

Jökulhlaup í Jökulsá á Fjöllum fyrir 6300-4100 árum Setlög og landmótun í Vesturdal – Hljóðaklettum og nágrenni

¹Guðrún Larsen, ¹Esther R. Guðmundsdóttir, ^{1,2}Bergrún A. Óladóttir,
¹Jarðvísindastofnun Háskólans, ²Veðurstofa Íslands



Ljósmynd: Í Vesturdal. Horft til suðurs að setlagastafla (grár, fyrir miðri mynd) þar sem snið Waitts (2002) var tekið. Snið sem fjallað er um í þessari skýrslu er lengst til hægri í staflanum.

Jökulhlaup í Jökulsá á Fjöllum fyrir 6300-4100 árum

Setlög og landmótun í Vesturdal – Hljóðaklettum og nágrenni

¹Guðrún Larsen, ¹Esther R. Guðmundsdóttir, ^{1,2}Bergrún A. Óladóttir, ¹
¹Jarðvísindastofnun Háskólans, ²Veðurstofa Íslands,

Höfundar skýrslunnar bera ábyrgð á innihaldi hennar. Niðurstöður skýrslunnar ber ekki að túlka sem stefnu eða álit Háskóla Íslands, Raunvísindastofnunar Háskólans, Jarðvísindastofnunar Háskólans, Eðlisvísindastofnunar Háskólans eða þeirra stofnana/fyrirtækja sem höfundar starfa hjá eða tengjast.

Ágrip: Jökulhlaup í Jökulsá á Fjöllum fyrir 6300-4100 árum.

Vesturdalur og Hljóðaklettur eiga sér langa sögu og margir atburðir mótuðu svæðið sem nú er sérstakur áfangastaður í Vatnajökulsþjóðgarði – Jökulsárgljúfrum. Hér verður hluti þeirrar sögu rakinn með áherslu á jökulhlaup fyrir 6300 til 4100 árum en stuttlega fjallað um atburði á öðrum tímabilum.

Í Vesturdal er stafli af hlaupseti úr a.m.k. 16 hlaupum frá tímabili fyrir 6300-4100 árum, fyrst lýst af R.B. Waitt (2002). Þá var forveri Jökulsár á Fjöllum aðgerðarlítill lindá eða dragá í venjulegu rennsli (sjá Kafla 2 um rennsli). Á þeim tíma var Vesturdals-Hljóðaklettadældin (V-H dæld, Mynd 1) nokkurn veginn full af hrauni, gjalli og gjallgígum úr gosi fyrir um 11000 árum. Hraun og gjall náðu upp í um 160 m y.s. nyrst (Kvíafarvegur) og um 190 m y.s. sunnantil í dældinni (Mynd 3). Hæstu gjallgígar (Rauðhólar) risu í um 220 m y.s. Setbunkar frá tímabilinu fyrir 11000-9000 árum, meðan forveri Jökulsár var enn jökulá sem hlaup komu í, lágu ofan á a.m.k. hluta gosefnanna. Ekki er fullljóst hvernig venjulegu afrennli út úr V-H dældinni var háttað fyrir 6300 árum, líklega um grunna farvegi til norðurs eða austurs en ólíklegt er að djúpt gljúfur hafi náð inn í V-H dældina á þeim tíma.

Vísbendingar eru um að Vesturdals-Hljóðaklettadældin hafi verið þrengst milli Lambafells og Rauðhóla, þar sem rofnir gjallkambar ná nú í 190-220 m y.s. Þegar jökulhlaupin (hér eftir kennd við R.B. Waitt) komu inn í dældina safnaðist hlaupvatnið upp ofan við þrengslin við Lambafell og náði upp í a.m.k. 190 m y.s. Waitt (2002) taldi hlaupin „moderate“, miðlungsstór, og vatnssöfnunina verða vegna tregs útrennsli úr dældinni, en aðrir hafa talið a.m.k. sum hlaupin „megafloods“ með hámarksrennsli yfir milljón m³/sek (Kirkbride et al. 2006). Setlög in Vesturdal urðu til í þessum skammlífu vötnum. Þau settust til í hringið eða bakflæði (back-flooding) utan við meginstrauminn (Myndir 1, 4, 5). Leifar af setlögum sem samsvara setlögum í Vesturdal finnast í 180-190 m y.s. á svæði a.m.k. frá Hljóðaklettum og sunnanverðu Lambafelli inn fyrir Eyjarás (Kafli 3, Mynd 6).

