

Hvað sýna íssjármælingar undir sigkötlum Mýrdalsjökuls

**Eyjólfur Magnússon, Finnur Pálsson, Magnús T. Guðmundsson, Joaquín
M. C. Belart og Þórdís Högnadóttir**

Jarðvísindastofnun Háskólans

31. maí 2017

Ágrip

Jarðvísindastofnun Háskólans hefur frá árinu 2012 gert tilraunir með notkun íssjár (ratsjá sem horfir niður í ísinn) við eftirlit með vatnssöfnun undir sigkötlum í Mýrdalsjökli. Snögg hlaup úr kötlum Mýrdalsjökuls hafa valdið skemmdum á umferðarmannvirkjum á Mýrdalssandi og geta ógnað öryggi vegfarenda. Frumkönnun þeirra gagna sem aflað hefur verið með íssjárniðmælingum yfir sigkötlunum hefur leitt í ljós að túlkun þessara mælinga er engan vegin einföld. Í þessari skýrslu er greint frá frekari úrvinnslu mælinganna og því hvað sú vinna leiðir í ljós. Einnig er skoðað hverjir eru annmarkar þeirrar mæliaðferðar sem jafnan hefur verið beitt og hvað ítarlegri mælingar geta leitt í ljós. Meginniðurstöður eru að sú vöktun gerð hefur verið með íssjá frá 2012 er mjög gagnleg til að greina hvort stórra hlaupa sé að vænta undan sigkötlum Mýrdalsjökuls. Hún er hins vegar ekki fullnægjandi til að meta magn vatns sem er finna undir kötlunum hverju sinni við venjulegar kringumstæður, þegar vatnsmagnið er ekki meira en svo að óveruleg hætta stafar af. Þannig hafa aðstæður verið allt frá hlaupinu í júlí 2011 sem tók af brúna yfir Múlakvísl.

Inngangur

Katlarnir í Mýrdalsjökli eru sigdældir í yfirborði jökulsins myndaðir vegna bráðnunar við jökulbotn og eru jafnan tengdir jarðhita eða gosvirkni í Kötlu. Vatn safnast undir sumum þessara katla, við jökulbotn. Vatnið hleypur úr þeim í jökulhlaupum, mjög breytilegum bæði hvað varðar hámarks og heildarrennsli. Allra stærstu hlaupin úr kötlunum hafa af ýmsum verið tengd við minniháttar eldgos undir jökli eða grunnstæð kvikuinnskot. Síðasta stóra hlaupið tók af brúna yfir Múlakvísl í júlí 2011 og lokaði hringveginum í eina viku. Jarðvísindamenn hafa deilt um hvort flóðvatnið var að öllu leyti bráð vegna jarðhitavirkni eða að hluta vegna lítills eldgoss undir jökli. Í maí 2012 hófust reglubundnar íssjármælingar á sniðum yfir kötlunum sem styrktar voru af Rannsóknasjóði Vegagerðarinnar. Megintilgangur mælinganna var að öðlast frekari skilning á eðli katlanna og kanna notkunarmöguleika íssjármælinga við vöktun á uppsöfnun vatns undir kötlunum. Íssjármælingar sem fyrst voru mældar í maí 2012 yfir 12 katla hafa að mestu leyti verið endurmældar einu sinni til tvisvar á ári síðan þá.

Íssjá er ratsjá sem samanstendur af sendi, sendiloftnetum, móttökuloftnetum og móttakara auk staðsetningarbúnaðar (GPS) sem dregin eru í einni línu eftir yfirborði jökulsins. Ratsjái sendir frá sér rafsegulbylgjupúlsa og móttakari skráir tíma og útslag endurkastaðs merkis auk þess sem staðsetning mælingar (hnit og hæð) er skráð. Frumúrvinnsla mælinga felst meðal annars í því samtvinna ratsjármælingar og staðsetningu mælinga. Þannig má búa til myndir þar sem myndeingar sýna endurkaststyrk, láréttur myndás sýnir ekna vegalengd eftir sniði og lóðréttur myndás vegalengd frá yfirborði niður að endurkastsfleti, að gefnum forsendum ferðahraða rafsegulbylgju. Aukaafurð mælinganna eru yfirborðshæðarsnið um katlana sem einnig geta gefið vísbendingar um vatnssöfnun undir þeim. Ef gert er ráð fyrir að endurkastfletir sé lóðrétt undir íssjánni má nota hæðarsniðin til búa til íssjármyndir þar sem endurkastsfletir eru staðsettir í fleti og hæð yfir sjó sem auðveldar samanburð endurtekinnna íssjárnsniða af Mýrdalsjökli þar sem gættir verulegra breytinga í yfirborðshæð jökuls.

Líkt og áður hefur verið greint frá (Eyjólfur Magnússon o.fl., 2015) sýnir ofangreind frumúrvinnsla íssjargagnanna umtalsverðar breytingar í styrk og staðsetningu endurkastsflata undir mörgum sigkatlanna. Túlkun byggð á slíkri úrvinnslu er engan vegin einföld þó í mörgum tilfellum megi gera ráð fyrir að þessar breytingar séu vegna vatnssöfnunar eða losunar við jökulbotn. Til að auðvelda túlkun þessara gagna var ákveðið að vinna þessi gögn frekar með því að „mígrera“ íssjárnsniðin. Í einföldu máli gengur sú úrvinnsla út að leiðrétta fyrir því að

ratsjárgeislinn getur verið nokkuð hundruð metra breiður þar sem hann varpast á jökulbotninn. Þeir endurkastfletir sem sjást í stakri mælingu eru þannig ekki endilega beint fyrir neðan íssjána, heldur einhversstaðar innan geislans. Ferðatími endurkastaðrar bylgju skilgreinir kúluflöt undir íssjónni þar sem tilsvarendi endurkastflöt er einhvers staðar að finna. Fyrir stök íssjárnsnið má leiðrétta fyrir þessum áhrifum að hluta og þar með skorða betur staðsetningar endurkastflata í og undir jöklinum með því að beita tvívíðri mígreringu, en þá er gert ráð fyrir að allir endurkastfletir séu beint undir mælilínu en ekki til hliðar við hana. Hér er tvívíðri Kirchhoff mígreringu (t.d. Schneider, 1978) beitt til að vinna úr endurteknum sniðmælingum yfir sigkötunum frá upphafi íssjávöktunar á kötlunum (maí 2012) til að skoða hvort slík úrvinnsla auðveldar túlkun mælinganna. Til að leiðrétta nokkurn vegin til fulls fyrir áhrifum af vídd ratsjárgeislans þarf hins vegar mæla þétt safn samsíða íssjárnsniða. Ef það er gert má með þrívíðri mígreringu leiðrétta einnig fyrir áhrifum endurkastflata sem eru til hliðar við sniðlínuna og þar með skorða vel í þrívídd staðsetningu endurkastflata sem íssjain greinir. Slíkar mælingar voru gerðar yfir katli 16 í maí 2013 og aftur ári síðar en ketill 16 var megin upptakastaður stóra jökulhlaupsins í júlí 2011. Hér verða sýndar niðurstöður þrívíðar mígreringar úrvinnslu þeirra gagna. Í því samhengi verður skoðað hvað viðbótupplýsingar slík gögn leiða í ljós, sem ekki fást út frá stökum íssjárnsniðum.

Að lokum verður greint í stuttu máli frá framhaldi þessara rannsókna sem nú hefur verið tryggt næstu ár með styrk úr Rannsóknasjóði Rannís til verkefnis Katla kalda.

Endurteknar íssjárnsniðmælingar

Fyrstu sniðmælingar sem gerðar voru til að skoða sigkatlana sérstaklega voru gerðar 17. maí 2012 (1. mynd) og sniðin endurtekin að mestu 27. nóvember sama ár (2. mynd). Síðan þá hafa mælingarnar verið endurteknar 1-2 á ári. Leitast var við að endurtaka sniðin eins nákvæmlega og kostur var, helst með innan við 10 m hliðrun í legu mælisniðanna. Með tilkomu betri GPS-leiðsögutækja í seinni tíð hefur það reynst auðveldara. Til vors 2016 höfðu 14 katlar verið mældir með íssjá á þennan hátt tvisvar sinnum eða oftar og á það við um alla katlana á 1. mynd að frátöldum kötlum 3, 4 og 8. Við mælingu katlana er notast við nákvæmt GPS-landmælingatæki (að jafnaði <0.5 m nákvæmni í staðsetningu og hæð) sem fest er á snjósleðann sem dregur mælibúnað (mældar lengdir frá snjósleða í íssjarmóttakara og þaðan aftur í sendi eru notaðar til reikna miðjuhnit mælinga, þ.e. mitt á milli sendi og íssjarmóttakara). Í maí 2013 misfórst sú mæling að hluta en þá var notast við staðsetningu úr litlu GPS-tæki sem tengt er

beint við íssjána en hæðin í mældum staðsetningum fengin úr hæðarlíkani sem gert er eftir WorldView 2 (WV2) gervihnattaljósmyndum (Noh og Howat, 2015) sem teknar voru tveimur vikum fyrir íssjarmælingu. Hæð líkans var hliðrað niður um 2 m samkvæmt samanburði við þau GPS landmælingagögn sem náðist að afla.

Áður en íssjárnsniðin eru mígreruð er styrkur endurkasta magnaður, með aðhæfðri mögnun sem eykst með ferðatíma endurkastaðrar bylgju. Með þessu verður styrkur endurkasts af svipuðum flötum á mismunandi dýpi áþekkur. Þessari mögnun er einnig beitt á undan þrívíðu mígreringunni sem sagt er frá í næsta kafla. Í mígreringunni er gert ráð fyrir að breidd ratsjárgeislans sé 500 m og að ferðahraði rafsegulbylgjunnar sé $1.68 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$ en sá hraði hefur oftast verið notaðar við úrvinnslu íssjarmælinga á íslenskum jöklum (t.d. Helgi Björnsson o.fl., 2000).

Þegar íssjárnsniðin höfðu verið fullunnin (nánari útlistun á úrvinnsluaðferðum þar með talið á mígreringu og rakningu endurkastsflata má finna í nýlegri grein eftir Eyjólf Magnússon o.fl., 2016) var hver ketill sem mældur var rannsakaður sérstaklega. Þeim sniðum sem náðst hafði að endurtaka vel fyrir viðkomandi ketil var varpað yfir í sameiginlegt hnitakerfi þar sem y-ásinn var hæð yfir sjó en x-ásinn var vegalengdarás „aðalsniðs“. Í öllum tilfellum var sniðið sem mælt var vorið 2016 notað sem aðalsnið nema fyrir ketil 12 þar sem notast var við snið frá 2014 þegar síðast var mælt í þeim katli. Í einstaka tilfellum bjagar vörpun yfir í vegalengdarás aðalsniðs sniðin lítillega en auðveldar til muna samanburð.

Að neðan eru sýnd tvo dæmi um gagnaröð íssjárnsniða sem búið er að vinna með tvívíðri mígreringu. Önnur gagnaröðin er fyrir ketil 11 (3.-11. mynd) en þar má greina einna mestan breytileika í staðsetningu endurkastsflata. Breytileiki í hæð endurkastsflata við jökulbotn er allt að 50 m (11. mynd) milli sniða undir katlinum. Ketill 11 hefur einnig verið mjög virkur á síðustu árum hvað varðar yfirborðshæðarbreytingar en hann var röskum 20 m dýpri í febrúar 2017 en í maí 2012. Þegar mælingin í febrúar 2017 var gerð var endurkast mjög veikt undir katlinum. Dýpi ketilsins og vöntun botnendurkasts undan katlinum gæti verið afleiðing af því að vatnsgeymir undir honum hafði tæmst sumarið áður. Þó er líkleggra að mjög sterkt endurkast nærri yfirborði, sem veldur því að lítil hluti rafsegulbylgjunnar berst niður skýri vöntun botnendurkasts. Tjörn myndaðist í katlinum sumarið áður og var greinileg í lok september þó svo snjóað hafi yfir. Ef hún var enn innlyksa í snjónum í febrúar gæti það útskýrt mjög sterkt, grunnt endurkast sem og vöntun botnendurkasts. Íssjarmæling sem gerð var í maí á þessu ári (ekki sýnd hér) sýnir ástand áþekkt því sem var í mælingum fyrir febrúar 2017.

Seinni gagnaröðin er fyrir ketil 16 (12.-19. mynd). Þar er breytileiki í hæð endurkastsflata við jökulbotn talsvert minni milli mælinga en í katli 11, eða að hámarki röskir 20 m en yfirleitt mun minni (19. mynd). Breytileiki í yfirborðshæð er hins vegar mikill. Frá upphafi mælitímans til vors 2014 grynnaði ketill hægt og bítandi. Snögg breyting var síðan til júní 2015 en þá grynnaði ketillinn um ~20 m án þess að nokkra marktækra breytinga verði vart í staðsetningu endurkastsflata við jökulbotn (17. mynd). Þessi snögga breyting var því að öllum líkindum ekki vegna vatnssöfnunar undir katlinum heldur orsökun vegna minni bráðunar íss við jökulbotn undir katlinum og vegna þess náði innflæði jökulíss og skafrenningur að grynna ketillinn verulega. Verulegar breytingar urðu síðan aftur á jökulyfirborði vorið 2016 en þá dýpkaði ketill 16 aftur og ketilmiðjan færðist um 150 m inn í brekkuna upp af katlinum. Engin merki sjást í íssjárnsniðum (annað af tveimur endurteknum sniðum lá þvert yfir nýja ketilmiðju) um að vatn hafi verið undir hinni nýju ketilmiðju, hvorki vorið 2015 né vorið 2016 (17.-18. mynd), bráðin hefur þegar runnið burt, ef til vill jafnóðum.

Þau dæmi um gagnaraðir íssjárnsniða úr kötlunum sem hér eru sýnd eru nokkuð lýsandi fyrir aðra katla einnig. Í nær öllum má greina breytileika milli endurtekinnra sniða í hæð endurkastsflata nærri jökulbotni sem ekki greinist í sniðum utan katlanna. Sá breytileiki er oft áþekkur því sem sést í katli 16 en enginn sýnir jafn miklar sveiflur og ketill 11 í hæð endurkastsflata nærri jökulbotni.

Endurteknar þéttar sniðmælingar yfir katli 16

Í maí 2013 og aftur ári síðar var safn þéttara íssjárnsniða mælt yfir katli 16. Mælingarnar voru með um 20 m millibili og tók mæling í hvort skipti um 4-5 klukkutíma. Í báðum tilfellum misfórst mæling með GPS-landmælingatæki fyrir hluta ketilsins. Í tilfelli 2013 mælisniðanna var líkt og áður notast við staðsetningar úr litlu GPS tæki sem tengt er íssjarmóttakaranum og hæð úr fyrirnefndu WV2 hæðarlíkani (frá 1. maí 2013), leiðréttu með mælingum úr GPS landmælingatæki þar sem þær tókust bæði í tengslum við þessar mælingar og endurteknu sniðmælingarnar (14. mynd). Í tilfelli 2014 mælinganna var sami háttur hafður en í stað WV2 hæðarlíkansins var notast við hæðarlíkan unnið eftir Pléiades gervihnattaljósmyndum frá því í ágúst 2014. Þó svo GPS landmælingagögnin séu ekki samfelld yfir ketillinn þá gefa þau góðar skorður á yfirborðshæðarbreytingar frá maí 2014 til ágúst sama ár og með því að draga þær frá Pléiades hæðarlíkaninu fæst nákvæmt hæðarkort af katlinum eins og hann var í maí 2014 þegar seinna safn þéttu íssjarmælisniðanna var aflað.

Íssjárnsnið hvers árs voru tekin og úr þeim hent öllum mælipunktum þar sem frávik asksturstefnu er meira en 10° frá útlögðum stefnum mælilína (20. mynd). Því næst var línulega brúað þrívítt fylki fyrir mælisafnið, með 5 m bil milli mælipunkta í aksturstefnu sniða og 10 m bil milli punkta þvert á asksturstefnu. Þriðji ás fylkisins (z-ás) er ferðatími endurkastaðrar rafsegulbylgju. Bilið milli punkta í brúaða fylkinu í z-stefnu var 6.25×10^{-9} s sem svarar til tvöfaldrar söfnunartíðni ratsjárinnar sem er 80 MHz (söfnunartími ratsjárinnar er 1.25×10^{-8} s). Með línulegu brúuninni er reiknað hvernig stakt mæliskot ætti að líta út fyrir tiltekna staðsetningu á mælsvæðinu fyrir jafndreift mælisafn. Næst voru mígreruð þrívítt íssjárnsnið með 20 m millibili (dæmi sýnd á 22.-23. mynd) þar sem í hverjum punkti í sniði var unnið með jafndreifð brúuð íssjarmæliskot í innan við 250 m fjarlægð. Beitt var þrívíðri Kirchhoff mígreringu (t.d. Schneider, 1978) en auk brúaðra íssjarmæliskota þarf í þá úrvinnslu áætlaða staðsetningu og landhæð íssjárnsendis og móttakara fyrir hvert brúað íssjárskot. Landhæðin fyrir áætlaðar staðsetningar er fengin úr reiknuðum hæðarlíkönnum tilsvarendi mælitíma (20. mynd). Í hornum og hliðum mælsvæðisins náði leitarradíus mígreringar út fyrir þrívíða íssjarmælifylkið sem veldur því að brúuð íssjarmæliskot sem nýttust til reikninganna urðu færri en ella. Af þeim sökum voru mígreruð snið sköluð (afleiðrétt) með fjölda inntaksskota á hverjum stað í sniði. Prófanir voru gerðar með aðrar útfærslur á mígreringunni bæði með því að nota íssjárskotin sem sýnd eru á 20. mynd beint án brúunar inn í mígreringuna og með því að nota stærra bil (20 m) milli brúaðra línu í þrívíða íssjarmælingafylkinu. Sú úrvinnsla sem hér er sýnd gaf að jafnaði skýrustu íssjárnsniðin. Einnig var prófað að nota enn styttra bil milli brúaðra lína (5 m) en það virtist einungis margfalda reiknitímann án þess að bæta niðurstöðurnar.

Eftir þrívítt mígreruðu sniðunum voru líkleg endurköst frá jökulbotni (neðra borð jökulíss, hvort sem vatn eða berg er undir) hnitsett fyrir hvert gagnasafn fyrir sig (um rakningu botnendurkasta er nánari lýsing í grein Eyjólf Magnússonar o.fl., 2016). Þar sem breytingar urðu milli ára voru hnitsett endurköst yfirfarin sérstaklega þannig að ef hnitsett botnendurkast var óskýrt í öðru eða báðum tilfellum var annað eða bæði hnitsettu endurköstin fjarlægð. Á 21. mynd (a-hluta) má sjá hvar yfirfarin, samþykkt botnendurköst voru staðsett í hverju safni fyrir sig. Í samaburði á gagnasafni áranna tveggja kom í ljós lítilsháttar hliðrun milli gagnasafna sem gæti orsakast af óvissu og breytileika milli ára í inntaksstærðum útreikninga, t.d. í ferðahraða rafsegulbylgjunnar gegnum jökulinn. Hnitsettum botnendurköstum frá árinu 2013 voru því hliðrað upp um 2.1 m sem svarar til miðgildismismunar á hæðum hnitaðra endurkastsflata milli ára.

