

Áhrif loftlagsbreytinga á stærð og afrennsli Langjökuls, Hofsjökuls og suður Vatnajökuls

Sverrir Guðmundsson¹, Helgi Björnsson¹, Guðfinna Aðalgeirsdóttir², Tómas Jóhannesson³, Finnur Pálsson¹ og Oddur Sigurðsson⁴

¹ Jarðvísindastofnun HÍ, Sturlugötu 7, 101 Reykjavík

² Department of Geography, University of Wales Swansea, Singleton Park, Swansea SA2 8PP, Wales

³ Veðurstofa Íslands, Bústaðavegi 9, 150 Reykjavík

⁴ Orkustofnun, Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

1. Kynning

Reiknilíkan sem tengir saman ísflæði, afkomu og veðurfar er notað til að herma áhrif hugsanlegra loftslagsbreytinga á Langjökul, Hofsjökul og suður Vatnajökul (Björnsson og fleiri, 2006a). Mælingar á botni og yfirborði jöklanna ásamt áralöngum mælingum á afkomu og veðurfari, eru meginundirstaða slíkra reikninga. Botn- og yfirborðslíkön hafa verið unnin út frá íssjár- og GPS-mælingum frá 1980 til 2000 (Björnsson, 1986, 1988; Björnsson og fleiri, 2006b), afkoma mæld síðustu 10-15 ár (Björnsson og fleiri, 1998, 2002, 2006b; Sigurðsson 1989-2004) og veðurstöðvar reknar í um áratug á Vatnajökli og Langjökli í þeim tilgangi að mæla orkustrauma sem berast að yfirborði jöklanna og valda leysingu (Björnsson og Guðmundsson 1996; Guðmundsson og fleiri, 2003a, 2003b, 2006; Björnsson og fleiri, 2006c). Afkomulíkan sem tengir leysingu og ákomu við hita og úrkomu mælda utan jökuls var kvarðað með afkomumælingum (Jóhannesson og fleiri 1995; Jóhannesson, 1997) og nákvæmni prófuð með samanburði við mælda orkustrauma á jökli (Guðmundsson og fleiri, 2003a, 2003b). Stuðlar í ísflæðilíkani voru stilltir af með GPS mælingum á yfirborðshraða (Aðalgeirsdóttir, 2003; Aðalgeirsdóttir og fleiri, í prentun). Könnuð voru viðbrögð jöklanna við loftslagsbreytingum á hálandi Íslands, byggðum á framtíðarspám með veðurfarslíkönum norræna samstarfsverkefnisins CE (e. Climate and Energy) (Rummukainen, 2006). Gangi spár um loftslagsbreytingar eftir, mun Langjökull hverfa á innan við 150 árum og að aðeins lifa af ís á hæstu tindum Hofsjökuls og Vatnajökuls eftir 200 ár. Afrennsli mun aukast um allt að helming á næstu 40-60 árum, en minnka aftur eftir það vegna verulegrar rýrnunar ísmassa.

2. Lýsing á jöklunum

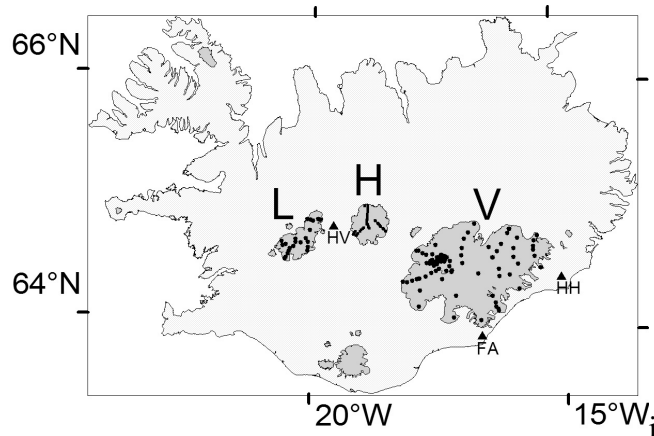
Hæð, þykkt, stærð og umfang Langjökuls, Hofsjökuls og Vatnajökuls eru sýnd 1. töflu og 1. mynd.

