



Eldgos í Öræfajökli árið 1362, greining á röð atburða.

Unnið fyrir

GOSVÁ, Veðurstofu Íslands og Ofanflóðasjóð

Höfundar:

Ármann Höskuldsson, Þorvaldur Þórðarson, Ingibjörg Jónsdóttir, Muhammad Aufaristama,
Alma Gytha Huntington Williams, Helga Kristín Torfadóttir, Þóra Björg Andrésardóttir, Daníel
Þórhallsson, Alan Woodland, Maria Janebo, Catherine R. Gallagher



HÁSKÓLI ÍSLANDS

Eldgos í Öræfajökli árið 1362, greining á röð atburða..
Skýrsla unnin fyrir GOSVÁ, Veðurstofu Íslands og Ofanflóðasjóð

Höfundarréttur © 2021 Ármann Höskuldsson, Þorvaldur Þórðarson, Ingibjörg Jónsdóttir, Muhammad Aufaristama, Alma Gytha Huntington Williams, Helga Kristín Torfadóttir, Þóra Björg Andrésardóttir, Daníel Þórhallsson, Alan Woodland, Maria Janebo, Catherine R. Gallagher
Öll réttindi áskilin

Jarðvísindastofnun
Verkfræði- og náttúruvísindasvið
Háskóli Íslands
Sturlugata 7
101 Reykjavík

Sími: 525 4700

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-6316-2563>

Skráningarupplýsingar:

Ármann Höskuldsson, Þorvaldur Þórðarson, Ingibjörg Jónsdóttir, Muhammad Aufaristama, Alma Gytha Huntington Williams, Helga Kristín Torfadóttir, Þóra Björg Andrésardóttir, Daníel Þórhallsson, Alan Woodland, Maria Janebo, Catherine R. Gallagher. 2021. Eldgos í Öræfajökli árið 1362, greining á röð atburða.
Jarðvísindastofnun, Háskóli Íslands, 43 bls.

ISBN 978-9935-9300-8-8

Prentun: Háskóli Íslands, Jarðvísindastofnun
Reykjavík, Febrúar 2021

Efisyfirlit

Ágrip.....	5
Inngangur.....	6
Fyrri rannsóknir.....	8
Aðferðafræði.....	11
Jarðsjármælingar	13
Jarðsjársnið	15
Bær.....	15
Flugvöllur við Fagurhólsmýri	16
Hof.....	17
Virkisá.....	18
Mælingar á jarðvegssniðum	19
Sandfellsheiði	19
Jarðvegssnið á aurum framan við Öræfajökul.....	20
Hóla 8.....	21
Hóla 9	23
Hóla 10	23
Hóla 11	25
Hólar 12-14.....	26
Heildarkornastærðargreining á öskulaginu sem féll árið 1362	29
Samantekt jarðsjár- og mældra sniða í Öræfum, röð atburða.....	33
Helstu óvissuþættir.....	38
Ábendingar og frekari rannsóknir	39
Tilvitnanir	40
Viðauki I.....	43

Myndaskrá:

Mynd 1. Yfirlitsmynd yfir rannsóknarsvæðið	7
Mynd 2. Útbreiðslu gjósku frá eldgosinu í Öræfajökli 1362.....	8
Mynd 3. Einföld skýringarmynd af helstu ferlum í sprengigosi	10
Mynd 4. Staðsetning jarðsjármælisvæða	13
Mynd 5. Jarðsjár snið við bæjarlækinn að Bæ í Öræfasveit.....	15
Mynd 6. Snið í gjóskulagið frá 1362 við Bæ	16
Mynd 7. Jarðsjársnið þvert yfir flugvöllinn á Fagurhólsmýri	17
Mynd 8. Jarðsjársnið við Hof.....	18
Mynd 9. Jarðsjársnið við Virkisá.....	18
Mynd 10. Séð yfir Flosa, syðsta gíg á gossprungunni frá 1727	19
Mynd 11. Vélgrafin snið í aurkeilur við rætur Öræfajökuls	21
Mynd 12. Yfirlit til Svínafellsbæja frá holutökustað 8	22
Mynd 13. Snið í holu 8.....	22
Mynd 14. Endurflutt gjóska frá 1362.....	23
Mynd 15. Uppgröftur í Holu 10.....	24
Mynd 16. Botn Holu 10.....	24
Mynd 17. Hóla 11, lagskipting gjóskunnar frá 1362	25
Mynd 18. Jökulhlaupaset ofan á jarðlagastafla í holu 11	25
Mynd 19. Gjóskusniðið við Hólá og Kvíármýri	26
Mynd 20. Snið við Hólá og Kvíármýri	27
Mynd 21. Botn gjóskusniðsins.....	27
Mynd 22. Nærmynd af öskubaunalaginu.	28
Mynd 23. Voronoi greining á útbreiðslu gjóskulagsins 1362.....	30
Mynd 24. Heildarkornastærðardreifing	31
Mynd 25. Uppsöfnuð gjóska.	31
Mynd 26. Jarðvegssnið við bæina að Svínafelli í Öræfum	34
Mynd 27. Heildar jarðlagasnið fyrir eldgosið í Öræfajökli 1362	35
Mynd 28. Helstu flóðaleiðir í eldgosinu árið 1362.....	36

Ágrip

Þessi greinargerð fjallar gosið í Öræfajökli árið 1362 og þær upplýsingar sem hægt er að draga fram með rannsókn á gjóskulaginu sem það myndaði. Fyrri hluti rannsókna á vegum GOSVÁR fólst í því að skoða menjar jökulhlaupa á undirlendi framan við Öræfajökul og tengsl þeirra við eldgosin árið 1362 og árið 1727 og drógu fram mikilvægi jökulhlaupa sem tengjast eldgosum í bröttum eldfjöllum með jökulhettu eins og Öræfajökull. Stór sprengigos, eins og það sem átti sér stað í Öræfajökli árið 1362 eru sjaldnast einföld. Rannsóknir, sem einkum hafa verið fjármagnaðar af Kvískerjasjóð, hafa dregið fram tilvist umfangsmikilla gjóskuflóða samfara gosinu. Ummerki þessara gjóskuflóða er að finna á Sléttubjörgum og hafa þau runnið fram farveg Stígár. Þegar ráðist er í þetta verkefni er ljóst að gjóskuflóðin og gushlaup þeim samfara myndast mjög snemma í eldgosinu og því hugsanlega mesta hættan tengdu svipuðu eldgosi í framtíðinni. Stjórn GOSVÁR ákvað því að ráðast í umfangsmiklar rannsóknir á röð atburða og mat á dreifingu gosefna með tilliti til innri jarðlagaskipan gjóskulagsins. Við þessa rannsókn var notast við jarðsjá, sem gerir okkur kleift að mæla jarðlagasnið sem eru 200 til 300 m löng. Lagskipting greind með jarðsjá er síðan staðfest með jarðvegsniðum með skurðgröfu. Niðurstaða þessarar rannsóknar er að gjóskuflóðin og gushlaupin voru fyrstu flóð sem mynduðust í eldgosinu jafnframt er sýnt fram á að megin hluti jökulhlaupanna kemur niður eftir að megin sprengifasi eldgossins er liðinn, en eitt slíkt hlaup kom niður um miðbik fasans. Þar sem gjóskuflóðin og gushlaupin eru í upphafi eldgosins, þá er brýnt að aðlaga áhættugreiningu og rýmingaráætlanir í samræmi við það.

Inngangur

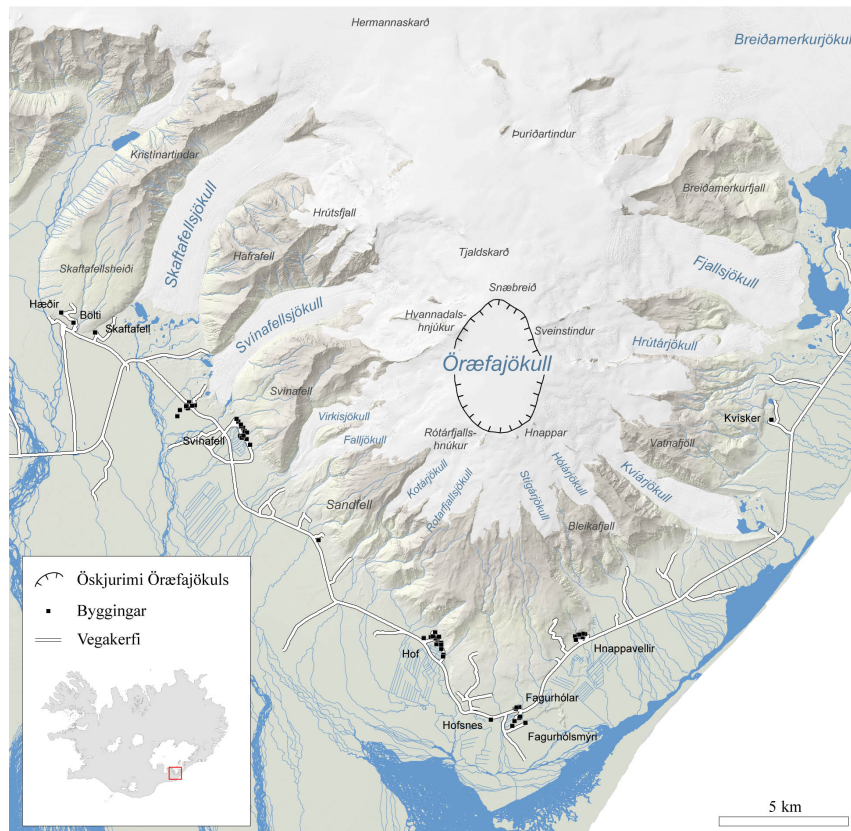
Á árunum 2015 og 2016 fóru fram gagngerar greiningar á þeirri áhættu í umhverfi Örfajökuls er myndast vegna hugsanlegra jökulhlaupa niður hlíðar fjallsins, ef til eldgoss kemur (Pagneux og fl. 2015, Guðmundsson og fl. 2016). Í kjölfar þessarar greiningar voru svo lögð drög að viðbragðsáætlun ef til jarðhræringa kæmi í Örfajökli. Þetta verkefni er unnið í framhaldi af þessum rannsóknum, sem hluti af Gosvá (Gosvá er heildaráhættumat vegna eldgosa á Íslandi. Umfang verkefnisins er að taka saman fróðleik um hegðun eldstöðva og hvaða áhrif eldgos gætu haft á heilsu fólks og samfélag.). Megin tilgangurinn er að varpa ljósi á forsögulega (eða þar sem samtímaheimildir eru rýrar) atburði tengda gosinu, með greiningu jarðlaga í nágrenni eldstöðvarinnar. Með því móti er ætlunin að auka skilning á hvers konar atburðir tengdust eldgosinu, og finna afstæða tímaröð þeirra. Það er mikilvægt að taka tillit til sem flestra þátta í hegðun eldfjalla þegar mat er lagt á þær áhættur sem af þeim stafar. Þrátt fyrir áralangar rannsóknir á íslenskum eldfjöllum er þekking á hegðun þeirra langt því frá að vera fullnægjandi, enda eru eldstöðvarnar margar og mismunandi, eldgos úr sömu eldstöð geta verið margvísleg og tímakvarði atburða mjög langur (Thordarson og Larsen, 2007, Thordarson og Hoskuldsson, 2008). Því er mikilvægt þegar á að fara að leggja mat á eldfjallaáhættu að gera sér grein fyrir því hvað við vitum um eldfjallið og hvað við vitum ekki. Við áhættumatið er því mikilvægt að bæta úr þekkingarskorti svo að áhættumatið taki tillit til sem flestra þátta í mögulegu framtíðar eldgosi. Eldgosið í Örfajökli 1362 hefur verið töluvert rannsakað og er ljóst að það er ekki einfalt í sniðum. Útbreiðsla einstakra þátta í eldgosinu eru lítt þekktir og er það ein megin ástæða þessa verkefnis. Þetta verkefni sneri því að gagngerri rannsóknir á röð atburða í eldgosinu í Örfajökli 1362. Jafnframt var gerð heildarkornastærðar greining á gjóskulaginu sem myndaðist í eldgosinu. Yfir sumarmánuðina árin 2018 og 2019 var unnin nauðsynleg útvinnna og gögnum aflað í og við Örfajökul (Mynd 1). Fyrri athuganir gefa til kynna að snemma í eldgosinu hafi röð gjóskuflóða og gushlaupa farið niður hlíðar fjallsins sem hugsanlega leiddu til myndunar jökulhlaupa. Gjóskuhlaupasetið hefur verið greint þykkast við Sléttubjörg, í um 1000 m hæð (Jónsson, 2007). Snið í Gljúfurá sýna að gushlaup og jökulhlaup hafi farið yfir Fagurhólsmýri snemma í eldgosinu (Höskuldsson og Þórðarson, 2008). Í Hvalvörðugili er gjóskuhlaupaset undir jökulhlaupaseti sem gefur til kynna að upphafsfasir gossins hafi einkennst af gjósku- og gushlaupum. Ásýnd 1362 gjóskunnar í Ingólfshöfða staðfestir að neðstu lögin þar eru gjósku- eða gushlaupaset, sem gefur til kynna að þessi hlaup hafi farið >20 km frá upptökum. Ennfremur eru vísbendingar um þykk vikurlög við ferskvatnsholur er boraðar voru við Freysnes.

Eldgosið í Örfajökli 1362 var ólíkt flestum eldgosum á sögulegum tíma á Íslandi vegna ákafa þess og umfangs gjóskuflóða. Traust þekking á atburðarásinni og hver hraði hennar var er lykilatriði í því að setja upp raunhæfar viðbragðsáætlanir fyrir stærstu sprengigos sem verða á Íslandi og sér

í lagi fyrir gos í Öræfajökli. Skera þarf meðal annars úr um hvort gjóskuflóð hafi hugsanlega náð niður á láglendi áður en umtalsverð jökulhlaup féllu niður hlíðar fjallsins.

Athugun á umfangi gjóskuhlaupasetts á láglendi hefur ekki verið unnin skipulega áður og er hér gerð bragarbót á. Rannsóknir beindust að útbreiðslu gjóskuhlaupasetts á láglendi og hver innbyrðis afstaða þess er við set í aurkeilum sem myndaðar eru í jökulhlaupum frá sama eldgosi. Til að hægt sé að túlka með fullnægjandi hætti jarðlagasnið á láglendi, þar sem farið hafa um gjóskuflóð og jökulhlaup, þurfti að kanna lykilsnið í hlíðum fjallsins á nokkrum stöðum. Til að fá fulla mynd af útbreiðslu gjóskuflóða, og þar með afmarka svæði þar sem gos af sambærilegri stærðargráðu gæti haft aleyðandi áhrif, þurfti einnig að fjölga gjóskusniðum fjær fjallinu.

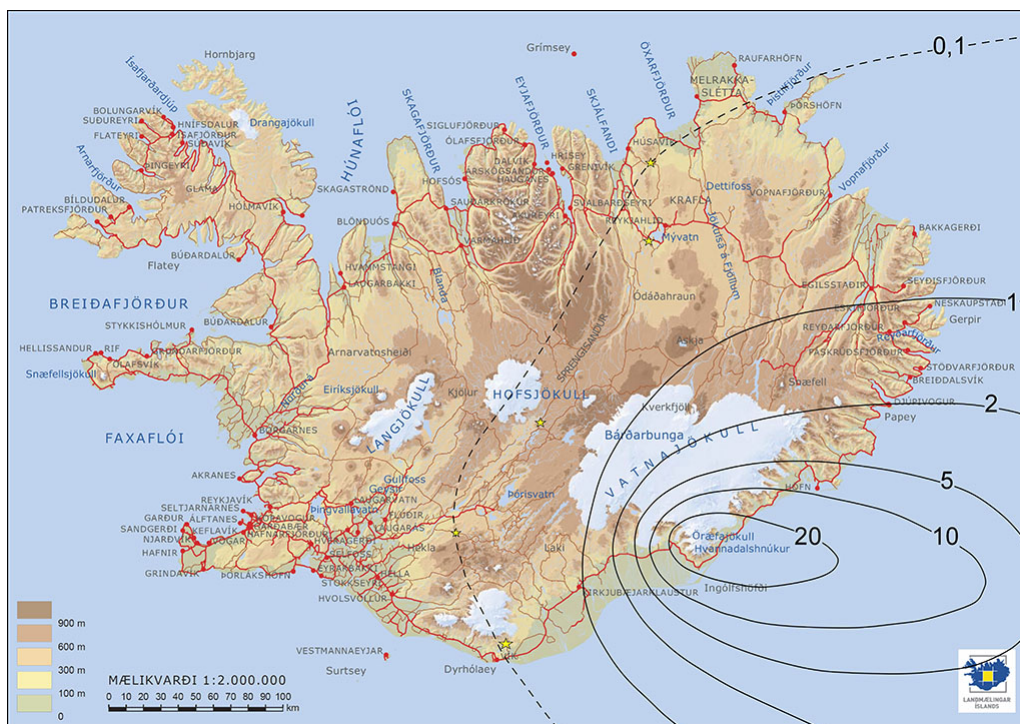
Verkefnið var fjármagnað af GOSVÁ. Í stjórn verkefnisins sátu: Ármann Höskuldsson, Magnús Tumi Guðmundsson, Matthew James Roberts og Þorvaldur Þórðarson. Verkefnastjórn hélt sex fundi á tímabilinu.



