

Niðurstöður íssjármælinga í kötlum Mýrdalsjökls í maí 2014 og júní 2015

**Eyjólfur Magnússon, Magnús Tumi Guðmundsson, Finnur Pálsson og
Þórdís Högnadóttir.**

Jarðvísindastofnun Háskólans

15. júlí 2015

Ágrip

Jarðvísindastofnun Háskólans hefur gert tilraunir með notkun íssjár við eftirlit með vatnssöfnun undir sigkötlum í Mýrdalsjökli frá árinu 2012. Snögg hlaup úr kötlum Mýrdalsjökuls geta valdið skemmdum á umferðarmannvirkjum á Mýrdalssandi og ógnað öryggi vegfarenda. Því er markmið þessa eftirlits að sjá fyrirfram mögulega vatnssöfnunarstaði sem gætu orsakað slík hlaup og er hugsað sem viðbót við það eftirlit sem stundað hefur verið með mælingum úr flugvél síðan 1999. Hér verður gerð grein fyrir ástandi sigkatla á Mýrdalsjökli og þeim breytingum sem orðið hafa undir þeim frá því í febrúar 2014 en þá gáfu íssjármælingar til kynna að undir engum katli væri nægjanlegt vatn til að valda umtalsverðu hlaupi. Síðan þá hafa flestir katlanna verðið mældir tvisvar með íssjá, 20.-21. maí 2014 og 13. júní 2015. Þessar mælingar sýna breytingar undir nokkrum kötlum sem túlka mætti sem minniháttar breytingar á vatnsmagni undir þeim þó oft sé túlkunin ekki einhlít. Í júní síðastliðnum er mjög ólíklegt að undir einhverjum katlanna hafi verið verulegt vatnmagn sem skapað gæti hættuleg hlaup. Markverðasta niðurstaða mælinganna sem hér er greint frá er að yfirborð ketils K-16, sem mest af hlaupvatninu hljóp undan í júlí 2011, hefur grynnað verulega síðastliðinn vetur. Íssjármælingarnar sýna hins vegar að óverulegt vatn hefur safnast þar undir. Ísflæði og skafrenningur hafa því líklega flatt ketilinn út samfara því að dregið hefur úr jarðhita undir katlinum.

Íssjármælingar á Mýrdalsjökli sem fengu styrk úr Rannsóknasjóði Vegagerðarinnar árið 2014 voru gerðar 20.-21. maí 2014 og aftur 13. júní 2015 (1. mynd). Til stóð að gera seinni mælinguna um haustið 2014 en þær mælingar töfðust vegna ótíðar og annara anna og að lokum var ákveðið með samþykki forsvarsmanns Rannsóknasjóðsins að endurtaka seinni mælinguna að vori árið síðar en þá fyrri. Við greinum sérstaklega frá niðurstöðum mælinga yfir kötlum K-16, K-17, K-11, K-10, K-14, og K-6. Ekki verður fjallað sérstaklega um mælingar yfir K-9, K-13, K-15, K-1, K-2, K-5 og K-7 en í engum þessara katla gefa íssjármælingarnar vísbendingar um verulega vatnsuppsöfnun. Í sumum þeirra eru engar breytingar og í öðrum sjást nokkrar breytingar sem hugsanlega eru til marks um minniháttar breytingar á vatnsgeymum undir kötlunum.

K-16

2.-5. mynd

Íssjármælingar yfir katlinum í maí 2012 (2. mynd) gáfu til kynna lítið sem ekkert vatn undir katlinum. Mælingar í nóvember 2012, febrúar og maí 2013 gáfu til kynna vatnsuppsöfnun fram á haustið 2012 en litlar breytingar yfir veturinn. Í febrúar 2014 (2. mynd) virðist mestur hluti þess vatns sem safnast hafði undir katlinum vera farinn en flugradarmælingar haustið áður sýndu einnig nokkra dýpkun á katlinum. Ketillinn var þó líklega ekki alveg þurr í febrúar 2014 m.v. mælinguna í maí 2012. Ketillinn hélt áfram að grynna fram til vors 2014 (3. mynd) en endurkast frá botn var óbreytt. Breytingar á yfirborði ketilsins frá maí 2014 til júní 2015 eru verulegar en ketillinn hefur grynnað um ~25 m (4. og 5. mynd). Íssjármælingar sýna hins vegar að sú grynunkun er ekki nema að mjög takmörkuðu leyti orsökun af vatnsuppsöfnun. Mjög ólíklegt er að meira en 1 Gl að vatni hafi verið í K-16 nú í byrjun sumars skv. samanburði íssjármælinga í júní síðastliðnum og í maí 2012, þegar ketillinn var að öllum líkindum nánast tómur. Í maí 2014 var, auk reglubundinna sniðmælinga, gerð íssjármæling á sniðum með 20 m millibili með yfir öllum katlinum og nágrenni hans en þetta var endurtekning á mælingu frá því maí 2013. Auk þess var gerð mæling með snjóradar á nokkrum sniðum yfir katlinum til að meta snjóuppsöfnun í katlinum veturinn 2013-2014. Úrvinnsla og túlkun þessara gagna er tímafrekari en gert var ráð fyrir og því hefur ekki náðst að vinnu almennilega úr þeim. Leitað verður leiða til að fjármagna frekari rannsóknir á jarðhitakötlum Mýrdalsjökuls þar sem þessi mæligögn yrðu m.a. fullunnin og túlkuð.

K-17

K-17 var fyrst íssjármældur í febrúar 2014 en þá var hann nokkuð krappur og ljóst að nýlega hafði hlaupið úr honum. Í fyrri mælingum var varla hægt að greina þennan ketill og því hafði hann ekki verið mældur. Síðan þá hefur stutt snið yfir ketill verið endurtekið bæði í maí 2014 og júní 2015. Ketill hefur grynnað nokkuð frá í því fyrstu mælingu. Íssjármælingarnar sýndu

litlar breytingar frá febrúar til maí 2014. Mælingin í júní síðastliðnum sýndu breytingar sem túlka mátti sem myndun mjórrar vatnsbólú undir katli þó telja megi líklegra að þar sé um botnsprungu að ræða. Ef um vatnsbólú er að ræða er vatnsmagnið óverulegt að því gefnu að ketilinn hafi verið tómur í febrúar 2014, stuttu eftir hlaup úr honum.

K-10

Fyrstu íssjármælingarnar í K-10 gengu frekar brösuglega og því tókst ekki almennileg endurtekning á þeim yfir katlinum fyrr en í febrúar 2014. Samanburður þeirra mælinga og mælinga frá í nóvember 2012 sýndi tilfærslur á frekar veikum endurköstum upp um allt að 30 m sem taldar voru möguleg merki um vatnsuppsöfnun (sjá Eyjólf Magnússon og aðrir, 2014). Litlar breytingar urðu í staðsetningu þessara endurkasta frá febrúar til maí 2014. Frá 21. maí til 14. júlí mældist um 7 m yfirborðslækkun á botni ketilsins en gera má ráð fyrir að þar hafi u.þ.b. 5 m verið vegna vatnsrennslis undan katlinum. Íssjármæling í júní sýndi þau endurköst sem áður höfðu verið túlkuð sem möguleg endurköst frá vatnsgeymi við botn, voru enn á svipuðum slóðum og fyrir ári en þó frekar skýrari. Verður að teljast ólíklegt að þessi endurköst komi frá toppi vatnsgeymis við botn og líklega séu þetta frekar endurköst frá botnsprungum eða litlum vatnsgeymum inni ísnum. Líta má á mælingarnar í K-10 sem dæmi um að íssjárniðmæling er stundum ekki einhlít í túlkun við að greina vöxt og þróun smárra vatnsgeyma undir jarðhitakötlunum.

K-11

6.-9. mynd

Líkt og í K-16 virtist K-11 geyma lítið vatn í fyrstu íssjármælingunni, vorið 2012, en mælingar um haustið bentu til minniháttar vatnsuppsöfnunar sem þó var bundin við þröngt svæði sem jafnvel mátti skýra með opnun botnsprungu. Mælingar sem gerðar voru eftir það fram til vors 2014 (6.-9. mynd) sýndu breytingar í íssjármyndum. Lögun endurkasts undir katlinum í íssjármynd varð breiðara og lægra en haustið 2012, en þó lá endurkastsflöturinn alltaf nokkuð hærra en vorið 2012 og gögn því túlkuð á þann veg að minniháttar vatnsgeymir væri undir katlinum. Vatnsmagnið í undir katlinum virðist hafa náð hámarki í febrúar 2014 og verið stöðugt fram á vor það ár. Snemmsumars hljóp úr þessum katli en GPS-mælingar í katlinum 14. júlí, 2014, sýndu að ketilinn hafði dýpkað ~10 m frá því um vorið (9. mynd). Þetta styrkir enn frekar þá túlkun á íssjármælingunum að vatnsgeymir hafi verið til staðar undir katlinum um vorið og líklega allt frá því í nóvember 2012. Íssjármælingin sem gerð var 13. júní síðastliðinn (8. mynd) sýndi nýja krappa bólu undir katlinum með topp um 40 m yfir lægsta melda endurkastfleti undir K-11 (frá maí 2012). Líklega hefur því nýr vatnsgeymir myndast undir katlinum sem þó er einungis um 50-100 m á breiður (efir ás mælilínu) en breidd bólu á 8. mynd gefur ýkta mynd af breidd líklegs vatnsgeymis þar sem ísjáin mælir á hverjum tíma endurkast af 200-400 m breiðum fleti við botn (breidd bólu á mynd gefur í raun þá vegalengd sem þessi endurkastflötur, túklaður hér sem toppur vatnsgeymis, er innan sjónsviðs íssjár). Því er ljóst að

Þrátt fyrir umtalsverða hæð vatnsrýmis getur vatnsmagn undir katlinum tæplega verið meira en 1 Gl.