Út úr hnitsettu samræmdu botnendurköstunum voru reiknaðar þrjár afurðir. Í fyrsta lagi hæðarlíkan sem sýnir hæð lægra endurkasts af tveimur þar sem báðar mælingar gáfu líklegt botnendurkast auk hæðar á einskiptisbotnendurköstum (bláir og rauðir punktar á 21. mynd, a-hluta). Gera má ráð fyrir að þessi hæð svari víðast hvar til fast lands undir jökli (21. mynd, b-hluti). Þó ber þess að geta að þar sem vatn er undir jökli þegar báðar mælingar voru gerðar næst slík landhæðarmæling ekki.

Hinar tvær afurðirnar eru kort sem sýna frávík mælingar hvers árs frá lægra botnendurkasti og tekur því annað hvort gildið 0 eða jákvætt gildi (21. mynd, c og d-hluti). Þessar myndir voru einungis reiknaðar út frá þeim gögnum þar sem endurkast var skráð bæði árin og þar sem lengra en 20 metrar er í slíkan mælipunkt eru eyður í myndunum. Einfaldasta túlkun á þessu er sú að þær sýni breytingar á vatnsgeymum milli ára sem að miklu leyti eru tilkomnar vegna jarðhitavirkni við botn. Einnig mætti hugsa sér að sumar þessar breytingar séu vegna vatnsfylltra botnsprungna þó ekki sé ljóst hvers vegna breyting hefði átt að verða á þeim frá vori 2013 til vors 2014. Eins og sést á 21. mynd eru frávikin frá lægri stöðu mun meiri vorið 2013. Ekki er um eitt stakt stórt svæði að ræða undir katlinum heldur nokkur lítil. Stærðir svæða sem sýna frávík eru jafnan um eða undir 100 m á lengd og breidd en allt að 30 m há. Hér verður ekki reynt að skýra til fullnustu hvað gæti valdið því að vatnsgeymar eru litlir og dreifðir. Líklega er þetta þó til marks um dreifingu jarðhitans undir katlinum og að litlir afmarkaðir geymar myndist þar sem jarðhiti kemur upp undir jökulinn, í dreifðum gufu eða vatnsaugum eins og á flestum opnum jarðhitasvæðum.

Ef gert er ráð fyrir að fráviksmyndirnar segi til um breytingar á vatnsgeymum við jökubotn má segja að þeir geymar sem minnkuðu frá 2013 til 2014 töpuðu um 1.2 Gl (tegrað gildi fyrir 21. mynd, c) en þeir sem uxu milli ára bættu við sig 0.7 Gl (tegrað gildi fyrir 21. mynd, d). Þessum tölum skal tekið með fyrirvara þar sem hér eru einnig tegraðar upp mæli og reikningssekkjur. Hins vegar segir þetta okkur að mögulegar breytingar í vatnsgeymslu undir svæðinu undir katlinum eru litlar eða einungis um 0.5 Gl. Tekið skal fram að þó að túlka megi breytingarnar sem umtalsverða minnkun á vatnsgeymum milli ára þýðir það ekki endilega að vatnsgeymir hafi að öllu leyti horfið. Sem dæmi þá sést talsverð bunga út úr fjallshlíð í botnhæðarkorti (21. mynd, b-hluti) þar sem stærsta breytingin sést frá 2013 til 2014 (21. mynd, c-hluti). Þetta gæti verið vísbending um að þar hafi einnig verið vatn vorið 2014, bara í talsvert minna mæli. Almenn minnkun vatnsgeyma milli ára gæti samræmst því sem við sjáum sem yfirborðsbreytingu á kötlunum. Minni vatnsgeymar vorið 2014 gæti líkt og snögg grynnkun

ketilsins frá 2014 til 2015 verið afleiðing minni botnbráðunar sem þegar hafði dregið úr vorið 2014.

Gagnsemi íssjármælinga til vöktunar á sigkötlum

Ef skoðuð eru endurteknu íssjárnsniðin mígreruð í tveimur víddum sést þó nokkur breytileiki í hæð endurkastflata við jökulbotn (3.-19. mynd). Úrvinnsla þéttmældu íssjárnsniðanna yfir katli 16 vorið 2013 og 2014 gefur til kynna breytingar á stærðum nokkurra lítilla vatnsgeyma undir katlinum en ekki einum stórum geymi. Telja verður líklegt að svipuð ferli eigi sér stað undir hinum kötlunum og orsaki þann breytileika sem sést í endurteknu sniðmælingunum undir flestum kötlunum. Ljóst er að eitt til tvö endurtekin íssjárnsnið yfir sigketil munu ekki nýtast til að vakta slíkar breytingar. Ekki er víst að sniðin liggi þannig að dreifðir vatnsgeymar greinist í tilteknu íssjárnsniði því ekki virðist sjálfgefið að þeir myndist undir miðju ketils m.v. niðurstöður úr katli 16 (21. mynd). Endurteknu tvívítt mígreruðu íssjárnsniðin sem mæld voru þvert á þétu sniðin sýndu ekki allan breytileikann í hæð endurkastflata eftir sniðunum sem þrívítt mígreruð sniðin sýna (24. mynd). Það frávik sem ekki sást í tvívítt mígreruðu sniðunum (staðsetning merkt með C á kortum og sniðum í 24. mynd) en greinist í þrívítt mígreruðu sniðunum er líklega mjór vatnsgeymir, varla meira en 30 m breiður. Líklegt er að slíkur geymir með bröttum veggjum og takmörkuðum þakfleti endurkasti litlum hluta rafsegulbylgju aftur upp í átt að ísjármóttakara. Hversu mikið berst upp ræðst í þeim tilfellum að hluta til af því í hvaða stefnu snið er mælt yfir geyminn.

Báðar íssjármæliaðferðir sem hér fjallað um hafa takmarkað vöktunargildi til að skoða þau ferli að jafnaði eiga sér stað undir kötlunum. Önnur vegna þess að upplýsingar sem hún gefur eru of takmarkaðar hin vegna þess að hún er of tímafrek til að hægt sé að beita henni kerfisbundið og reglulega til vöktunar á sigkötlum Mýrdalsjökuls. Seinni aðferðarin virðist hins vegar vera mjög áhugaverð í þeim tilgangi að rannsaka hvernig vatnsgeymar undir sigkötlum þróast. Þau ferli sem að jafnaði eiga sér stað undir sigkötlum skapa hins vegar litla sem enga flóðahættu eru því ekki áhugaverð til vöktunar. Það sem þarf hins vegar að vakta er hvort eitthvað óvenjulegt sé að gerast undir kötlunum, hvort atburður eins og sá sem átti sér stað í júlí 2011 sé í aðsigi. Sá atburður virtist hafa aðdraganda hvað varðar vatnssöfnun m.v. yfirborðsmælingar sem gerðar voru yfir katli 16 og víðar 3 dögum fyrir hlaup. Vatnssöfnun sem skapar hættu á flóðum af svipaðri stærð og þá (eða stærri) myndi greinast í íssjárnsniðum. Sem dæmi um breytingar sem sjást í íssjárnsniðum sem gæti svipað til slíkrar vatnssöfnunar eru sýnd endurtekin íssjárnsnið yfir

Eystri Skaftárketillinn (25. mynd). Þessi snið voru mæld og unnin á sama hátt og gert var fyrir endurteknu sniðin yfir katla Mýrdalsjökuls (3.-19. mynd). Fyrri tvö sniðin voru mæld 16 og 4 mánuðum fyrir hlaup undan katlinum sem varð haustið 2015. Síðasta sniðið var mælt 8 mánuðum eftir það hlaup. Á sniðunum sem sýnd eru (þau eru hluti stærra gagnasafns) sjást verulegar breytingar í hæðum endurkastsflata við jökulbotn (allt að 100 m) bæði í aðdaganda og sem afleiðing af hlaupinu sem endurspeglar breytingar í stærð vatnsgeyma. Sterk endurköst hnitsett á myndunum koma frá skilum vatns og íss annars vegar og skilum lands og íss hins vegar.

Framhald íssjárrannsókna og vöktunar á sigkötlum Mýrdalsjökuls

Segja má að ný kaflaskil hafi orðið í rannsóknum á sigkötlum Mýrdalsjökuls vorið 2016 þegar verkefnið Katla Kalda hófst en það er styrkt er af Rannsóknasjóði Rannís. Þar með var tryggt fjármagn til að halda áfram þeim rannsóknum sem hófust með aðstoð Rannsóknasjóðs Vegagerðarinnar. Nú þegar hafa verið farnar þrjár mæliferðir þar sem gerðar voru íssjármælingar í sigkötlunum og víðar. Í þeirri fyrstu, í maí 2016, var Kötluskjan öll endurmæld með um tvöfalt þéttari sniðum að jafnaði en áður hafði verið gert (Helgi Björnsson o.fl. 2000). Katlasvæðin voru mæld enn þéttar til að fá þar heilsteyptari mynd af landinu sem jökullinn þekur. Búið er að vinna úr öll sniðmælingum, sem nýtast til botnkortlaningar, og aflað hefur verið á tímabilinu maí 2012 til febrúar 2017 (26. mynd). Botnendurköst hafa verið hnitsett og nýtt bráðarbirgðarkort af Kötluskjunninni hefur þegar verið unnið (27. mynd). Endanleg vinnsla og yfirferð botnkortsins bíður betri tíma.

Með tilkomu Kötluskjölds var einnig tryggt að vöktun á sigkötlunum heldur áfram og í því skyni hefur íssjármælihringurinn yfir sigkatlana verið uppfærður (28. mynd) og legu mælilína sum staðar breytt. Þetta varð gert bæði til að laga legu sniðanna að breytingum í staðsetingu ketilmiðja en líka til að ná mælingum yfir katla sem nýlega voru uppgvötvaðir. Í síðustu ferð sem farin var 18.-21. maí 2017 var aflað þéttara mælisniða til að vinna úr með þrívíðri mίgreringu yfir kötlum 6, 7, 10 og 11 sem ætlunin er að endurtaka þegar kostur gefst næst vetur eða vor (29. mynd). Að auki var bætt við þriðja þetta mælisafninu fyrir ketil 16.

Þakkir

Þessi rannsókn var styrkt af Rannsóknasjóði Vegagerðarinnar (verkefnið *Hvað sýna íssjármælingar undir sigkötlum Mýrdalsjökuls* auk eldri styrkveitinga) og Rannsóknasjóði Rannís (verkefnið *Katla kalda*). Íssjárrannsóknir á Skaftárkötlum eru styrktar af Almannavarnadeild Ríkislögreglustjóra en mælingarnar Skaftárkötlum voru gerðar í vorferð Jöklarannsóknafélags Íslands. WorldView 2 hæðarlíkan sem notað var í þessa rannsókn var aflað sem hluti af ArcticDEM verkefninu. Pléiades hæðarlíkon sem notuð voru í þessu verkefni voru niðurgreidd sem rannsóknargögn í gegnum CNES ISIS verkefnið. Laurent Mingo er sérstaklega þakkað fyrir þróun og smíði íssjármælibúnaðs sem notaður hefur verið við íssjármælingar á Mýrdalsjökli. Sveinbirni Steinþórssyni, Ágústi Þ. Gunnlaugssyni sem og öðrum þáttakendum í mæliferðum á Mýrdalsjökul er kærlega þakkað fyrir þeirra framlag.

Heimildir

Helgi Björnsson, Finnur Pálsson, Magnús Tumi Guðmundsson. 2000. Surface and bedrock topography of the Mýrdalsjökull ice cap, Iceland: The Katla caldera, eruption sites and routes of jökulhlaups. *Jökull* 49, 29-46.

Tómas Jóhannesson, Helgi Björnsson, Eyjólfur Magnússon, Sverrir Guðmundsson, Finnur Pálsson, Oddur Sigurðsson, Thorsteinn Thorsteinsson og Etienne Berthier. 2013. Ice-volume changes, bias-estimation of mass-balance measurements and changes in subglacial water bodies derived by LiDAR-mapping of the surface of Icelandic glaciers. *Annals of Glaciology*, 54(63), 63-74.

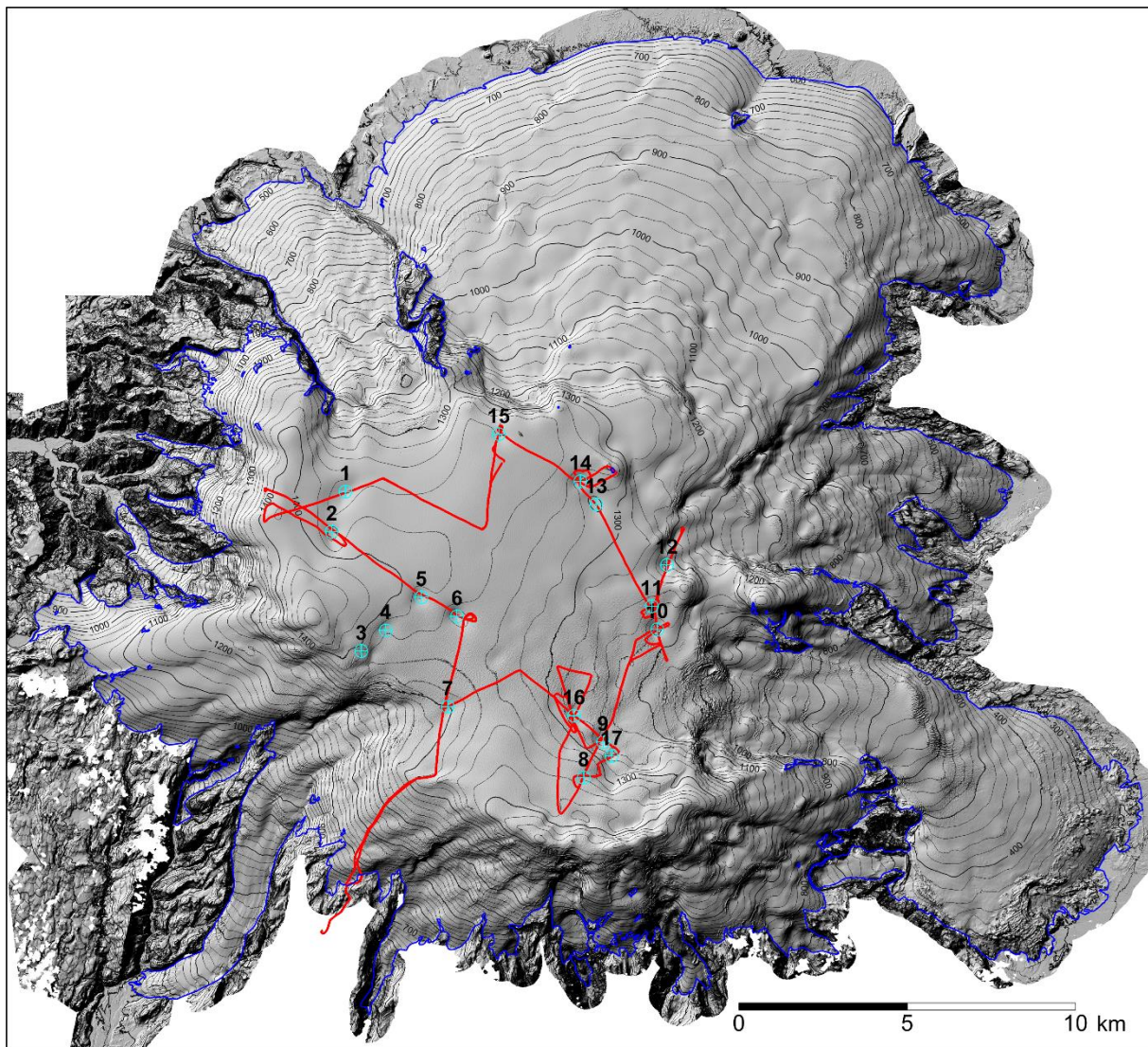
Eyjólfur Magnússon, Magnús Tumi Guðmundsson, Finnur Pálsson og Þórdís Högnadóttir. Niðurstöður íssjármælinga í kötlum Mýrdalsjökls í maí 2014 og júní 2015, Jarðvísindastofnun Háskólans, 18 bls.

Eyjólfur Magnússon, Joaquín M. C. Belart, Finnur Pálsson, Leif S. Anderson, Ágúst Þ. Gunnlaugsson, Etienne Berthier, Hálfván Ágústsson and Áslaug Geirsdóttir. 2016. The subglacial topography of Drangajökull ice cap, NW-Iceland, deduced from dense RES-profiling. *Jökull*, 66, 1-26.

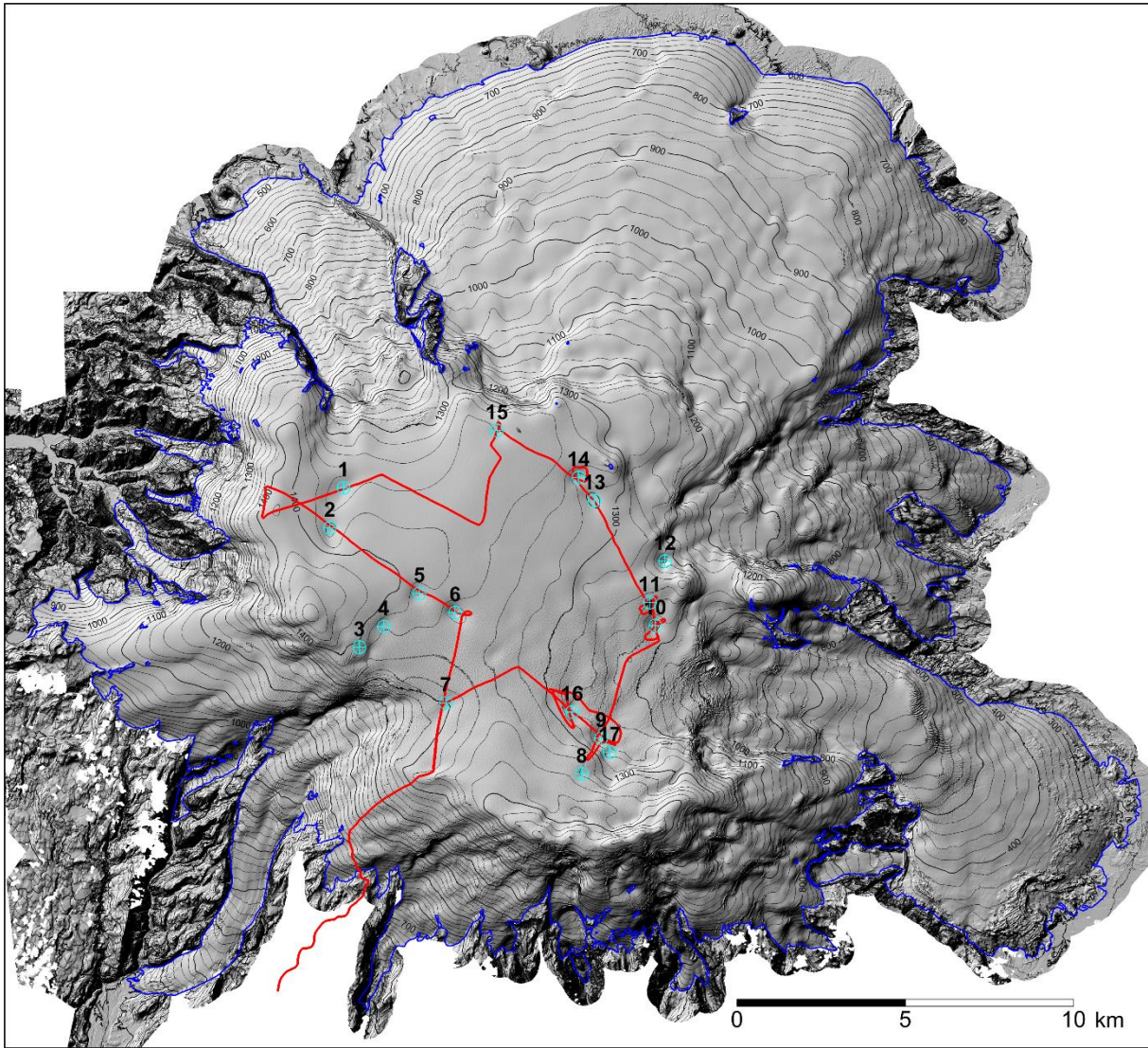
M.-J. Noh og I. M. Howat. 2015. Automated stereo-photogrammetric DEM generation at high latitudes: Surface Extraction with TIN-based Search-space Minimization (SETSM) validation

and demonstration over glaciated regions, *GIScience Remote Sens.*, 52(2), 198–217, doi:10.1080/15481603.2015.1008621.