Mynd 1. Yfirlitsmynd yfir rannsóknarsvæðið, myndin er fengin frá Guðmundsson og fl. 2016 og lýsir staðháttum og helstu byggingum við Öræfajökul.

Fyrri rannsóknir

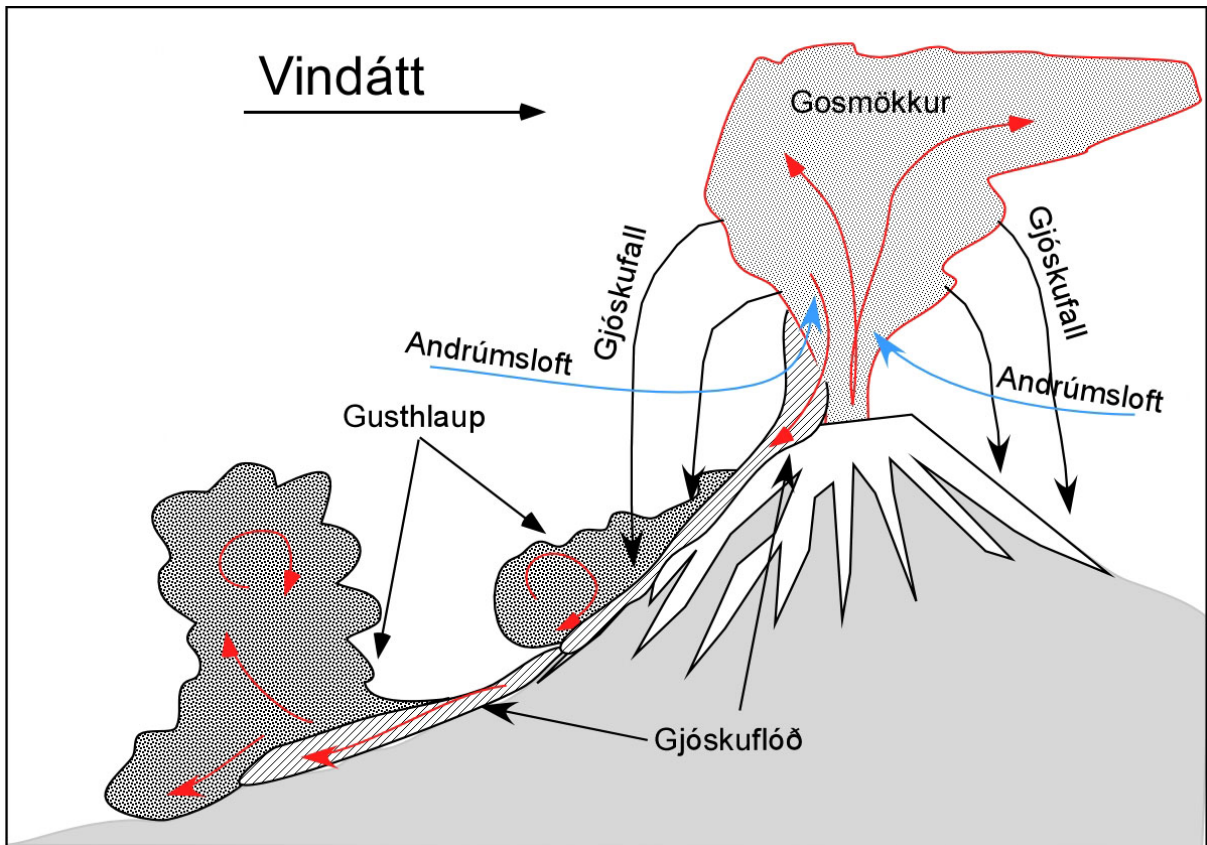
Tvö eldgos hafa átt sér stað í Öræfajökli á sögulegum tíma. Hið fyrra árið 1362 og hið síðara árið 1727. Um eldgosið 1362 eru mjög takmarkaðar samtímaheimildir. Þessa eldgoss er getið í annálum sem flestir eru ritaðar eftir að eldgosið er yfirstaðið. Talið er að Skálholtsannáll sé nær samtímaheimild en aðrir annálar endurritanir. Samkvæmt Skálholtsannál hófst eldgosið á fardögum 1362 (3.-6. júní) og stóðu yfir fram á haust (Þórarinnsson, 1958 og tilvitnanir þar í). Annálar geta þess að allt Litlahérað hafi verið lagt í eyði vegna gjóskufalls og jökulhlaupa samfara eldgosinu. Svo mikill vikur barst til sjávar að vart var skipgengt fyrir Vestfjörðum. Eldgosið árið 1362 er stærsta sprengigos Íslandssögunnar og er mat á heildarrúmmáli gosefna á bilinu 2-10 km³ (Þórarinnsson, 1958, Sharma og fl. 2008, Þórðarson og Höskuldsson, 2014). Sigurður Þórarinnsson (1958) setti fram mat á dreifingu gosefna á landi og taldi að stefna megin gjóskudreifarinnar væri til austurs, en annálar geta þess að allt að tvær þingmannaleiðir (um 75 km) austur af Öræfajökli hafi lagst tímabundið í eyði í kjölfar eldgossins (Mynd 2). Þorvaldur Þórðarson og Ármann Höskuldsson (2006, 2007 og 2008) og Páll Kolka (2007) bentu á að í upphafi eldgossins væru ummerki gjósku- og gushlaupa er runnið hafi niður hlíðar Öræfajökuls og allt til sjávar. Sharma og fl. (2008) sýndu fram á, út frá bergbrotum í gjóskunni, að líklegt væri að gjóskugeirinn hefði mun suðlægari stefnu. Sigurður Þórarinnsson (1958), benti á helstu ummerki jökulhlaupa við rætur Öræfajökuls. Yfirlit yfir menjar jökulhlaupa og hermun jökulhlaupa frá Öræfajökli voru gefin út 2015 og 2016 vegna undirbúnings áhættumats í nánasta umhverfi jökulsins (Pagneux og fl. 2015, Guðmundsson og fl. 2016).



Mynd 2. Útbreiðsla gjósku frá eldgosinu í Öræfajökli 1362. Aðeins gjóska á landi er staðfest, gjóska teiknuð á haf út er áætluð dreifing út frá dreifingu á landi. Gular stjörnur sýna snið þar sem ystu mörk Öræfajökuls gjóskunnar hafa verið fundin. Kortið var fyrst birt hjá Sigurði Þórarinssyni 1958, en síðar endurbætt af Ármanni Höskuldssyni og Guðrínu Larsen fyrir prentun í Náttúrvá á Íslandi, eldgos og jarðskjálftar (Guðmundsson og fl. 2013).

Um eldgosið 1727 eru til haldgóðar samtímaheimildir skráðar af Jóni Þorlákssyni presti í Sandfelli. Það eldgos var annars eðlis og mun minna í sniðum en eldgosið 1362. Eldgosið hófst 4. ágúst 1727 og var ekki lokið að fullu fyrr en 23. maí 1728 (Thoroddsen, 1911). Eldgosinu fylgdi gjóskufall og jökulhlaup úr Kotárjökli og Virkisjökli-Falljökli (Guðmundsson og fl. 2016). Eldstöðvarnar hafa ekki verið staðsettar en ljóst er að þær munu vera upp af Sandfelli. Flosi Björnsson (1974) leiddi að því líkum að eldstöðvarnar væri að finna í kverkinni milli Fallsjökuls og Kotárjökuls. Við athuganirnar sem tengjast þessu verkefni voru syðstu gígarnir í gosinu 1727 staðsettir og eru uppi á norðanverðri Sandfellsheiði (Torfadóttir, 2019). Flosi Björnsson hafði bent á ummerki ofar og norðar í sömu sprungustefnu.

Gjóskuflóð og gushlaup eru ein hættulegustu fyrirbæri er geta myndast í eldgosum (Mynd 3). Þau eru samansett úr gjósku, kvikugösum og andrúmslofti, og myndast þegar gosmökkur fellur saman og leggst út á landið frá gosopi. Í báðum tilvikum eru það lofttegundirnar (blanda kvikugasa og andrúmslofts) sem að mynda „vökvann“ í flóðunum, en í jökulhlaupum er það bræðsluvatn úr jöklinum sem myndar vökvann er ber fram setið. Gjóskuflóð eru ríkari í ösku en gushlaup og veldur það eðlismun á þessum tveim fyrirbærum. Gjóskuhlaup eru sökum eðlisþyngdar og massa háð landslagi þegar þau geysast niður fjallshlíðarnar og geta ferðast með yfir 150 km/klst hraða. Gushlaup eru ríkari af lofttegundum en gjósku sem veldur því að þau eru eðlisléttari og massa minni en gjóskuflóð. Iðustreymi er ríkjandi þegar þau streyma eftir landinu og veldur því að þau er síður háð landslagi þegar þau streyma niður eldfjallið. Gushlaup geta myndast án gjóskuflóða, en gushlaup eru ávallt fylgifiskur gjóskuflóða. Þessar tvær tegundir af gjóskuflóðum eru hættulegustu fyrirbrigði samfara eldgosum sökum þess hve heit þau geta orðið, hversu hratt þau streyma niður hlíðar eldfjallanna og vegna þess að ekki er unnt að spá fyrir um leið gushlaupa eftir landslagi (Höskuldsson, 2000, 2001, 2013).



Mynd 3. Einföld skýringarmynd af helstu ferlum í sprengigosi. Tætt kvikan kemur út um gosopið og þeytist gjóskan upp í andrúmsloftið. Gjóskan dregur með sér andrúmsloftið umhverfis og hitar upp. Þannig nær gjóskublandan eðlisþyngd lægri en andrúmsloftið og gosmökkurinn rís. Takist gosmekkinum ekki að draga til sín nægt andrúmsloft, eða sé hann of kaldur, verður hann þyngri og fellur saman. Við það myndast gjósuflóð sem renna niður hlíðar eldfjallsins og fylgja landslagi. Þegar gjósuflóðið streymir niður hlíðarnar blandast enn inn andrúmsloft og við það verða til gusthlaup ofan á gjósuflóðinu. Þessi gusthlaup eru óháð landslagi því þau geta risið hátt yfir gjósuflóðinu. Þess skal og getið að gjósuflóða og gusthlaup geta fallið til hvaða áttar sem er frá gosopinu.

Aðferðafræði

Við mat á svo umfangsmiklum landformum og hraðri upphleðslu myndanna eins og um ræðir í eldgosinu 1362 er beitt tvennskonar aðferðum. Í fyrsta lagi er notast við hefðbundnar skoðanir og mælingar á gjóskumynduninni í þversniði. Í sniðum er sérstaklega litið eftir breytingum í einkennum, upphleðslu og innri lagskiptingu, en slíkar breytingar gefa upplýsingar um hvað gerðist í raun í eldgosinu sjálfu og röð atburða. Í öðru lagi þá notuðum við jarðsjá (ground penetrating radar, GPR). Jarðsjá sendir rafsegulbylgjur af ákveðinni tíðni niður í jörðina og mælir endurkast þeirra til yfirborðs. Endurkast verður af öllum misfellum í jörðinni undir mælitækinu og gefur því til kynna lagskiptingu í efsta hluta jarðlagastaflans, þ.e. í lausum jarðlögum sem liggja ofan á berggrunninum. Við mælingar við Öræfajökul er notast við senditíðnirnar 400 MHz, 200 MHz og 100 MHz. Því lægri sem senditíðnin er því dýpra sér jarðsjáin ofan í jörðina og því hærri sem tíðnin er, eykst upplausn í greiningu sniðanna. Til þess að ákveða einkenni jarðlaganna sem mynda lagskiptinguna voru grafnar holur í gegnum jarðlagabeikjuna eða náttúruleg snið skoðuð og gerð jarðlaga í þeim skráð (Goodman og Piro, 2013). Við mælingar var notast við búnað frá GSSI, SIR3000 kerfi (<https://www.geophysical.com/>). Tilgangur jarðsjár mælinga er tvíþættur: annars vegar að meta útbreiðslu gjóskunnar á láglendi og hinsvegar að ákvarða staði til að grafa á til þess að kanna afstæða legu gjósku- og gushlaupa og þeirra jökulhlaupa sem mynduðust í eldgosinu 1362.

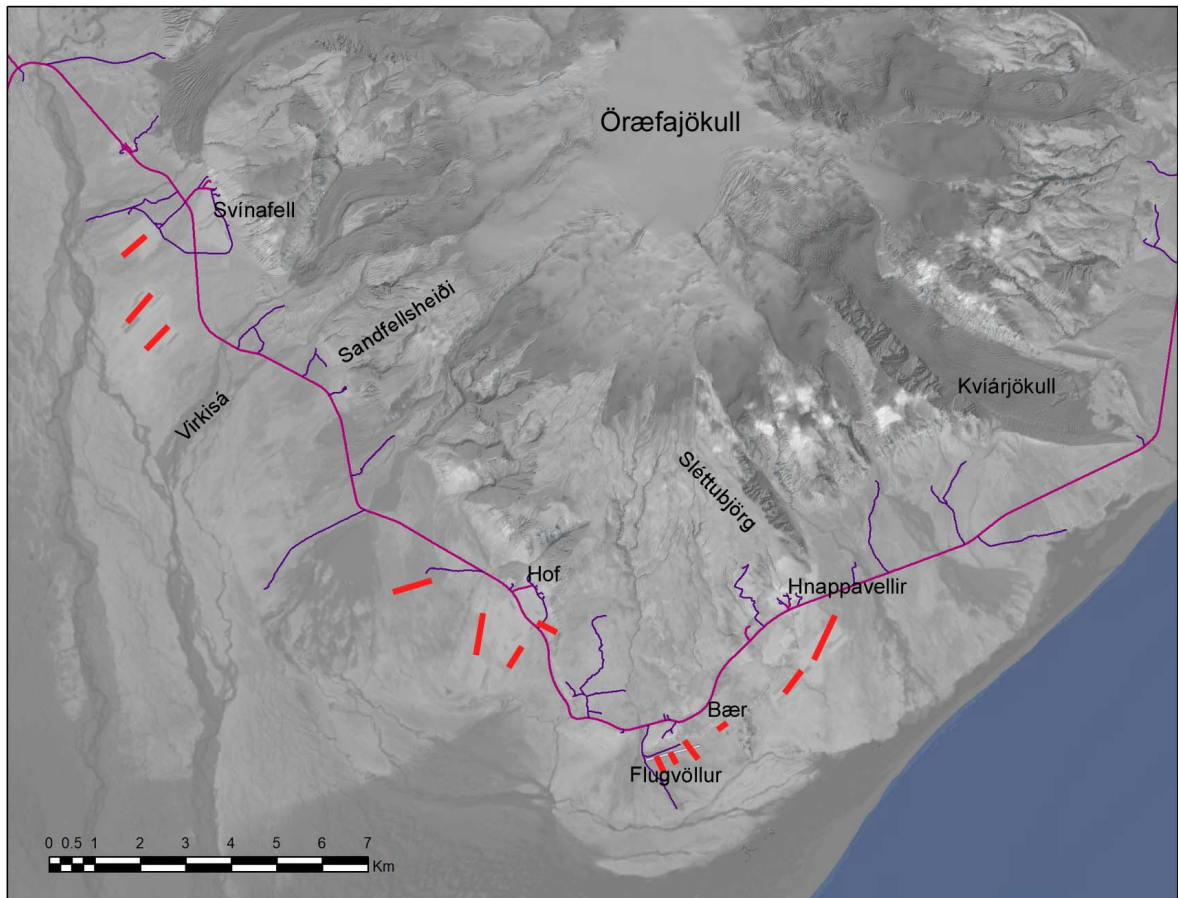
Þversnið í gjóskuna gefa upplýsingar um gang eldgossins. Þegar gjóska sest til á yfirborði, geymir hún upplýsingar um hversu mikið; hefur flust með gust- og/eða gjóskuflóðum eftir yfirborði; borist sem gjóskufall í gegnum andrúmsloftið. Með öðrum orðum innri lagskipting gjóskulagsins geymir upplýsingar um eðli og kraft eldgossins. Lagskipting í gjóskusniði hefur því að geyma mikilvægar upplýsingar um eldgosið, t.d. breytingar í sprengikrafti, myndun gjóskuflóða, hlé á eldgosi. Allar breytingar sem sjá má í sniði gegnum gjósku frá sprengigosi gefa því mikilvægar upplýsingar um hvað var að gerast á meðan eldgosið stóð yfir. Oft á tíðum eru þetta einu upplýsingarnar sem við höfum um gang eldgossins. Í forsögulegum eldgosum verðum við að treysta á slíkar upplýsingar til að hafa einhverja hugmynd um hvað í raun gerðist á meðan eldgosið stóð yfir. Í eldgosum sem við upplifum geta þetta líka verið bestu upplýsingarnar sem við fáum þar sem svæði næst eldfjallinu eru hættuleg og oft á tíðum hulin gjósku svo við í raun sjáum við ekki hvað er að gerast. Allur skilningur á því hvað í raun er að gerast eftir að kvika hefur brotist upp til yfirborðs er mikilvægur svo hægt sé að bregðast rétt við í framtíða eldgosum.