K-14

10.-12. mynd

Óverulegar breytingar höfðu greinst í íssjármyndum mældum yfir K-14 frá maí 2012 til febrúar 2014 (10. mynd). Lögun og dýpi ketilsins hafði á sama tíma breyst lítið. Í maí 2014 greindist umtalsverð breyting í íssjármyndum yfir katlinum sem túlka mætti sem myndun vatnsbólur undir katlinum (11. mynd). Þegar mælt var yfir katlinum í júní síðastliðnum var þessi bóla hins vegar horfin (12. mynd). Breyting í dýpi og lögun ketilsins á sama tíma hefur verið óverulegar og í 14. júlí 2014 þegar GPS-mælt var í katlinum hafði orðið óveruleg breyting á dýpi ketilsins frá vori. Því verður að teljast líklegt að endurkastið sem greindist undir katlinum í maí 2014 hafi verið frá einhverju öðru en vatnsgeymi við botn þó ekki sé hægt að útiloka að hlaupið hafi úr katlinum síðsumars og yfirborð hans jafnað sig aftur síðasta vetur.

K-6

13. mynd

Íssjarmælingarnar benda til hægfara aukningar vatnsmagns undir K-6 frá maí 2012 til febrúar 2013 og síðan líttilla breytinga fram á vor 2013 (13. mynd). Íssjarmælingar sem gerðar voru í febrúar 2014 sýndu hins vegar lægsta botnendurkast (frá neðri mörkum jökulíss) sem mælt höfðu til þess, um 25 m lægra undir katlinum miðjum en í maí 2013. Vatn virðist því hafa runnið úr katlinum á milli þessara mælinga. Yfirborðsnið úr radarflugi frá 14. október 2013 sýnir að ketillinn var þá um 10 m dýpri en í mælingunni í maí 2013 sem styður þá túlkun íssjarmælinganna milli ofannefndra íssjarmælinga. Íssjarmælingar í maí 2014 sýndu óbreytt ástand við botn m.v. mælinguna frá því febrúar sama ár. Því kom það nokkuð á óvart að aftur skildi leka vatn undan katlinum snemmsumars 2014 en mæling þann 14. júlí sýndi að ketillinn hafði dýpkað um ~5 m. Túlka má íssjarmælingar í júní síðastliðnum þannig að vatnsgeymir sé aftur farinn myndast undir katlinum en þó er hér um óverulegt vatnsmagn að ræða að því gefnu að ketillinn hafi verið tómur í febrúar 2014.

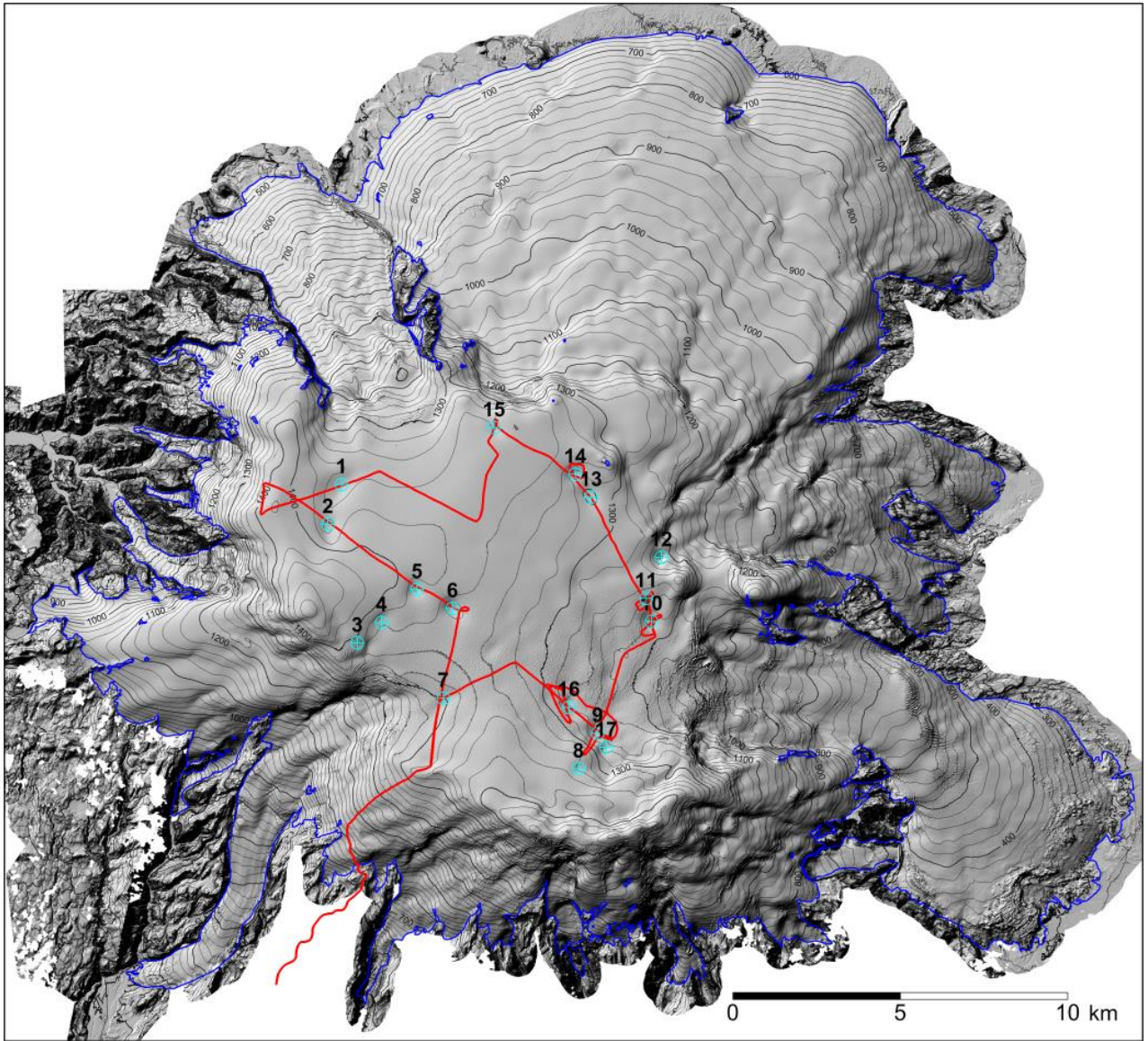
Lokaorð

Íssjarmælingarnar sem gerðar hafa verið með reglubundnum hætti síðan vorið 2012 gefa til kynna að þau ferli sem eiga sér stað við botn undir kötlum Mýrdalssjökuls séu flóknari en menn gerðu sér í hugarlund og því oft erfitt að greina hvað veldur breytingum á íssjármyndum nærri jökulbotni. Ólíklegt verður teljast að allar þær breytingar sem við sjáum tengist vatnsuppsöfnun eða losun undan kötlunum. Myndun botnsprungna eða annara endurkastflata nærri jökulbotni, svo sem litlir vatnsgeymar lokaðir inn í ísnum, skýra líklega hluta þeirra breytinga sem við sjáum. Þess ber þó að geta að síðan 2011 hafa engin stór hlaup orðið og því hafa þeir vatnsgeymar sem við höfum reynt að greina með íssjá verið litlir og af þeim sökum er túlkun íssjármyndanna oft ekki einhlít. Leitað verður leiða til að kosta frekari rannsóknir á þeim íssjargögnum sem þegar hefur verið aflað. T.d. þyrfti að „migrera“ íssjármyndirnar en með því eru myndirnar leiðréttar fyrir því að íssjain mælir á hverjum tíma endurkast frá svæði undir íssjáinni sem getur verið 200-400 m breytt. Þrátt fyrir annamarka á íssjarmælingunum og þeim úrvinnsluáðferðum sem beitt hefur verið til þessa teljum við íssjarmælingarnar hafi sannað gildi sitt sem viðbótarupplýsingar við vöktun sem stunduð hefur á yfirborði katlanna. Skýrasta dæmið um það er mælingarnar á K-16, en án íssjarmælinganna mætti túlka yfirborðmælingarnar sem vísbendingu um að veruleg vatnsuppsöfnun hafi átt sér stað í katlinum. Íssjarmælingarnar sýna hins vegar að svo er alls ekki.

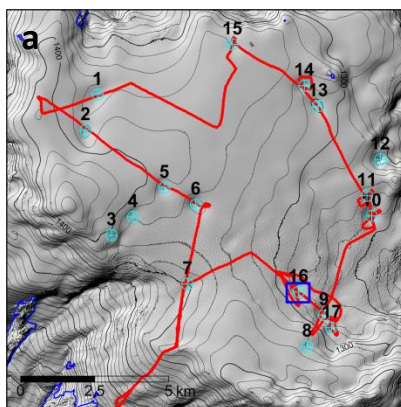
Heimildir

Eyjólfur Magnússon, Magnús Tumi Guðmundsson, Finnur Pálsson og Þórdís Högnadóttir. Niðurstöður íssjarmælinga á Mýrdalsjökli frá maí 2012 til febrúar 2014. Jarðvísindastofnun Háskólans, 23 bls., 2014.