Setlögin eru rík af gleri/ösku með efnafræðileg einkenni eldstöðvakerfa undir Vatnajökli. Niðurstaða rannsókna á 15 setlögum Waitt-hlaupanna er að í 12 þeirra sé basaltgler með einkenni Bárðarbungu-Veiðivatnakerfisins ríkjandi. Efnasamsetning meginhluta glersins samsvarar efnasamsetningu gjóskulaga frá sama tímabili og setlögin, fyrir 6300-4100 árum (L-Ti-gjóska, Bergrún A. Óladóttir o.fl. 2011a,b; Esther R. Guðmundsdóttir o.fl. 2012). Í sitt hvoru setlaginu er basaltgler með einkenni Grínavatnakerfis og Kverkfjallakerfis ríkjandi.

Útlit glerkornanna og flutningmáti sýnir að þessi hlaup voru vegna eldgosa undir jökli eða í vatni, í eldstöðvum undir Vatnajökli. Þau fluttu gosefnin niður í V-H dældina með hóflegri íblöndun annars glers/sets frá svæðum sem þau runnu um. Leið fyrir hlaupin út úr V-H dældinni var til norðurs um Kvíafarveg til Ásbyrgis og austurs til Laxavogs (Mynd 7). Sum fóru um Kvíafarveg því vatns- eða vindborið set með sömu efnafræðileg einkenni og hlaupsetið finnst í jarðvegi meðfram honum.

Í öllum Waitt-hlaupunum virðist vatn hafa náð álíka hátt í V-H dældinni (Myndir 4, 7) og þau virðast því ekki hafa rofið umhverfið neitt að ráði í 2000 ár. Miðað við „aðgerðaleysi“ hlaupanna er ólíklegt að þau hafi verið hamfarahlaup. Gáttin milli Lambafells og Rauðhóla gat flutt 43.000-93.000 m³/sek miðað við meðalstraumhraða 2,8 og 6 m/sek og botn á hrauni í 170 m y.s. Setlög úr þessum hlaupum finnast einnig ofar með Jökulsá. Þar var einnig reynt að meta hámarksrennsli þeirra með hliðsjón af líkanreikningum, sem benda til 48.000-140.000 m³/sek. Útilokað er að þau hafi verið „megafloods“.

Nýir fundarstaðir setlaganna í V-H dældinni benda til að fyrir 4100 árum hafi dældin verið nánast sléttfull af seti niður undir Kvíafarveg en þá hættu þessi setlög að setjast til í Vesturdal. Á sama tíma fór jökulvatn að aukast í ám frá jöklum sem þá voru að stækka. Annað hvort hættu hlaupin, urðu minni eða þrenglin breyttust svo vatnshæð náði ekki lengur 190 m y.s. þótt hlaup rynnu um dældina. Hlaupin hætta á svipuðum tíma og gjóskulög með sömu glerefnafræðileg einkenni hætta að finnast í jarðvegi.

Þrjú yngri hlaup hafa komið niður farveg Jökulsár og skilið eftir ummerki þar. Fyrir rúmlega 3000 árum, nokkru áður en gjóskulagið Hekla-3 féll, setti hlaup af sér setlag í 220-230 m y.s. í Hólmatungum. Tvö hlaup, annað rétt eftir að Hekla-3 féll en hitt nokkru seinna, skildu eftir set meðfram farvegi Jökulsár ofan við Dettifoss. Yngsta hlaupið virðist hafa haft mesta flutningsgetu því það setti af sér hnúllunga 15 m ofan núverandi farvegar. Í Vesturdal skófu þau burt setlög upp í 180 m y.s. við Lambafell austan Jökulsár og víðar. Þessi yngri hlaup hafa af flestum verið talin hamfarahlaup.