Sprengigos eru flokkuð eftir þeim þáttum er einkenna eldgosið og einkennum þeirrar gjósku er til fellur í eldgosinu. Má þar nefna þætti eins og gosmakkarhæð, magnútstreymi kviku, heildar rúmmál gjósku og dreifingu gjóskunnar. Þeir þættir sem skipta mestu í hermun dreifingar gjóskunnar eru magnútstreymi kviku og kornastærðardreifing gjóskunnar við eldgos upp úr gíg. Magnútstreymi kviku er gjarnan metin út frá gosmakkarhæð, en upprunaleg

kornastærðardreifing gjóskunnar, þ.e. heildarkornastærðardreifing gjóskulagsins, er áætluð út frá dreifingu gjóskunnar og samþættingu á kornastærðargreiningum frá einstökum mælistöðum. Gjóska sem kemur upp í eldgosi spannar marga stærðarflokka korna. Heildarkornastærðardreifing og eiginleikar gjósku sem fer upp í andrúmsloftið ræður miklu um möguleika hennar til að dreifast. Því er mat á heildarkornastærð mjög mikilvægt fyrir hermun á dreifingu gjóskunnar í andrúmsloftinu og spá um dreifingu hennar út frá veðurfræðilegum gögnum (Folch, 2012). Heildarkornastærð gefur líka mikilvægt innsæi í hegðun eldgoss (Kaminski og Jaupart, 1998, Bonadonna og Houghton, 2005, Rust og Cashman, 2011). Kornastærðin stjórnar magndreifingu gjóskunnar í gosmekkinum sem og hvernig gjóska fellur út úr gosmekki. Heildarkornastærð gefur líka upplýsingar um þætti er stjórna tætingu kvikunnar hverju sinni. Greining heildarkornastærðardreifingar krefst nákvæmrar kortlagningar á útbreiðslu gjóskunnar sem og þéttleika sýnatökustaða (Bonadonna og Houghton, 2005). Voronoi-Tessellation aðferðin hefur sýnt sig að vera sú aðferð er best getur nálgast heildarkornastærðar mælingar (Bonadonna og Houghton, 2005). Við mælingar er gjóskunni skipt upp í Voronoi einingar, byggðar á fjarlægð milli sýnatökustaða. Heildarkornastærð er svo reiknuð út frá flatarmáls meðaltali allra Voronoi eininganna. Kostur Voronoi greiningar er að hún tekur tillit til flatarmálsdreifingar sýna en er óháð fyrirfram ákveðinni reita skiptingu (Bonadonna og Houghton, 2005, Scollo og fl., 2007, Andronico og fl., 2014, Bonadonna og fl., 2015).

Jarðsjármælingar

Vetvangsvinna vegna jarðsjármælinga var sumarið 2018. Mæld voru 80 snið á 10 stöðum (Mynd 4). Mælt var með 400 MHz, 200 MHz og 100 MHz loftnetum á flestum stöðum. Með 400 MHz loftneti er hægt að mæli niður á um 3,5 m dýpi (7 m við bestu aðstæður) og fá mjög góða upplausn á jarðlagaskipan. Með 200 MHz loftnetinu náum við að tvöfalda dýpið, eða niður á um 7 m (12 m við bestu aðstæður). Loks er 100 MHz loftnetið notað til að komast niður á um 15 metra dýpi. Í þeim búnaði sem notaður er getum við tengt sama tvö 100 MHz loftnet og verður drægi þá meira en 30 m ef skilyrði eru hagstæð.



Mynd 4 Jarðsjármælisvæði sýnd með rauðum lit. Sumarið 2018 voru mæld upp um 80 snið með jarðsjá á mismunandi stöðum á láglendi suður af Örfæfajökli. Tilgangur mælisniðanna er fyrst og fremst að ná betri skilning á lagskiptingu jarðlaga frá 1362, en jarðsjármælingar gefa mun lengri snið en hægt er að komast yfir með handgreftri eða vélagreftri.

Láglendið undir Örfæfajökli nær upp að um 40 m hæð yfir sjó, efstu svæðin ná í rúmlega 100 m hæð við gilksjafta er ganga út úr Örfæfajökli. Sú staðreynd að meginhluti rannsóknarsvæðis er nærri sjávarmálshæð merkir að bæði er hætt við áhrifum grunnvatns og grunnsjávar í dýpri mælingum. Grunnsjór hefur þau áhrif að rafsegulmerkið hverfur eða verður einsleitt. Mýrarsvæði hafa svipaðan eiginleika ef að vatnið í mýrinni er járnríkt.

Sniðamælingar í vikurinn frá 1362 voru gerðar á Sandfellsheiði sumarið 2018. Jafnframt var litið eftir gosmenjum frá árinu 1727. Í þessum leiðangri voru gosstöðvar 1727 staðsettar með óbyggjandi hætti í fyrsta sinn (Torfadóttir, 2019).

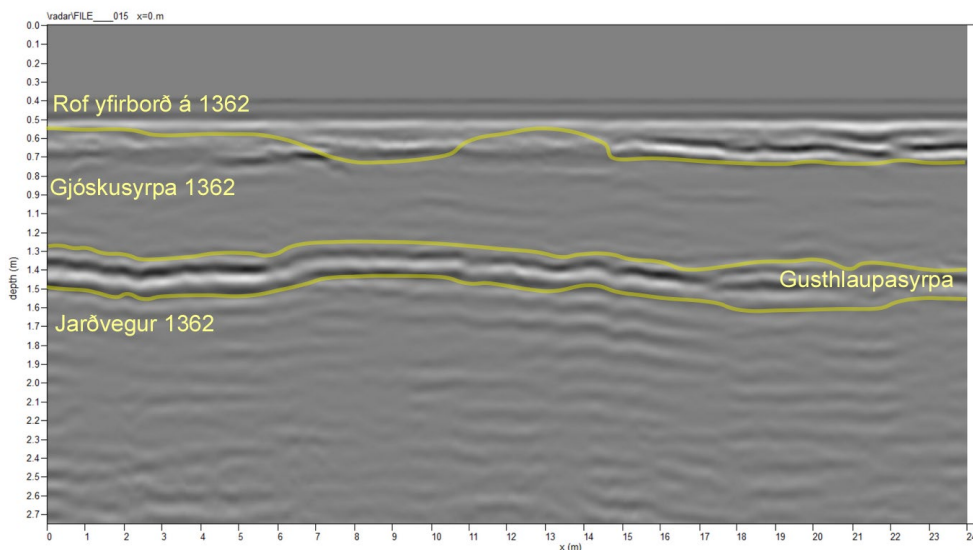
Veturinn 2018-2019 fór fram úrvinnsla mælinga sem gerðar voru sumarið 2018. Við úrvinnslu er notast við forrit að nafni „GPR-slice“ (<https://gpr-survey.com/>).

Jarðsjársnið

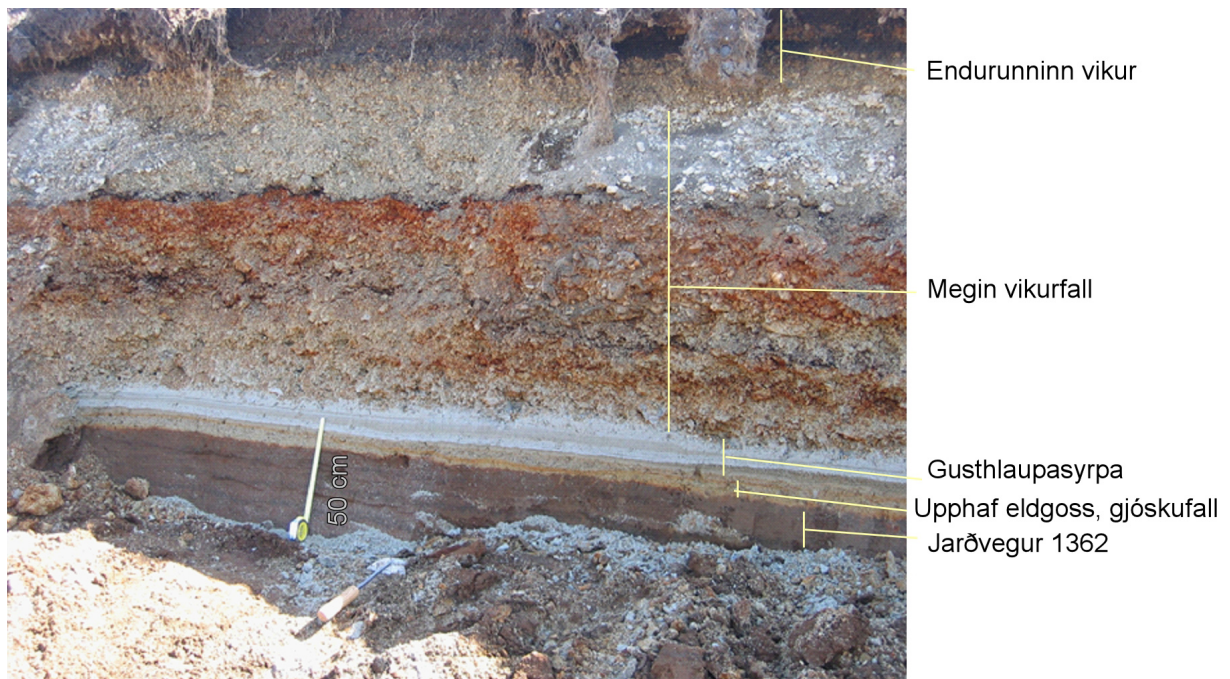
Árangur mælinga sumarið 2018 var harla góður. Jarðlagaskipan kom vel fram í flestum sniðum sem voru mæld. Hinsvegar kom vel fram, á svæðum sem standa lægst í landinu, að 200 og 100 MHz loftnetin hafa náð niður í jarðsjó eða járnríkt mýrarvatn sem takmarkaði notagildi þeirra. Hér er gerð grein fyrir túlkun nokkurra sniða er mæld voru upp á aurunum framan við Örfafjökul. Af þeim 80 sniðum sem gerð voru, verða aðeins kynnt hér valin snið. Fyrst er skoðað jarðsjársnið við Bæ, en þar er gott náttúrulegt snið til að hjálpa við að túlka það sem jarðsjáin sér (Mynd 5 og 6). Þetta leiðar snið er nýtt til að gefa vísbendingar um hvað mæliniðurstöður jarðsjárnar endurspeglar á rannsóknarsvæðinu.

Bær

Sniðið við Bæ er í rofbakka bæjarlækjarins í um 30 m hæð yfir sjó. Í botni sniðsins er jarðvegur frá árinu 1362, ofan á hann leggst svo syrpa gosefna frá eldgosinu 1362, sem síðan er hulin tilfluttum vikri og jarðvegi. Gjóskulagið er ekki heilt, þ.e. það vantar ofan á það vegna rofs. eins og kemur fram í námsritgerð Páls Valdimars Kolka Jónssonar frá 2007. Jarðsjársnið sýnir mjög vel lagskiptingu frá jarðvegi til gjóskunnar (Mynd 5 og 6).



Mynd 5. Jarðsjársnið frá bæjarlæknum við Bæ í Örfafasveit. Sniðið er tekið með 400 MHz loftneti og nær niður á um 2,7 m. Athugið að ekki hefur verið leiðrétt fyrir sveiflum í hæð yfirborðs, en hámarksbreytingar eru um 10 sm. X-ás myndarinnar er 24 m að lengd og y-ás sýnir áætlað dýpi 2,7 m.

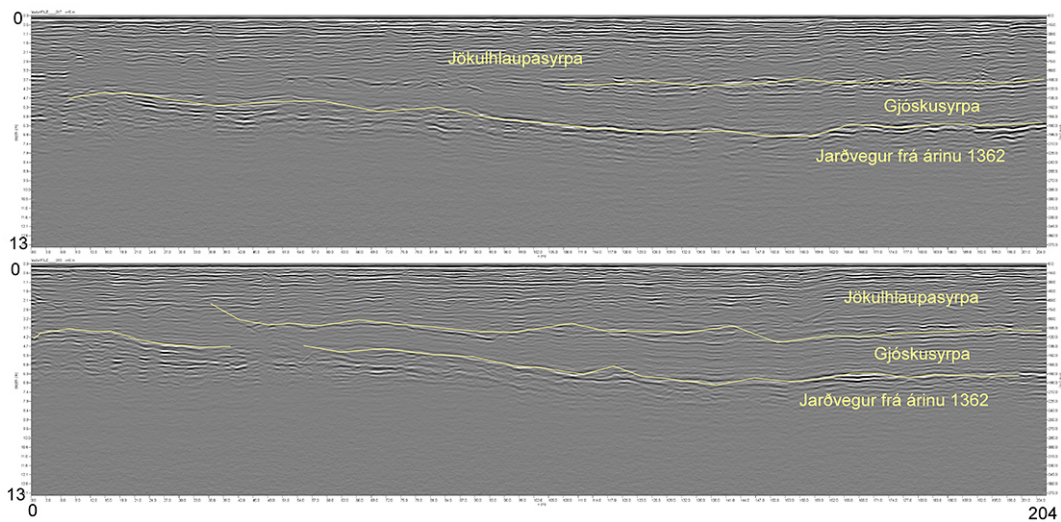


Mynd 6. Snið í gjóskulagið frá 1362 við bæjarlæk Bæjar. Jarðsjáin var dregin um 1 m frá brún og er sniðið sýnt á Mynd 5.

Jarðsjármælingar við Bæ sýndu að jarðvegur undir gjóskunni hefur sterkt endurkast, jafnframt kom gusthlaupasyrpan fram sem sterkt endurkast. Megin gjóskufallið kom fram sem frekar dauft endurkast. Líklega vegna þess að gjóskan er gróf, mjög illa þökkuð og full af holrýmum (Mynd 5). Niðurstöður þessara mælinga voru notaðar til framkvæma bráðabirgða túlkun á öðrum jarðsjársniðum og leiddu þá vinnu sem fór af stað í kjölfarið, þ.e. fá staðfestingu á hvort gjósku mætti greina undir jökulhlaupasetinu á aurunum framan við Örafajökul.