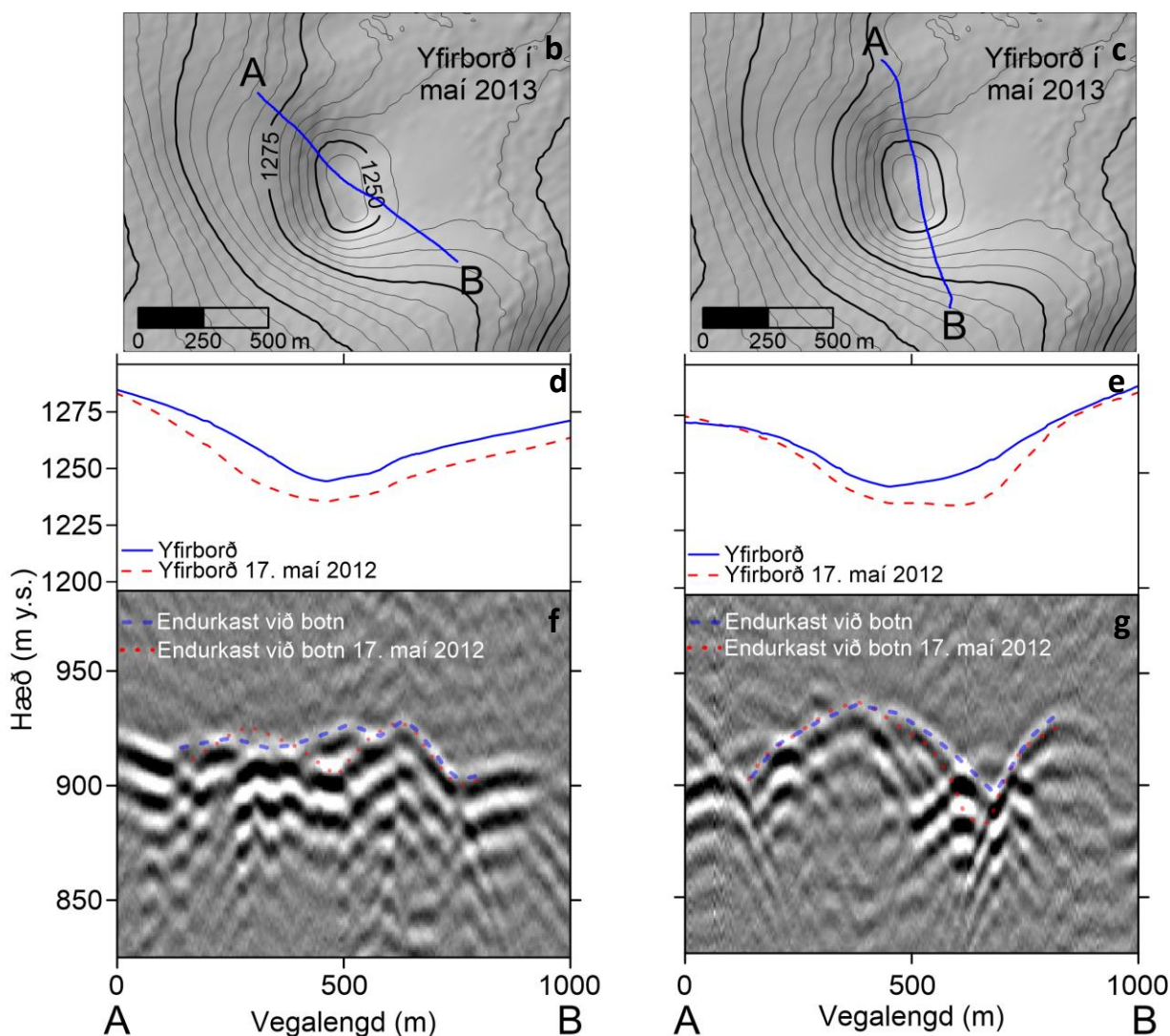
Tómas Jóhannesson, Helgi Björnsson, Eyjólfur Magnússon, Sverrir Guðmundsson, Finnur Pálsson, Oddur Sigurðsson, Thorsteinn Thorsteinsson og Etiennr Berthier. Ice-volume changes, bias estimation of mass-balance measurements and changes in subglacial lakes derived by lidar mapping of the surface Icelandic glaciers, *Ann. Glaciol.*, 54(63), 63–74, doi:10.3189/2013AoG63A422, 2013.



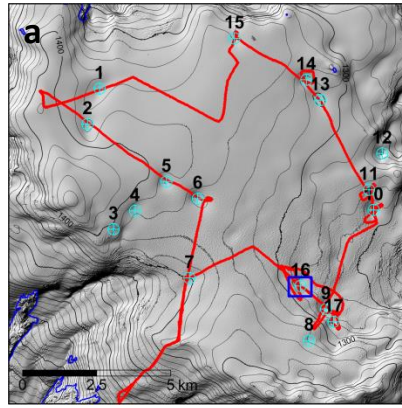
1. mynd. Íssjármælingar 15. febrúar 2014 (rauð lína) og staðsetning katla.



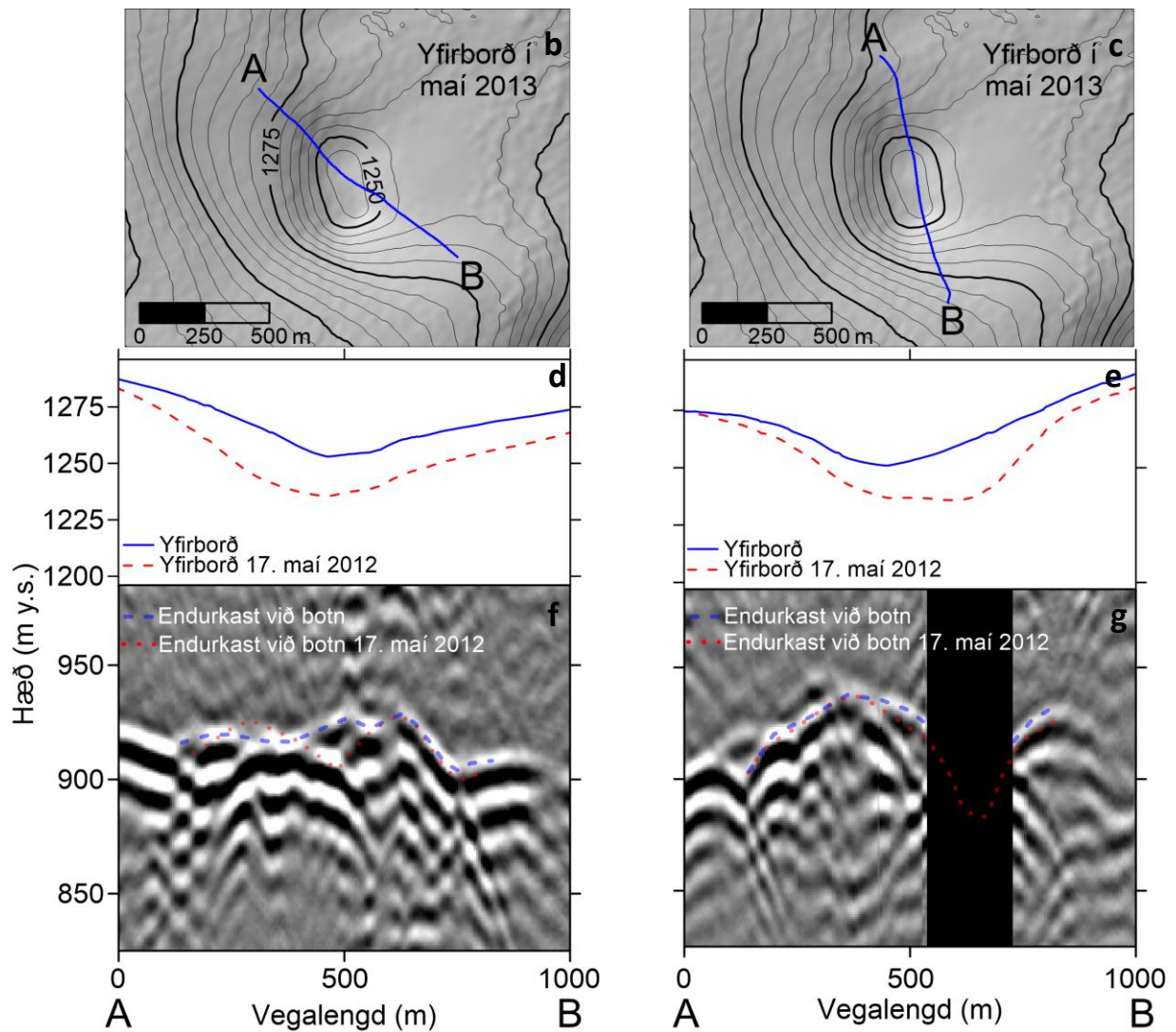
K-16, 15. febrúar 2014



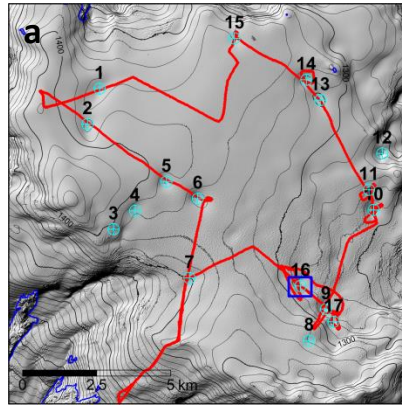
2. mynd. b-c) Hæðarkort af K-16 (staðsetning korts sýnd á **a**) sem sýnir yfirborð ketilsins maí 2013. Bláu línurnar sýna staðsetningu mælismiða. **d-e)** Tilsvarandi yfirborðshæðarsnið mæld 15. febrúar 2014 og 17. maí 2012 til samanburðar. **f-g)** Tilsvarandi íssjármyndir af endurkasti nálægt jökulbotni mældar 15. febrúar 2014. Búið er að varpa myndum í vegalengd eftir mælismiðum og hæð yfir sjó. Gegnsæjar bláar brotalínur sýna áætlað botnendurkast undir katli, rauðar punktalínur áætlað botnendurkast í 17. maí 2012. Hástafir á **b, c, f** og **g** gefa til kynna upphaf og endi sniða.