Hamfarahlaupin ruddust í gegnum H-V dældina yfir í Kvíafarveg til Ásbyrgis og sópuðu jarðvegi burt úr farveginum. Telja verður líklegt að þá hafi núverandi gljúfur út úr V-H dældinni meðfram Lambafelli einnig myndast. Þegar djúpt gljúfur var komið gat fyllan í dældinni, setlög, gjall, kargi og hraun, rofnað og flust burt. Líklegt er að V-H dældin hafi fengið núverandi útlit að mestu í þessum hlaupum, einkum því yngsta, en síðari vatnavextir og minni hlaup hafi bætt þar um.

Efnisyfirlit

Ágrip

Formáli	7
1. Inngangur - stutt saga af löngum tíma	9
2. Aðstæður í Vesturdals-Hljóðaklettadæld fyrir 7000 árum	10
3. Vesturdals-Hljóðaklettasvæðið, setlög frá tímum Waitt-hlaupanna	13
4. Leiðir Waitt-hlaupanna frá Vesturdals-Hljóðaklettasvæði	17
5. Hve stór voru Waitt-hlaupin?	19
6. Orsakir og upptök Waitt-hlaupanna – eldvirkni á Bárðarbungukerfi	21
7. Aðstæður í Vesturdals-Hljóðaklettadæld eftir Waitt-hlaupin	23
8. Hamfarahlaup yngri en 4000 ára – áhrif í Vesturdals-Hljóðaklettadæld	25
9. Vangaveltur	26
10. Samantekt	30
Þakkir	30
English abstract	31
Heimildir	33

Viðaukar

- V-1. Efnasamsetning hlaupsets og gjóskulaga, glerefnagreiningar
- V-2. Snið í Vesturdal
- V-3. Setlög í Vesturdals-Hljóðaklettadæld
- V-4. Setlög ofan Dettifoss, 6300-4100 ára
- V-5. Setlög eldri en 6300 ára
- V-6. Yngri og eldri farvegir, gljúfur og rof

Mynda- og Töfluskrá

Mynd 1. Yfirlitsmynd	10
Mynd 2. Jarðfræðikort	11
Mynd 3. Hraunþekja í Vesturdals-Hljóðaklettadæld	12
Mynd 4. Snið Waitts í Vesturdal (2002)	14
Mynd 5. Setlög í sniði Waitts (2002)	15
Mynd 6. Líkleg útbreiðsla set úr Waitt-hlaupum	17
Mynd 7. Líklegt umfang vatnssöfnunar í Waitt-hlaupum	17
Mynd 8. Þversnið milli Rauðhóla og Lambafells	19
Mynd 9. Vatnssöfnun ofan við Dettifoss	21
Mynd 10. Hlutfall glergerða í setlögum í Vesturdal	22
Mynd 11. Farvegir norðan til og norðan við Vesturdals-Hljóðaklettadældina	24
Mynd 12. Rofmörk eða útmörk hamfarahlaupa yngri en 4000 ára	26
Tafla 1. Stærðir hlaupa	20

Formáli

Skýrsla þessi fjallar um rannsóknir jarðfræðinga frá Jarðvísindastofnun Háskólans á hlaupum af völdum eldvirkni niður farveg Jökulsár á Fjöllum á nútíma. Í upphaflegri umsókn til Þjóðgarðsins 2009 (Guðrún Larsen, Bergrún A. Óladóttir, Olgeir Sigmarsson) var mest áhersla lögð á yngsta jökulhlaupið, hamfarahlaup sem talið var um 2000 ára gamalt með yfir 700.000 m³/sek hámarksrennsli (t.d. Waitt 2002; Haukur Tómasson 1973; Kristján Sæmundsson 1973). Hugmyndin var að fá betra stærðarmat, nánari tímasetningu og ráða í hugsanleg upptök með því að finna stað þar sem hægt væri að mæla þversnið og þar með hámarksrennsli, finna hlaupset með vikri/ösku sem gætu gefið upplýsingar um upptök og jafnframt nánari tímasetningu hlaupsins en einungis þá að það væri yngra en gjóskulagið Hekla-3 (um 3000 ára), þegar vatn rann síðast til Ásbyrgis (Sigurður Þórarinnsson 1960). Gott þversnið fannst en ekkert nothæft hlaupset í það sinn.