Flugvöllur við Fagurhólsmýri

Flugvöllurinn við Fagurhólsmýri er um 800m vestan við Bæ og í um 25 m hæð yfir sjó. Flugvöllurinn er byggður ofan á jökulhlaupaseti sem líklega er frá eldgosinu 1362 og myndar tungu frá farvegi Gljúfursár til austurs með Salthöfðahrauninu. Nokkur snið voru tekin yfir flugvöllinn með senditíðnum 400 MHz og 200 MHz. Ef þetta jökulhlaupaset er frá 1362 ætti það að vera í nánum tengslum við gjóskulagið frá 1362 gosinu og hvort það væri undir eða ofan á jökulhlaupasetinu fer eftir afstæðri tímasetningu þessara atburða.

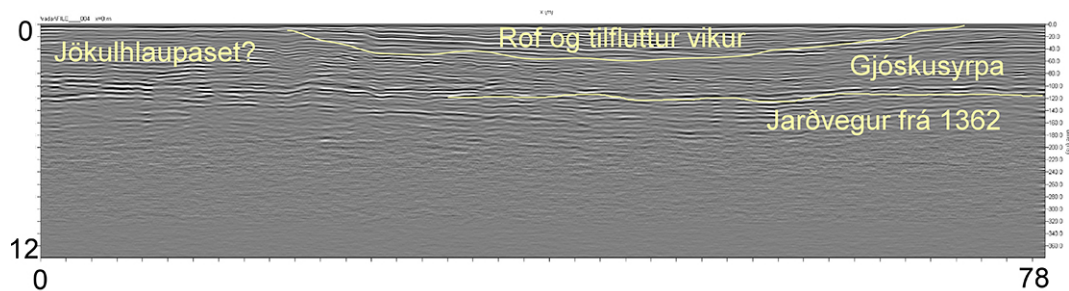


Mynd 7. Jarðsjársnið þvert yfir flugvöllinn á Fagurhólsmýri. Notast var við 200 MHz senditíðni við mælingu. Mæliaðstæður eru góðar og loftnetið sér niður á allt að 10 m dýpi. Lagmót koma skýrt fram í sniðinu og líklegast samsvara neðsta sterka endurkastið jarðvegysfirborðinu frá 1362 og gushlaupasyrpunni í upphafi eldgoss. Efsta skálagaða syrpan er Jökulhlaupasetið sem flugvöllurinn hvílir á. Sniðið er 204 m langt. Á milli efra og neðra sniðs eru 50 m.

Snið sem sýnt er á Mynd 7 gefur til kynna svipaða lagskiptingu og er að sjá við Bæ. Hinsvegar eru megin syrpanar mun þykkari hér, sem kemur heim og saman við það að efsti hluti gjóskulagsins í sniðinu hjá Bæ er töluvert rofin. Ef túlkun á Mynd 7 er rétt þá er gjóksusyrpan undir flugvellinum allt að 3-4 m þykk. Mikilvægari er sú niðurstaða að jökulhlaupaset tunga flugvallarins er hluti af viðburðum 1362 og leggst beint ofan á gjóskuna frá eldgosinu. Til að staðfesta lagskiptingu þurfti að grafa í gegnum gjóskuna og jökulhlaups tunguna við flugvöllinn. Þær aðgerðir voru framkvæmdar sumarið 2019.

Hof

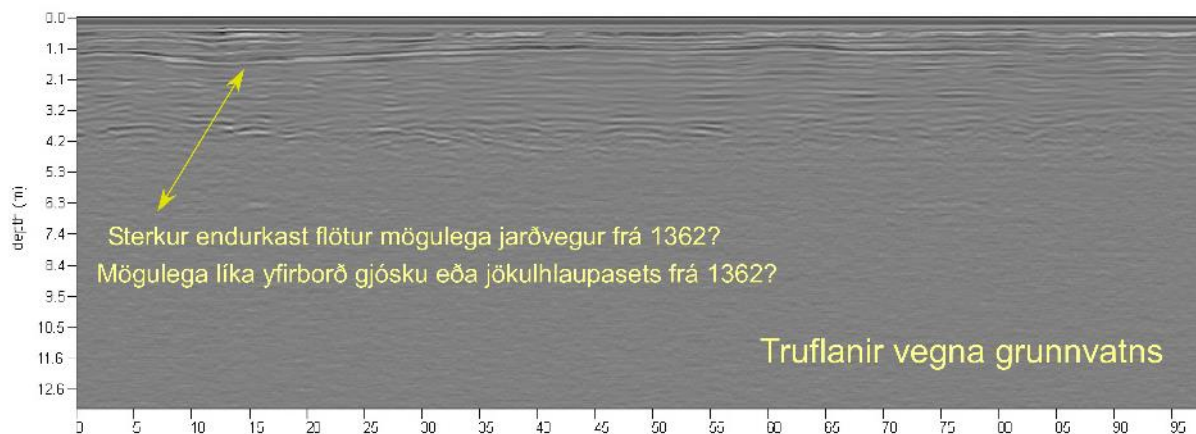
Mælingar við Hof í Öræfum voru gerðar við fyrstu túnin á Hofsbökkum norðan vegar í um 40 m hæð yfir sjó. Sniðin voru tekin yfir svæði þar sem að glittir í endurflutta gjósku frá 1362 mjög lagskipta og fíngerða. Við mælingu var notast við 400 MHz og 200 MHz loftnet. Á Mynd 8 er sýnt 78 m langt snið. Hluti efsta lags sniðsins er aðgengilegur um 15 metra frá mælilínunni og sýnir fyrrgreinda fínlagasyrpu gjósku frá 1362. Í þessu sniði er lagskipting ekki eins greinileg og í sniðum á Myndum 5 og 7, en líklega er yfirborð jarðvegs frá 1362 á um 3,5 m dýpi. Mögulega er hér jökulhlaupaset sem situr beint ofan á yfirborðinu frá 1362 (Mynd 8). Til suðvesturs fingrast þessi myndun við aðra ásýnd sem svipar til gjóksusyrpunnar á Bæ og ofan á hana sest svo skálöguð syrpa með fíngerðri gjósku (sú gjóska er sýnileg skammt frá). Ef norðvestur endinn er jökulhlaupaset kemur það annaðhvort úr Kotárgili, Hvalvörðugili eða Bæjargili. Hér var tekið snið sumarið 2019 til að fá úr því skorið hvaða jarðlög eru að koma fram í sniðinu og hver er afstaðan á milli jarðvegs, jökulhlaupsets og gjóskunnar.



Mynd 8. Jarðsjársnið við Hof, 200 MHz senditíðni notuð. Endurköst ná niður á um 6 m, en neðan þess gætir áhrifa grunnvatns/grunnsjávar. Sniðið er um 78 m langt. Möguleg jarðlagaskipan er sett inn á myndina. Jarðvegssýfirborð frá 1362 gæti verið hér á um 3,5 m dýpi í sniðinu. Sniðið er í jaðri aurkeilu frá Bæjargili, Hvalvörðugil og Kotárgili. Efsta gjóskusyrpan sem er sýnileg svipar til fín lagskiptrar gjóskusyrpu í Fagurhól er leggst beint ofan á grófa vikur gjósku frá 1362.

Virkisá

Á túnum vestan Virkisár voru tekin 4 snið. Sniðin eru á aurkeilu Virkisár og Falljökulskvísar sem báðar eru taldar hafa hlaupið í kjölfar eldgossins 1362. Ekki fara sögur af því að jökulhlaup samfara eldgosinu 1727 hafi farið um þessa farvegi. Notast var við 200 MHz loftnet. Sniðatökustaðir eru í um 70 m hæð yfir sjó. Sökum grunnvatns sér loftnetið ekki lengra niður en rétt rúma 4 m. Sniðið er 340 m langt samanber Mynd 9. Sterkir endurkastfletir koma fram í sniðum hér og voru teknar holur hér til að komast að því fyrir hvaða lög valda endurköstum.



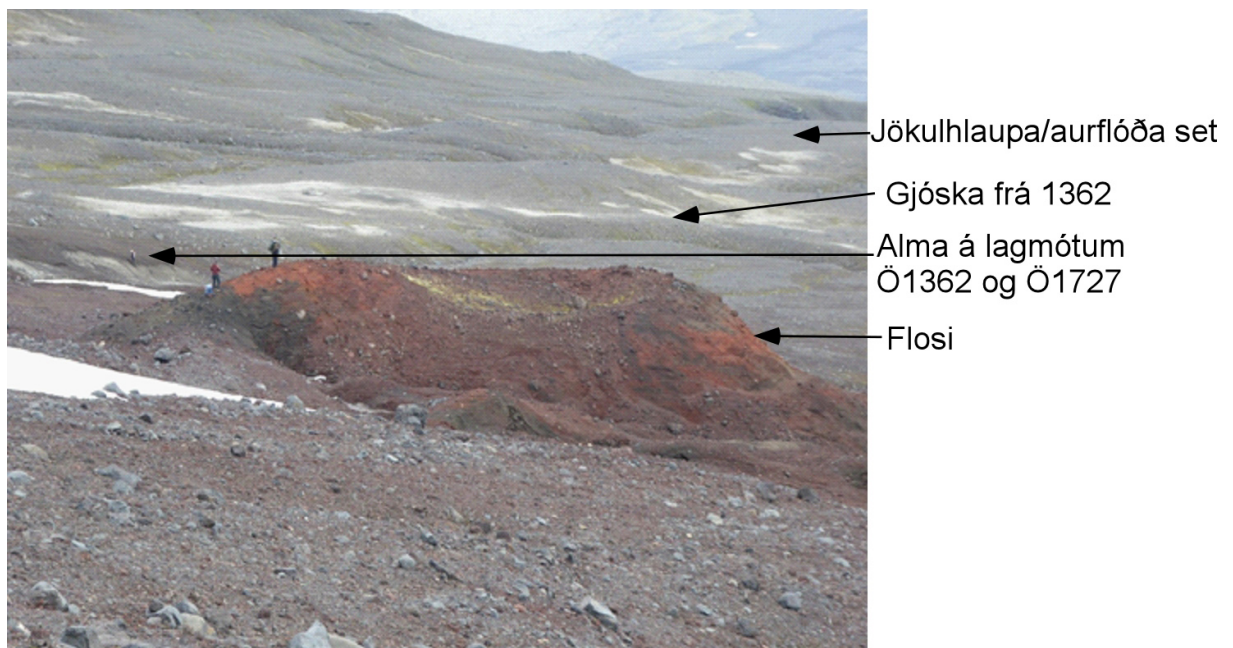
Mynd 9. Jarðsjársnið við Virkisá eru um 340 m löng. Hér er aðeins sýndir 95 m af öðru langsniða tekin á túnum við Virkisá. Grunnvatn veldur því að jarðsjáin sér ekki neðar en um 4 m. Sterkur endurkastflötur á um 1,2 m dýpi gefur til kynna samfellt yfirborð. Hér gæti verið yfirborð jarðvegs frá 1362, yfirborð jökulhlaupasetts frá 1362 eða yfirborð gjóskusyrpunnar sjálfrar. Þar sem yfirborðið er ekki samfellt í sniðinu gefur það til kynna rof síðan það var myndað.

Mælingar á jarðvegssniðum

Þessi þáttur verkefnisins sneri að því að staðfesta lagskiptingu sem greind var í jarðsjársniðum. Endurkast sem greint er með jarðsjá gefur til kynna innri uppbyggingu jarðlaga sem rafsegulbylgjan fer um. Til að staðfesta gerð þeirrar lagskiptingar sem fram kemur er nauðsynlegt að taka snið í gegnum þau svæði sem mæld hafa verið. Grafin voru 15 snið í gengum aurkeilur Örfafajökuls frá Svínafelli í vestri til Kvíarjökuls í austri (Mynd 4). Þá var og unnið að bráðabyrgða greiningu á heildarkornastærð gjóskumakkar eldgossins í Örfafajökli 1362 sem og fyrstu greiningu á dvalarstað kviku í eldstöðvarkerfi Örfafajökuls eins og kemur fram í meistararitgerð Helgu K. Torfadóttur (2018), en það verkefni heldur áfram sem doktorsverkefni við Háskóla Íslands.

Sandfellsheiði

Á Sandfellsheiði er töluvert af gjósku frá 1362 er greina má á loftmyndum. Sumarið 2018 var gerður leiðangur þar upp til þess að gera snið í gjóskuna frá 1362. Jafnframt var kíkt eftir ummerkjum frá eldgosinu 1727, en samkvæmt samtímalýsingum ættu gígar þess eldgoss að finnast þar ef jökullinn er ekki búinn að afmá þá af yfirborði. Skemmst er frá að segja að gígaröðin fannst og var staðfest að hún er frá 1727 með mælingum á gjóskulögum í jarðvegi á svæðinu. Mynd 10 sýnir syðsta gíg gossprungunnar frá 1727, er nefndur var Flosi, þar sem töluvert hefur flosnað úr gígnum auk þess sem það er við hæfi að nefna hann eftir Flosa á Svínafelli, fyrsta höfðingja í Örfasveit. Gígaröðin stefnir ANA frá Sandfellsheiði upp til öskju Örfafajökuls. Á gossprungunni greinast ummerki allt að 5 gíga sem allir hafa að einhverju leyti verið nagaðir af jöklinum.

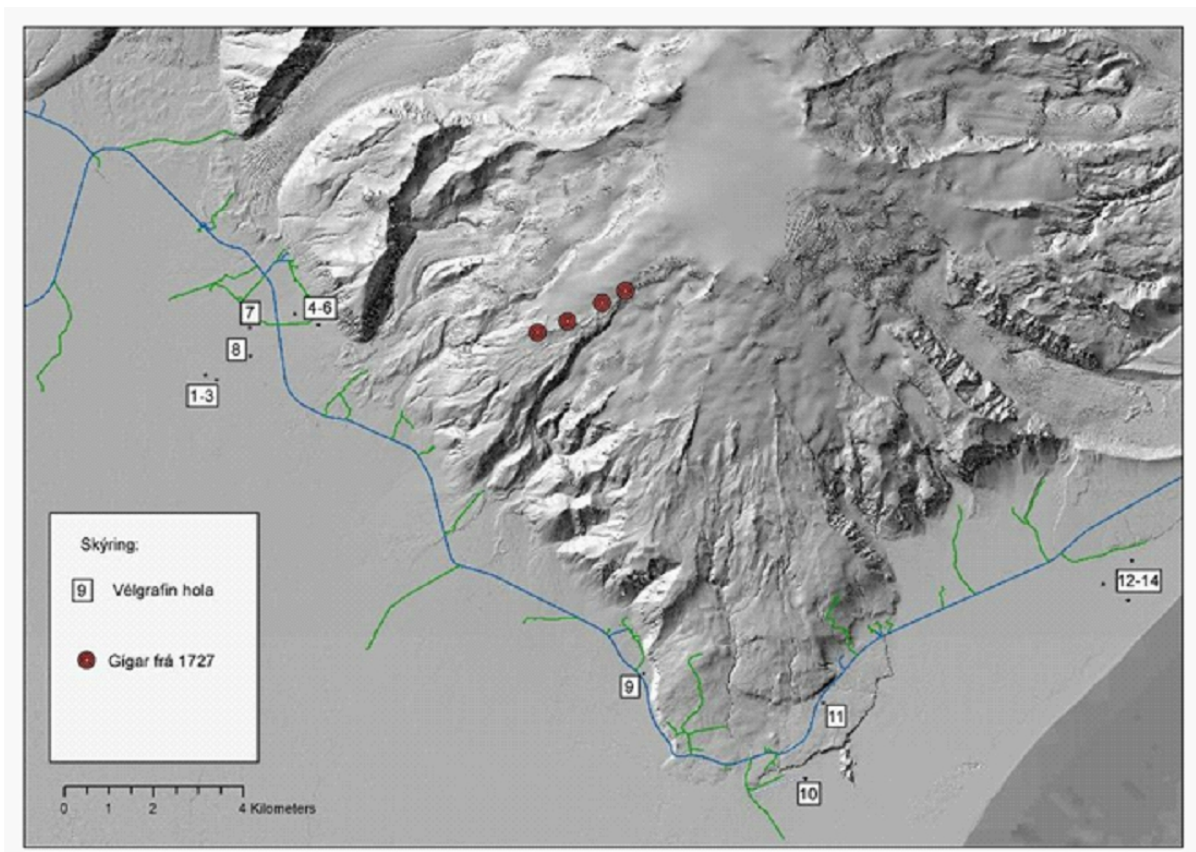


Mynd 10. Séð yfir Flosa, syðsta gíg á gossprungunni frá 1727. Jökull hefur aðeins strokið utan af gígnum frá því að hann myndaðist. Gígaröðina má svo rekja til ANA upp með jökuljaðri. Alls voru greindir 5 gígar á sprungunni. Í bakgrunn sést í vikur frá 1362. Vikurinn er um 3 m á þykkt hér og hulin jökulhlaupaseti. Ljósu línur í landslagi handan Flosa, sýna gjóskulagið frá 1362.