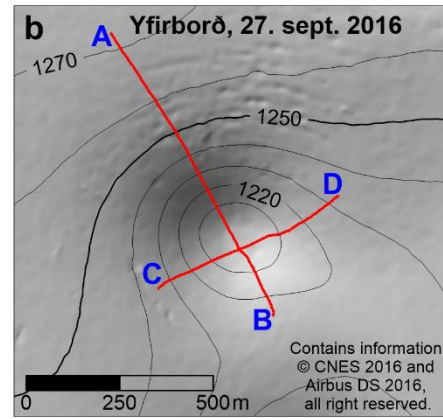
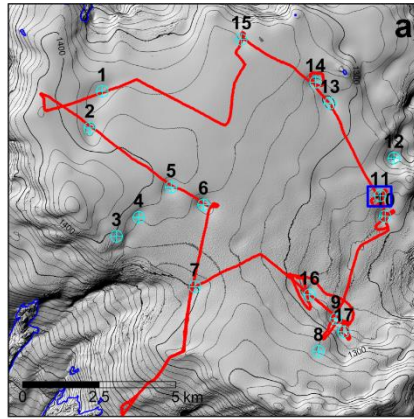
W. A. Schneider. 1978. Integral formulation for migration in two and three dimensions. *Geophysics*, 43, 49-76.



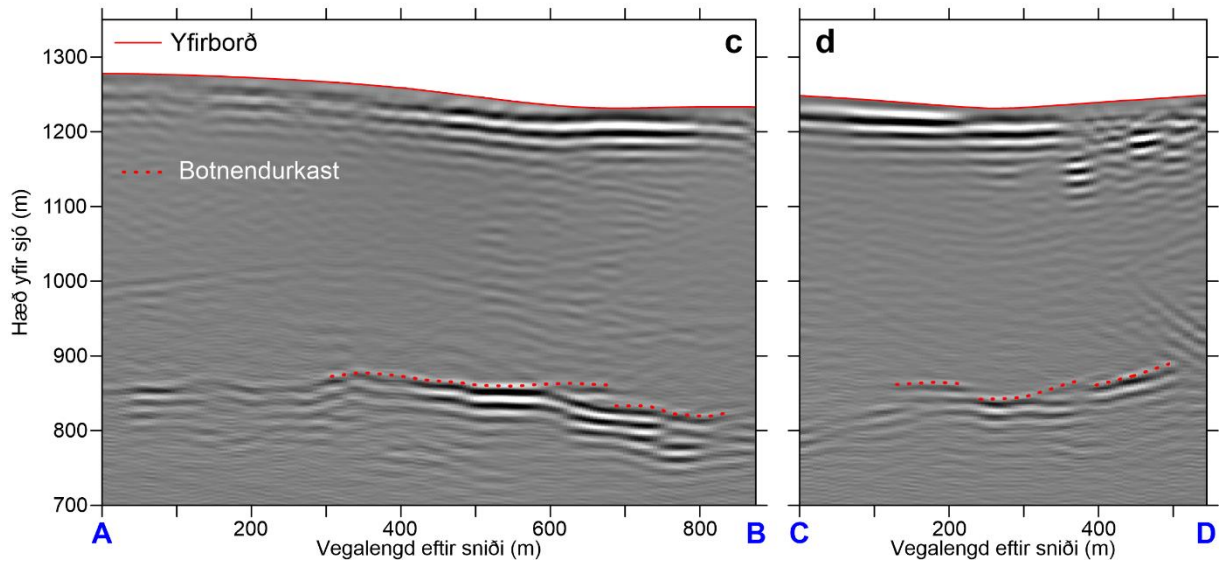
1. mynd. Íssjármælisnið (rauðar línur) á Mýrdalsjökli í fyrstu mæliferðinni 17. maí 2012. Ljósbláir hringkrossar sýna staðsetningu þekktra sigkatla á þeim tíma, ásamt númerum þeirra. Bakgrunnur er skuggamynd og hæðarlínukort (20 m hæðarlínubil) af jöklinum gert eftir hæðarlíkani af jöklinum mælt sumarið 2010 með leiserskönnun (lidar) úr flugvél (Tómas Jóhannesson o.fl., 2013). Bláar línur sýna jökuljaðar og afmarka jökulsker sumarið 2010.



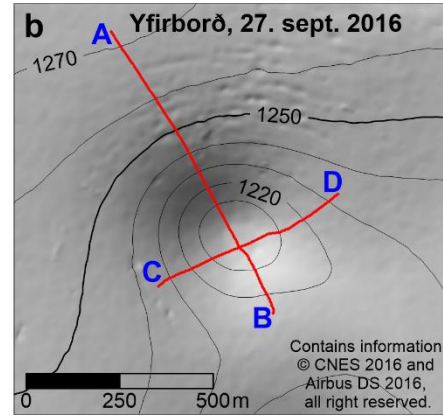
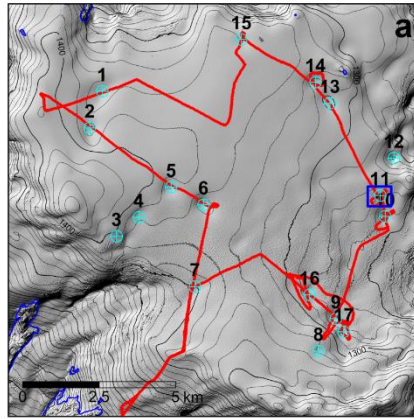
2. mynd. Íssjármælisnið (rauðar línur) á Mýrdalsjökli í annari mæliferðinni, 27. nóvember 2012.



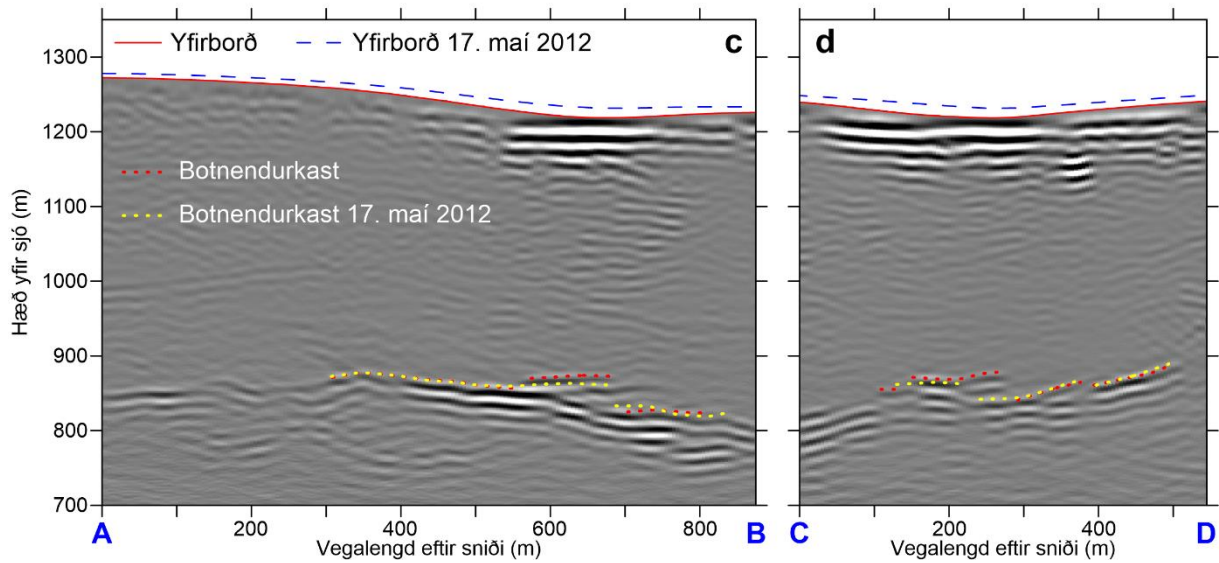
K-11, 17. maí 2012



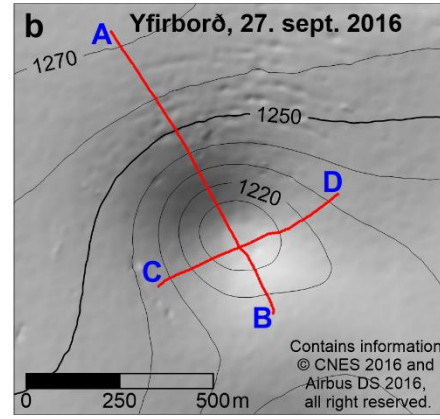
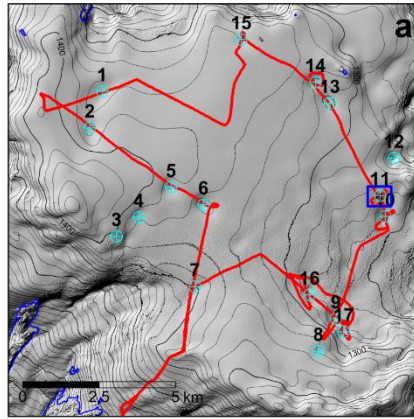
3. mynd. Íssjarmælisnið í katli 11 (staðsetning sýnd með bláum kassa á **a**) mæld þann 17. maí 2012. Á **b** sést lega sniða frá A til B annars vegar og C til D hins vegar. Hæðarlíkan frá 27. september 2016, unnið út frá Pleíades gervihnattaljósmyndum, er í bakgrunni sem hæðarlínukort (10 m hæðarlínubíll) og skuggamynd. **c** og **d** sýna íssjárnsnið frá A til B annars vegar og C til D hins vegar. Búið er að mýgrera sniðin í tveimur víddum (sjá megingtexta) og varpa þeim í hæð yfir sjó. Rauðar línur sýna yfirborðshæð þegar mælingin var gerð og punktalínur líkleg endurköst frá jökulbotni (neðri mörkum jökulíss) undir sigkatli.



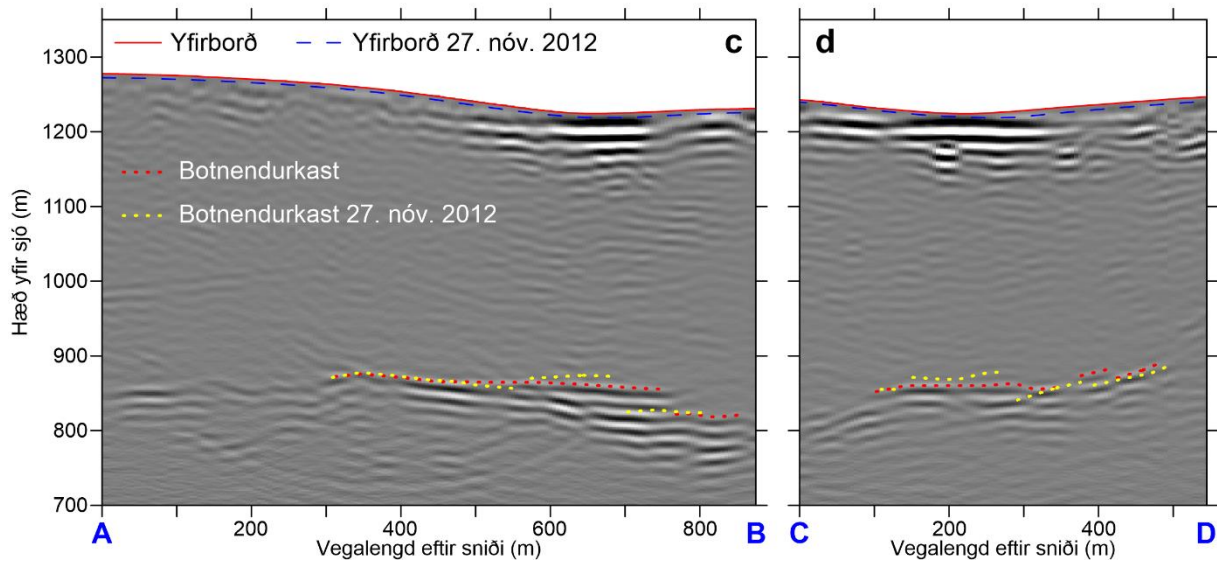
K-11, 27. nóv. 2012



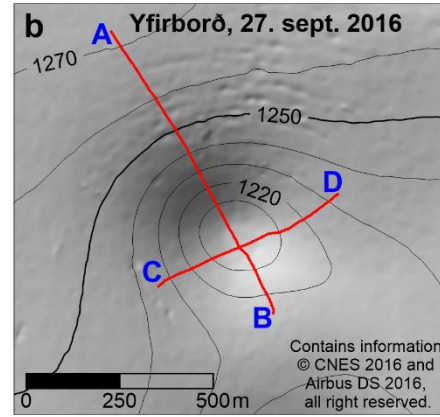
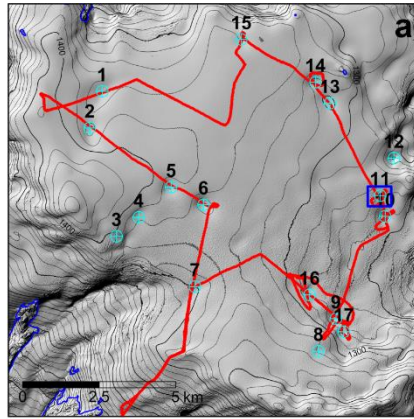
4. mynd. Íssjarmælisnið í katli 11 (sjá **a**) mæld 27. nóvember 2012. **c** og **d** sýna íssjárnsnið frá A til B annars vegar og C til D hins vegar (lega sýnd á **b**) sem búið er að mígrera í tveimur víddum og varpa í hæð yfir sjó. Rauðar línur sýna yfirborðshæð þegar mælingin var gerð og rauðar punktalínur líkleg endurköst frá jökulbotni undir sigkatli. Til samanburðar er yfirborðshæð (blá brotalína) og líklegt botnendurkast undir katlinum í síðustu mælingu á undan (17. maí 2012).



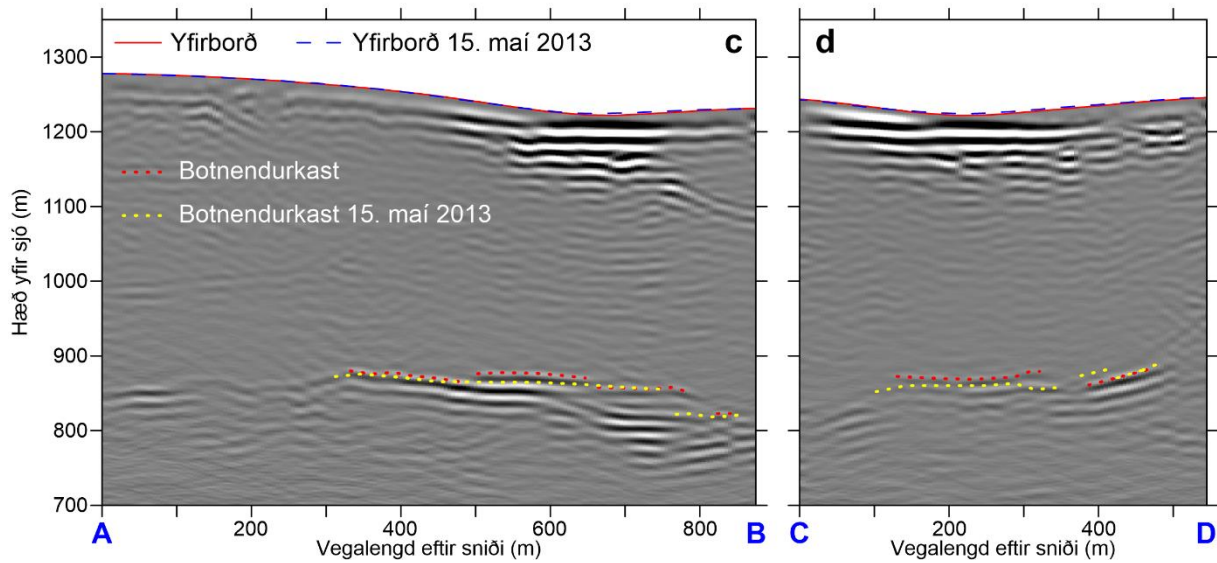
K-11, 15. maí 2013



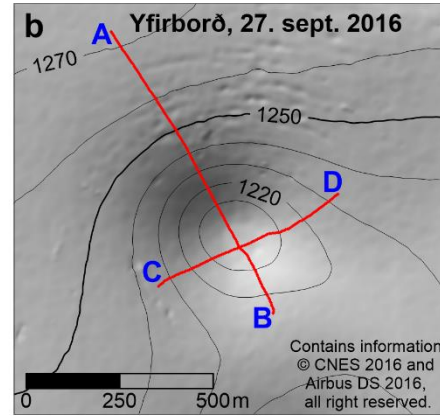
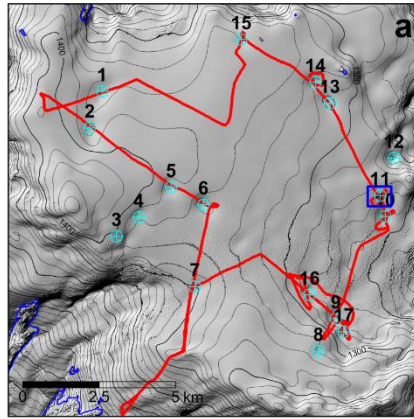
5. mynd. Íssjarmælisnið í katli 11 (sjá **a**) mæld 15. maí 2013. **c** og **d** sýna íssjárnsnið frá A til B annars vegar og C til D hins vegar (lega sýnd á **b**) sem búið er að mýgrera í tveimur víddum og varpa í hæð yfir sjó. Rauðar línur sýna yfirborðshæð þegar mælingin var gerð og rauðar punktalínur líkleg endurköst frá jökulbotni undir sigkatli. Til samanburðar er yfirborðshæð (blá brotalína) og líklegt botnendurkast undir katlinum í síðustu mælingu á undan (27. nóvember 2012).