3. Mælingar

Sólarhringsgildi hita og úrkomu á Hveravöllum voru notuð sem inntak í afkomulíkönn af Langjökli og Hofsjökli, og hiti á Hólum í Hornafirði og úrkoma á Fagurhólsmýri sem inntak í afkomulíkan af suður Vatnajökli (1. mynd). Afkomulíkönnin vor kvörðuð með mælingum á i) 22 afkomustikum á Langjökli frá 1996-2005, ii) 35 afkomustikum Hofsjökli frá 1988 til 2005 og iii) 23 afkomustikum á suður Vatnajökli frá 1993-2005 (1. mynd), og prófuð með beinum mælingum á orkustraumum til leysingar á Vatnajökli og Langjökli (Guðmundsson og fleiri, 2003a, 2003b; Björnsson og fleiri, 2006b). Hæðarlíkönn af botni og yfirborði voru unnin út frá GPS- og íssjarmælingum frá árunum 1980-2000.

1. tafla. Einkenni Langjökuls, Hofsjökuls og Vatnajökuls.

Jökull	Flatarmál (km ²)	Rúmmál (km ³)	Mesta ísþykkt (m)	Hæðarbil (m y.s.)
Langjökull	925	195	580	400-1450
Hofsjökull	880	200	760	600-1800
Vatnajökull	8200	3100	950	0-2100
Suður Vatnajökull	3700	1280	900	0-2100



1. mynd. Langjökull (L), Hofsjökull (H) og Vatnajökull (V), staðsetning afkomustika (punktar) og veðurstöðva utan jökuls (þríhyrningar; HV: Hveravellir, FA: Fagurhólmsmýri, HH: Hólar í Hornafirði).

4. Afkomulíkan

Afkomulíkan er skipt upp í leysingar- og ákomuhluta. Leysingu er lýst með gráðudagalíkani sem notar i) hita utan jökuls, vörpuðum upp á jökul með föstum hitastigli, og ii) tvo gráðudagastuðla, einn fyrir snjó og annan fyrir ís. Ákoman er reiknuð út frá úrkomu utan jökuls, varpaðri yfir jöklana með bæði láréttum og lóðréttum úrkomustiglum. Stuðlar líkansins eru kvarðaðir með afkomumælingum og með því að gera ráð fyrir 1°C snjó/regn þröskuldi. Afkomulíkan skýrir 80% af breytileika í vetrarákomu á Hofsjökli og 92% á suður Vatnajökli, og 95% af breytileika í sumarleysingu á báðum jöklunum. 86% af breytileika í sumarleysingu er lýst með afkomulíkani af Langjökli en aðeins 39% af breytileika í vetrarákomu. Þó nær líkanið að lýsa 92% af breytileika í heildarafkomu Langjökuls.

Afkomulíkon benda til að heildarafkoma jöklanna hafi verið í jafnvægi yfir árin 1981 til 2000; jákvæð fram yfir 1990 en talsvert neikvæð eftir það. Því var meðalloftslag árána 1981-2000 notað sem viðmiðunarástand fyrir framtíðarspár um viðbrögð jöklanna við spáðum loftslagsbreytingum og árið 1990 sem upphafsár (2. mynd).