Þá beindist athyglin að setlögum í Vesturdal (Guðrún Larsen og Esther R. Guðmundsdóttir) sem R.B. Waitt (2002) hafði lýst sem “bakvatnsseti” úr hlaupum niður Jökulsá, sem hann taldi þó ekki hamfarahlaup (Waitt 2002). Aðrir hafa talið sum þeirra a.m.k. risastór hlaup (megafloods, Kirkbride o.fl. 2006). Við nefnum hlaupin eftir Waitt. Yngstu Waitt-hlaupin eru sitt hvoru megin við gjóskulagið Heklu-4 (Waitt 2002) sem er um 4300 ára gamalt (Dugmore o.fl. 1995; Guðrún Larsen o.fl. 2013). Þegar tvö elstu setlögin voru grafin út haustið 2009 kom í ljós að þau eru sitt hvoru megin við jarðvegslag með gjóskulaginu Heklu-Ö, um 6100 gamalt (Esther Guðmundsdóttir o.fl. 2012). Tekin voru sýni úr fjórum setlögum til að kanna hvort hægt væri að rekja hlaupin til upptaka því setið er mjög glerríkt. Sýnin voru efnagreind og vísbendingar voru um að hægt sé að rekja uppruna setsins til ákveðins eldstöðvakerfis. Haustið 2020 voru sýni tekin úr 15 af þeim 16 setlögum sem Waitt lýsti (2002) sem langflest gefa sömu vísbendingar.

Úbreiðsla setlaga með einkenni Vesturdalssetsins var könnuð beggja vegna Jökulsár frá Hólmatungum að Kvíafarvegi*. Athugað var hvort Waitt-hlaupin hefðu runnið norður Kvíafarveg áleiðis til Ásbyrgis. Það gerði a.m.k. næstýngsta hlaupið því þykk foksandslög með sömu einkenni og setlögin finnast rétt undir Heklu-4 í jarðvegi vestan við Kvíafarveginn. Áraurar eða flóðset við Lambafell var tímasett og er eldra en 6300 ára (reiknaður aldur 8700 ár). Einnig voru tekin sýni af núverandi framburði Jökulsár ofan og neðan rannsóknasvæðisins til samanburðar við Vesturdalssetið. Í Hólmatungum fannst vatnsflutt gjóskuríkt set rétt undir gjóskulaginu Heklu-3, vafalítið borið með hlaupi. *Sama merking og í grein Sigurvins Elíassonar (1978).

Svæðið ofan við Dettifoss var skoðað (Guðrún Larsen, Bergrún A. Óladóttir, Esther R. Guðmundsdóttir, Magnús T. Guðmundsson) en það var ekki inni í upphaflegri umsókn. Setlög með einkenni Vesturdalssetsins eru þar á allstóru svæði, flest þeirra milli gjóskulaganna Heklu-4 og Heklu-Ö en einnig setlög af svipuðum aldri og Hekla-5 (um 7100 ára). Útbreiðsla þeirra hefur ekki verið könnuð til fulls. Þar fannst einnig hlaupset úr tveim hlaupum yngri en Hekla-3 og voru sýni tekin til efnagreininga. .

Hér á eftir verður rannsóknum á ummerkjum Waitt-hlaupanna lýst með megináherslu á svæðið frá Kvíum að Eyjarási (Mynd 1). Þær byggjast að hluta á vettvangsrannsókn, að hluta á loftmynda-túlkun og að hluta á efnagreiningum. Ítarefni er í Viðaukum 1-6. Um hlaup yngri en 4000 ára verður fjallað annars staðar en stutt grein er gerð fyrir þeim og áhrifum þeirra í Vesturdal og nágrenni í þessari skýrslu.

1. Inngangur - stutt saga af löngum tíma

Miklar breytingar hafa orðið á svæðinu frá Ásbyrgi um Hljóðakletta-Vesturdal (Mynd 1) og Hólmaturungur allt að Dettifossi á síðustu 13000-12000 árum, frá því að ísa fór að leysa þangað til yngstu hamfarahlaup geystust þar í gegn. Enda þótt megináherslan hér á eftir sé á tímabil fyrir 6300-4100 árum verður stuttlega dregið á eldri og yngri tímabil til að saga og þróun svæðisins verði skiljanlegri. Í umfjölluninni hér á eftir er ekki gert ráð fyrir stórfelldum landhæðarbreytinum vegna brotahreyfinga á síðustu 7000 árum.