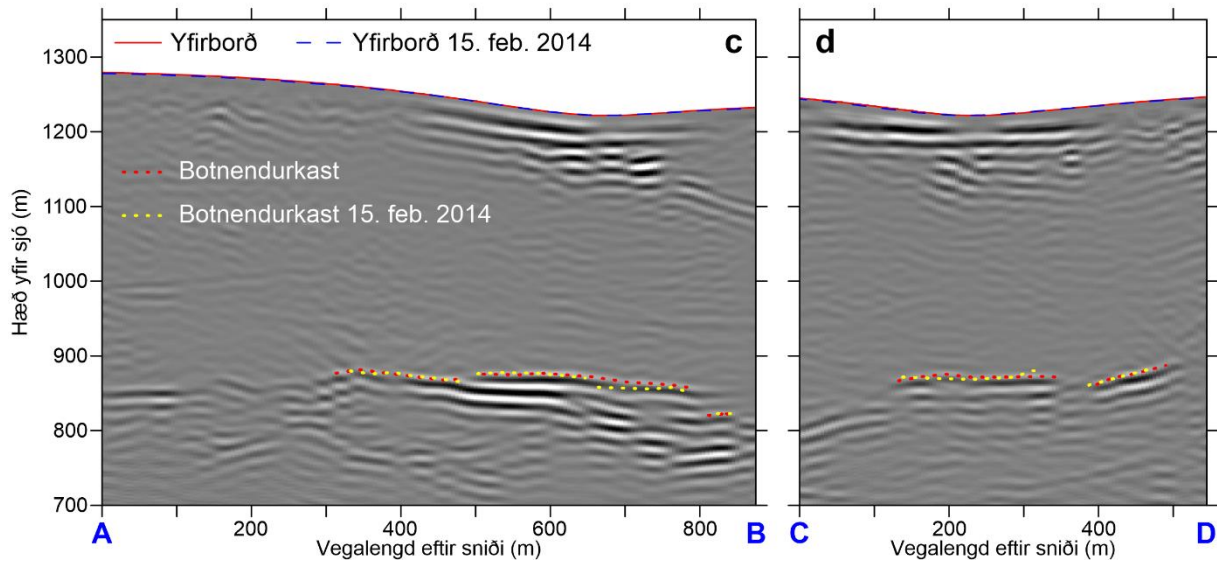
K-11, 15. feb. 2014



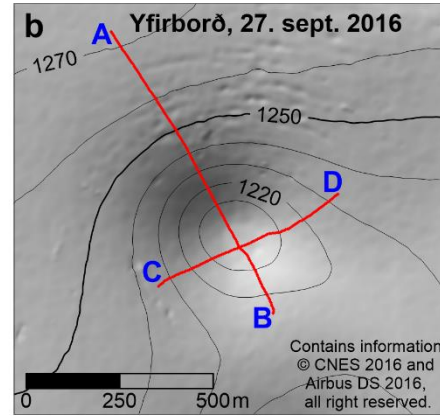
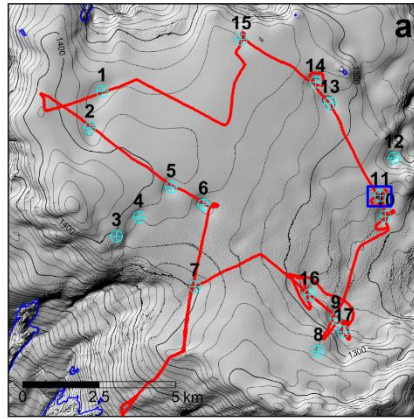
6. mynd. Íssjarmælisnið í katli 11 (sjá **a**) mæld 15. febrúar 2014. **c** og **d** sýna íssjárnsnið frá A til B annars vegar og C til D hins vegar (lega sýnd á **b**) sem búið er að mýgrera í tveimur víddum og varpa í hæð yfir sjó. Rauðar línur sýna yfirborðshæð þegar mælingin var gerð og rauðar punktalínur líkleg endurköst frá jökulbotni undir sigkatli. Til samanburðar er yfirborðshæð (blá brotalína) og líklegt botnendurkast undir katlinum í síðustu mælingu á undan (15. maí 2013).



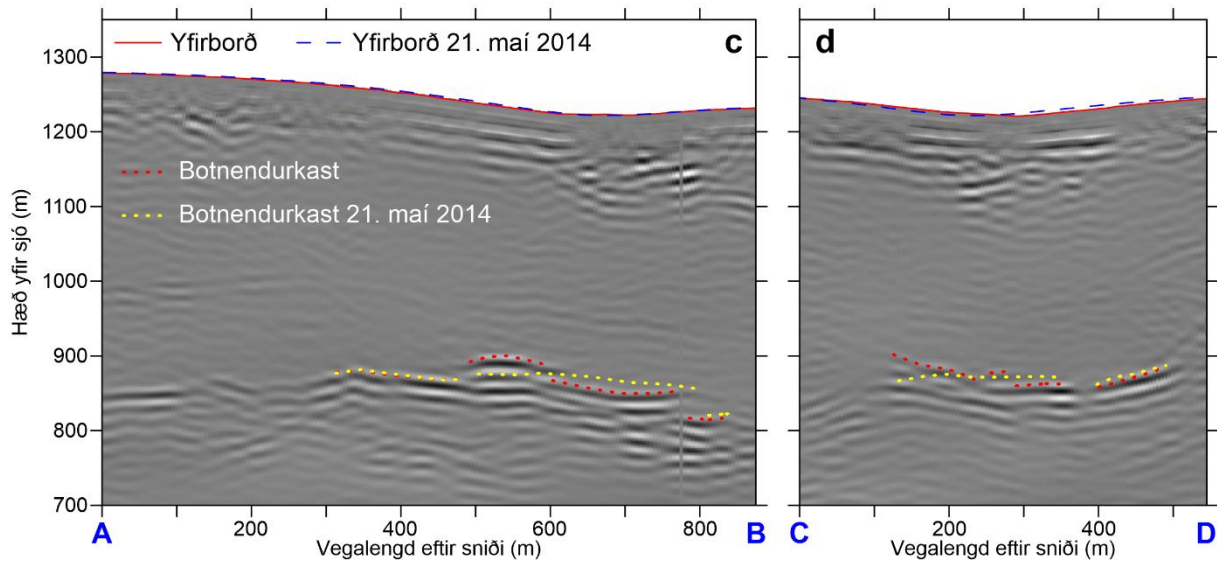
K-11, 21. maí 2014



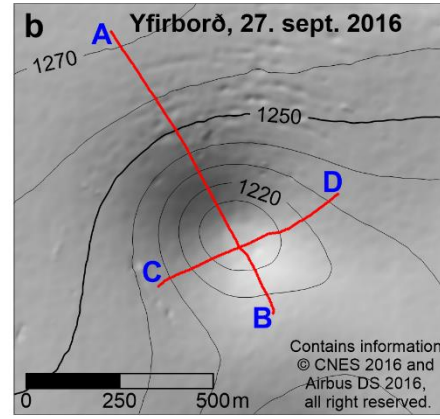
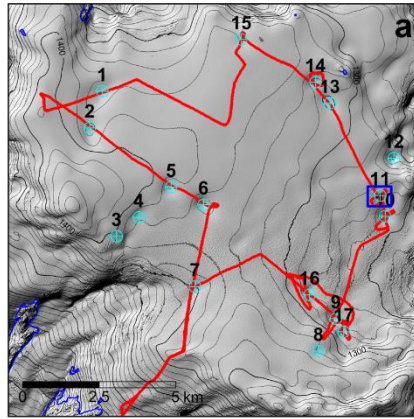
7. mynd. Íssjarmælisnið í katli 11 (sjá **a**) mæld 21. maí 2014. **c** og **d** sýna íssjárnsnið frá A til B annars vegar og C til D hins vegar (lega sýnd á **b**) sem búið er að mýgrera í tveimur víddum og varpa í hæð yfir sjó. Rauðar línur sýna yfirborðshæð þegar mælingin var gerð og rauðar punktalínur líkleg endurköst frá jökulbotni undir sigkatli. Til samanburðar er yfirborðshæð (blá brotalína) og líklegt botnendurkast undir katlinum í síðustu mælingu á undan (15. febrúar 2014).



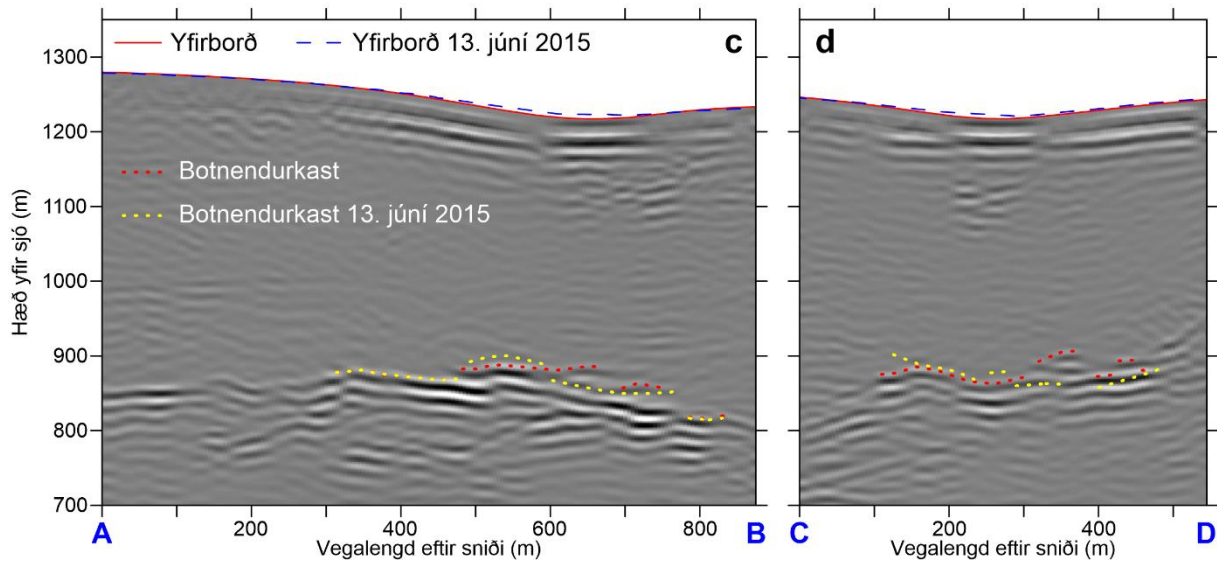
K-11, 13. júní 2015



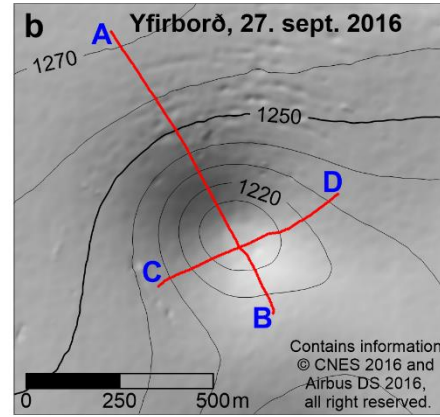
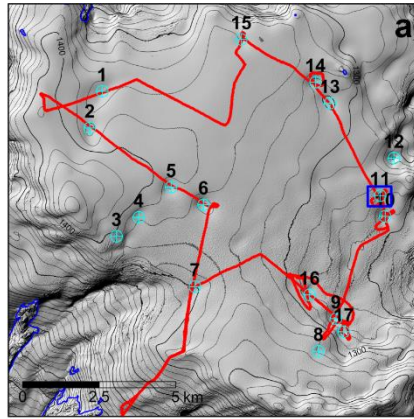
8. mynd. Íssjarmælisnið í katli 11 (sjá a) mæld 13. júní 2015. c og d sýna íssjárnsnið frá A til B annars vegar og C til D hins vegar (lega sýnd á b) sem búið er að mýgrera í tveimur víddum og varpa í hæð yfir sjó. Rauðar línur sýna yfirborðshæð þegar mælingin var gerð og rauðar punktalínur líkleg endurköst frá jökulbotni undir sigkatli. Til samanburðar er yfirborðshæð (blá brotalína) og líklegt botnendurkast undir katlinum í síðustu mælingu á undan (21. maí 2014).



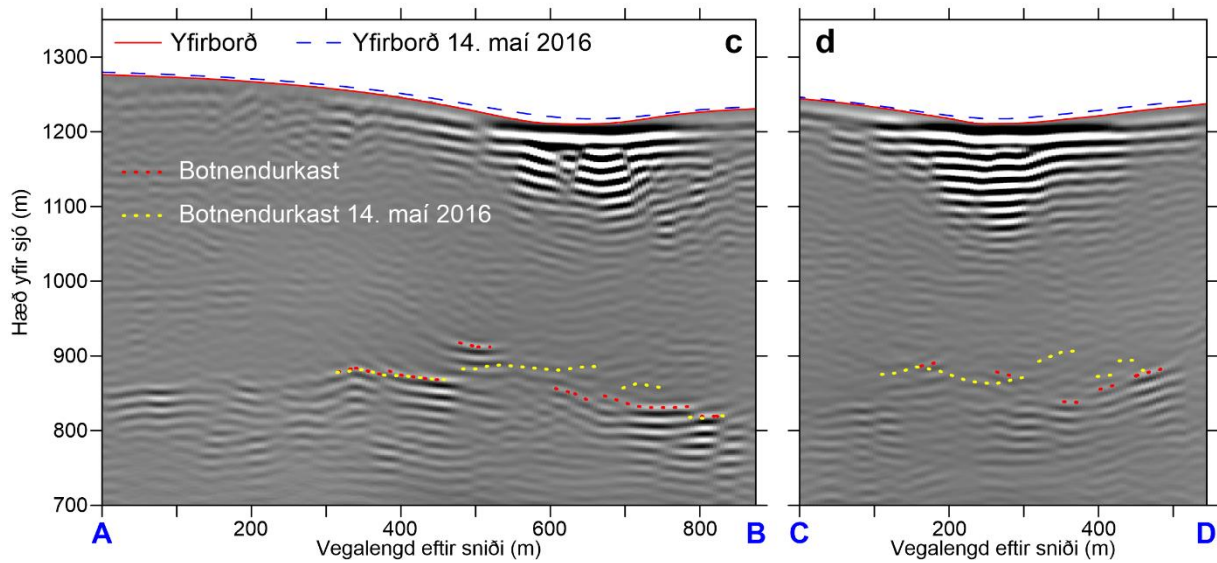
K-11, 14. maí 2016



9. mynd. Íssjarmælisnið í katli 11 (sjá **a**) mæld 14. maí 2016. **c** og **d** sýna íssjárnsnið frá A til B annars vegar og C til D hins vegar (lega sýnd á **b**) sem búið er að mýgrera í tveimur víddum og varpa í hæð yfir sjó. Rauðar línur sýna yfirborðshæð þegar mælingin var gerð og rauðar punktalínur líkleg endurköst frá jökulbotni undir sigkatli. Til samanburðar er yfirborðshæð (blá brotalína) og líklegt botnendurkast undir katlinum í síðustu mælingu á undan (13. júní 2015).

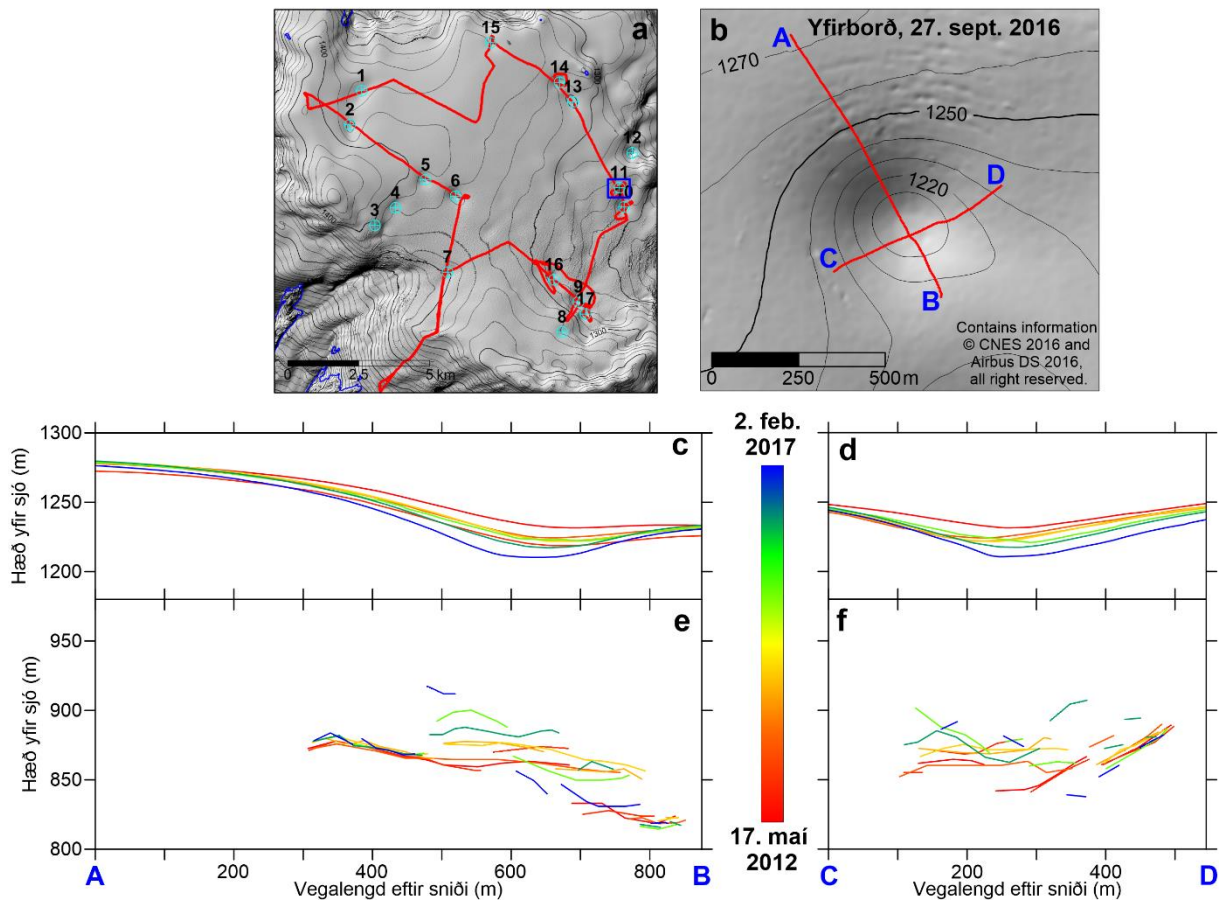


K-11, 2. feb. 2017

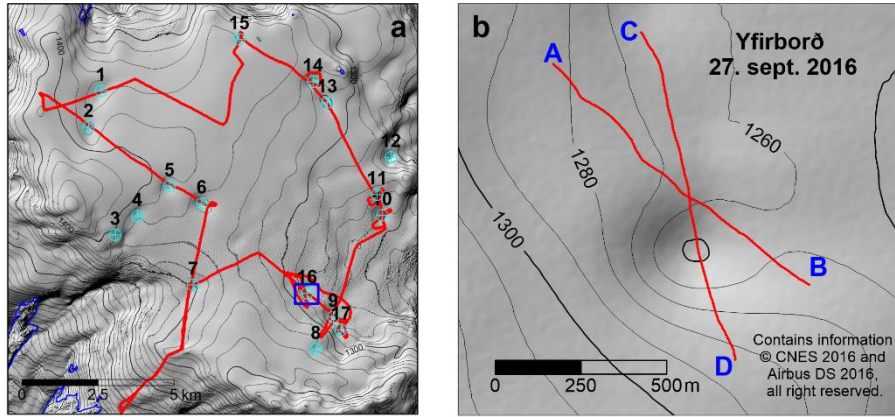


10. mynd. Íssjármælisnið í katli 11 (sjá a) mæld 2. febrúar 2017. c og d sýna íssjárnsnið frá A til B annars vegar og C til D hins vegar (lega sýnd á b) sem búið er að mígrera í tveimur víddum og varpa í hæð yfir sjó. Rauðar línur sýna yfirborðshæð þegar mælingin var gerð og rauðar punktalínur líkleg endurköst frá jökulbotni undir sigkatli. Til samanburðar er yfirborðshæð (blá brotalína) og líklegt botnendurkast undir katlinum í síðustu mælingu á undan (14. maí 2016).