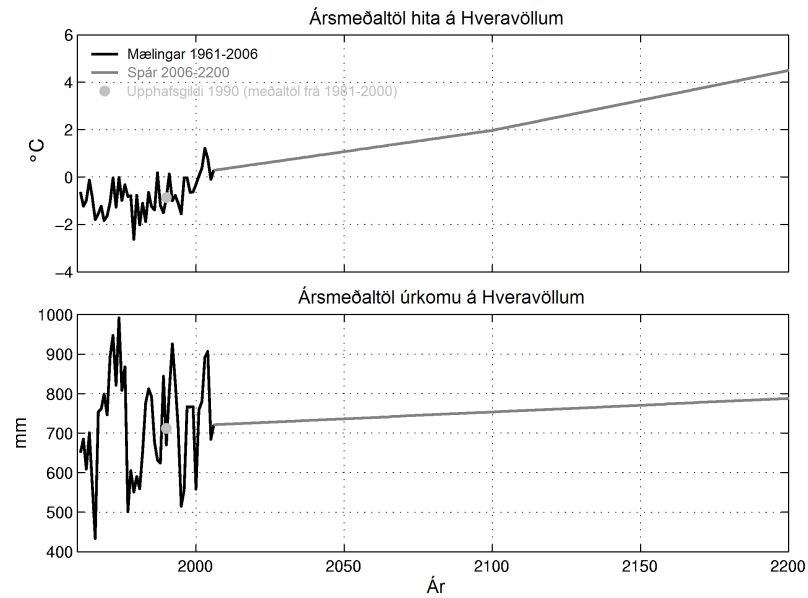
5. Ísflæðilíkan

Við ísflæðireikninga er notað flæðilíkan sem lýsir grunnum ís með botnskriði og ólínulegu sambandi seigju og spennu (skv. lögmálum Weertmans og Glens lögmál). Líkónin lýsa ekki framhlaupum, árstíðarsveiflum í botnskriði né viðbrögðum jarðskorpu við breytingum ísfargis.

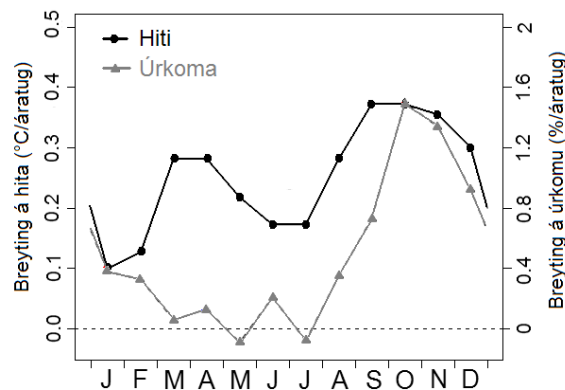
Til að unnt sé að nota reiknilíkan sem tengir saman ísflæði og ákomu við spár um viðbrögð jöklanna við loftslagsbreytingum þarf lögum þeirra að vera stöðug þegar viðmiðunarloftslag (meðaltal frá 1981-2000) helst óbreytt. Stöðugir jöklar fyrir upphafsárið 1990 voru fengust eftir að reiknilíkanið hafði verið keyrt í nokkur hundruð ár með óbreyttu viðmiðunarloftslagi.