Snið í gjóskuna frá 1362 á Sandfellsheiði eru um 3 m þykkt þar sem það er þykkast og sýnir sömu uppbyggingu og við Bæ og í Fagurhól, þ.e. gróf til meðal gróf gjóska, blandin finni gjósku leggst ofan á jarðveg frá 1362. Í neðstu 20 sentímetrum sniðsins skiptast á lög af grófri til finni gjósku ofan á þessa syrpu kemur svo meðalfinn til grófur vikur. Grófa vikur gjóskan er svo hulin efni frá jökulhlaupum. Gjóskan í þessu sniði samsvarar gjóskunni í sniðinu við Bæ, en þar er hún að hluta til sett niður af gushlaupum. Tilvist jökulhlaupa setsins ofan á gjóskunni gefur til kynna að efsti hluti gjóskufallsins er rofin burt. Því má leiða að því getur að heildar þykkt gjósku frá 1362 á Sandfellsheiði hafi verið meira en 3 m. Hér skal tekið fram að sniðin eru á heiðinni sjálfri. Gilin sjálf hafa ekki verið könnuð til hlítar, en tilgangur jarðsjármælinganna var einmitt að skoða efnið sem kom út úr giljunum.

Jarðvegssnið á aurum framan við Öräfajökul

Sniðatökur á jarðsjármælingasvæðum hófust haustið 2019. Traktorsgrafa var fengin til verksins þar sem að aurarnir eru víða stórgrýttir og djúpt niður á endurkastflötinn sem kemur fram í jarðsjármælingum. Nokkrir staðir höfðu verið valdir til holugerða með traktorsgröfu, annarsvegar svæði þar sem farið var yfir með jarðsjá til að staðfesta endurkast mælingar og svo hinsvegar svæði nær Svínafellsbæjum. Holur voru grafnar nærri jarðsjármælingastöðum er höfðu farið fram 2018. Tilgangurinn var að staðfesta jarðlagaskipan sem fram kemur í jarðsjármælingum. Þá voru holur grafnar austur á Kvíarmýrasvæði þar sem að stærstu gjóskuflóðin höfðu farið niður, samkvæmt gjóskumælingum á Sléttubjörgum. Til verksins fengum við Þorlák Magnússon á Svínafelli 3 með traktorsgröfu sína. Grafnar voru 14 holur á lykilsvæðum (Mynd 11). Ekki reyndust allar holur árangursríkar, var þar helst um að kenna að árnar hafa runnið óbeislaðar um aurkeiluna í hart nær 600 ár. Þar sem jarðsjármælingar fóru oft fram á tünnum bænda, var grafið utan túna svo að rask yrði ekki til trafala síðar meir, til að athuga samsvörun í jarðlagaskipan. Reynt var að grafa í framræslu skurðum sem fylgdu tünnum, en það reyndist ekki árangursríkt þar sem að grunnvatnsflöturinn truflaði athuganir. Af fjórtán holum sem grafnar voru reyndust sjö sýna jarðlagaskipan frá 1362 (hola 8, 9 og 10-14). Hinar holurnar voru á svæðum þar sem rof hafði átt sér stað og eða of djúpt var niður á jarðveg frá 1362 (Mynd 11).



Mynd 11. Vélgráfin snið í aurkeilur við rætur Óræfajökuls. Á svæðinu frá Sandfelli að Hofi er aurkeilan of þykk til að hægt væri að fara niður að jarðveg frá árinu 1362 með traktorsgröfu. Gíguröð frá 1727 er sýnd með rauðum punktum.

Hola 8

Hola 8 var grafin rétt sunnan við Svínafellsbæi (sjá Mynd 11 og 12). Alls voru grafnar 8 holur á svæði sem markast frá Svínfellsbæjum og út á aurkeiluna (Mynd 11 og 12). Allar holur sem grafnar voru næst fjallinu, þ.e. holur 4-7, reyndust stórgrýttar og erfiðar í greftri. Ljóst var að hér var verið að grafa í fornum árfarvegum, allt fínefni farið og eftir stóð að mestu stórgrýtisurð. Það kom líka í ljós að hér hafði Virkisá leikið lausum hala allt fram undir 1950. Vinnsla við gerð varnargarða hófst á árunum 1940-1950, en þá var Virkisá veitt í núverandi farveg sinn. Neðan við Þjóðveg voru grafnar holur 1-3 og síðan hola 8. Holur 1-3 voru grafnar í skurðum gröfnum til að þurrka móann og núverandi tún bænda. Of mikið vatn reyndist á þessum stöðum. Þrátt fyrir að upp hefði komið vikur var ekki hægt að gera sér grein fyrir lagskiptingu. Hola 8 er grafin á þurru móanum rétt ofan við útihúsin á sandinum. Holan var um tveggja metra djúp þegar upp kom vikur frá 1362 (Mynd 13). Þegar vikur og jarðvegur komu upp úr holunni hófst strax mikill innflaumur vatns er tók að fylla holuna. Tvær skóflur voru teknar eftir að vatn fór að streyma inn, svo að hægt væri að fullvissa sig um að grafið væri niður úr vikrinum. Hola 8 sýnir jökulhlaupaset blandað vikri frá 1362 ofan á óhreyfðri gjósku frá 1362. Gjóskan er gróf að ofanverðu en verður fínni til botns. Undir gjóskunni var brúnleitur jarðvegur (Mynd 13).



Mynd 12. Horft til Svínafellsbæja frá holutökustað 8. Grjótin í forgrunn eru líklegast frá jökulhlaupum eru komu niður árið 1362. Hóla 8 er rétt sunnan við grjótin.

Af þessu sniði verður ekki annað ráðið en að gjóskufall hafi verið hafið á svæðinu áður en að jökulhlaup koma ofan af fjallinu og breiðast út á aurkeiluna. Ekki reyndist unnt að fara í mjög nákvæmar mælingar á sniðinu þar sem að holan fylltist af vatni mjög skjótt. Okkur reyndist því ekki unnt að leggja mat á það hvað væri undir jarðveginum og hvort þar væri eldra flóðaset eða gjóskulög í þessum jarðveg. Lagmótin á jarðvegi og gjóskufalli koma vel sama við þann endurkast flöt er sterkastur kemur fram í jarðsjármælingum (Mynd 9).



Hlaupaset blandað vikri

Vikur grófur að ofan og fínn að neðan.
Jarðvegur undir

Mynd 13. Snið í holu 8. Sýnir að ofan á gjóskunni frá 1362 er jökulhlaupaset blandað af gjósku frá 1362. Í botni holunnar gefur að líta grófa vikurlagið frá 1362. Undir vikurlaginu er fínt lag sem myndaðist í upphafi eldgoss, sem einkennir allt svæðið. Þegar fína lagið var rofið streymdi upp grunnvatn í holuna.

Hola 9

Hola níu er rétt sunnan við Hof í Öræfum. Við jarðsjármælingar hafði komið fram skýr lagskipting sem tókst að staðfesta í opnu skammt frá (Mynd 14). Lagskipting hér sýnir ekki ummerki jökulhlaupasetts en fínt gjóskulag ofan á jarðvegi frá 1362 og síðan grófur vikur ofan á loks er allt hulið af tilfluttum vikri. Staðsetning sniðs hér er utan aurkeilunnar og áhrifasvæðis hennar. Endurkastflötur í jarðsjármælingum samsvarar lagmótunum sem einkennast af jarðvegi og fínum vikri frá upphafsfasa eldgossins. Þar sem að hér fannst ekki jökulhlaupaset, var ekki dvalið við þessa holu.



Mynd 14. Snið við Hof í gjósku frá 1362. Megin hluti gjóskunnar sem hér sést er tilflutt eftir að eldgosi líkur.

Hola 10

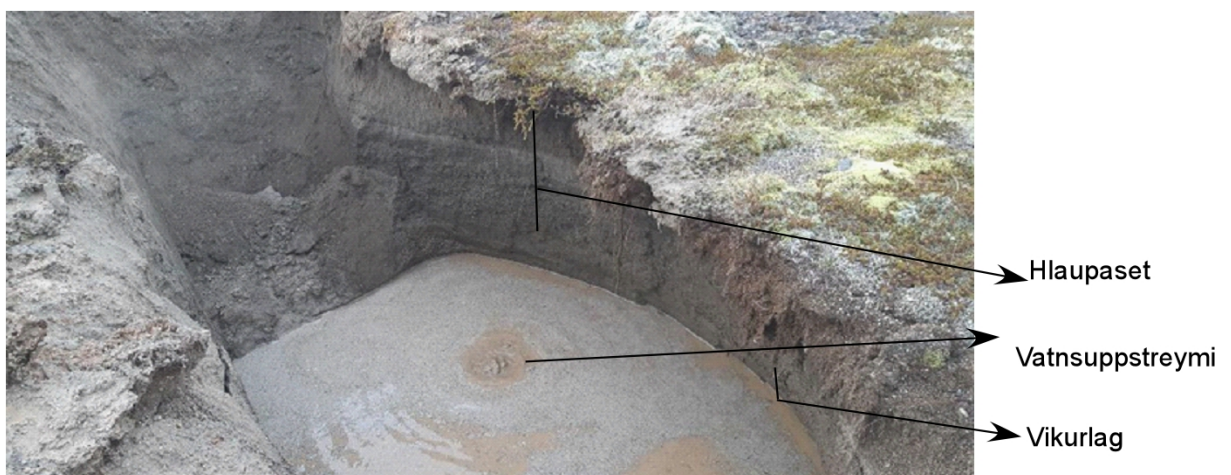
Hola 10 var tekin við endann á flugbrautinni á Fagurhólsmýri (Mynd 11). Flugbrautin stendur á tungu setts er hefur borist niður í jökulhlaupi er rann eftir farvegi Gljufursár (Thorarinsson, 1958, Roberts og Gudmundsson, 2015). Snið sem var tekið efst í farvegi Gljufursár sýnir að jökulhlaup hefur komið í ánnu í miðju eldgosi árið 1362 (Höskuldsson og Thordarson, 2007).



Mynd 15. Uppgröftur í Holu 10. Grafan er komin niður á gjósku frá 1362. Grófur vikur kemur upp í upphafi og síðan finn vikur og jarðvegur.

Hola 10 er jafnframt skammt frá bæjar rústum Bæjar er grafnar voru upp á árunum 2004 til 2013 (Einarsson, 2020). Snið við rúst Bæjar sýna að röð gushlaupa hefur gengið yfir svæðið í upphafi eldgoss (Höskuldsson og Thordarson, 2006 og 2007, Jónsson, 2007).

Snið í Holu 10 er svipar mjög til sniðs í Holu 8. Jökulhlaupasetts tungan sem flugvöllurinn stendur á liggur ofan á grófum vikri, undir vikrinum er síðan gjókusyrpa af öskustærð $< 2\text{mm}$ og jarðvegur (Mynd 15). Fínkorna syrpan og jarðvegurinn eru þétt. Um leið og grafið var í gegnum þessi lög vall upp vatn í holuna.



Mynd 16. Botn Holu 10, eftir að grafið var í gegnum fínkorna vikurinn og jarðveginn. Vatn vellur upp vegna þéttleika þessara jarðlaga, en þau halda þrýstingi á grunnvatninu.

Jarðlagasyrpuna sem kemur fram í holunni má tengja við jarðsjársnið sem gerð voru á flugvellinum (Mynd 7 og 16). Þar sem efri endurkastflöturinn kemur heim og saman við efra borð grófa vikursins, en neðra boðrið kemur heim og saman við jarðvegslagið og fínvikurinn.

Hola 11

Hola 11 var tekin sunnan við Þjóðveg 1, skammt frá Hnappavöllum (Mynd 11). Holan var tekin til að fá skýrari mynd af lagskiptingunni á svæðinu. Botn holunnar sýnir jarðveg frá 1362, síðan fínkorna gusthlaupasyrpu. Ofan á gusthlaupa syrpu kemur síðan loftborinn grófur vikur. Ofan á loftborna vikurinn kemur syrpa af fínni gjósku sem innheldur öskubaunir og grófan vikur. Loks kemur jökulhlaupa set ofan á alla þessa syrpu (Mynd 17 og 18).



Mynd 17. Hóla 11 sýnir lagskiptingu gjóskunnar frá 1362. Hér sjást ekki ummerki jökulhlaupa fyrr en í lok syrpu. Megin gjóskufallið er hér um 1,5 m á þykkt, en heildar þykkt gjóskunnar hér er um 2,4 m.

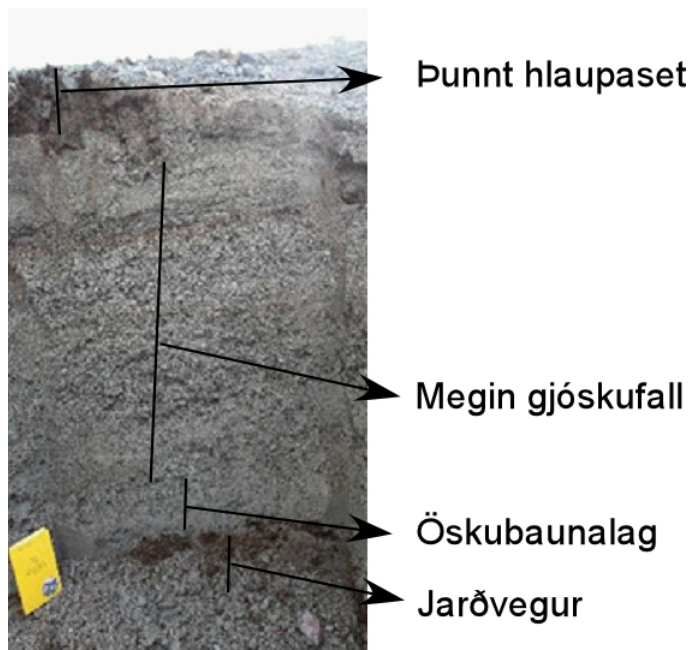


Mynd 18. Jökulhlaupaset ofan á gjóskustaflanum frá 1362 í hól 11.

Hola 11 er lykilsnið í gjóskufallið og röð atburða í eldgosinu 1362. Hvergi á láglandi finnst lagið jafn þykkt og samfelld eins og hér. Gjóska er þó mun þykkari ef farið er á heiðar Örfafajökuls, þannig er hún meira en 3 metra þykk ofan Sandfells og meira en 6 metrar á Sléttubjörgum.

Holur 12-14

Holur 12, 13 og 14 voru grafnar við mörk Kvíarmýrar og Hólár (Mynd 11), suðaustur af Hnappavöllum. Stutt er á milli holanna, en grafnar voru þrjár holur til að fá sem besta heildarmynd á lagskiptingu í gjóskulagastabbanum. Hér leggst fínkornótt aska gerð að mestu úr öskubaunum ofan á forna áraura Hólár (Mynd 19). Ofan á ösku baunalagið leggst svo grófur loftborinn vikur ((Mynd 19, 20 , 21). Ofan á loftborna vikurinn kemur svo fínkorna öskulag, örlítið sendið og því vatnsborið (Mynd 20). Ofan á öskulagið kemur svo jökulhlaupaset með gjósku frá 1362 (Mynd 19).