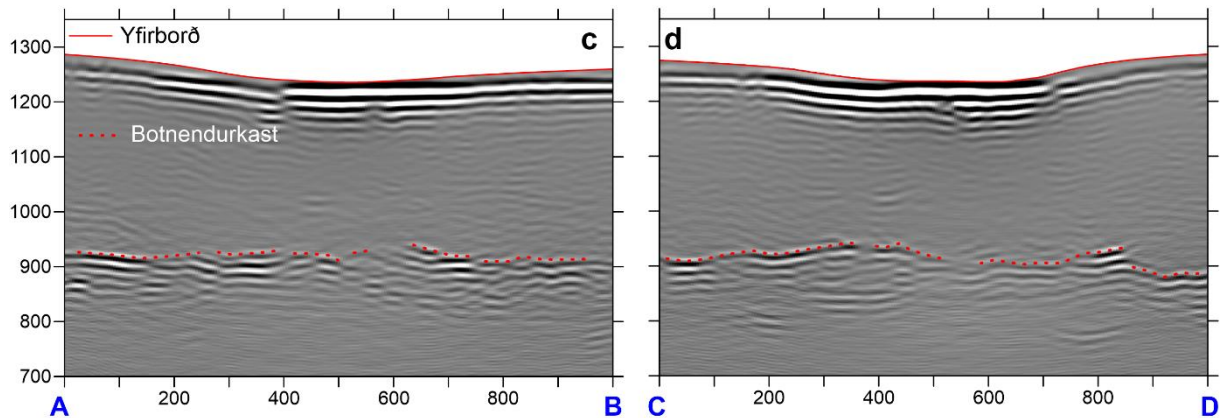
K-11



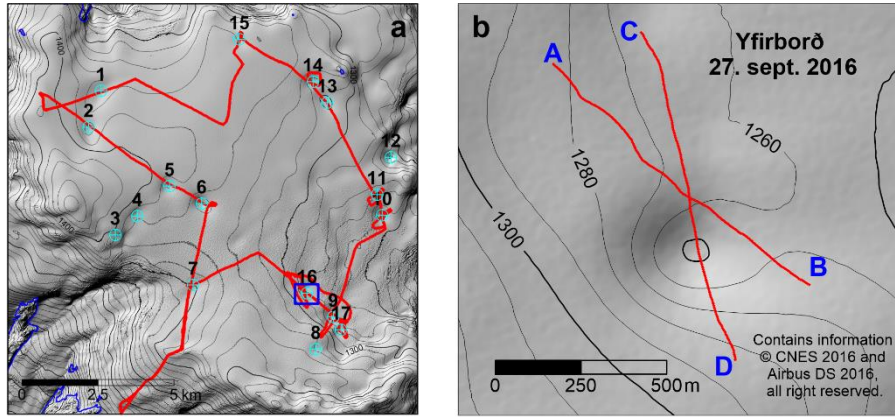
11. mynd. Samantekt á íssjár- og yfirborðshæðarsniðum mæld á tímabilinu 17. maí 2012 til 2. febrúar 2017 í katli 11 (sjá 3.-10. mynd). **c** og **d** sýna yfirborðshæðarsnið frá A til B annars vegar og C til D hins vegar (lega sýnd á **b**). **e** og **f** sýna hnitúð botnendurköst (neðri mörk jökulíss) eftir sömu sniðum. Litakvarði á milli mynda sýnir dagsetningu sniða á **c-f** þar sem eldrauður þýðir 17. maí 2012, gul og grænleitt svarar til miðbik tímabilisins og skærblár 2. febrúar 2017.



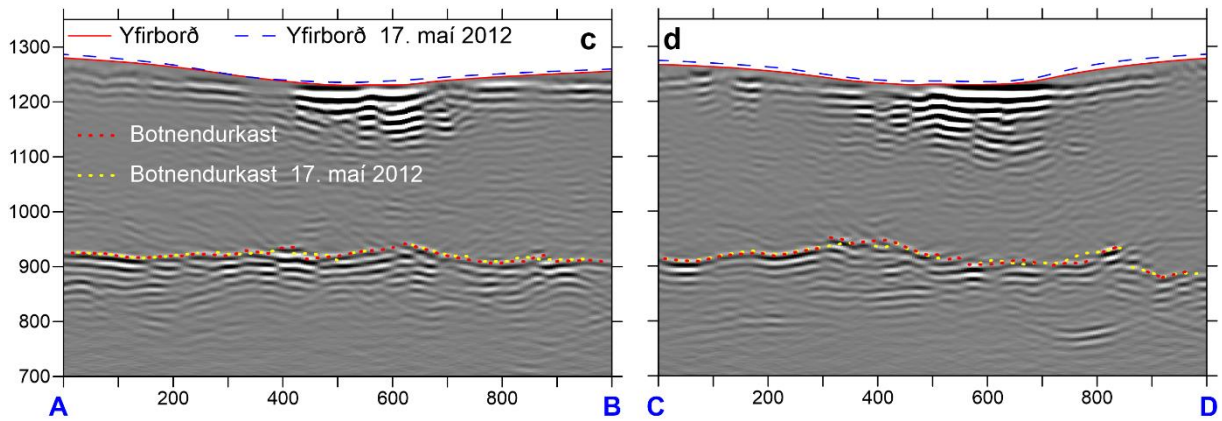
K-16, 17. maí 2012



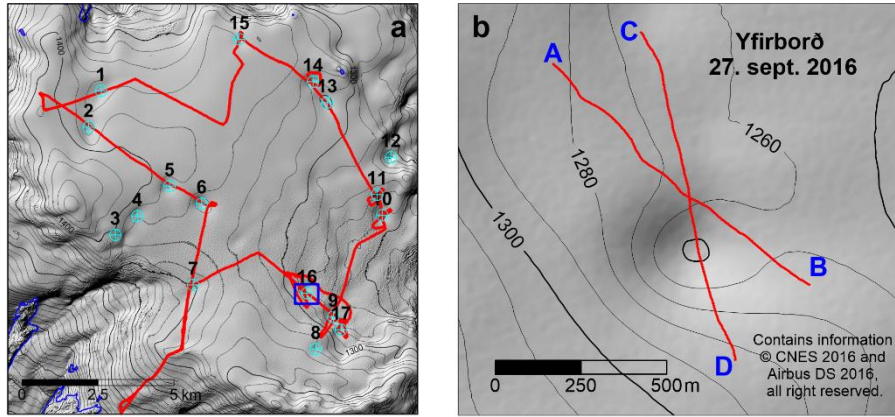
12. mynd. Íssjármælisnið í katli 16 (staðsetning sýnd með bláum kassa á **a**) mæld þann 17. maí 2012. Á **b** sést lega sniða frá A til B annars vegar og C til D hins vegar. Hæðarlíkan frá 27. september 2016, unnið út frá Pleíades gervihnattaljósmyndum, er í bakgrunni sem hæðarlínukort (10 m hæðarlínubil) og skuggamynd. **c** og **d** sýna íssjárnsnið frá A til B annars vegar og C til D hins vegar. Búið er að mígrera sniðin í tveimur víddum (sjá megingtexta) og varpa þeim í hæð yfir sjó. Rauðar línur sýna yfirborðshæð þegar mælingin var gerð og punktalínur líkleg endurköst frá jökulbotni (neðri mörkum jökulíss) undir sigkatli.



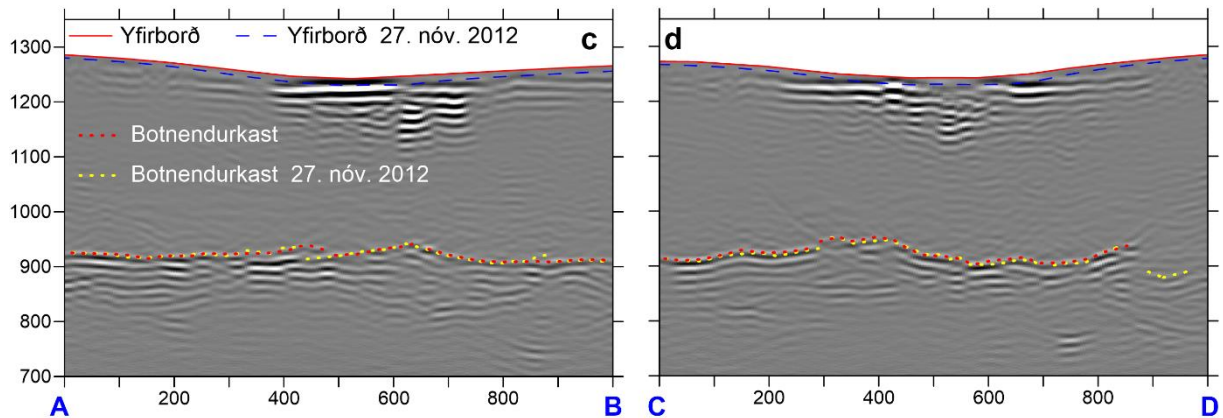
K-16, 27. nóv. 2012



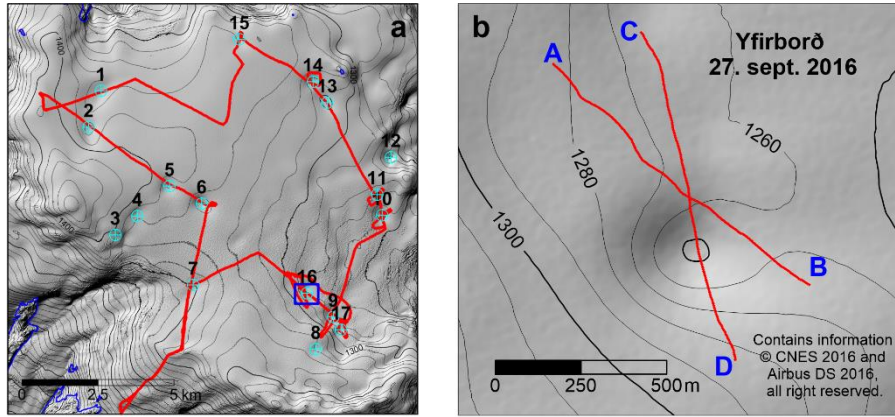
13. mynd. Íssjármælisnið í katli 16 (sjá a) mæld 27. nóvember 2012. c og d sýna íssjárnið frá A til B annars vegar og C til D hins vegar (lega sýnd á b) sem búið er að mýgrera í tveimur víddum og varpa í hæð yfir sjó. Rauðar línur sýna yfirborðshæð þegar mælingin var gerð og rauðar punktalínur líkleg endurköst frá jökulbotni undir sigkatli. Til samanburðar er yfirborðshæð (blá brotalína) og líklegt botnendurkast undir katlinum í síðustu mælingu á undan (17. maí 2012).



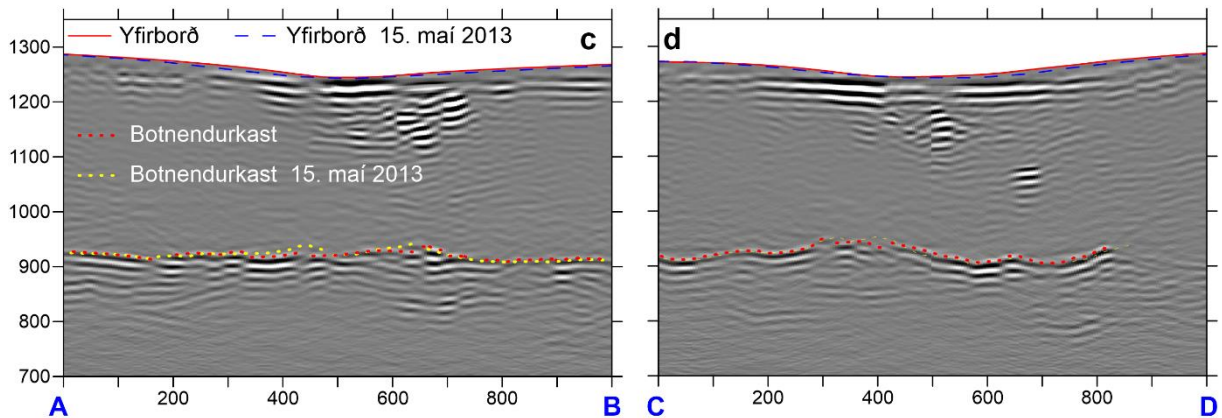
K-16, 15. maí 2013



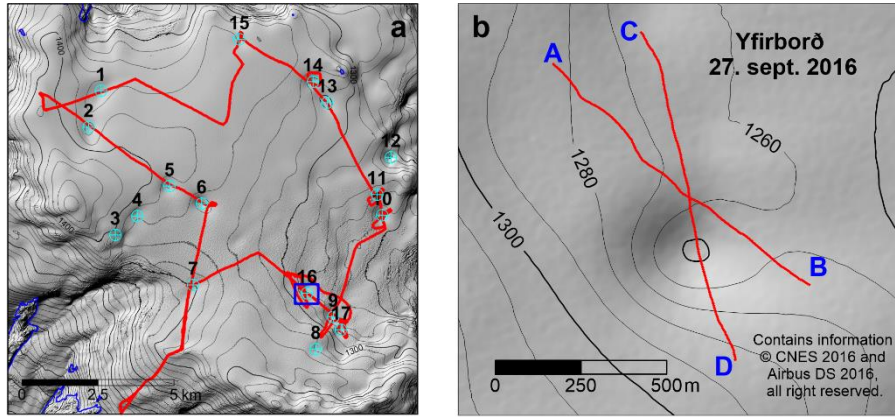
14. mynd. Íssjármælisnið í katli 16 (sjá **a**) mæld 15. maí 2013. **c** og **d** sýna íssjárnsnið frá A til B annars vegar og C til D hins vegar (lega sýnd á **b**) sem búið er að mýgrera í tveimur víddum og varpa í hæð yfir sjó. Rauðar línur sýna yfirborðshæð þegar mælingin var gerð og rauðar punktalínur líkleg endurköst frá jökulbotni undir sigkatli. Til samanburðar er yfirborðshæð (blá brotalína) og líklegt botnendurkast undir katlinum í síðustu mælingu á undan (27. nóvember 2012).



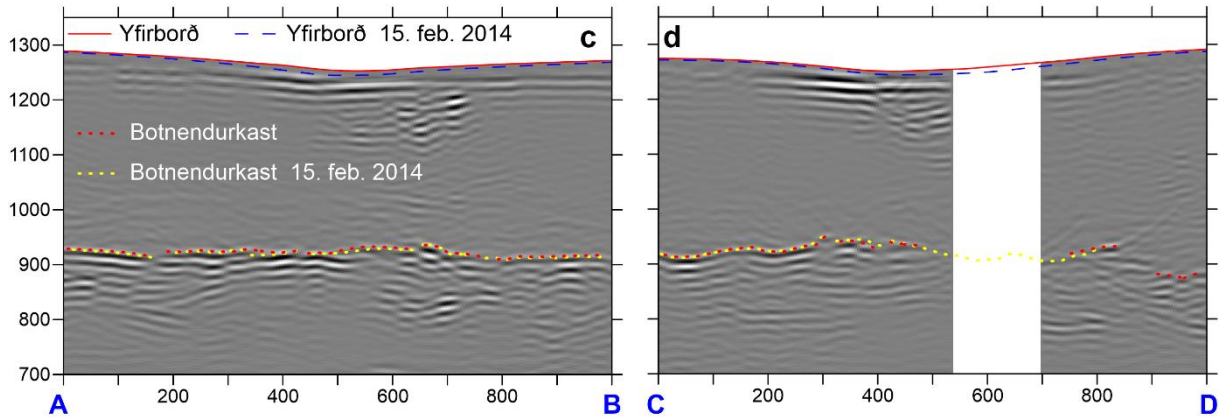
K-16, 15. feb. 2014



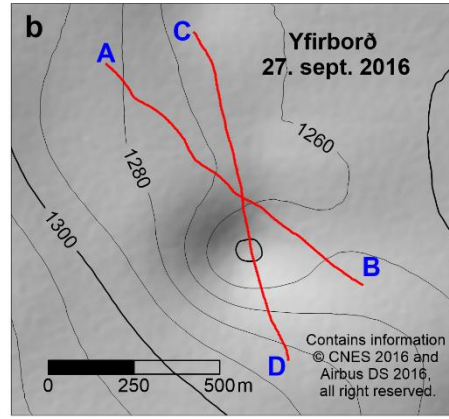
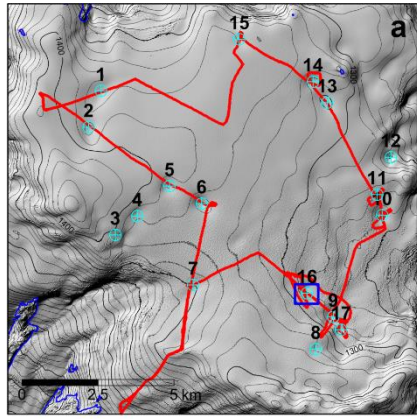
15. mynd. Íssjarmælisnið í katli 16 (sjá a) mæld 15. febrúar 2014. c og d sýna íssjárnsnið frá A til B annars vegar og C til D hins vegar (lega sýnd á b) sem búið er að mígrera í tveimur víddum og varpa í hæð yfir sjó. Rauðar línur sýna yfirborðshæð þegar mælingin var gerð og rauðar punktalínur líkleg endurköst frá jökulbotni undir sigkatli. Til samanburðar er yfirborðshæð (blá brotalína) og líklegt botnendurkast undir katlinum í síðustu mælingu á undan (15. maí 2013).