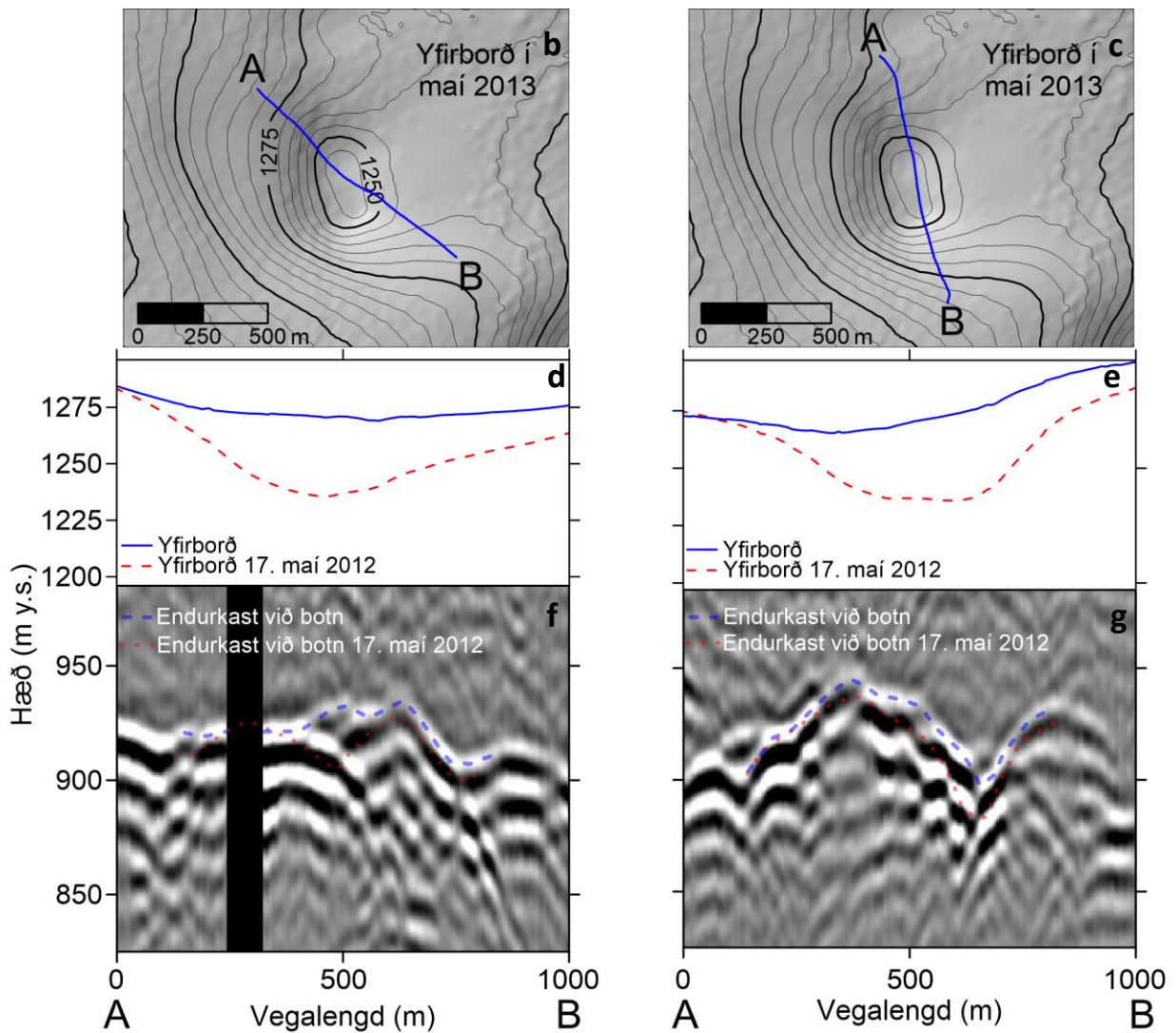
K-16, 21. maí 2014



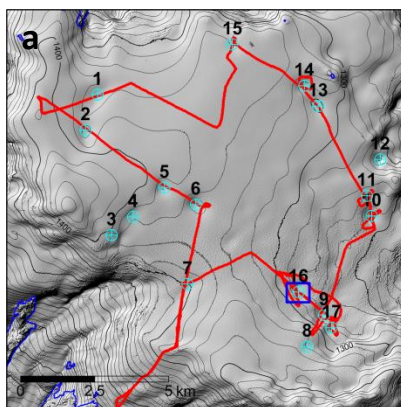
3. mynd. b-c) Hæðarkort af K-16 (staðsetning korts sýnd á **a**) sem sýnir yfirborð ketilsins maí 2013. Bláu línurnar sýna staðsetningu mælisniða. **d-e)** Tilsvarandi yfirborðshæðarsnið mæld 21. maí 2014 og 17. maí 2012 til samanburðar. **f-g)** Tilsvarandi íssjármyndir af endurkasti nálægt jökulbotni mældar 21. maí 2014. Gegnsæjar bláar brotalínur sýna áætlað botnendurkast undir katli, rauðar punktalínur áætlað botnendurkast í 17. maí 2012. Hástafir á **b, c, f** og **g** gefa til kynna upphaf og endi sniða.



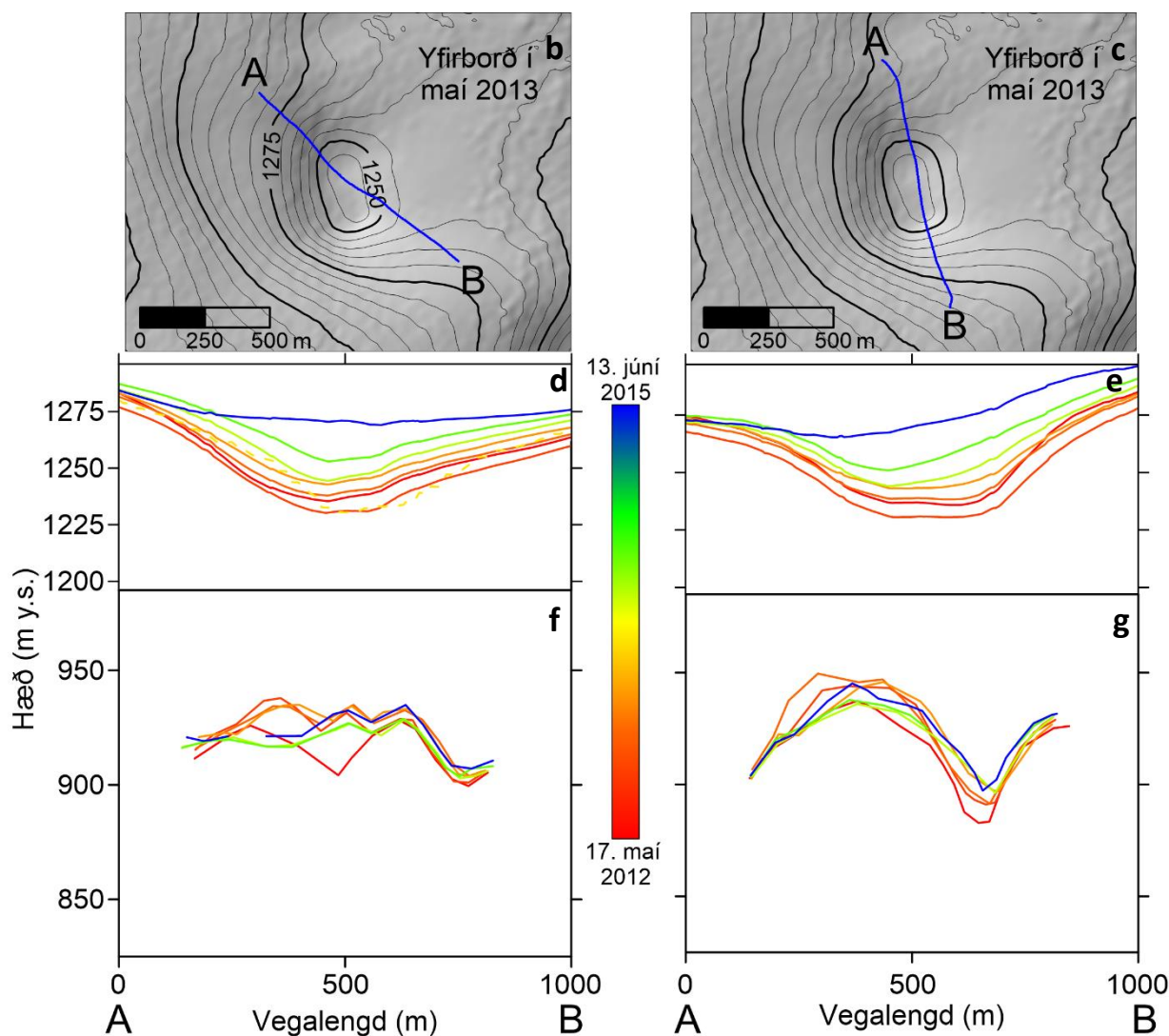
K-16, 13. júní 2015



4. mynd. b-c) Hæðarkort af K-16 (staðsetning korts sýnd á **a**) sem sýnir yfirborð ketilsins maí 2013. Bláu línurnar sýna staðsetningu mælisniða. **d-e)** Tilsvarandi yfirborðshæðarsnið mæld 13. júní 2015 og 17. maí 2012 til samanburðar. **f-g)** Tilsvarandi íssjármyndir af endurkasti nálægt jökulbotni mældar 13. júní 2015. Gegnsæjar bláar brotalínur sýna áætlað botnendurkast undir katli, rauðar punktalínur áætlað botnendurkast í 17. maí 2012. Hástafir á **b, c, f** og **g** gefa til kynna upphaf og endi sniða.