Jöklar lágu sunnan við rannsóknarsvæðið fyrir 13000-12000 árum (Hreggviður Norðdahl og Halldór G. Pétursson 2005). Jökulvatn frá þeim rann norður, m.a. í forvera Jökulsár á Fjöllum. Afrennsli frá jöklum hefur á sínum tíma grafið Jökulsárgljúfur, sem þá gætu hafa legið um Vesturdals-Hljóðaklettadældina (V-H dældina) og áfram til norðurs að strönd þess tíma. Með því mælir dæld í gamla berggrunninn undir Stórávítishrauni í beinu framhaldi af V-H dældinni (sjá síðar).

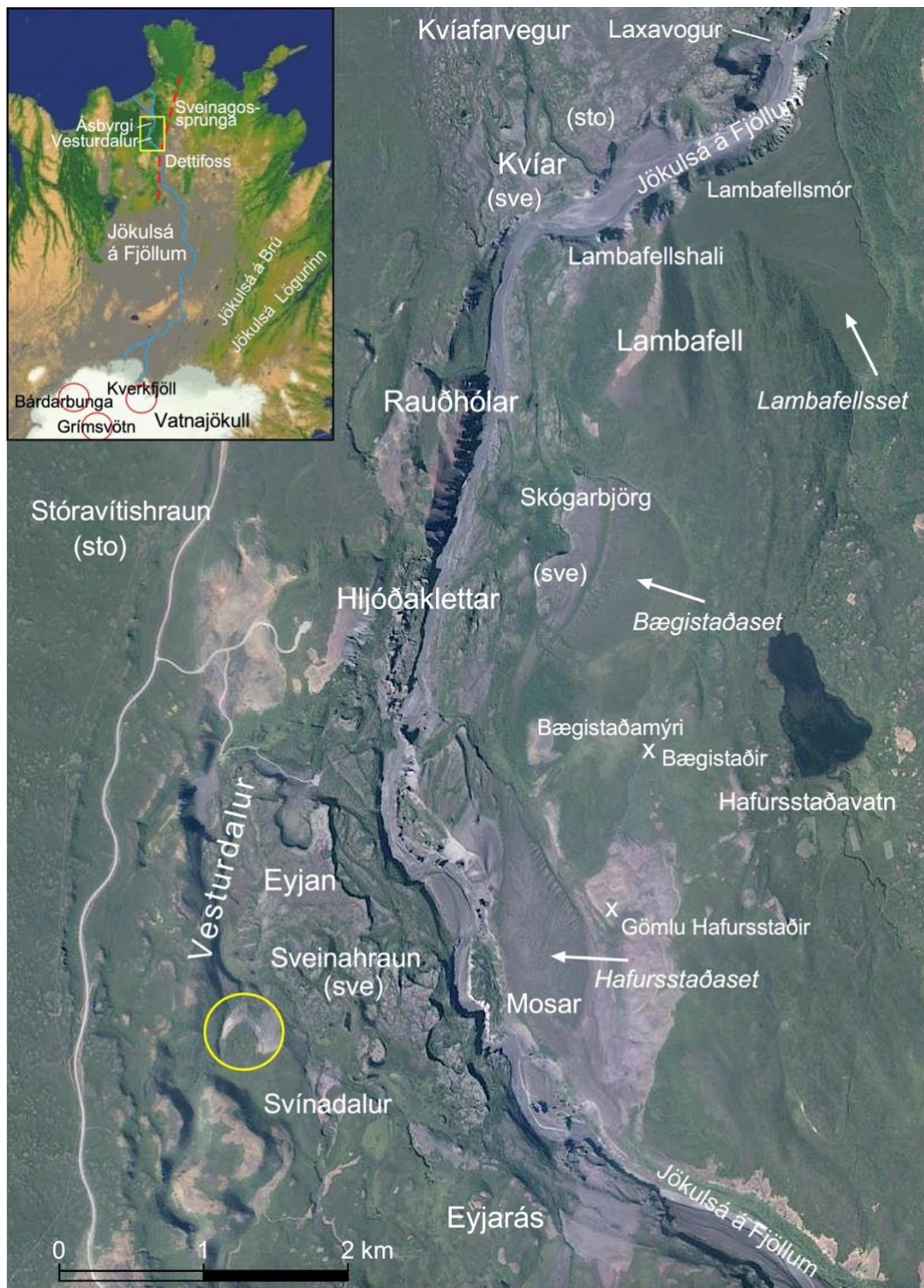
Stórávítishraun (sto) rann fyrir 12000-11000 árum (Kristján Sæmundsson o.fl. 2012). Það rann yfir neðsta hluta farvegjar prótó-Jökulsár og stíflaði hann en ofar, t.d. vestan Svínadals, rann það að jökuljaðri eða í vatn (Kristján Sæmundsson 1973). Jökull gekk síðan út á Stórávítishraun á kafla. Ásbyrgi er grafið í Stórávítishraun (Mynd 2) og er talið myndað í hamfarahlaupum (t.d. Kristján Sæmundsson 1973; Haukur Tómasson 1973; Sigurvin Elíasson 1978; Baynes o.fl. 2015a).