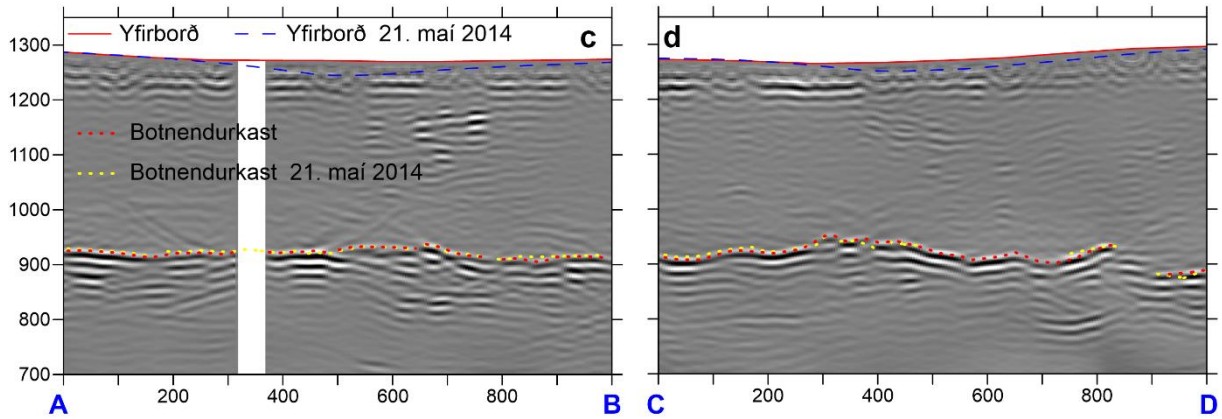
K-16, 21. maí 2014



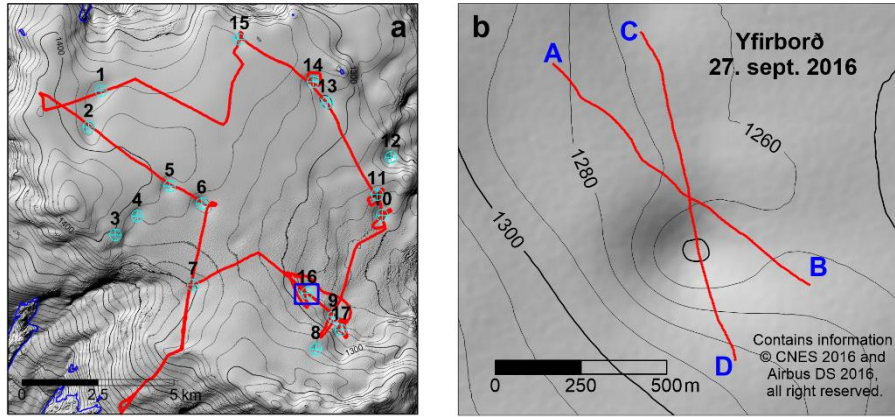
16. mynd. Íssjármælisnið í katli 16 (sjá **a**) mæld 21. maí 2014. **c** og **d** sýna íssjárnsnið frá A til B annars vegar og C til D hins vegar (lega sýnd á **b**) sem búið er að mýgrera í tveimur víddum og varpa í hæð yfir sjó. Rauðar línur sýna yfirborðshæð þegar mælingin var gerð og rauðar punktalínur líkleg endurköst frá jökulbotni undir sigkatli. Til samanburðar er yfirborðshæð (blá brotalína) og líklegt botnendurkast undir katlinum í síðustu mælingu á undan (15. febrúar 2014).



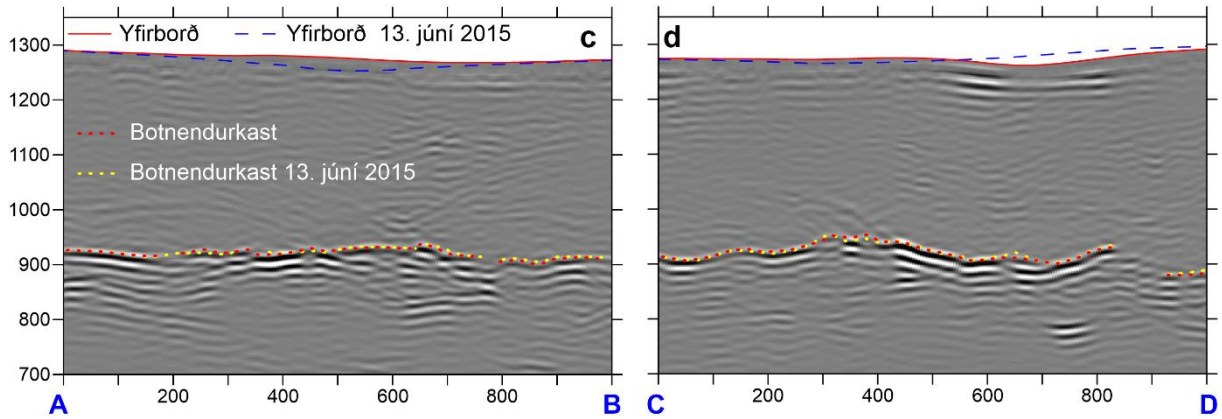
K-16, 13. júní 2015



17. mynd. Íssjármælisnið í katli 16 (sjá a) mæld 13. júní 2015. c og d sýna íssjárnsnið frá A til B annars vegar og C til D hins vegar (lega sýnd á b) sem búið er að mýgrera í tveimur víddum og varpa í hæð yfir sjó. Rauðar línur sýna yfirborðshæð þegar mælingin var gerð og rauðar punktalínur líkleg endurköst frá jökulbotni undir sigkatli. Til samanburðar er yfirborðshæð (blá brotalína) og líklegt botnendurkast undir katlinum í síðustu mælingu á undan (21. maí 2014).

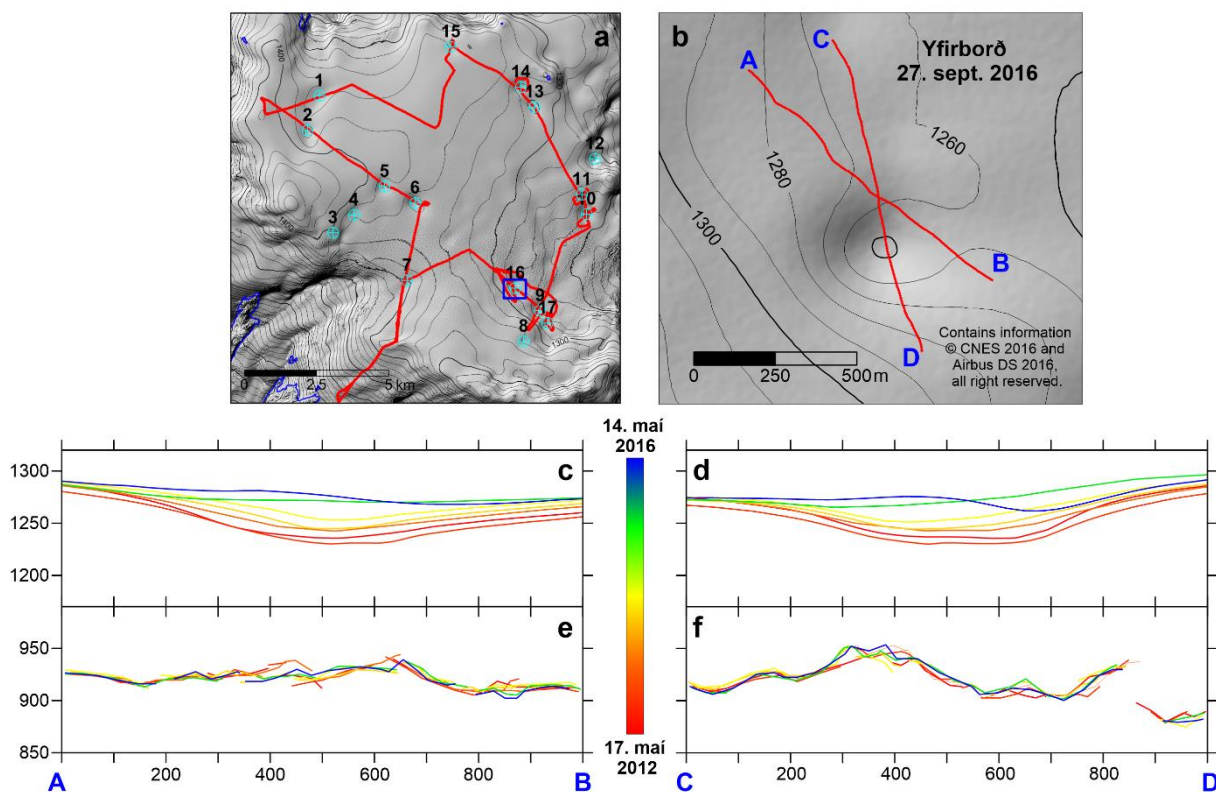


K-16, 14. maí 2016

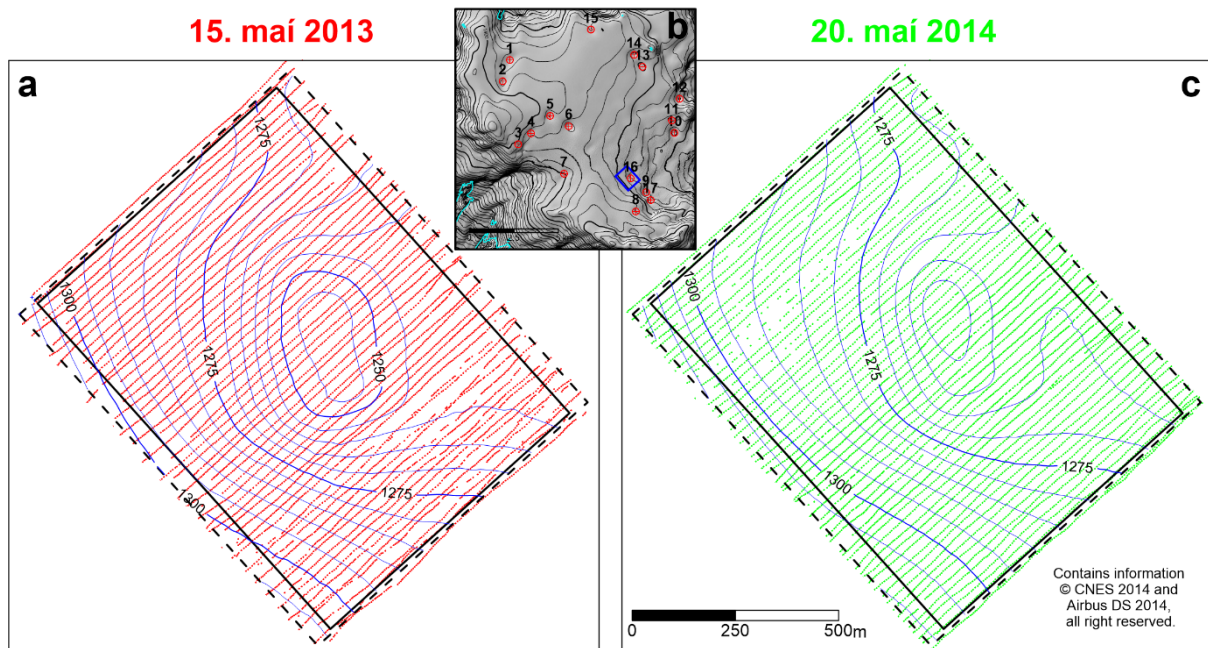


18. mynd. Íssjármælisnið í katli 16 (sjá **a**) mæld 14. maí 2016. **c** og **d** sýna íssjárnsnið frá A til B annars vegar og C til D hins vegar (lega sýnd á **b**) sem búið er að mýgrera í tveimur víddum og varpa í hæð yfir sjó. Rauðar línur sýna yfirborðshæð þegar mælingin var gerð og rauðar punktalínur líkleg endurköst frá jökulbotni undir sigkatli. Til samanburðar er yfirborðshæð (blá brotalína) og líklegt botnendurkast undir katlinum í síðustu mælingu á undan (13. júní 2015).

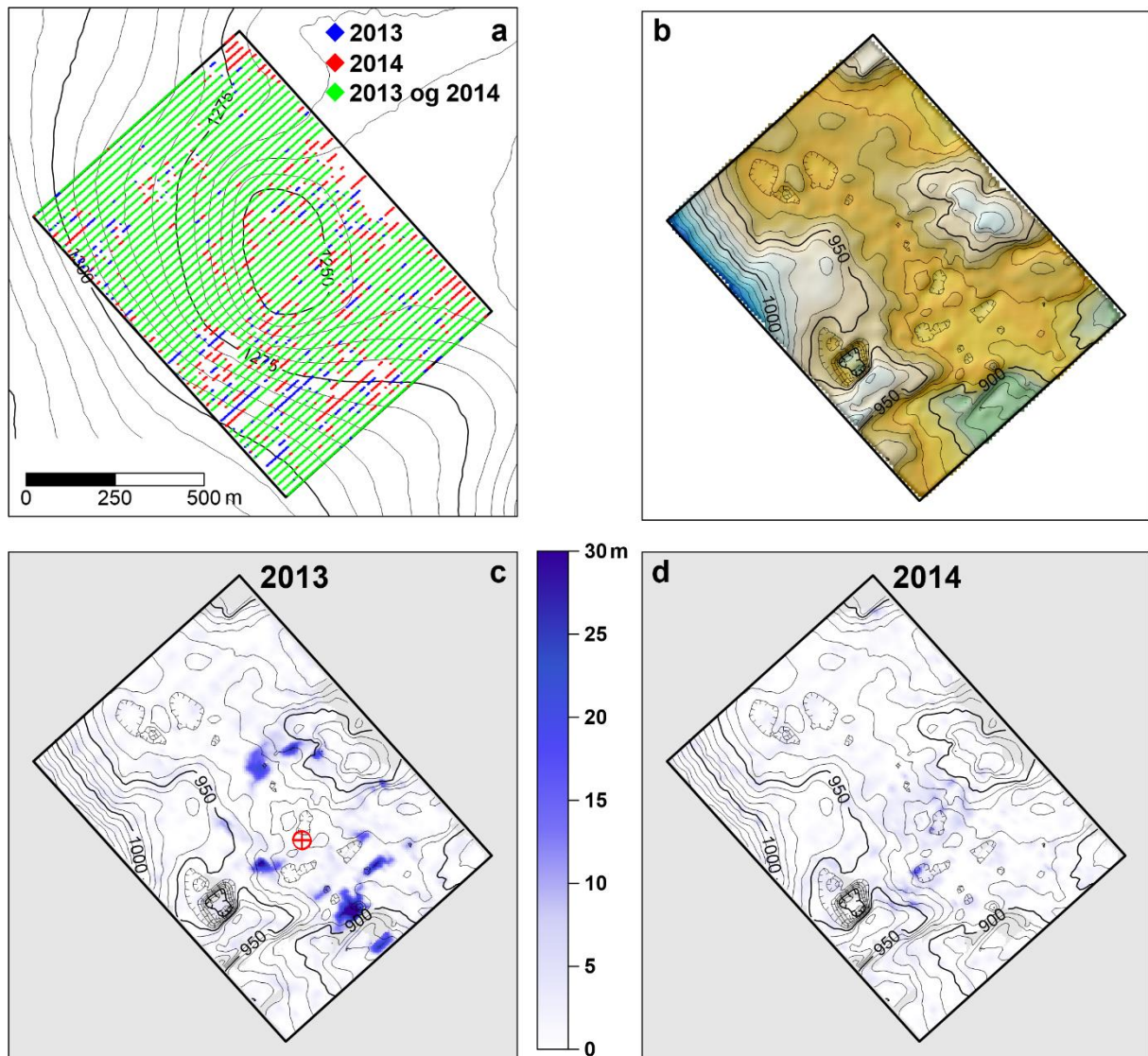
K-16



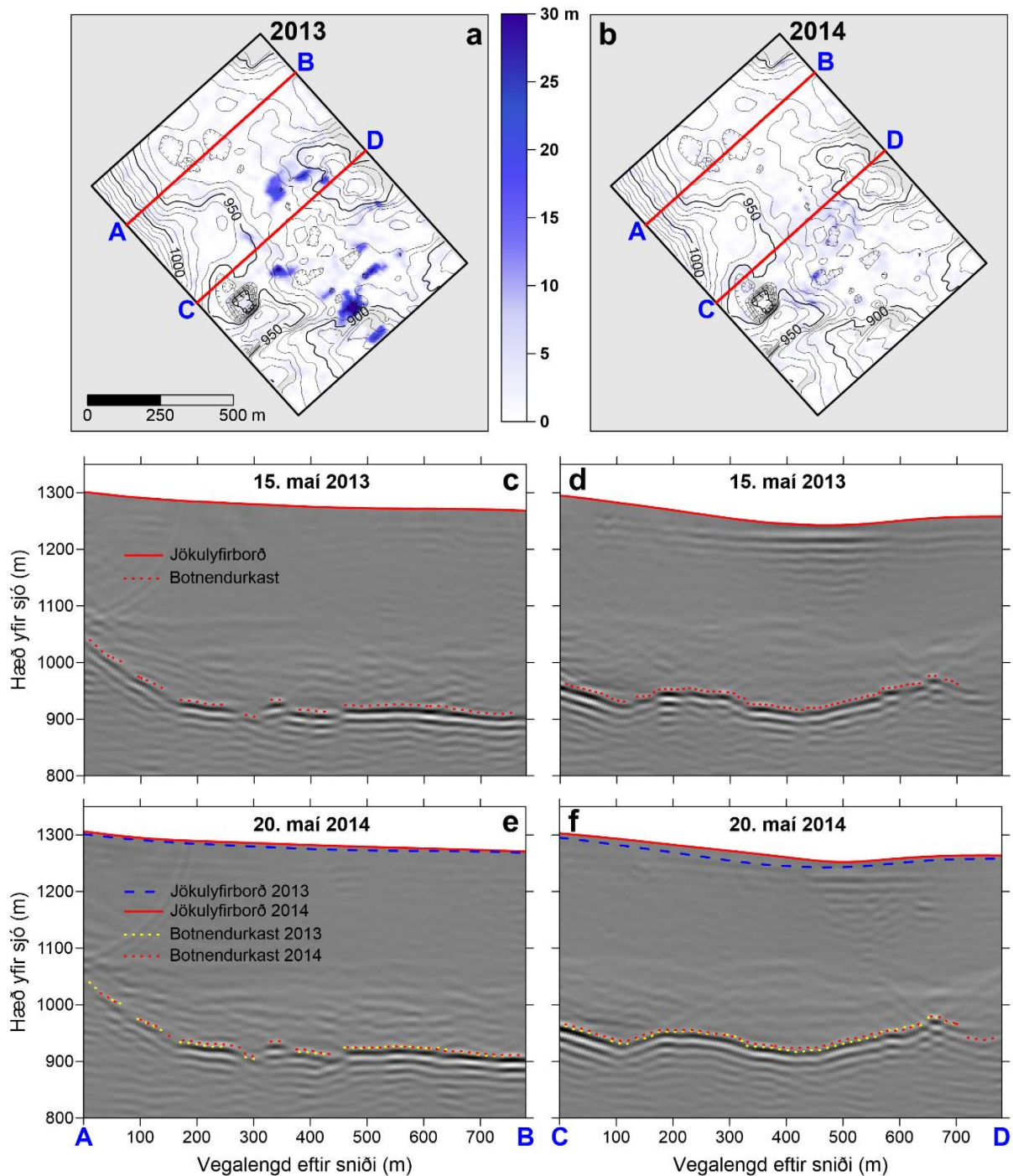
19. mynd. Samantekt á íssjár- og yfirborðshæðarsniðum mæld á tímabilinu 17. maí 2012 til 14. maí 2017 í katli 16 (sjá 12.-18. mynd). **c** og **d** sýna yfirborðshæðarsnið frá A til B annars vegar og C til D hins vegar (lega sýnd á **b**). **e** og **f** sýna hnitúð botnendurköst (neðri mörk jökulíss) eftir sömu sniðum. Litakvarði á milli mynda sýnir dagsetningu sniða á **c-f** þar sem eldrauður þýðir 17. maí 2012, gul og grænleitt svarar til miðbik tímabilisins og skærblár 14. maí 2016.