6. Viðbrögð við spáðum loftslagsbreytingum

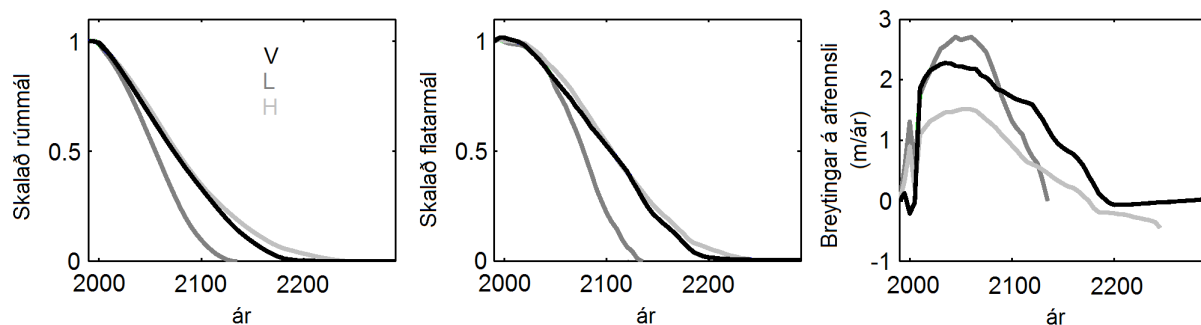
Loftslagsbreytingar yfir hálendi Íslands voru reiknaðar með veðurfarslíkönun norræna samstarfsverkefnisins CE (2. og 3. mynd; *Rummukainen, 2006*). Spár um viðbrögð jöklanna við loftslagsbreytingum byrja árið 1990, með stöðuga jökla og meðalloftslag árána 1981-2000. Mælingar á hita og úrkomu voru notaðar fram til ársins 2005 og spáðar loftslagsbreytingar frá og með árinu 2006 (2. mynd). Spárnar sýna Langjökul, sem er lægstur og þynnstur af jöklunum þrem (1. tafla), hverfa á innan við 150 árum og að aðeins á hæstu tindum undir Hofsjökli og Vatnajökli (yfir 1600 m y.s.) lifa af jöklar næstu 200 árin (4. mynd a og b). Afrennsli jöklanna eykst með hækkandi hitastigi og nær hámarki eftir 40-60 ár (allt að um helmingi meira en núverandi afrennsli), en minnkar eftir það vegna rýrnunar á jökulmassa (4. mynd c). Mesta breytingin á afrennsli verður á Langjökli en minnst á Hofsjökli, sem er í samræmi við hæð og hæðarbil jöklanna (1. tafla).



2. mynd. Ársgildi hita og úrkomu á Hveravöllum frá 1961 til 2200.



3. mynd. Mánaðarmeðaltöl hita- og úrkomubreytinga fyrir hvern áratug yfir hálendi Íslands. Spá samkvæmt CE loftlagslíkönunum á milli tímabilanna 1961-1990 og 2071-2100.



4. mynd. Breytingar á rúmmáli (a), flatarmáli (b), og afrennsli (c) Langjökuls (L), Hofsjökuls (H) og suður Vatnajökuls (V). Rúm- og flatarmálsbreytingar eru skalaðar með núverandi rúm- og flatarmáli jöklanna (1. tafla). Breytingar á afrennsli miðast við upphafsárið 1990.

Þakkarorð

Mælingar á botni og yfirborði jöklanna voru studdar af Landsvirkjun og mælingar á afkomu af Landsvirkjun, Orkuveitu Reykjavíkur, Orkustofnun og Evrópusambandsverkefnum TEMPA, ICEMASS og SPICE. Líkön voru þróuð í norrænu samstarfsverkefnum CWE (að frumkvæði frá sjónendum Norrænu Vatnafræðistonanna CHIN og fjármagnað af Norræna Orkusjóðnum og Norrænu Ráðherranefndinni), CE (fjármagnað af Norræna Orkusjóðnum) og Veðurfar, vatn og orka (fjármagnað af Landsvirkjun og Orkusjóði Íslands).