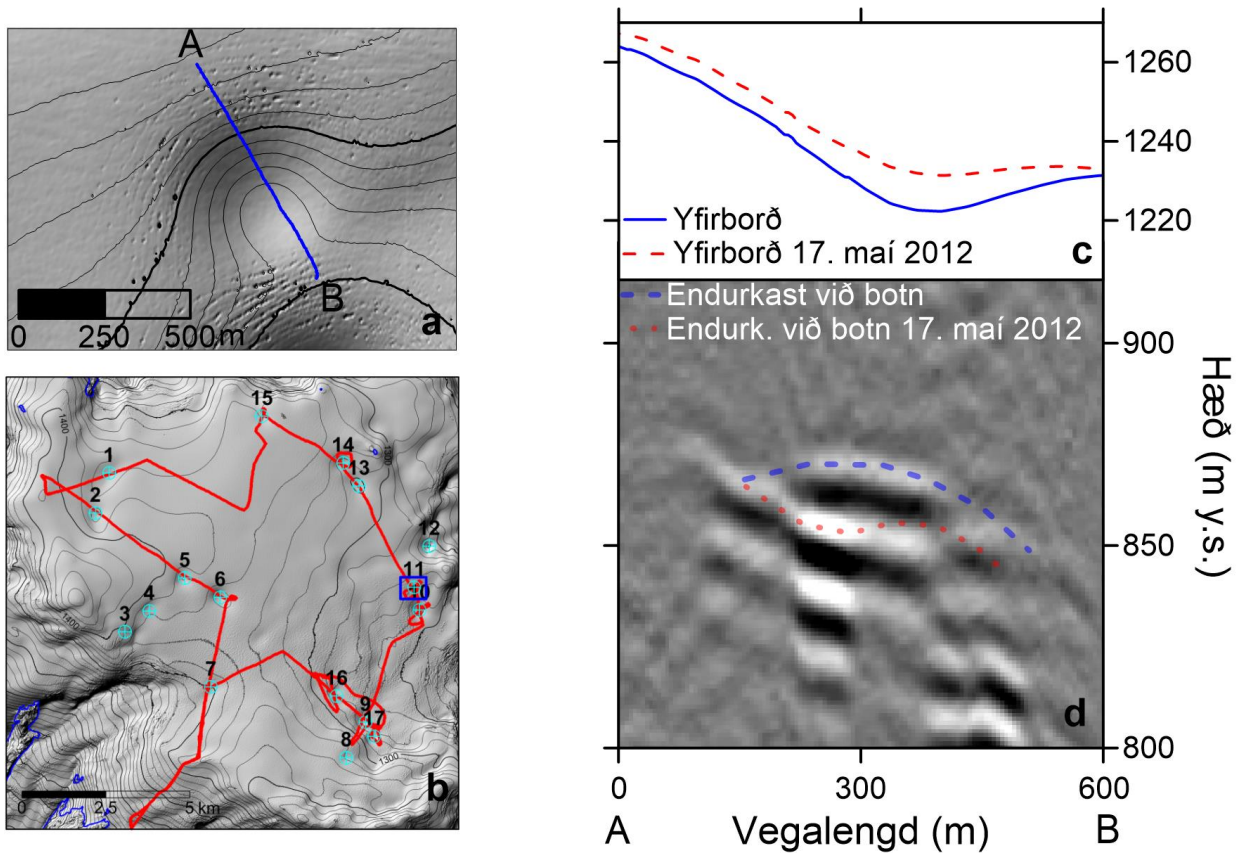


K-16, 17. maí 2012 - 13. júní 2015



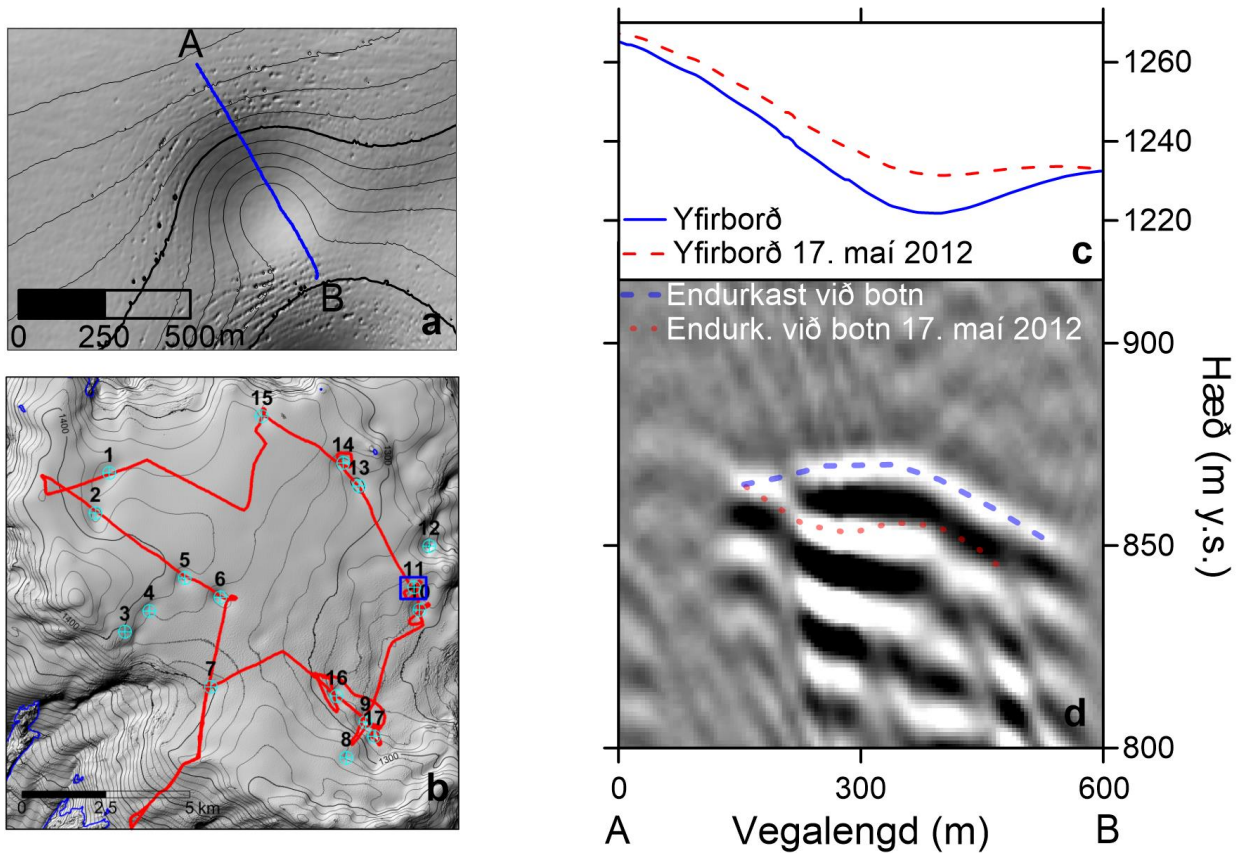
5. mynd. b-c) Hæðarkort af K-16 (staðsetning korts sýnd á **a**) sem sýnir yfirborð ketilsins maí 2013. Bláu línurnar sýna staðsetningu mælisniða. **d-e)** Tilsvarandi yfirborðshæðarsnið mæld 17. maí 2012 til 13. júní 2015. Litakvarði gefur til kynna dagsetningu mælingar þar sem rauðleitar línur gefur til kynna mælingu snemma á tímabilinu, gul- og grænleitar á miðju tímabilinu og bláleitar seint. Gul brotalína á **d** sýnir yfirborðssnið úr radarflugi þann 14. október 2013. **f-g)** Áætluð staðsetning endurkasts frá botni undir katli úr samtíma íssjármælingum. Hástafir á **b, c, f** og **g** gefa til kynna upphaf og endi sniða.