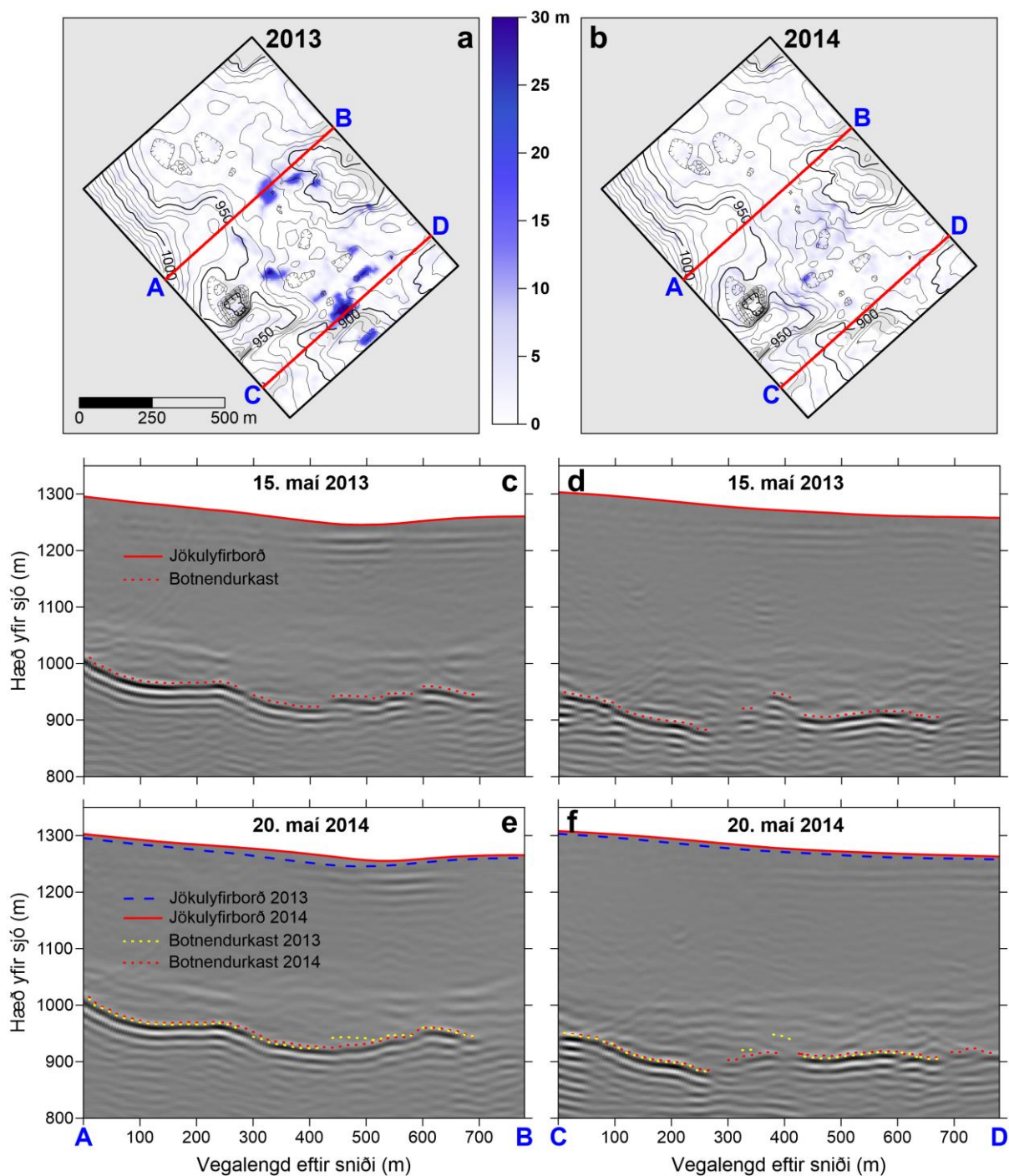
20. mynd. Þessar íssjárniðmælingar sem unnið var úr með mígreringu í þremur víddum. Mælingarnar voru gerðar yfir katli 16 (**b** sýnir staðsetningu mælisvæðis) 15. maí 2013 (**a**) og 20. maí 2014 (**b**). Í bakgrunni má sjá hæðarlínukort (5 m hæðarlínubil) af katlinum á tilsvareandi tímum. Ferhyrningar afmarkaðir með svörtum heilum línum á **a** og **c** sýnir það svæði sem 3-vítt mígneruð íssjárnið voru unnin fyrir (sjá 22.-23. mynd). Ferhyrningar afmarkaðir með svörtum brotalínum á **a** og **c** sýnir það svæði sem þrívíð fylki voru brúað yfir út frá mælingum hvers árs. Ásar ferhyrnings og ferðatími ratsjárendurkast á hverjum stað í innan svæðisins skilgreina þrjár víddir brúuðu fylkjanna.



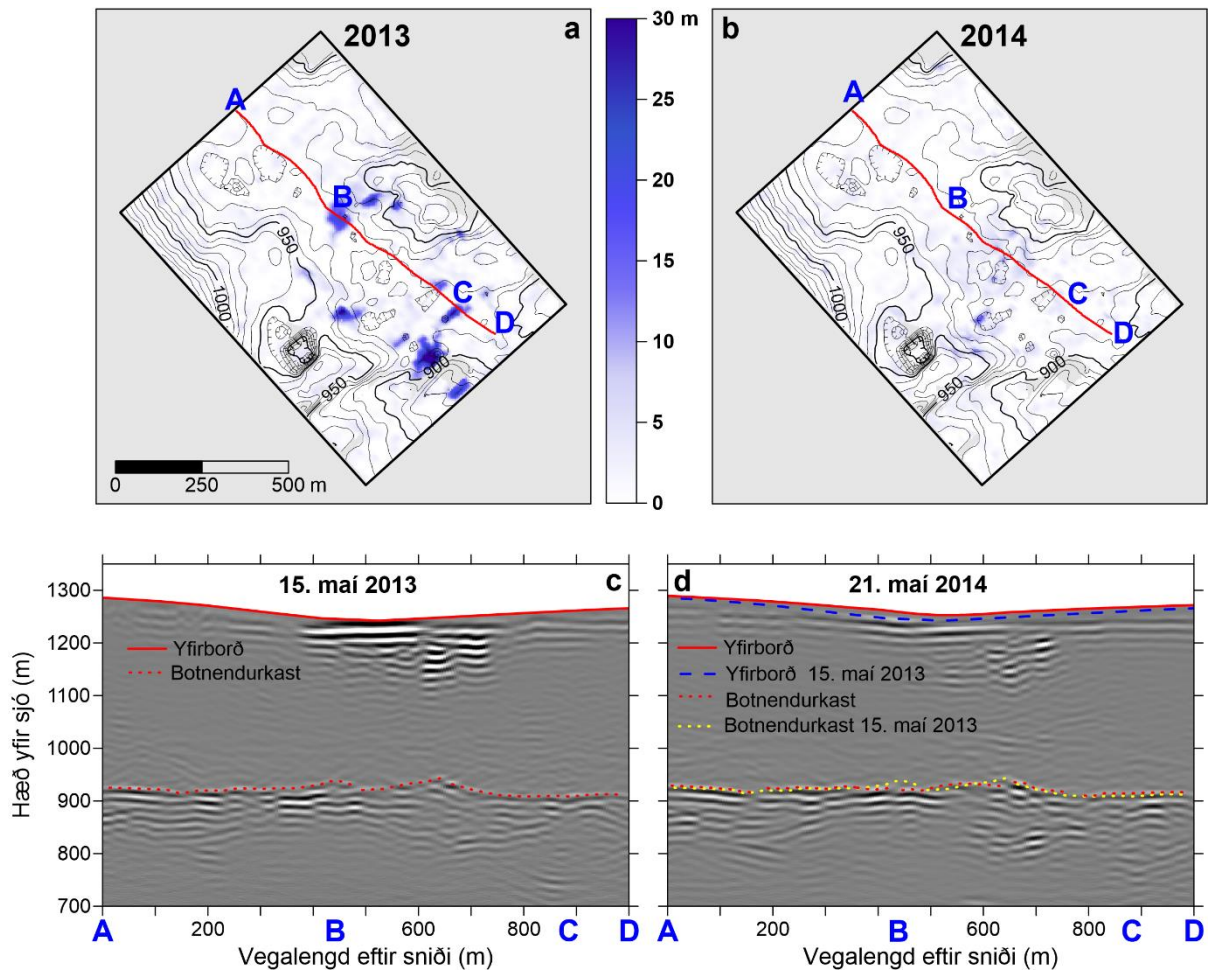
21. mynd. a) Staðsetningar á hnitsettum botnendurköstum (frá neðra borði jökuíss) í þrívítt mígreruðum íssjárniðum (dæmi eru sýnd á 22.-23. mynd). Bláir punktar eru þar sem líkleg botnendurköst voru bara hnitsett fyrir árið 2013, rauðir punktar fyrir árið 2014 og grænir þar sem líkleg botnendurköst greindust bæði árin. Hæðarlínukort (5 m hæðarlínubil) í bakgrunni sýnir jökulyfirborð vorið 2013. **b)** Hæðarlínukort sem sýnir landslag undir jökli í katli 16 ef gert er ráð fyrir því að lægra botnendurkast (í hæð yfir sjó) svari til fasts lands (hæð botnendurkasts í bláum og rauðum punktum á **a** og lægri botnendurkastshæðin í grænum punktum). Hæðarkort var brúað með kringing brúunaralgrími í Surfer 12 (© Golden Software, LCC). **c-d)** Bláskalamynd sem sýnir hæð botnendurkasts yfir þeim fleti sem **b** skilgreinir fyrir árin 2013 (**c**) og 2014 (**d**). Myndin er brúuð eingöngu út frá gögnum þar botnendurköst voru hnitsett bæði árin (grænir punktar á **a**). Grár litur sýnir svæði sem ekki var brúuð yfir vegna gagnasskorts. Ofan á bláskalamyndirnar hafa verið lagðar sama hæðarlínukort og í **b**. Rauður hringkross á **c** sýnir hvar borað var með vatnsbor niður á fastan jökulbotn án ofnanálggjandi vatnsgeymis sama dag og fyrri íssjarmælingin var gerð (Tómas Jóhannesson, munnleg heimild).



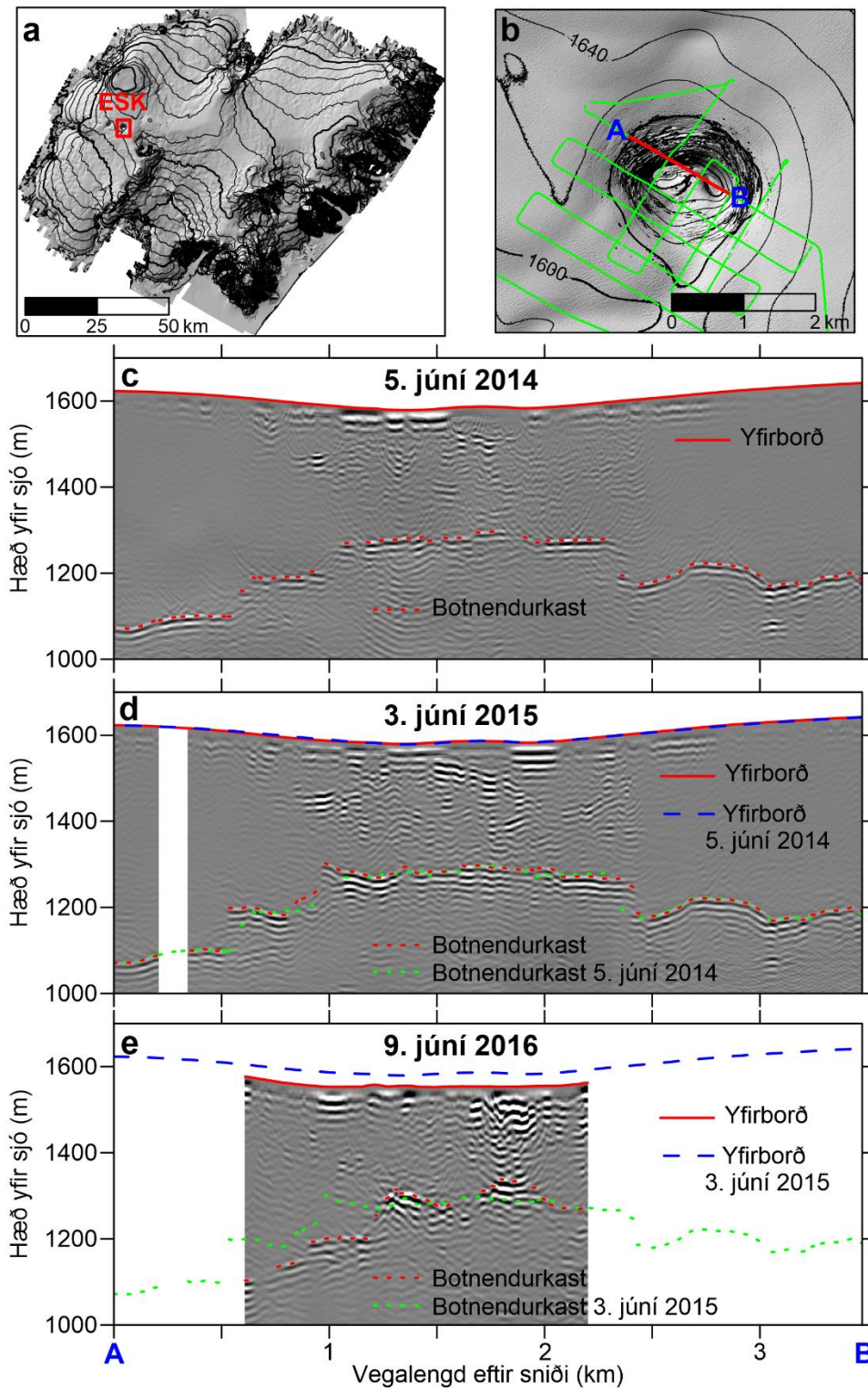
22. mynd. Dæmi um þrívítt mígreruð íssjárnsnið þar sem breytingar milli ára eru óverulegar. Lega sniðanna sem liggja frá A til B annars vegar og C til D hins vegar eru sýndar á **a** og **b** en myndir **c** og **d** af 21. mynd eru lagðar undir til viðmiðunar. **c** og **d** sýna tilsvareandi þrívítt mígreruð íssjárnsnið þann 15. maí 2013. Rauð lína sýnir hæð jökulyfirborðs en rauð punktalína hnitsett botnendurkast. **e** og **f** sýna tilsvareandi þrívítt mígreruð íssjárnsnið þann 20. maí 2014. Rauð lína sýnir hæð jökulyfirborðs en rauð punktalína hnitsett botnendurkast. Til samanburðar er sýnd yfirborðshæð (blá brotalína) og hnitsett botnendurkast (gul punktalína) frá fyrri mælingu.



