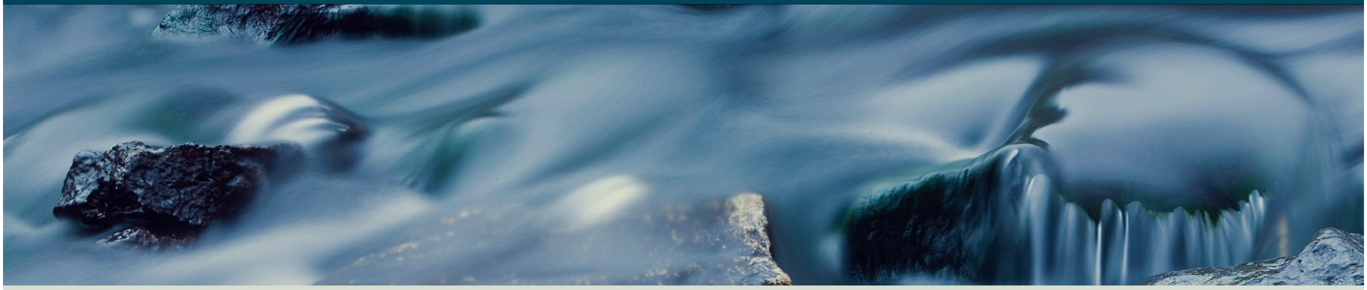
Þessar myndir eru ýmist úr MODIS Aqua eða MODIS Terra gervitunglunum, á sýnilega ljóssviðinu með 250 m upplausn. (Sjá t.d. http://rapidfire.sci.gsfc.nasa.gov/)

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

Landsvirkjun

Háaleitisbraut 68
103 Reykjavik
landsvirkjun.is

landsvirkjun@lv.is
Sími: 515 90 00



UMHVERFISMERKI
141 381
Prentað efni