K-11, 15. febrúar 2014



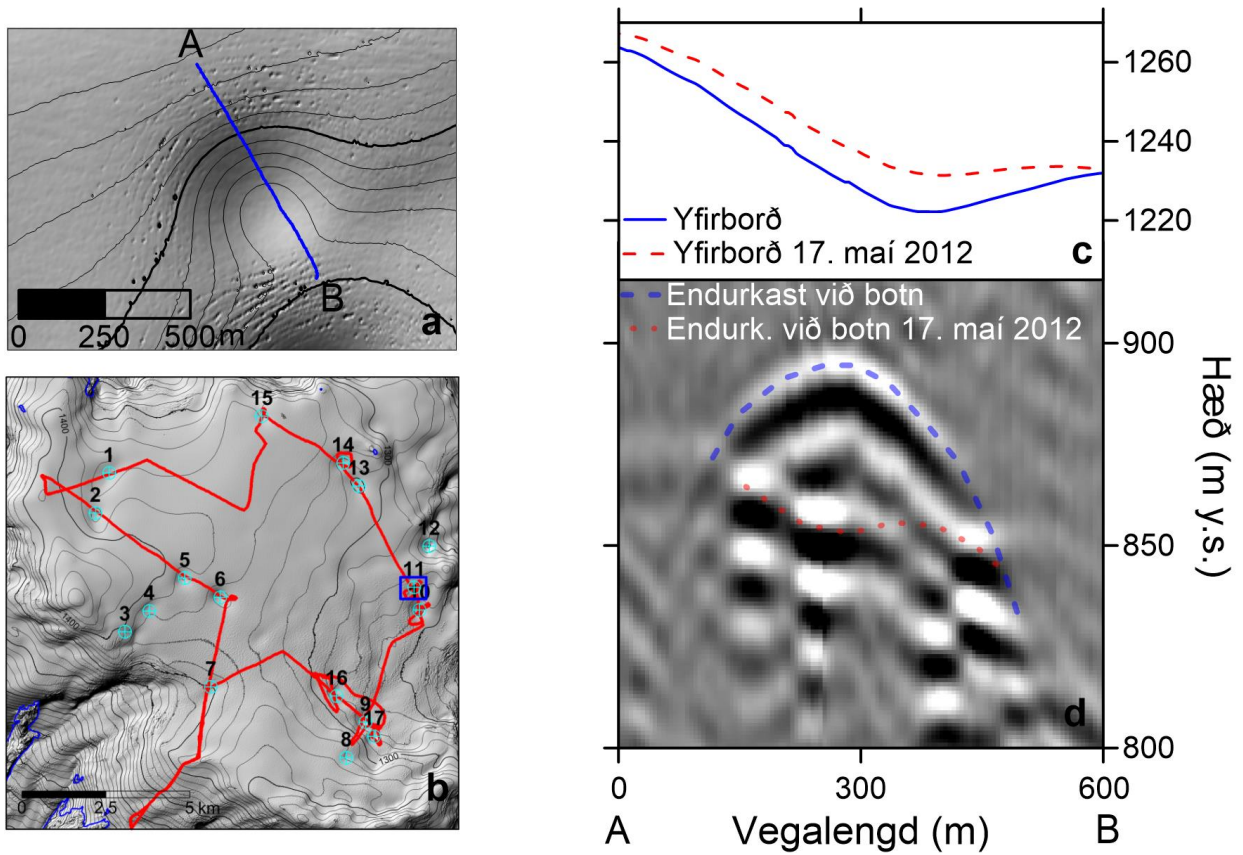
6. mynd. a) Hæðarkort af K-11 (staðsetning korts sýnd á **b**) mælt með LIDAR í ágúst 2011 (Tómas Jóhannesson og aðrir, 2013). Bláa línan sýnir staðsetningu mælisniðs. **c)** Tilsvarandi yfirborðshæðarsnið mælt 15. febrúar 2014 og snið frá 17. maí til samanburðar. **d)** Tilsvarandi íssjármynd af endurkasti nálægt jökulbotni mæld 15. febrúar 2014. Gegnsæ blá brotalína sýnir áætlað botnendurkast undir katli, rauð punktalína áætlað botnendurkast í 17. maí 2012. Hástafir á **a** og **d** gefa til kynna upphaf og endi sniða.

K-11, 21. maí 2014



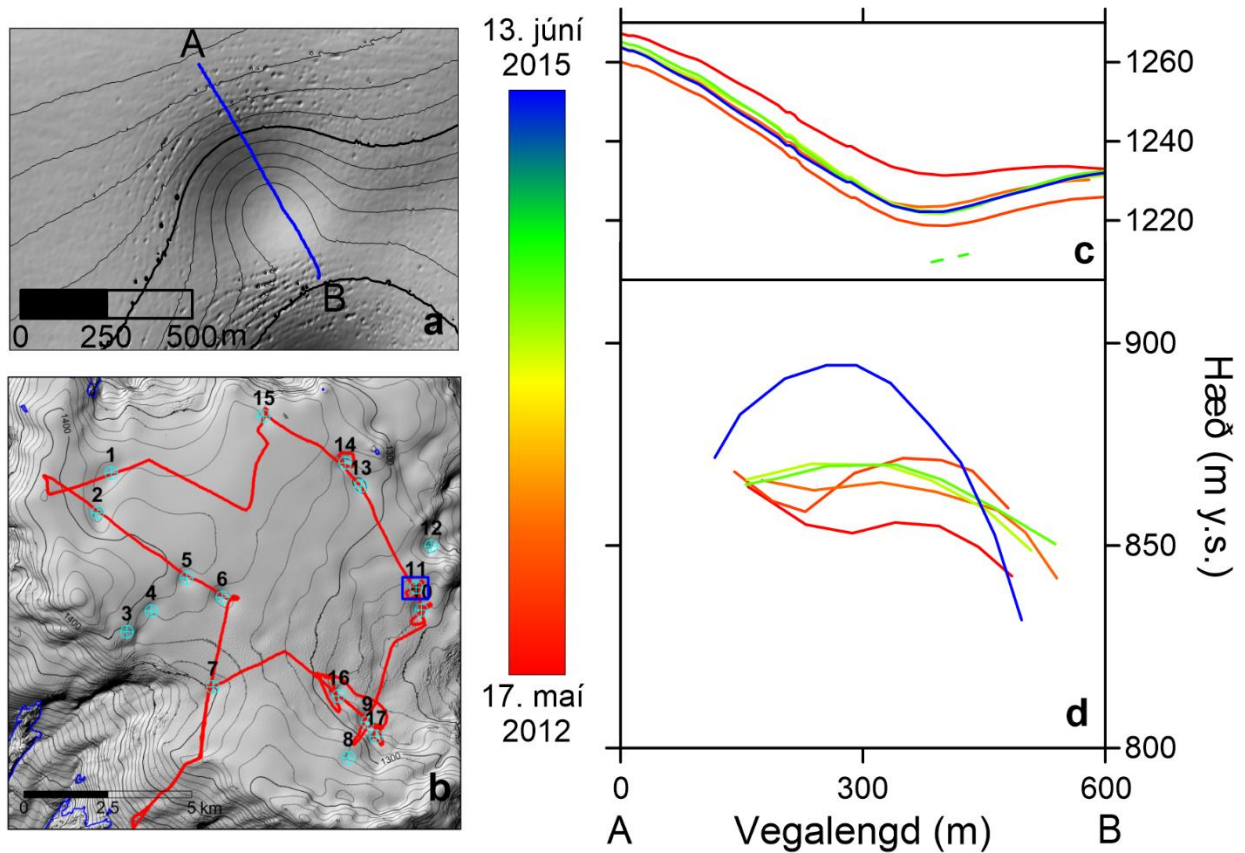
7. mynd. a) Hæðarkort af K-11 (staðsetning korts sýnd á **b**) mælt með LIDAR í ágúst 2011. Bláa línan sýnir staðsetningu mælisniðs. **c)** Tilsvarandi yfirborðshæðarsnið mælt 21. maí 2014 og snið frá 17. maí til samanburðar. **d)** Tilsvarandi íssjármynd af endurkasti nálægt jökulbotni mæld 21. maí 2014. Gegnsæ blá brotalína sýnir áætlað botnendurkast undir katli, rauð punktalína áætlað botnendurkast í 17. maí 2012. Hástafir á **a** og **d** gefa til kynna upphaf og endi sniða.

K-11, 13. júní 2015

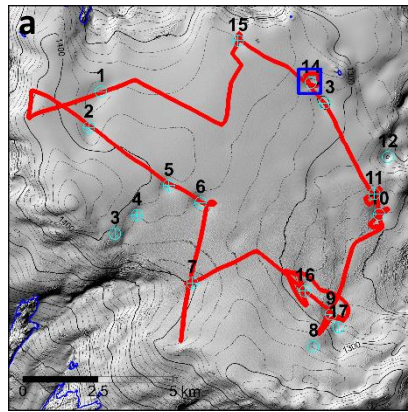


8. mynd. a) Hæðarkort af K-11 (staðsetning korts sýnd á **b**) mælt með LIDAR í ágúst 2011. Bláa línan sýnir staðsetningu mælisniðs. **c)** Tilsvarandi yfirborðshæðarsnið mælt 13. júní 2015 og snið frá 17. maí til samanburðar. **d)** Tilsvarandi íssjármynd af endurkasti nálægt jökulbotni mæld 13. júní 2015. Gegnsæ blá brotalína sýnir áætlað botnendurkast undir katli, rauð punktalína áætlað botnendurkast í 17. maí 2012. Hástafir á **a** og **d** gefa til kynna upphaf og endi sniða.