Jöklar hörfuðu og voru komnir suður að Kröflusvæðinu fyrir um 11000 árum því ljósa gjóskulagið Askja-S (Guðmundur Sigvaldason 2002) finnst þar fyrir norðan (Kristján Sæmundsson 1991) og einnig austar og sunnar (Magnús Á Sigurgeirsson 2016). Í umfjöllunni hér verður aldurinn ~11000 ár notaður um Öskju-S til samræmis við ofangreindar heimildir. Jökulvatn rann væntanlega í farvegi Jökulsár, e.t.v. yfir Stórávítishraun um Kvíafarveg (hann var orðinn til fyrir 11000 árum) eða meðfram Stórávítishrauni að austanverðu. Hlaup gætu hafa farið niður farveginn og beint yfir Stórávítishraunið til Ásbyrgis um Kvíafarveg og víðar um hraunið (Kristján Sæmundsson 1973; Sigurvin Elíasson 1978). Hver staðan var í Vesturdals-Hljóðaklettadældinni er ekki ljóst.

Fyrir um 11000 árum rann Sveinahraun (sve) niður þáverandi gljúfur Jökulsár niður í Vesturdal þar sem Eyjan er (Magnús Á Sigurgeirsson 2016). Sveinahraun og gjóskulagið Askja-S eru mynduð í sömu umbrotahrinunni í Öskjukerfinu (Magnús Á Sigurgeirsson 2016). Áður var talið að annað hraun af svipuðum aldri (hlk) hefði komið upp á gossprungu í Rauðhólum/Hljóðaklettum og runnið inn í Kvíafarveg (Haukur Jóhannesson og Kristján Sæmundsson 2009; Magnús Á Sigurgeirsson 2016). Nú er talið líklegast að þetta hraun sé hluti af Sveinahrauni og að Rauðhólar séu gervígígar (Ásta Rut Hjartardóttir og Páll Einarsson 2019) og samstofna Sveinahrauni (Mynd 2).

Hér á eftir á Sveinahraun bæði við sve og hlk nema annað sé tekið fram. Sveinahraun teygði sig inn í Kvíafarveg og að minnsta kosti niður undir Laxavog því þar eru leifar af hrauni með sömu útlitseinkenni og í svipaðri hæð. Kristján Sæmundsson (1. Mynd, 1973) og Sigurvin Elíasson (1974, 1978) gera því skóna að þetta hraun hafi runnið meðfram Stórávítishrauni niður fyrir Vestaraland og Áshöfða* og væntanlega hefur það fylgt dæld, farvegi eða gljúfri. Hvort heldur var stíflaði/hækkaði hraunið útrennslið út úr V-H dældinni um Kvíafarveg og/eða meðfram Stórávítishrauni að austanverðu. *Staðfest með efnagreiningum á hraunsýnum, sjá umfjöllun aftast í Viðaukum.