Heimildaskrá

- Aðalgeirsdóttir, G. 2003. *Flow dynamics of Vatnajökull ice cap, Iceland. Mitteilung 181, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zurich-Zentrum. 178 s.*
- Aðalgeirsdóttir, G., Jóhannesson, T., Björnsson, H., Pálsson, F., Sigurðsson, O., í prentun. *The response of Hofsjökull and southern Vatnajökull, Iceland, to climate change. í prentun fyrir J. Geoph. Res.*
- Björnsson, H., Pálsson, F., Haraldsson, H. H., 2002. *Mass balance of Vatnajökull (1991-2001) and Langjökull (1996-2001), Iceland. Jökull 51, 75-78.*
- Björnsson, H., 1986. *Surface and bedrock topography of ice caps in Iceland mapped by radio echo soundings. A. Glaciol. 8, 11-18.*
- Björnsson, H., 1988. *Hydrology of ice caps in volcanic regions, 45 Societas Scientiarum Islandica, Reykjavík, pp 139.*
- Björnsson, H. og Guðmundsson, S., 1996. *Orkuþættir við yfirborð Vatnajökuls sumarið 1996. RH-30-97, 73 s. Skýrsla.*
- Björnsson, H., Pálsson, F., Guðmundsson, M. T., Haraldsson, H. H., 1998. *Mass balance of western and northern Vatnajökull, Iceland, 1991-1995. Jökull, 45, 35-58.*
- Björnsson, H., Aðalgeirsdóttir, G., Guðmundsson, S., Jóhannesson, T., Sigurðsson, O., and Pálsson, F., 2006a. *Climate change response of Vatnajökull, Hofsjökull and Langjökull ice caps, Iceland. European Conference on Impacts of Climate Change on Renewable Energy Sources (EURONEW), Reykjavik, Iceland, June 5 - 9, 2006. Abstract volume, Nordic Project on Climate and Energy, 49-52. (PDF á http://www.raunvis.hi.is/~sg/bjornsson_et_al.pdf, 28. júní 2006)*
- Björnsson, H., Guðmundsson, S., Jóhannesson, T., Pálsson, F., Aðalgeirsdóttir, G., and Haraldsson, H. H., 2006b. *Geometry, mass balance and climate change response of Langjökull ice cap, Iceland, The International Arctic Science Committee (IASC), Working Group on Artic Glaciology, Obergurgl, Austria, Jan. 30 – Feb. 3 (PDF á <http://www.raunvis.hi.is/~sg/langj1.pdf>, 28. júní 2006).*
- Björnsson, H., Guðmundsson, S., Pálsson, F., and Haraldsson, H.H, 2006c. *Glacier winds on Vatnajökull ice cap, Iceland and their relation to temperatures of its environs. A. Glaciol, 42.*
- Guðmundsson, S., Björnsson, H., Pálsson, F., Haraldsson, H. H., 2003a. *Comparison of physical and regression models of summer ablation on ice caps in Iceland. Raunvísindastofnun Háskólans, RH-15-2003. Skýrsla (PDF á <http://www.raunvis.hi.is/~sg/emodels.pdf>, 28. júní 2006).*
- Guðmundsson, S., Björnsson, H., Pálsson, F., Haraldsson, H. H., 2003b. *Physical energy balance and degree-day models of summer ablation on Langjökull ice cap, SW-Iceland. Raunvísindastofnun Háskólans. RH-20-2003. Skýrsla (PDF á <http://www.raunvis.hi.is/~sg/lmodels.pdf>, 28. júní 2006).*
- Guðmundsson, S., Björnsson, H., Pálsson, F., and Haraldsson, H. H., 2006. *Energy balance of Brúarjökull and circumstances leading to the August 2004 floods in the river Jökla, N-Vatnajökull. Jökull, 55, 121-138. (PDF á http://www.raunvis.hi.is/~sg/jokull_bj04.pdf, 28. júní 2006)*
- Jóhannesson, T., Sigurðsson, O., Laumann, T., Kennett, M., 1995. *Degree-day glacier mass-balance modelling with application to glacier in Iceland, Norway and Greenland. J. Glaciol. 41(138), 345-358.*
- Jóhannesson, T., 1997. *The response of two Icelandic glaciers to climate warming computed with a degree-day glacier mass-balance model coupled to a dynamic model, J. Glaciol., 43(144), 321-327.*
- Rummukainen, M., 2006. *The CE regional climate scenarios. European Conference on Impacts of Climate Change on Renewable Energy Sources (EURONEW), Reykjavik, Iceland, June 5 - 9, 2006. Abstract volume, Nordic Project on Climate and Energy, 9-12.*
- Sigurðsson, O., 1989-2004. *Afkoma Hofsjökuls 1987-1988, ..., 2002-2003 (Mass balance of Hofsjökull 1987-1988, ..., 2002-2003), Orkustofnun. Innanhússkýrslur.*