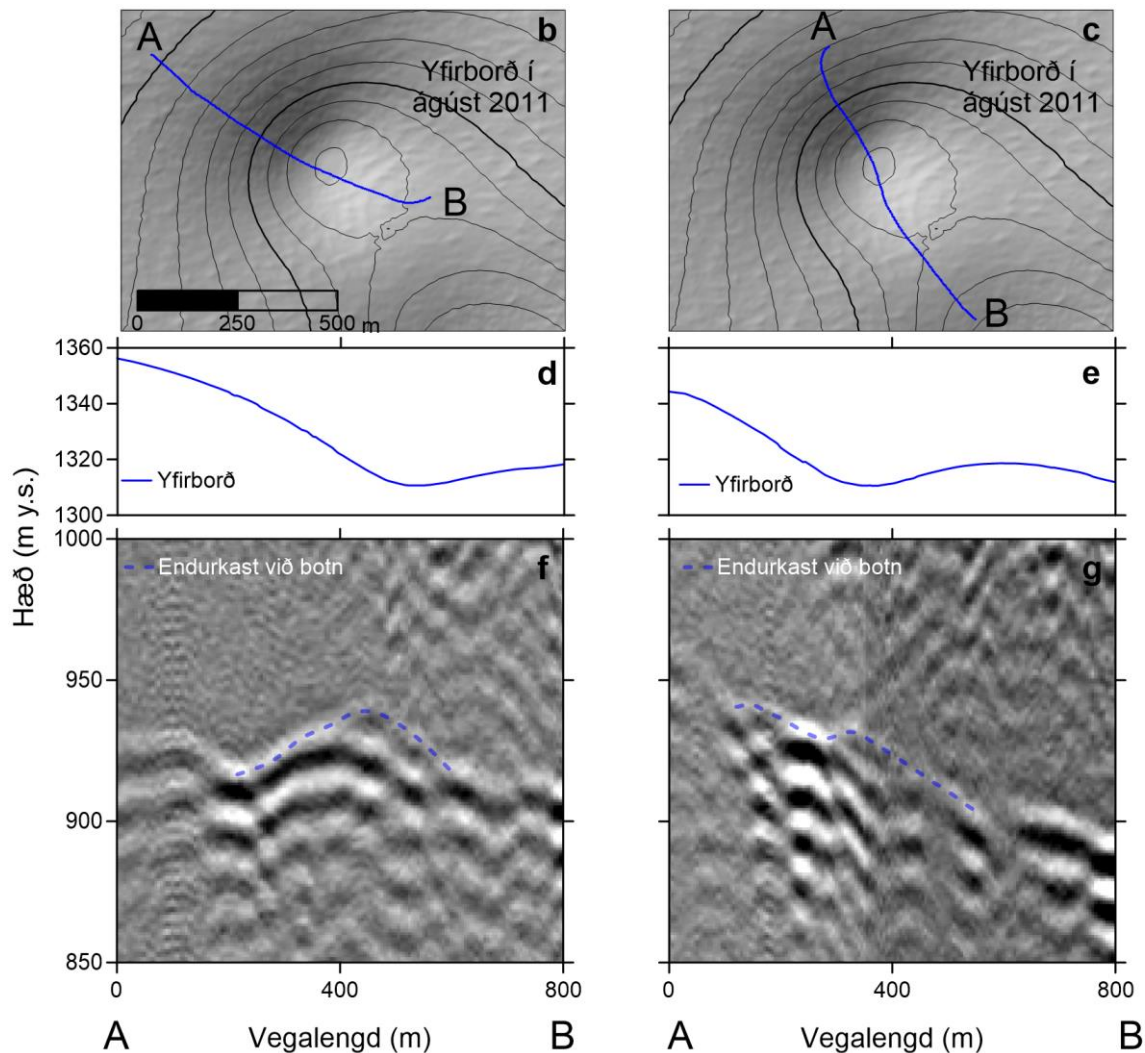
K-11, 12. maí 2012 - 13. júní 2015



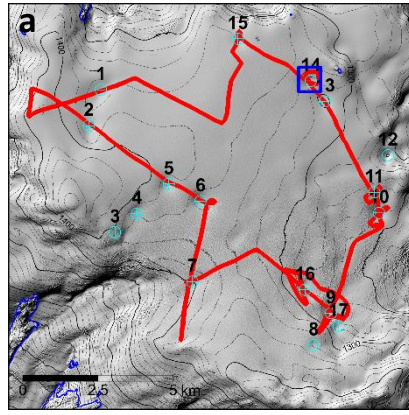
9. mynd. a) Hæðarkort afi K-11 (staðsetning kortis sýnd á **b**) mælt með LIDAR í ágúst 2011. Bláa línan sýnir staðsetningu mælisniðs. **c)** Tilsvarandi yfirborðshæðarsnið mæld 17. maí 2012 til 13. júní 2015. Litakvarði gefur til kynna dagsetningu mælingar þar sem rauðleitar línur gefur til kynna mælingu snemma á tímabilinu, gul- og grænleitar á miðju tímabilinu og bláleitar seint. Græn brotalína sýnir yfirborðshæð í miðju ketils mæld 14. júlí 2014. **d)** Áætluð staðsetning endurkasts frá botni undir katli úr samtíma íssjármælingum. Hástafir á **a** og **d** gefa til kynna upphaf og endi sniða.



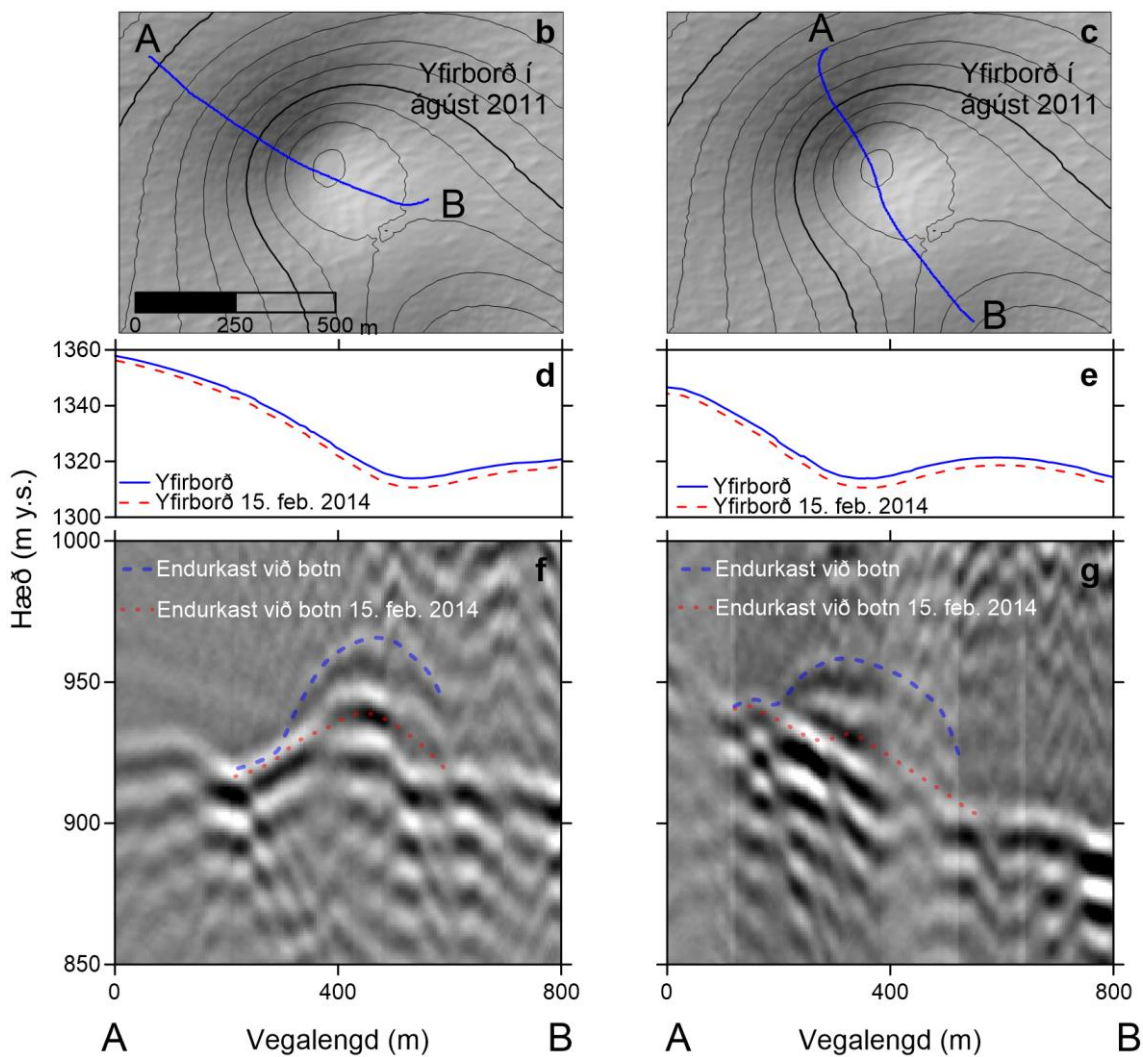
K-14, 15. febrúar 2014



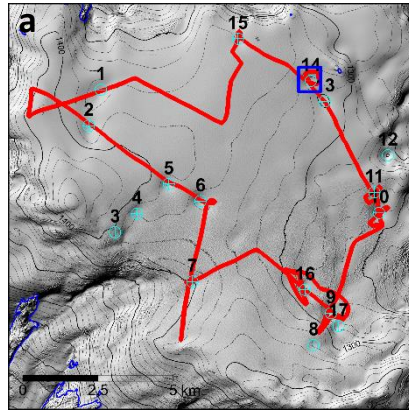
10. mynd. b-c) Hæðarkort af K-14 (staðsetning korts sýnd á **a**) sem sýnir yfirborð ketilsins í ágúst 2011 (Tómas Jóhannesson og aðrir, 2013). Bláu línurnar sýna staðsetningu mælisniða. **d-e)** Tilsvarandi yfirborðshæðarsnið mæld 15. febrúar 2014. **f-g)** Tilsvarandi íssjármyndir af endurkasti nálægt jökulbotni mældar 15. febrúar 2014. Gegnsæjar bláar brotalínur sýna áætlað botnendurkast undir katli. Hástafir á **b, c, f** og **g** gefa til kynna upphaf og endi sniða.