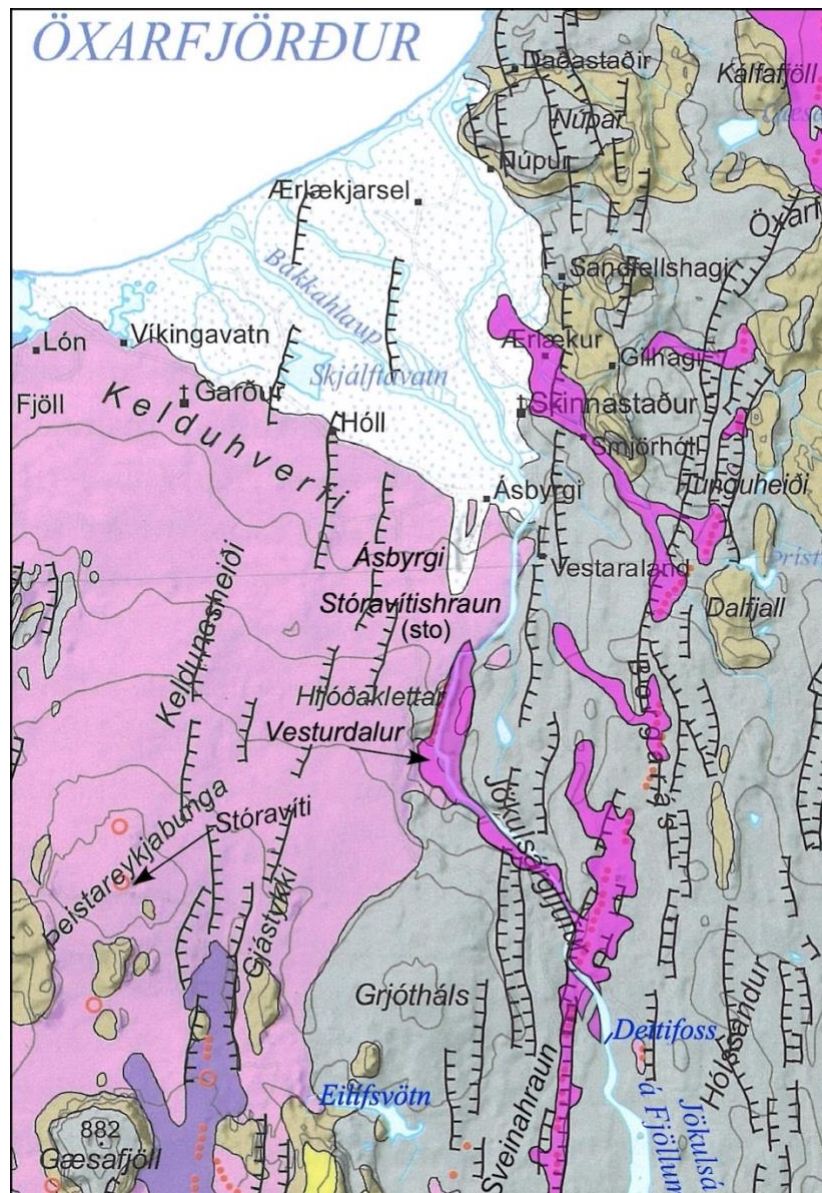
Hvernig var umhorfs í Vesturdals-Hljóðaklettadældinni eftir Sveinahraungosið? Var hún sléttfull af hrauni og gjalli? Var fyrirstaða fyrir vatnrennsli um dældina eða voru þrengsli við Rauðhóla? Gervígígarnir Rauðhólar ná hæst upp í um 220 m y.s. á kafla norðan til í V-H dældinni en yfirborð Sveinahrauns nú er frá 160 m y.s. við Kvíar að tæplega 190 m y.s. inn við Eyjarás. Gosefnin í V-H dældinni voru samkvæmt þessu í 160-200 m y.s. eftir Sveinahraungosið, að hluta hraun og að hluta gjallgígar. Sveinahraun fyllti ekki efri hluta Jökulsárgljúfra og um þau hefur jökulvatn haldið áfram að renna niður í V-H dældina þar til jökulhörfun lauk.