Mynd 19. Gjóskusniðið við Hólá og Kvíarmýri. Neðst í laginu er um 30 sm þykkt lag af öskubaunum. Ofan á það leggst grófur loftborinn vikur. Ofan á loftborna grófa vikurinn leggst svo aftur fínkorna gjóska frá 1362 sem að endingu er hulin jökulhlaupaseti frá Hólá.



Mynd 20. Snið við Hólá og Kvíarmýri sýnir uppbyggingu gjóskunnar. Ekki eru nein merki jökulhlaupa fyrr en ofan á öskunni. Ofan á megin gjóskustabbann kemur fín gjóska blönduð sandkornum, sem er vatnsflutt.



Mynd 21. Botn gjóskusniðsins, fínkornótt öskubaunalag leggst beint ofan á jarðveg og aura Hólár (brúnt). Ofan á það kemur svo grófur vikur.



Mynd 22. Nærmynd af öskubaunalaginu. Öskubaunin er um 1 sm í þvermál.

Jarðvegssniðin hér eru tekin í austur jaðri þess svæðis þar sem stærstu gjóskuhlaupin komu niður, þ.e. eftir farvegi Hólár. Á Sléttubjörgum er að finna ummerki þessara gjóskuhlaupa og hafa þau komið niður um farveg Stígár. Jarðsjármælingar gefa til kynna að gjóskulagið sé á allt að 8 metra dýpi í farvegi Stígár. Það verður því ekki grafið niður á það. Leiða má getum að því að öskubaunalagið neðst í sniðinu eigi ættir að rekja til gjóskuhlaupsins og hafi myndast þegar að gjóskuhlaupið fór í sjó fram (Mynd 22). Lagið er þykkara hér en vestan við farveg Hólár og Stígár. Gusthlaupasyrpur voru ekki greinanlegar hér eins og í sniðum vestan við. Það gefur til kynna að gusthlaup samfara gjóskuhlaupum ofan af Sléttubjörgum hafi að mestu farið til vesturs en gjóskufallið samfara gjóskuhlaupunum finnst allstaðar sunnan við Örafajökul.

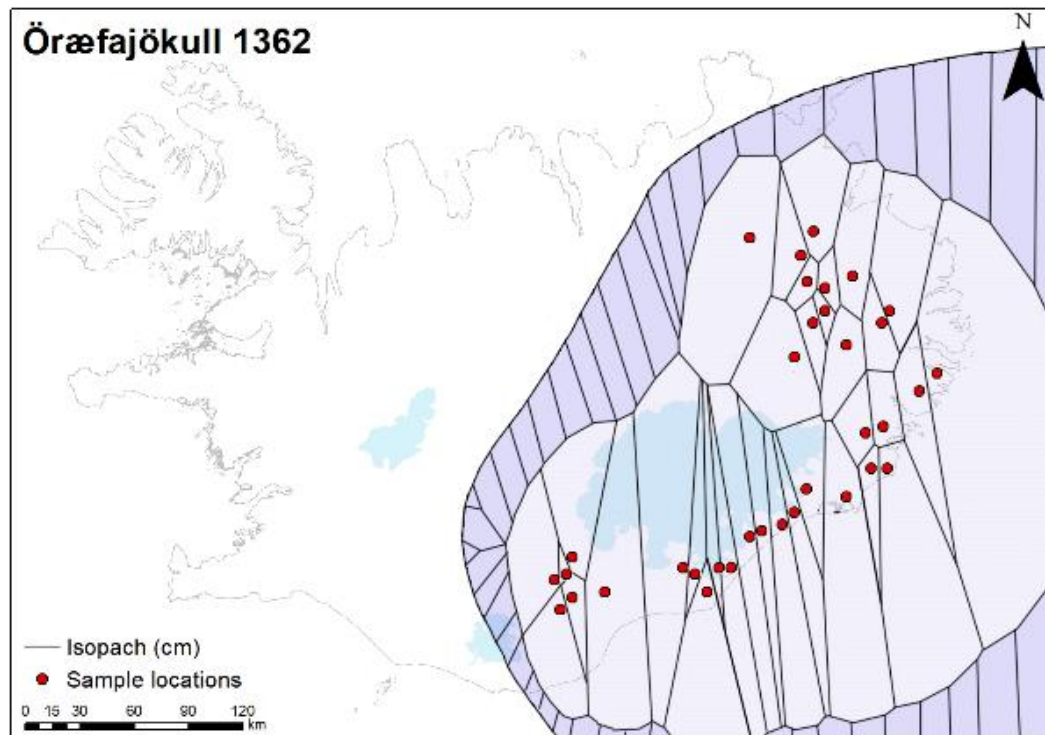
Heildarkornastærðargreining á öskulaginu sem féll árið 1362

Tilgangur þess að meta heildarkornastærðardreifingu í sprengivirkum eldgosum er sá að geta keyrt hermílikön til að líkja eftir dreifingu gjóskunnar í andrúmslofti. Ef til álíka eldgoss kemur í framtíðinni munu slíkar mælingar nýtast við að gera skammtíma gjóskudreifingarspár. Heildarkornastærðardreifing gjóskunnar nýtist jafnframt við langtímaspá, en slíkar spár eru gerðar til þess að greina helstu áhættusvæði í umhverfi eldfjalla (Bonadonna og fl. 2011, Biass og fl. 2014, Scaini og fl. 2014, Barsotti og fl. 2020). Samfara rannsóknum á röð atburða var gerð fyrsta nálgun á heildarkornastærðagreiningu öskulagsins er féll 1362. Gagnasöfnun vegna heildarkornastærðargreiningar hefur verið í gangi frá árinu 2013. Heildarkornastærðargreining krefst mikillar yfirferðar og fjölda sýna til greiningar. Útbreiðslu gjóskunnar frá 1362 má sjá á Mynd 2. Gjóskan hylur um helming Íslands og hefur dreifingu til aust-suð-austurs samkvæmt kortlagningu Sigurðar Þórarinssonar, 1958. Þrátt fyrir að stór hluti Íslands sé hulin gjósku frá eldgosinu 1362, barst enn stærri hluti gjóskunnar á haf út. Jafnframt er rétt að geta þess að samkvæmt rannsóknum Sharma og fl. 2008, eru líkur á því að gosmakkardreifing hafi verið töluvert SA-lægari en kemur fram á Mynd 2.

Heildarkornastærðarmælingar eru viðkvæmar fyrir nokkrum þáttum eins og fjölda sýna sem matið er byggt á, dreifingu gosefnanna, staðsetningu mæli- og sýnatökustaða með tilliti til gosstaðar og aðferðum sem er beitt til að reikna heildarkornastærð (Bonadonna og Houghton, 2005, Costa og fl. 2016). Mat á heildarkornastærð er mikilvægt, þar sem hermílikön um dreifingu á ösku í andrúmslofti byggja á henni (Bonadonna og Houghton, 2005, Beckeitt og fl. 2015). Við mat á heildarkornastærð gjóskunnar sem féll á landi voru mæld upp um 150 jarðvegssnið. Af þeim voru 35 tekin til nákvæmari kornastærðargreiningar (Mynd 23).

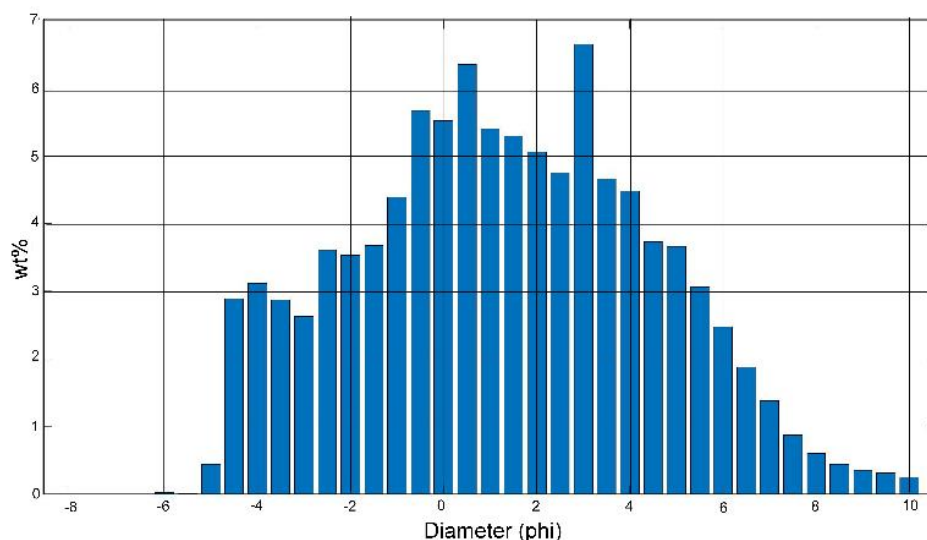
Til að ákveða fjölda sýna sem nauðsynlegt er að greina þarf að gera svokallaða Voronoi greiningu á útbreiðslu gjóskunnar. Þessi greining byggir á tölfræðilegu mati. Greining byggir á flatarmáls reitaskiptingu innan gjóskufallsgeirans. Í hverjum reit þarf að greina magntekin flatarmáls sýni, er síðan endurspegla heildardreifingu kornastærðar í gosmekkinum (Bonadonna og Houghton, 2005, Okabe og fl. 1992). Mynd 23 sýnir Voronoi greiningu gosmakkar 1362. Miðað við stærð eldgossins hefði getað verið gott að ná fleiri sýnum eftir þykktarás gjóskulagsins sem liggur svo gott sem beint á haf út. Matið á heildarkornastærðardreifingunni er því þeim annmörkum háð að það miðast við greiningu á sýnum þar sem gjóskan féll á landi. Eftir að búið var að fara yfir hvar sýna væri helst að leita með tilliti til Voronoi greiningarinnar þurfti að fara fram greining á því hvar best væri að finna sýni er endurspegluðu sem best upprunalega gjóskufallið. Á tæpum 660 árum hefur gjóskulagið verið undir áhrifum rofaflanna og því þarf að meta hverju sinni hversu nærri upprunalegu ástandi gjóskulagið er í jarðvegssniðinu. Eftir að sýnum hefur verið safnað

innan megin svæða greiningarinnar, eru þau handsigtuð niður að kornastærð 0,125 mm. Allt smærra en 0,125 mm er síðan grein í röntgengreini niður að kornastærðinni 0,001 mm. Ef fleiri en eitt gott sýni næst innan reits er Voronoi greining endurtekin. Að lokum er framkvæmt vegið meðalatal allra sýna innan reitakerfis Voronoi, að teknu tilliti til stærðar hvers reits (Bonadonna og Houghton, 2005, Biass og fl. 2015).



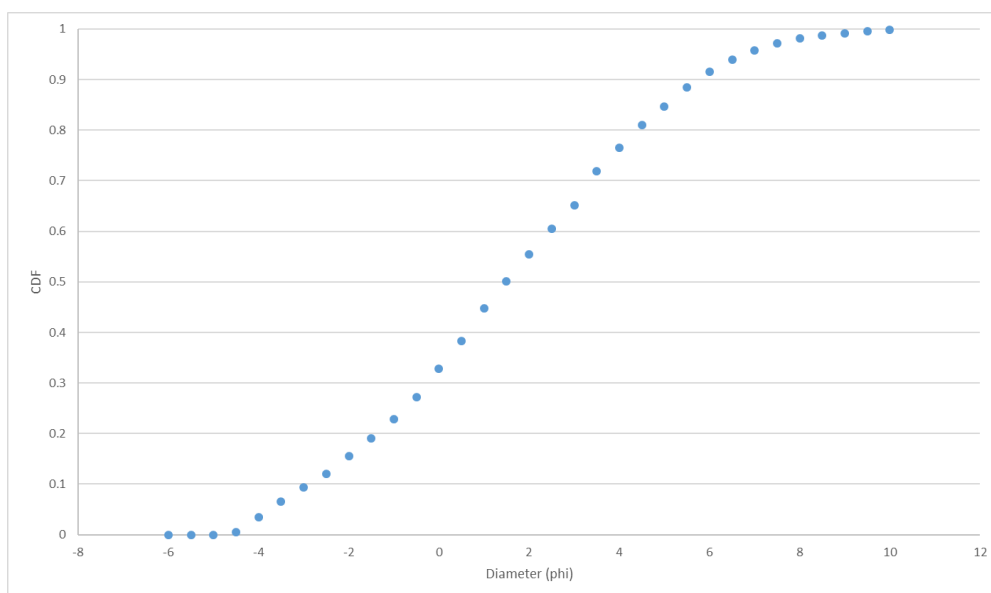
Mynd 23. Voronoi greining á útbreiðslu gjóskulagsins 1362. Sýnum var safnað þar sem rauðir punktar er merktir inn. Dökk fjólublá svæði eru utan þess svæðis sem náðist að safna. Hver reitur þarfnast nokkurra sýna svo lokamatið verði marktækt (Pioli et al 2019).

Heildarkornastærðardreifing er sýnd á Mynd 24. Kornastærðardreifingin hefur tilhneigingu í átt til jákvæðra phi-gilda (þ.e. finni kornastærða) sem samsvara ösku, og gefur til kynna mikla tætingu kvikunnar. Það örlar fyrir því að dreifingin sé margþátta með toppa við 3 phi, 0,5 phi og -4 phi (Mynd 24).



Mynd 24. Heildarkornastærðardreifing á loftborinni ösku frá eldgosinu í Öræfajökli 1362. Kornastærð á x-ás og þungaprósenta á y-ás. Mælikvarði phi, stækkar þeim mun smærri sem kornin verða. Þannig að phi 10 samsvarar kornastærðinni 0,001 mm og phi -6 svarar til kornastærðarinnar 64 mm.

Þegar uppsafnað magn kornastærðar er skoðað (Mynd 25), kemur í ljós að meira en helmingur gjóskunnar er af kornastærð undir hálfum millimetra (=1 phi). Gjóska smærri en 0,063 mm (=4 phi) er um 25 % af heildar magninu.



Mynd 25. Uppsöfnuð kornastærðardreifing (CDF) gjósku frá 1362. Kornastærð á x-ás og uppsöfnuð kornastærðardreifing á y-ás.

Gjósku af stærðinni 0,125 mm (3 phi) og smærri finnst víða í mýrum á Írlandi, Evrópu og Skandinavíu (Watson og fl. 2016). Í tilviki Öræfajökuls og þeirrar heildarkornastærðar sem þar

kemur fram, þá hefur um 35% kornanna möguleika á því að svífa yfir Atlantsála. Kornastærðar greining á sýnum úr Claraghmore mýrinni á Írlandi sýna stærstu korn allt að 0,1 mm að stærð, en megin hluti þeirra er þó um 0,05 mm (Watson og fl. 2016).

Heildarkornastærðardreifing á gjósku frá 1362 tengist ennfremur verkefnum á vegum ICAO, Futurevolc og Eurovolc. Fyrsta nálgun er kynnt hér, verkefnið hefur verið unnið í samstarfi við Háskólann í Genf í Sviss og Florence á Ítalíu. Þar sem minni hluti gjóskunnar féll á Ísland telst sú niðurstaða sem hér er kynnt vera tölfræðilega besta nálgun á mat heildarkornastærðar þeirrar gjósku er kom upp í eldgosinu 1362.

Samantekt jarðsjár- og mældra sniða í Öræfum, röð atburða

Megin rannsóknarspurning þessa verkefnis er hver hafi verið röð atburða í upphafi þessa stóra sprengigoss. Hvort gushlaup, gjóskuflóð og gjóskufall hafi komið á undan eða eftir þeim jökulhlaupum sem ummerki eru um á láglendi sunnan Öræfajökuls. Eina leiðin til að skera úr um þetta er greining á sniðum í gegnum gjóskuna svo betur megi átta sig á innbyrðis afstöðu eininga gjóskunnar og jökulhlaupasetanna.