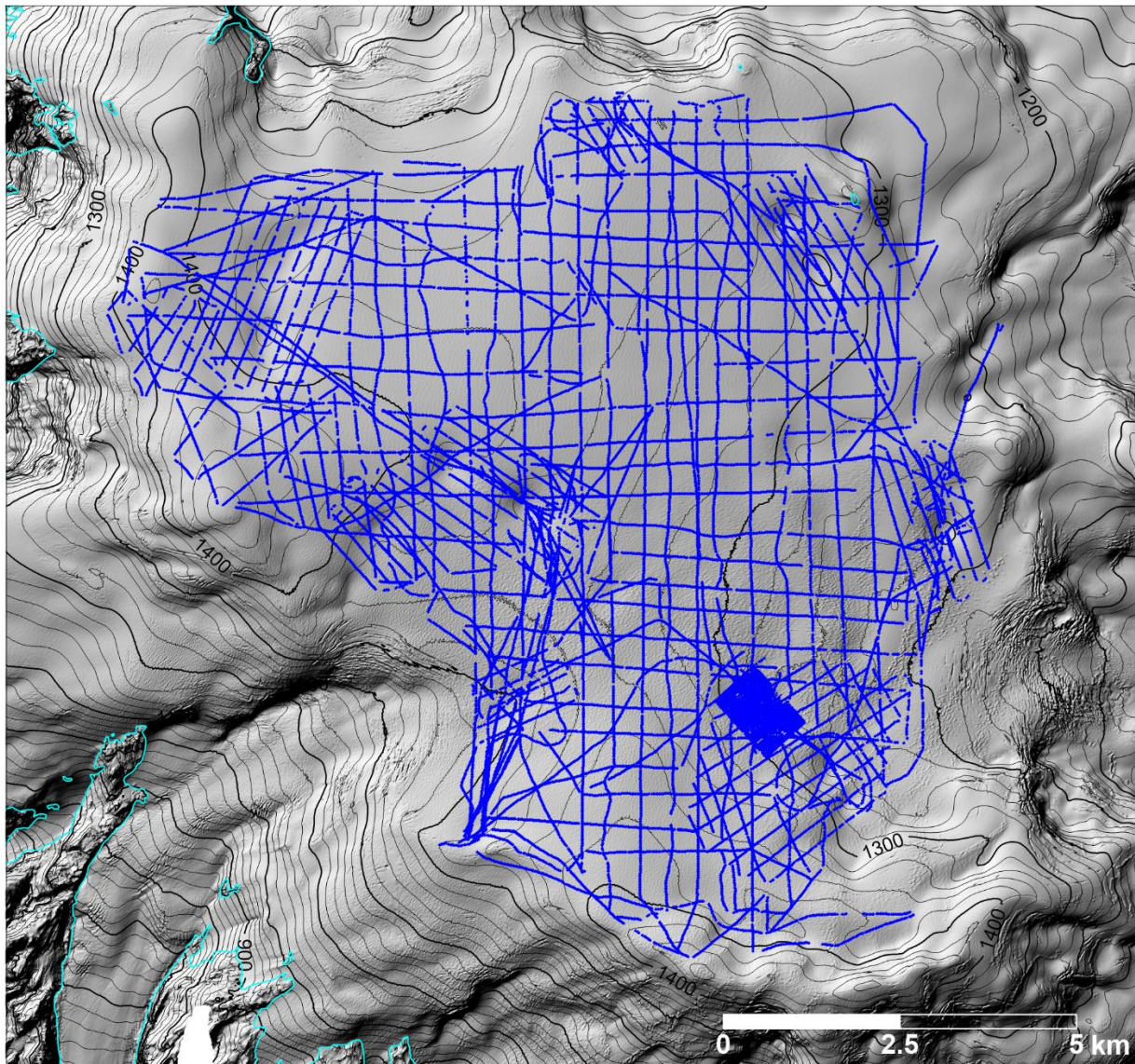
23. mynd. Dæmi um þrívítt mígreruð íssjárnið þar sem greina má talsverðar breytingar milli ára. Lega sniðanna sem liggja frá A til B annars vegar og C til D hins vegar eru sýndar á **a** og **b** en myndir **c** og **d** af 21. mynd eru lagðar undir til viðmiðunar. **c** og **d** sýna tilsvandi þrívítt mígreruð íssjárnið þann 15. maí 2013. Rauð lína sýnir hæð jökulyfirborðs en rauð punktalína hnitsett botnendurkast. **e** og **f** sýna tilsvandi þrívítt mígreruð íssjárnið þann 20. maí 2014. Rauð lína sýnir hæð jökulyfirborðs en rauð punktalína hnitsett botnendurkast. Til samanburðar er sýnd yfirborðshæð (blá brotalína) og hnitsett botnendurkast (gul punktalína) frá fyrri mælingu.



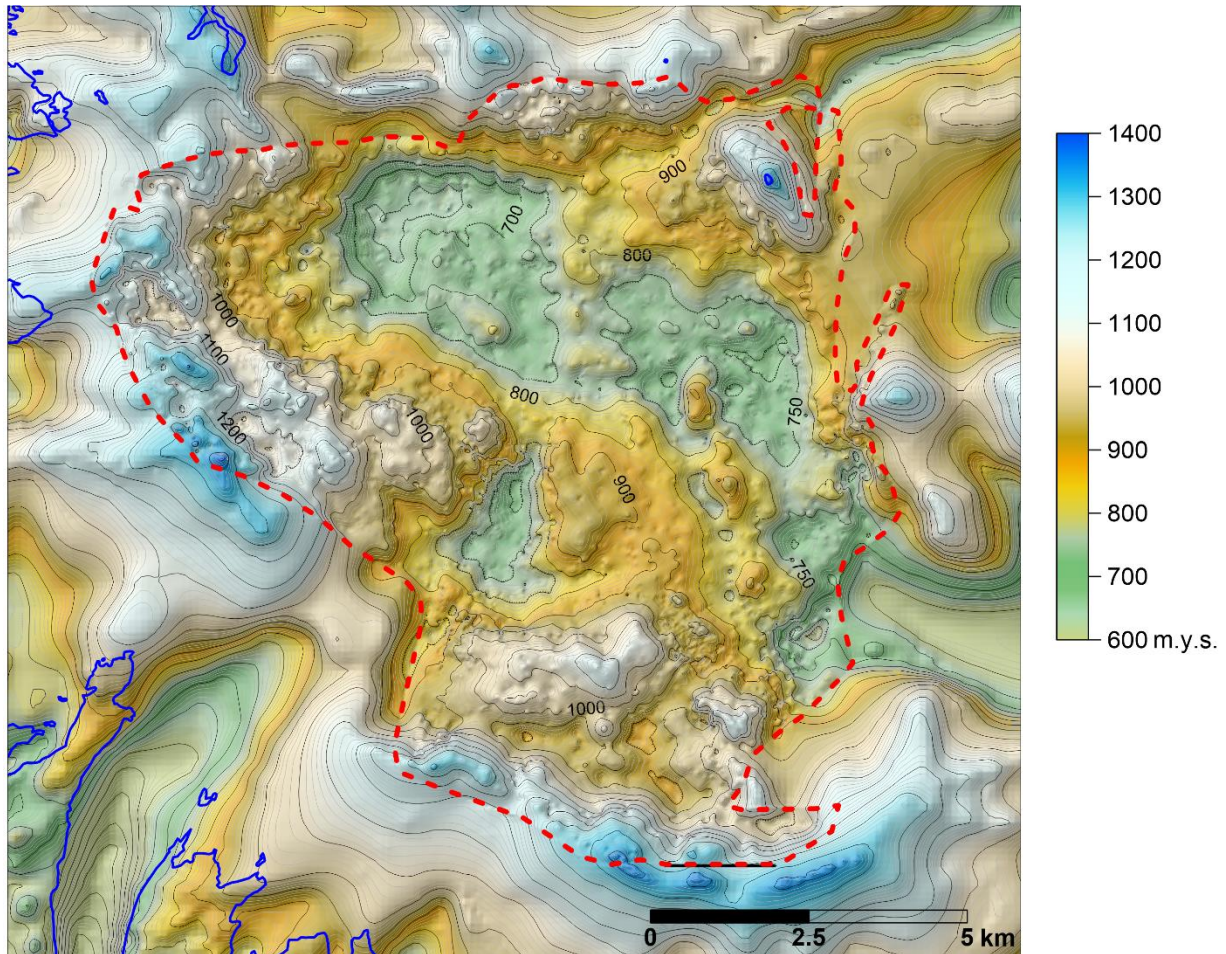
24. mynd. Samanburður á niðurstöðum íssjármælinga annars vegar út frá þéttmældum íssjárnsniðum unnið úr með þrívíðri mígreringu (**a** og **b**) og hins vegar stökum sniðum unnið úr með tvívíðri mígreringu (**c** og **d**). Myndir **a** og **b** eru fengar úr 21. mynd að því frátöldu að lega tvívítt mígreraðra íssjárnsniða frá A til D er að auki sýnd. **c)** Tvívítt mígrerað íssjárnið mælt 15. maí 2013 (einnig sýnt á **c** í 14. mynd). Rauð lína sýnir hæð jökulyfirborðs en rauð punktalína hnitsett botnendurkast. **d)** Tvívítt mígrerað íssjárnið mælt 21. maí 2014 (einnig sýnt á **c** í 15. mynd). Rauð lína sýnir hæð jökulyfirborðs en rauð punktalína hnitsett botnendurkast en til samanburðar er sýnd yfirborðshæð (blá brotalína) og hnitsett botnendurkast (gul punktalína) frá frá mælingunni í maí 2013. Hástafirir B og C á korti og sniðum sýna staði þar sem þrívítt mígreruðu íssjárnsniðin sýna verulegar breytingar milli ára.



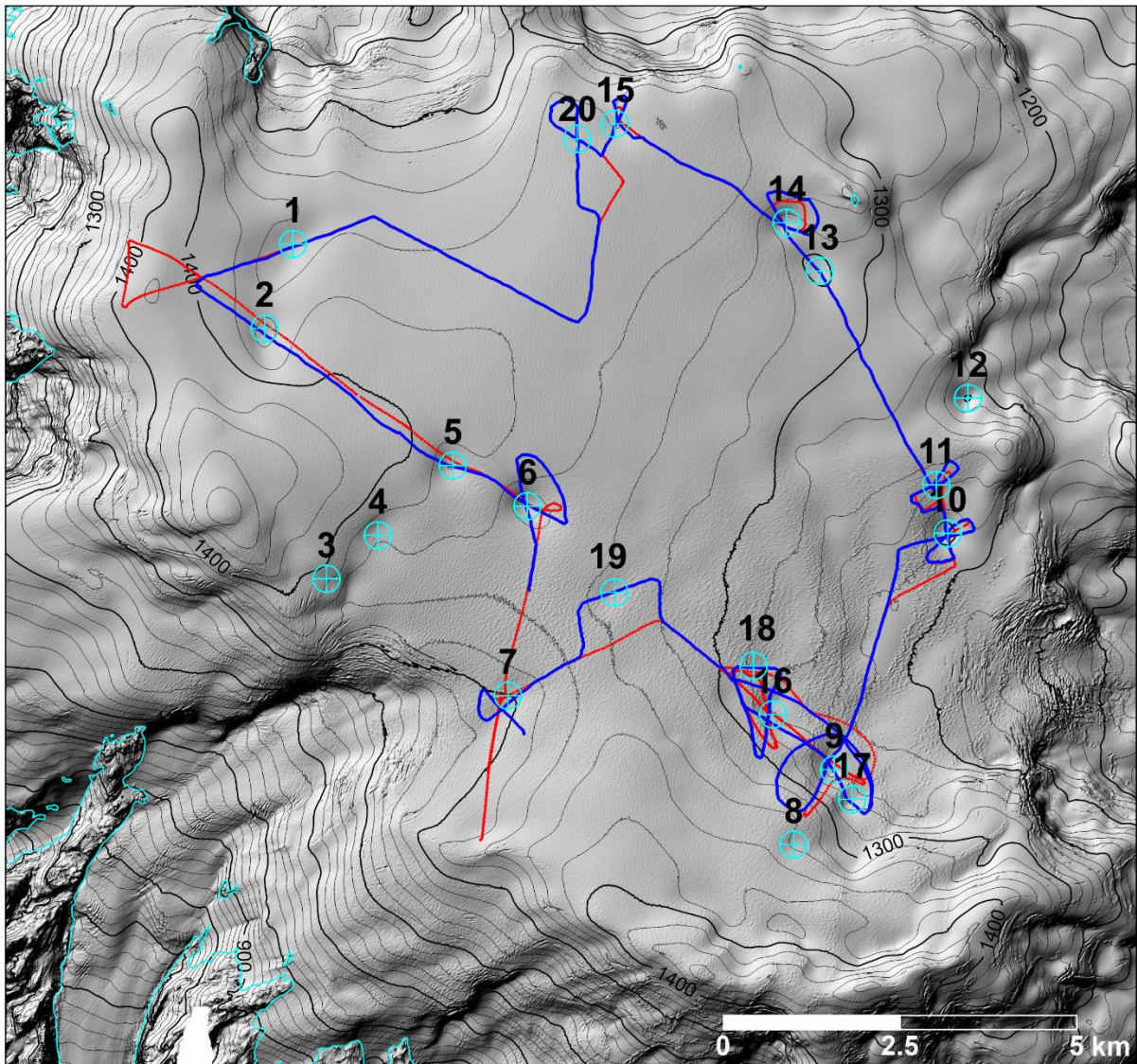
25. mynd. Samanburður á endurteknu íssjárnsniði (mígreruð í 2 víddum) yfir Eystri Skaftárkatlinum (ESK, sjá staðsetningu á **a**) mælt frá A til B (lega sýnd á **b**). Sniðið er hluti af íssjárnsniðum (grænar línur á **b**) mæld 5. júní 2014 sem voru endurmæld að mestu í júní 2015 og aftur að hluta í júní 2016 eftir jökulhlaup undan katlinum haustið 2015. Tilsvarendi mælt jökulyfirborð og hnitsett botnendurköst eru lögð íssjárnsnið á **c-e** ásamt samanburði við fyrri mælingu (á **d** og **e**). Bakgrunnsskuggamyndir og hæðarlínurkort á **a** og **b** eru reiknuð út frá lidar hæðarlíkani (Tómas Jóhannesson o.fl., 2013). Lidarhæðarlíkanið sem er í bakgrunni **b** er gert eftir mælingum skömmu eftir að jökulhlaup rann undan katlinum sumarið 2010.



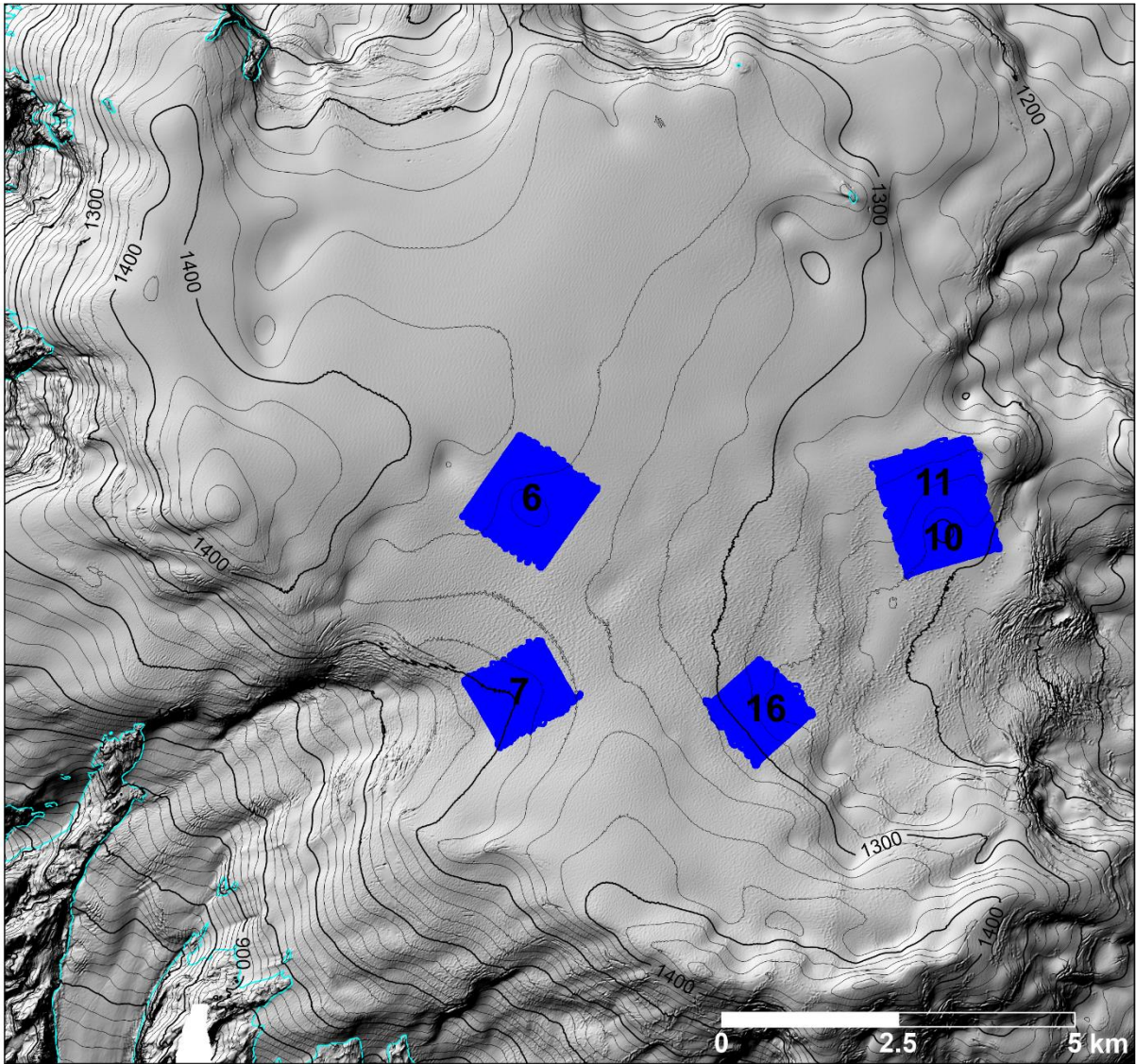
26. mynd. Íssjármælingar (bláar línur) sem notaðar hafa verið til endurkortlagningar á öskjunni undir Mýrdalsjökli þ.m.t. á landslagi undir sigkötlunum. Mestur hluti mælinga var gerður vorið 2016 en einnig hafa verið notuð við gögn sem aflað hefur verið í ferðum á tímabilinu maí 2012 til febrúar 2017. Ekki eru notuð eldri íssjargögn (Helgi Björnsson o.fl., 2000) innan öskjunnar en stærstur hluti eldri mælisniða var endurtekinn. Nýja mælinetið er um tvöfalt þéttara en það gamla. Bakgrunnsmynd er skuggamynd og hæðarlínukort reiknað eftir lidar hæðarlíkani frá 2010 (Tómas Jóhannesson o.fl., 2013). Sama bakgrunnsmynd er notuð fyrri 28.-29. mynd.



27. mynd. Bráðbirgðahæðarkort reiknað með kriging brúunaralgrími í Surfer 12 (© Golden Software, LCC) út frá nýjum íssjármælingum (dreifing gagna sýnd á 26. mynd). Nýja kortið er saumað saman við eldra botnhæðarkort (Helgi Björnsson o.fl., 2000) á mörkum rauðu brotalínunnar. Megindrættir í landslagi eru þeir sömu og eldri mælingar sýndu (Helgi Björnsson o.fl., 2000), en nú sjást fínni drættir einnig.



28. mynd. Rauð lína sýnir íssjármælihringinn í gegnum katlana eins og hann var oftast mældur á tímabilinu 2012 til 2016. Blá lína sem liggur að stórum hluta ofan á þeirri rauðu sýnir hvernig hringurinn er nú mældur. Mælihringurinn var uppfærður vorið 2016 (þá var bæði nýr og gamall hringur mældur) til að bæta mælinguna og til að hitta betur á ketilmiðjur sem sumar hafa hnikast til. Hringurinn var uppfærður enn frekar í febrúar 2017 eftir að hæðarbreytingar á jökulyfirborði sumarið 2016 sýndu áður óþekktu katla (ketill 19 og 20).



29. mynd. Staðsetning þéttra íssjármælinga sem aflað var í maí 2017 sem unnið verður úr með þrívíðri mígreringu á sama hátt og gert hefur verið í fyrir ketil 16 (20.-23. mynd). Þar með fæst þriðja þétta mælingasafnið fyrir ketil 16 en stefnt er að endurmælingu hinna katlanna (ketill 6, 7, 10 og 11) með þessum hætti næsta vetur eða vor til að greina breytingar við jökulbotn.