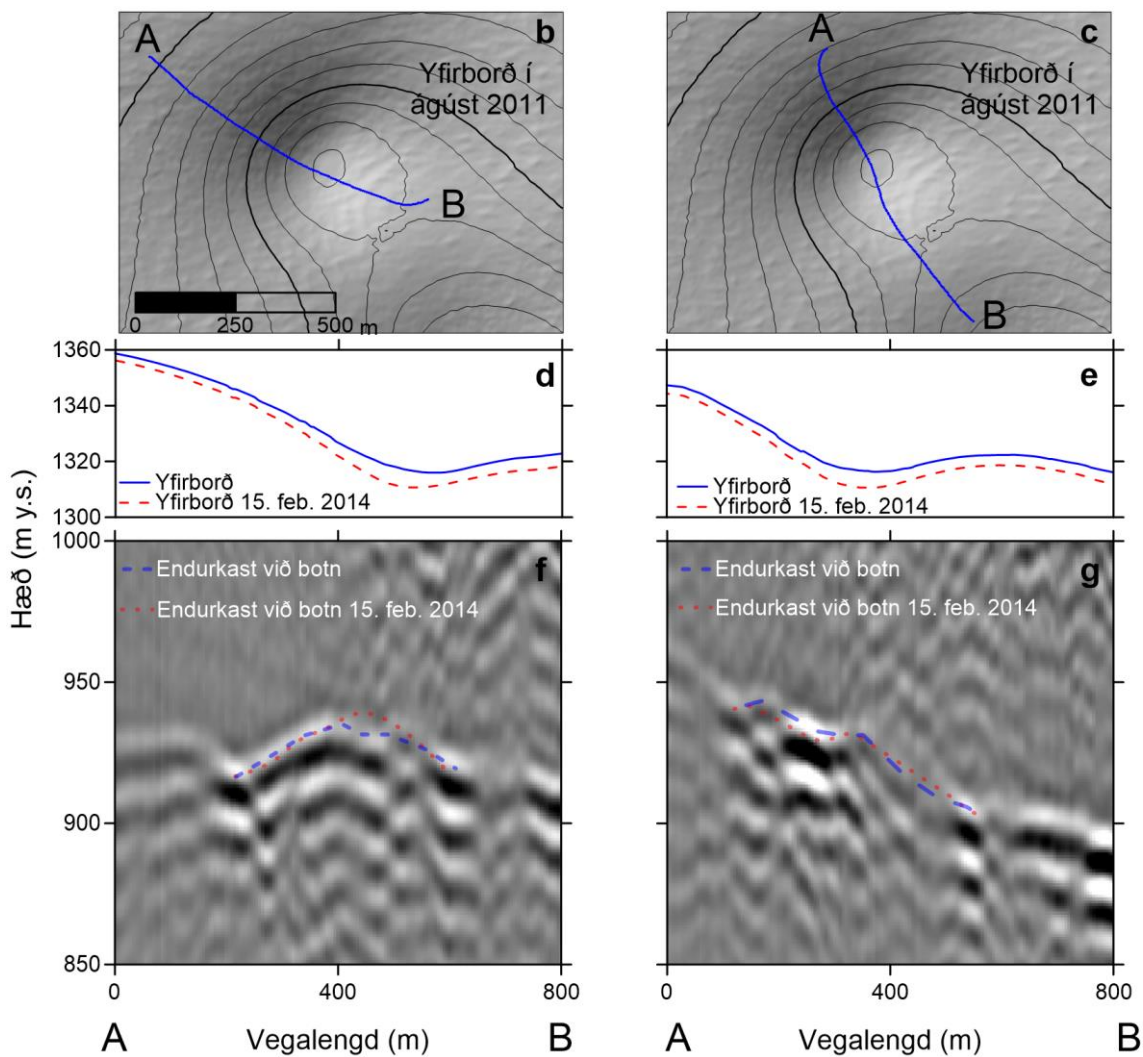
K-14, 21. maí 2014



11. mynd. b-c) Hæðarkort af K-14 (staðsetning korts sýnd á **a**) sem sýnir yfirborð ketilsins í ágúst 2011. Bláu línurnar sýna staðsetningu mælisniða. **d-e)** Tilsvarandi yfirborðshæðarsnið mæld 21. maí 2014 og 15. febrúar 2014 til samanburðar. **f-g)** Tilsvarandi íssjármyndir af endurkasti nálægt jökulbotni mældar 21. maí 2014. Gegnsæjar bláar brotalínur sýna áætlað botnendurkast undir katli, rauðar punktalínur áætlað botnendurkast í 15. febrúar 2014. Hástafir á **b, c, f** og **g** gefa til kynna upphaf og endi sniða.

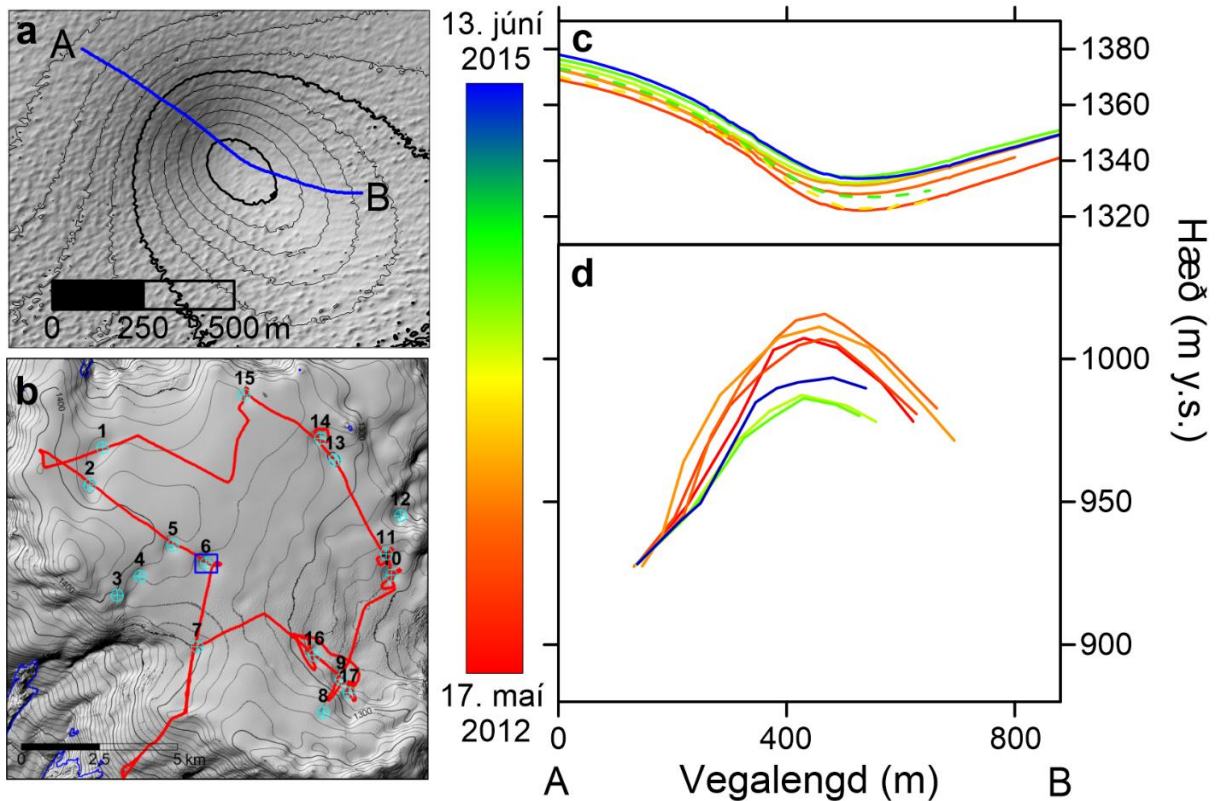


K-14, 13. júní 2015



12. mynd. b-c) Hæðarkort af K-14 (staðsetning korts sýnd á **a**) sem sýnir yfirborð ketilsins í ágúst 2011. Bláu línurnar sýna staðsetingu mælisniða. **d-e)** Tilsvarandi yfirborðshæðarsnið mæld 13. júní 2015 og 15. febrúar 2014 til samanburðar. **f-g)** Tilsvarandi íssjármyndir af endurkasti nálægt jökulbotni mældar 13. júní 2015. Gegnsæjar bláar brotalínur sýna áætlað botnendurkast undir katli, rauðar punktalínur áætlað botnendurkast í 15. febrúar 2014. Hástafir á **b, c, f** og **g** gefa til kynna upphaf og endi sniða.

K-6, 12. maí 2012 - 13. júní 2015



13. mynd. a) Hæðarkort af K-11 (staðsetning korts sýnd á **b**) mælt með LIDAR í ágúst 2010 (Tómas Jóhannesson og aðrir, 2013). Bláa línan sýnir staðsetningu mælisniðs. **c)** Tilsvarandi yfirborðshæðarsnið mæld 17. maí 2012 til 13. júní 2015. Litakvarði gefur til kynna dagsetningu mælingar þar sem rauðleitar línur gefur til kynna mælingu snemma á tímabilinu, gul- og grænleitar á miðju tímabilinu og bláleitar seint. Gul brotalína sýnir yfirborðshæðarsnið 14. október 2013, græn brotalína yfirborðshæðarsnið þann 14. júlí 2014. **d)** Áætluð staðsetning endurkasts frá botni undir katli úr samtíma íssjármælingum. Hástafir á **a** og **d** gefa til kynna upphaf og endi sniða.