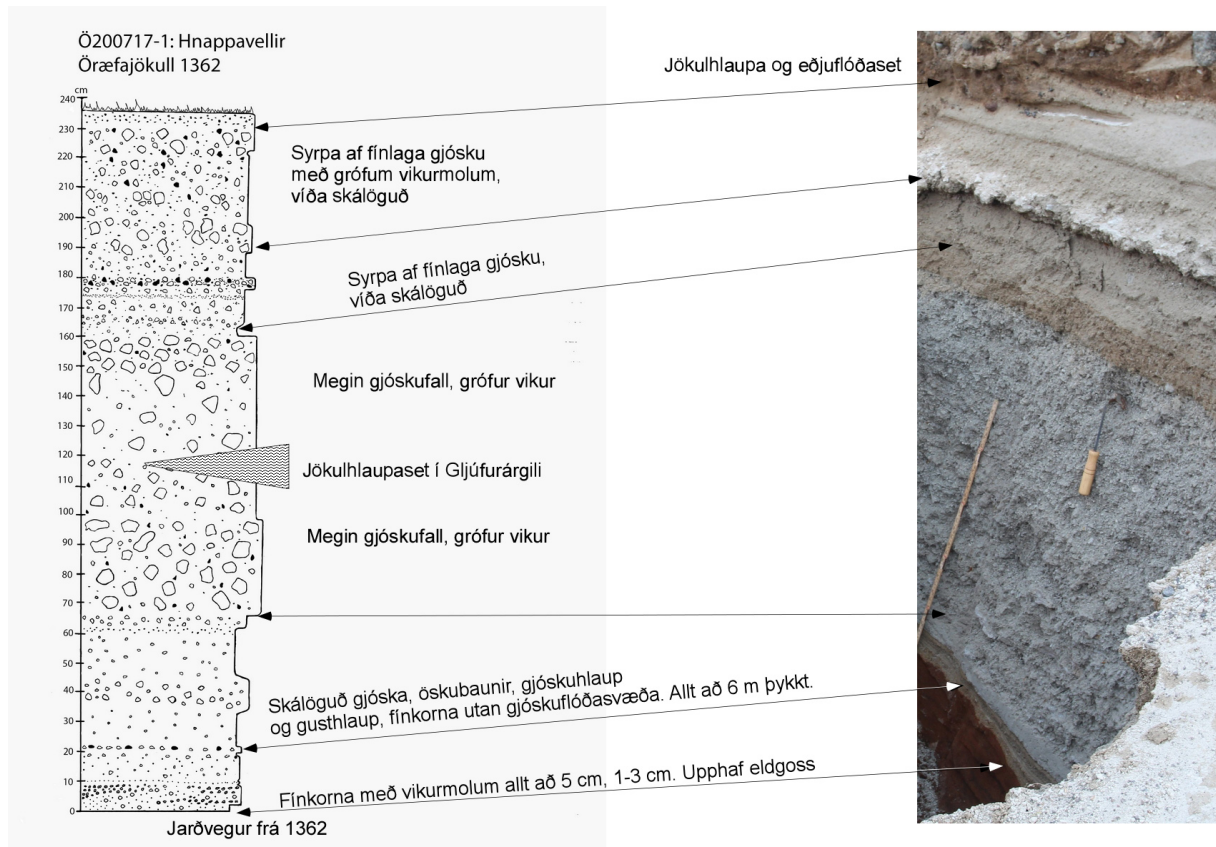
Fyrri rannsóknir höfðu sýnt fram á að þar sem góð jarðvegssnið eru í gjóskustabbann þá eru ummerki jökulhlaupa fyrst og fremst ofan á eða ofan við megin gjóskulagið (þ.e. gushlaup/gjóskuhlaupasyrpu og ofan-á-liggjandi vikurfall) (Jónsson, 2007, Thordarson og Hoskuldsson, 2007, Hoskuldsson og fl. 2008, Thordarson og Hoskuldsson, 2014). Fram að þessu höfðu rannsóknir beinst að Sléttubjörgum, Fagurhólsmýri, Hofi og Kvíamýri. Aðeins á börmum Gljufursárgils ofan Fagurhólsmýrar eru merki um jökulhlaup á gostíma. Í jarðvegssniði þar kemur inn yfirfallsset frá jökulhlaupi, sem fyllti gljufrið, inn í mitt vikurfallið. Í slíku feiknar gjóskugosi er við því að búast að hlíðar eldfjallsins verði óstöðugar eftir eldgosið og því í sjálfu sér eðlilegt að finna ummerki jökulhlaupa og eðjuflóða ofan á upprunalega gjóskulaginu. Rannsóknir á aurkeilum sunnan Öræfajökuls hafa ekki farið fram fyrr. Aurkeilurnar einkennast af miklu magni jökulhlaupasetis og útskolun á því af jökulám undanfarin tæp 660 ár. Hvar þetta set, er myndar aurkeilurnar, er í tímaröð eldgossins var hinsvegar ekki ljóst. Þrátt fyrir aðaska sem féll í eldgosinu 1362, hylji að stórum hluta Ísland, finnst hún helst á háfjallinu sjálfu og austan og vestan við megin aurkeilur Öræfajökuls en ekki ofan á aurkeilunum eða jökulhlaupasetinu frá 1362 (Mynd 26). Í Skálholts annál er getið um mikil jökulhlaup er féllu í sjó fram og byggðu upp nýtt land. Samkvæmt þeim sögnum voru jökulhlaupin tengd eldgosinu. Hins vegar var ekki ljóst fyrir þessa rannsókn hvort jökulhlaupasetið milli Fagurhólsmýrar og Svínafells hefði komið í upphafi eldgoss, í miðju eldgosi eða nær lokum þess. Það hefur löngum vakið furðu að aurkeilurnar beggja vegna eru nær alfarið án gjósku frá þessu mikla eldgosi.



Mynd 26. Við bæina að Svínafelli í Öræfum. Hluti gjóskufallsins er hér varðveittur. Fínkorna lagið neðst er merkir upphaf gjóskufallsins er hulið af gusthlaupaseti (hvít rönd í laginu). Ofan á það kemur svo megin gjóskulagið gert að mestu úr grófum vikri. Hér er rofin burt allur efri hluti gjóskulagsins. Sniðið er í um 10 km fjarlægð frá miðju öskju Öræfajökuls.

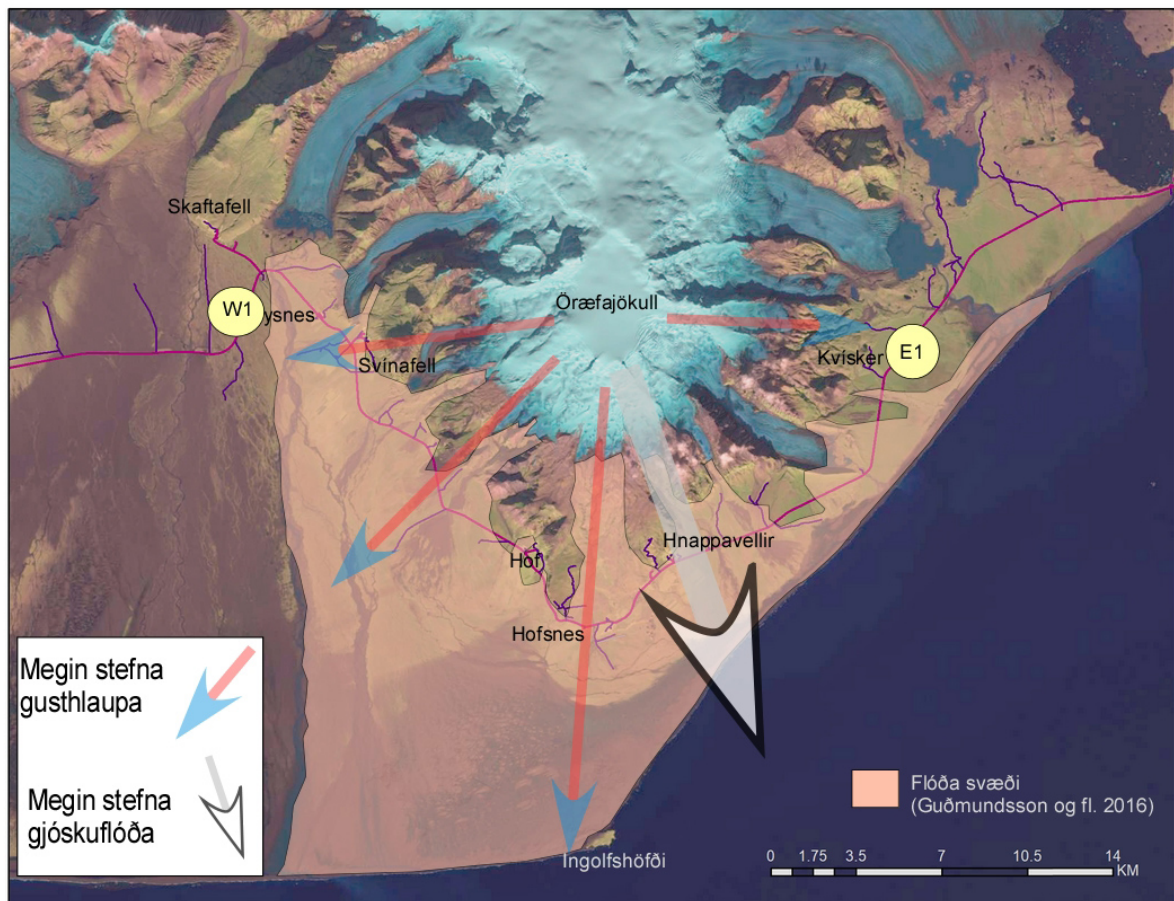
Jarðsjármælingar gerðar á aurunum út af Hofi og Svínafelli sýna glögggt að undir jökulhlaupasetinu sem einkennir þessa aura er sterkur endurkastflötur. Endurkastflöturinn er á mis miklu dýpi, nær fjallinu geta verið allt að 5-8 metrar niður á flötinn, en fjær er flöturinn á 2-5 metra dýpi. Fyrstu samburðarsnið sem gerð voru við rústir Bæjar, gáfu til kynna að þessi endurkastflötur stafaði af jarðvegi og finni gjósku frá því fyrir eldgos 1362. Gröftur með vélskóflu í aurkeiluna sjálfa, eins og hér hefur verið gert grein fyrir, sýnir að þessi túlkun á sniðum við Bæ eigi einnig við um sniðin í gegnum aurkeilurnar. Við Bæ er gott snið í gjóskuna er leggst ofan á jarðveg frá 1362. Raunar kemur þetta sama fram á Sléttubjörgum og Sandfellsheiði, þ.e. óhreyfður jarðvegur hulinn finni gjósku, sem síðan er hulið megin gjóskufallinu. Öll snið sem hafa verið skoðuð og auðvelt er með aðgengi að (eru ofan grunnvatnsborðs) sýna þessa sömu röð atburða. Þrátt fyrir að endurkastflöturinn á aurkeilunum sé ekki alltaf samfelldur í öllum sniðum, gefur hann til kynna að jökulhlaupasetið hafi lagst yfir láglendið neðan Öræfajökuls án þess að valda miklu rofi. En einkenni efnisríkra eðjuhlaupa/jökulhlaupa er að þau rjúfa undirlag sitt lítt sem ekkert, nema bratti sé mikill. Nær gilkjöftunum er jökulhlaupasetið mjög þykkt, endurkastflötur er á um 5-8 m dýpi á öldunum sunnan Goðafjalls. Samskonar dýpi kemur fram á aurum Stígár. Milli Virkisár og Veitulækjar var ekki nema um 2-3 m niður á endurkastflötinn. Holan sem þar var grafin í aurinn sýnir að endurkastflöturinn markast af samspili jarðvegs, gjósku og grunnvatns, sem er haldið undir þrýstingi neðan jarðvegslagsins. Tilurð gjóskunnar ofan á jarðveginum markar tímalínuna í sniðinu, þ.e. 1362. Jökulhlaupið er ber setið fram leggst tiltölulega snögglega yfir og er nær mettunarmörgum í setburði. Þetta má ráða af þeirri staðreynd að rofkraftur þess er takmarkaður.

Jökulhlaupasetts tungan, á hverri flugvöllurinn við Fagurhólsmýri stendur, sýndi jafnframt endurkastflöt á um 2-3 m dýpi. Uppgröftur leiddi í ljós að hér var sama lagskipting, þ.e. jarðvegur hulinn gjósku frá 1362 og ofan á það lagðist síðan jökulhlaupasetið. Sama jarðlagaskipan kom fram við Hof og við rætur Kvíamýrar.



Mynd 27. Heildar jarðlagasnið fyrir gjósku myndaða í eldgosinu árið 1362 í Örafajökli.

Þessi rannsókn bendir til þess að heildarsnið í gjóskuna sé svipað og sett er fram á Mynd 27. Eldgosið hefst á því að brjóta sig í gegnum jökulinn án mikillar ísbráðnunar og byrjar að byggja upp gosmökk yfir eldfjallinu. Gosmökkurinn er óstöðugur og fellur saman í upphafi eldgoss. Þá falla gjóskuflóð og gushlaup niður farveg Stígár. Gushlaupin dreifast víðar, þó aðallega til vesturs. Gosmökkur nær sér síðan á strik og rís í allt að 25-35 km hæð (Sharma og fl. 2008). Fyrstu ummerki jökulhlaupa koma fram í miðjum gosmakkar fasanum sem stóð yfir í allt að 12 klukkustundir (Sharma og fl. 2008). Fínлага gjóskusyrpa ofan á megin gjóskustabbanum bendir til þess að það dragi stórleg úr krafti eldgossins og vatn fari að hafa aðgang að kvikunni, eldgosið fjarar hægt út.



Mynd 28. Megin stefna gjóskuflóða og gushlaupa er komu niður fjallið í byrjun eldgoss 1362. Gjóskuflóðin fara yfir Hnappavelli og fylgja farvegi Stígár, gushlaup eru þeim samfara.. Ummerki gushlaupa finnast einnig vestan við gjóskuflóðin og allt að Freysnesi í vestur (11 km) og til Ingólfshöfða í suðri (22 km). Snið austan Kvíárjökuls sýna fínkorna gjóskufall tengt gushlaupa viðburðinum. Jafnframt eru sýnd þau svæði sem jökulhlaup mögulega geta farið yfir á svæðinu milli Svínafells og Kvískerja samkvæmt niðurstöðum fyrri rannsóknar Gosvár á jökulhlaupum (Guðmundsson o.fl., 2016).

Hvar sem skoðað er finnast menjar aurflóða/jökulhlaupa ofan á gjóskunni. Á Sandfellsheiði og í sniði við þjóðveg skammt frá Hnappavöllum er ljóst að þetta efni leggst til í lok eldgossins. Á aurkeilunum sunnan Öraefajökuls sýnir þessi rannsókn að aurflóða/jökulhlaupasetið leggst ofan á gjóskuna frá 1362. Hinsvegar finnst hvergi ummerki gjóskunnar ofan á jökulhlaupasetinu á aurunum. Þau snið sem tekin voru benda til þess að megin jökulhlaupin hafi átt sér stað eftir að upphafs gjóskuhlaupin eru afstaðin. Þetta má lesa út frá syrpinni jarðvegur, fíngjóska, grófgjóska og svo kemur jökulhlaupasetið ofaná. Jökulhlaupasetið inniheldur jafnframt töluvert af vikri frá eldgosinu 1362. Það er eindregin vísbending þess að jökulhlaupin myndast ekki fyrr en umtalsvert efni hefur komið upp úr eldstöðinni. Það að við finnum ekki gjósku ofan á aurunum bendir til þess að jökulhlaupin komi fram mjög seint í eldgosinu, hinsvegar getum við ekki loka fyrir það skotið að aurarnir séu að miklu leyti skolaðir eftir um 660 ár.

Lokaniðurstaða þessarar rannsóknar bendir ekki til þess að umtalsverð jökulhlaup hafi fallið á láglandi í upphafi eldgoss. Öll ummerki benda aftur á móti til þess að jökulhlaup hafi ekki farið að

myndast fyrr en um mitt eldgosið. Hinsvegar kemur allstaðar fram að gjóskan frá 1362 er ávallt hulin af jökulhlaupa/aurflóða seti sem kemur fram í lok eldgoss eða á árunum eftir eldgos. Þessar upplýsingar eru mikilvægar þegar litið er til áætlanagerða vegna viðbragða í og við Öræfajökul. Í fyrsta lagi hvað varðar fyrstu viðbrögð í aðdraganda eldgoss og rýmingu, og öðru lagi hvað varðar viðbrögð eftir að eldgosi líkur og langvarandi óstöðugleika í hlíðum. Niðurstaðan nú breytir ekki því að jökulhlaup geta valdið mikilli hættu við Öræfajökul. Ef sprungugos verður í hlíðum líkt og var 1727 má búast við að snöggum og hættulegum jökulhlaupum.

Helstu óvissuþættir

Þrátt fyrir að þekking okkar á eldvirkni í Öraefajökli og þá sérstaklega sprengigosinu 1362, sem er öflugasta eldgos Íslandssögunnar, hefur aukist verulega á undanförunum árum og áratugum, þá er þekkingunni ennþá ábótavant um margt og óvissan um ýmsa þætti gossins veruleg.

Matið á stærð og afli eldgossins 1362 er sennilega stærsti óvissuþátturinn, einfaldlega vegna þess að það byggir fyrst og fremst á þekkingu okkar á útbreiðslu gjóskunnar frá megin sprengifasa eldgossins. Stór hluti þessarar gjósku barst á haf út og er hún af þeim sökum ekki aðgengileg til mælinga. Þessi óvissa kemur best fram í mismuninum á jafnþykktarkorti Sigurðar Þórarinssonar (1958) og þeim kortum sem birtust í Sharma og fl. (2008). Augljóst er að óvissan er stór og hleypur á a.m.k. hálfri stærðargráðu. Jafnframt hefur þessi óvissa áhrif á mat á heildarkornastærð fyrir gjóskuna frá eldgosinu 1362.

Jafnframt, þó svo að núverandi vitneskja okkar um guthlaupin og gjóskuflóðin byggi á traustum grunni, þá takmarkast hún við athuganir og mælingar á tiltölulega fáum sniðum í gegnum gjóskulagið. Það er því augljóst að þekking okkar á eðli og útbreiðslu þessara stórhættulegu fyrirbæra í eldgosinu 1362 er takmörkuð og óvissan hvað varðar vápáttinn óþægilega há. Á þetta bæði við um sjálf guthlaupin og gjóskuflóðin sem og öskubaunaríka gjóskufallið sem líklegast fylgdi þeim og er þykkast suðaustan við eldstöðina í 10-20 km fjarlægð frá upptakagígum.

Að lokum þá ríkir talsverð óvissa um uppruna gjóskufallsins sem féll upp á móti vindi og inn til landsins. Þetta gjóskufall nær meira 100 km frá upptökum, en ekki er fullkannað hvort að það á uppruna sinn í gosmakkarhatti sem ferðaðist meira en 100 km upp á móti loftstraumum eða hvort að þetta er gjóskufall sem á uppruna sinn að rekja til iðuflæðis og ris guthlaupa yfir gjóskuflóðunum (þ.e. co-ignimbrite ash fall) er mynduðust í eldgosinu 1362. Ef fyrri tilgátan er rétt, þá var gosmakkarhattur gossins í Öraefajökli 1362 meira en 200 km í þvermál. Slíkur mökkur gæti náð yfir helming landsins. Ef seinni tilgátan er rétt, þá erum við að vanmeta þátt gjóskuflóðanna verulega.

Ábendingar og frekari rannsóknir

Með tillit til þeirra óvissuþátta sem taldir eru fram hér að ofan, væri æskilegt að rannsaka betur atburðarrásina og gjóskumyndanirnar í gosinu 1362 til þess að fá heilsteyptari mynd af framvindunni og áhættunni sem mynda stafa ef Örfæfajökull eða aðrar megineldstöðvar á Íslandi kæmu með samsvarandi eldgos. Gagnlegt væri að slíkar athuganir tækju til eftirfarandi:

1. Frekari mælingar (í sniðum og með jarðsjá) á þykkt gjóskunnar í Örfæfasveit og aðliggjandi svæðum ásamt könnun á varðveislu gjóskunnar í sjávarseti í hafinu suður og austur af eldstöðinni til þess að afmarka útbreiðslu og stærð þess betur.
2. Áframhaldandi athuganir á eðli og dreifingu gust- og gjóskuhlaupa til þess að afmarka betur útbreiðsluna og lykil flæðileiðir ásamt því að kanna betur uppruna öskubaunalagsins. Ef að það er gusthlaupa öskufall („co-ignimbrite ashfall“) þá væri það fyrsta sinnar tegundar sem hefur fundist á Íslandi.
3. Kanna betur uppruna gjóskufallsins inni í landi og samsetningu þess.
4. Niðurstöðurnar sýna ótvírætt að áætlanir verða að miðast við að Örfæfasveit sé rýmd áður en til goss kemur, næst þegar gýs í Örfæfajökli. Þetta undirstrikar mikilvægi vöktunar og vandaðra viðbragðsáætlana fyrir svæðið.

Tilvitnanir

- Andronico, D., Scollo, S., Cristaldi, A. et al. Representivity of incompletely sampled fall deposits in estimating eruption source parameters: a test using the 12–13 January 2011 lava fountain deposit from Mt. Etna volcano, Italy. *Bull Volcanol* 76, 861 (2014).
<https://doi.org/10.1007/s00445-014-0861-3>
- Barsotti, S., Karlsdóttir, S., Ágústsdóttir, A.M., Oddson, B., Marelsdóttir, Í., Þórðarson, Þ., Guðnason, Þ. og Björnsson, B.B. 2020. Preliminary tephra fallout hazard assessment for selected eruptive scenarios in Iceland. *Veðurstofa Íslads*, ISSN 1670-8261.
- Beckett F. M., Witham C. S., Hort M. C., Stevenson J. A., Bonnadonna C., and Millington S. C. 2015. Sensitivity of dispersion model forecast of volcanic ash clouds to the physical characteristics of the particles. *Journal of Geophysical Research: Atmosphere*, Vol. 11: p. 636–652.
- Bias, S., Scaini, C., Bonadonna, C., Folch, A., Smith, K. & Höskuldsson, A. 2014. A multiscale risk assessment for tephra fallout and airborne concentration from multiple Icelandic volcanoes– Part 1: Hazard assessment. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 14(8), 2265–2287
- Bias S. and Bonnadonna C. (2015). TOTGS: Total grain size distribution of tephra fallout. <https://vhub.org/resources/3297>.
- Bonadonna C., Bias S., and Costa A. 2015. Physical characterization of explosive volcanic eruption based on tephra deposits: propagation of uncertainties and sensitive analysis. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, Vol. 296: p. 80-100
- Bonadonna, C., R. Genco, M. Gouhier, M. Pistolesi, R. Cioni, F. Alfano, A. Hoskuldsson, and M. Ripepe 2011, Tephra sedimentation during the 2010 Eyjafjallajökull eruption (Iceland) from deposit, radar, and satellite observations, *J. Geophys. Res.*, 116, B12202, doi:10.1029/2011JB008462.
- Bonadonna C. and Houghton B. F. 2005. Total grain-size distribution and volume of tephra-fall deposits. *Bulletin of Volcanology*, Vol. 67: p. 441–456.
- Björnsson, F., 1974. Gosmenjar upp af Sandfelli. *Náttúrufræðingurinn*, 44 árg. 1 tölublað, 95-108.
- Costa A., Pioli L., and Bonadonna C. 2016. Assessing tephra total grain-size distribution: insights from field data analysis. *Earth and Planetary Science Letters*, Vol. 433: p. 90–107
- Einarsson, B.F., 2020. *Bærinn sem hvarf í Ösku og eldi 1362*. 320p, Skrudda, Reykjavík.
- Folch, 2012. A review of tephra transport and dispersal models: Evolution, current status, and future perspectives Citation *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, ISSN: 0377-0273, Vol: 235, Page: 96-115
- Goodman, D. og Piro, S., 2013. *GPR Remote sensing in Archaeology*. Springer Heidelberg New York Dordrecht London. 233 pp.
- Höskuldsson, A. 2001 Late Pleistocene subglacial caldera formation at Cerro las Cumbres, Eastern Mexico. *Jökull*, 50:-49-64
- Höskuldsson, A, Thordarson, T. and Einarsson, B.F. 2008. The Öræfajökull eruption 1362 AD. 28th Nordic Geological Winter Meeting, Aalborg – Denmark.
- Höskuldsson, A. and Thordarson, Th. 2007 The eruption of Öræfajökull 1362 and the destruction of the district Herad, SE Iceland. *Cities on Volcanoes 5*, Shimabara, Japan.
- Höskuldsson, A. and Thordarson, Th. 2006 Eldgos í Öræfajökli 1362, og myndun gushlaupa í upphafi eldgoss. *Geoscience Society of Iceland*, spring meeting.

- Höskuldsson, Á., 2013. GJÓSKUSTRAUMAR. Í: Júlíus Sólmes, Freysteinn Sigmundsson og Bjarni Bessason (ritstj.): Náttúruvá á Íslandi - Eldgos og jarðskjálftar, 299-311. Viðlagatrygging Íslands/Háskólaútgáfan,
- Höskuldsson, A. 2000 Áhrif eldgosa á Íslandi á flugsamgöngur yfir N-Atlantshafi. ISBN 9979-60-434-4, Samgönguráðuneytið, Reykjavík, 38 pp.
- Kaminski and Jaupart, 1998. The size distribution of pyroclasts and the fragmentation sequence in explosive volcanic eruptions. JGR, 103, B12, 29759-29779
- Magnús T. Guðmundsson, Þorvaldur Þórðarson, Guðrún Larsen, Páll Einarsson, Ármann Höskuldsson, Páll Imsland 2013. UNDIR VATNAJÖKLI. Í: Júlíus Sólmes, Freysteinn Sigmundsson og Bjarni Bessason (ritstj.): Náttúruvá á Íslandi - Eldgos og jarðskjálftar, 263-277. Viðlagatrygging Íslands/Háskólaútgáfan, Reykjavík.
- Magnús Tumi Guðmundsson, Emmanuel Pagneux, Matthew J. Roberts, Ásdís Helgadóttir, Sigrún Karlsdóttir, Eyjólfur Magnússon, Þórdís Högnadóttir, Ágúst Gunnar Gylfason. 2016. Jökulhlaup í Örafum og Markarfljóti vegna eldgosa undir jökli, forgreining áhættumats. Reykjavík. ISBN 978-9979-9975-8-0.
- Pagneux, E., Gudmundsson, M.T., Karlsdóttir, S. Og Roberts, M.J. (eds) 2015. Volcanogenic floods in Iceland: An assessment of hazards and risks at Örafajökull and the Markarfljót outwash plain. Reykjavík. ISBN 978-9979-9975-7-3.
- Jónsson, P.V.K., 2007, Eyðing Bæjar í Örafasveit í Örafajökulsgosinu 1362, BS ritgerð, Jarð- og landfræði, Háskóli Íslands, 108 bls.
- Pioli L, Bonadonna C, Pistolesi M (2019) Reliability of total grain-size distribution of tephra deposits. Sci Rep 9(1):1–15
- Okabe A., Boots B., and Sugihara K. 1992. Spatial tessellations: concepts and applications of Voronoi diagrams. John Wiley & Sons, Inc. New York, NY, USA, 1170p.
- Roberts, M.J. and Gudmundsson, M.T., 2015. Örafajökull Volcano: Geology and historical floods. In: E Pagneux, E., Gudmundsson, M.T., Karlsdóttir, S. Og Roberts, M.J. (eds) 2015. Volcanogenic floods in Iceland: An assessment of hazards and risks at Örafajökull and the Markarfljót outwash plain. Reykjavík. ISBN 978-9979-9975-7-3..
- Rust and Cashman, 2011. Permeability controls on expansion and size distribution of pyroclasts. JGR, 116, B11202, doi:10.1029/2011JB008494
- Scaini, C., Biass, S., Galderisi, A., Bonadonna, C., Folch, A., Smith, K., and Höskuldsson, A.: A multi-scale risk assessment for tephra fallout and airborne concentration from multiple Icelandic volcanoes – Part 2: Vulnerability and impact, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 14, 2289–2312, doi:10.5194/nhess-14-2289- 2014, 2014
- Sharma, K., Self, S., Blake, S., Thordarson, T., and Larsen, G. (2008). The AD 1362 Örafajökull eruption, S.E. Iceland: physical volcanology and volatile release. J. Volcanol. Geother. Res. 178, 719–739. doi: 10.1016/j.jvolgeores.2008.08.003
- Scollo, S., Del Carlo, P., and Coltelli, M. (2007). Tephra fallout of 2001 Etna flank eruption: analysis of the deposit and plume dispersion. J. Volcanol. Geotherm. Res. 160, 147–164. doi: 0.1016/j.jvolgeores.2006.09.007;
- Torfadóttir, H.K., 2019, Pressure and temperature calculations for magmas of the Örafajökull volcano, Iceland, Master's thesis, Faculty of Earth Sciences, University of Iceland, pp. 143.

- Thordarson T, Höskuldsson Á, 2014. Iceland. Dunedin Academic Press, 2nd edition. Classic Geology in Europe series, 192 p. ISBN: 978-1-780-46-021-5.
- Thordarson, T., Hoskuldsson, A., 2008. Postglacial volcanism in Iceland, Jökull (58), 197-228.
- Thordarson, T., and Larsen, G. 2007. Volcanism in Iceland in historical time: volcano types, eruption styles and eruptive history. J. Geodynam. 43, 118–152. doi: 10.1016/j.jog.2006.09.005
- Thorarinsson, S. 1958. The Öræfajökull eruption of 1362. Acta Natur. Island 2, 6–99.
- Þorvaldur Thoroddsen, 1911. Lýsing Íslands. Hið íslenska Bókmenntafélag, annað bindi. Kaupmannahöfn.
- Vefsíða GSSI er framleiðir tækjabúnað sem notaður er. <https://www.geophysical.com/>.
- Vefsíða framleiðanda úrvinnslu forrits sem nootað er <https://gpr-survey.com/>.
- Watson, E. J., G. T. Swindles, J. A. Stevenson, I. Savov, and I. T. Lawson 2016, The transport of Icelandic volcanic ash: Insights from northern European cryptotephra records, J. Geophys. Res. Solid Earth, 121, 7177–7192, doi:10.1002/2016JB013350.

Viðauki I

Tafla I. Niðurstöðu heildarkornastærðardreifingar gjósku er myndaðist í eldgosinu í Öræfajökli 1362. Kornastærðir í millimetrum og Phi. Vegin heildarkornastærð er sett fram sem Þungaprósenta (wt%) og uppsöfnuð kornastærðardreifing (CDF).

mm	phi	(wt%)	CDF
9.77E-04	10	0.246	0.998
1.38E-03	9.5	0.303	0.995
1.95E-03	9	0.355	0.991
2.76E-03	8.5	0.437	0.987
3.91E-03	8	0.603	0.981
5.52E-03	7.5	0.873	0.972
7.81E-03	7	1.38	0.958
1.10E-02	6.5	1.874	0.939
1.56E-02	6	2.471	0.915
2.21E-02	5.5	3.067	0.884
3.13E-02	5	3.659	0.847
4.42E-02	4.5	3.729	0.81
6.25E-02	4	4.481	0.765
8.84E-02	3.5	4.659	0.719
1.25E-01	3	6.651	0.652
1.77E-01	2.5	4.75	0.605
2.50E-01	2	5.064	0.554
3.54E-01	1.5	5.294	0.501
5.00E-01	1	5.401	0.447
7.07E-01	0.5	6.355	0.383
1.00E+00	0	5.514	0.328
1.41E+00	-0.5	5.667	0.272
2.00E+00	-1	4.388	0.228
2.83E+00	-1.5	3.682	0.191
4.00E+00	-2	3.524	0.156
5.66E+00	-2.5	3.61	0.12
8.00E+00	-3	2.623	0.093
1.13E+01	-3.5	2.868	0.065
1.60E+01	-4	3.113	0.034
2.26E+01	-4.5	2.886	0.005
3.20E+01	-5	0.442	0
4.53E+01	-5.5	0.005	0
6.40E+01	-6	0.025	0