Mynd 1. Yfirlitsmynd af miðhluta rannsóknasvæðisins með örnefnum sem koma fyrir í texta (Grunnmynd Map.is – Loftmyndir ehf). Gulur hringur sýnir hvar snið Waitts (2002) í setlögin í Vesturdal var tekið. Innsett mynd er af Norðausturlandi frá Axarfirði að Vatnajökli. Rannsóknarsvæðið er innan gula rammans. Jökulsá á Fjöllum er dregin í bláum lit. Megineldstöðvar í Vatnajökli eru afmarkaðar með hringjum, stærðin miðast við mögulegar jökulhettur þegar Vatnajökull var í lágmarki.

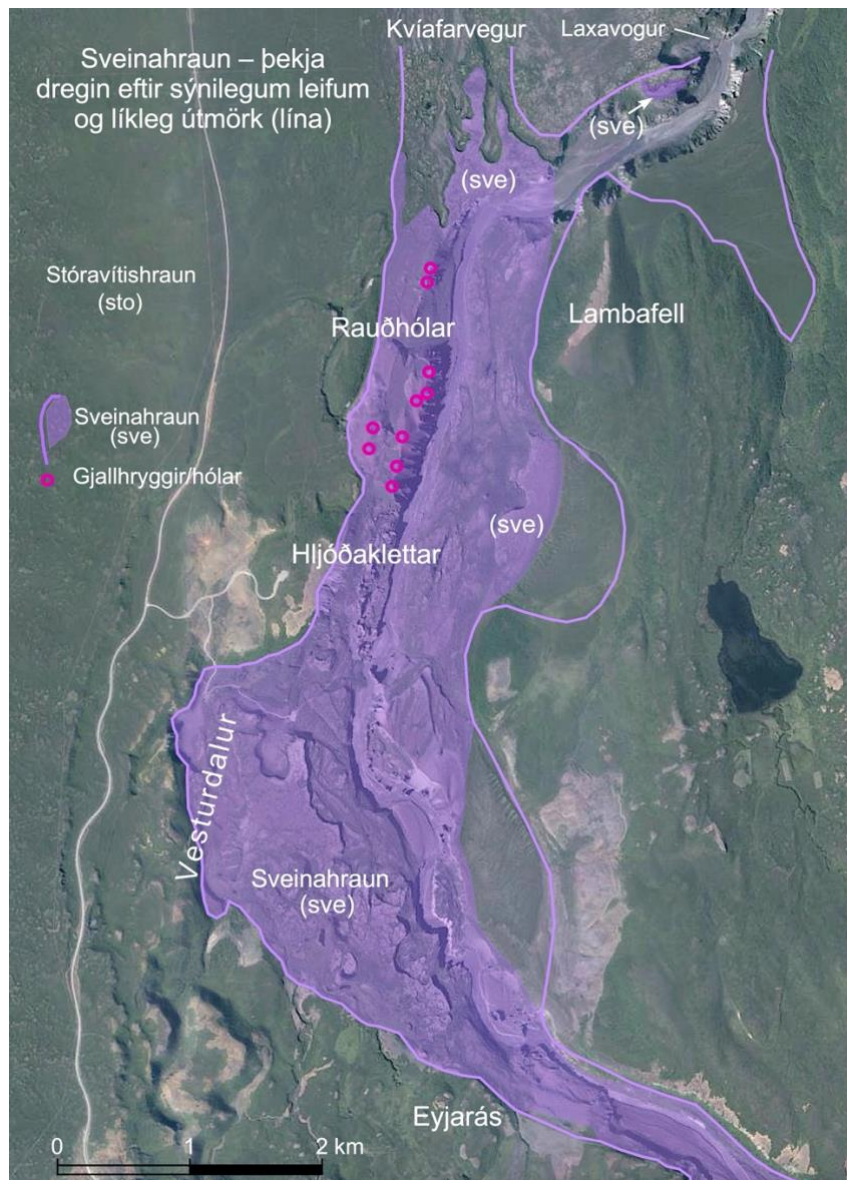
2. Aðstæður í Vesturdals-Hljóðaklettadæld fyrir 7000 árum

Hvað gerðist frá því að Sveinahraun rann fyrir ~11000 árum þar til fyrir 7000 árum? Fyrri helming þessa tímabils hörfuðu jöklar og voru komnir á svipaðar slóðir og núverandi jaðar Vatnajökuls eða jafnvel innar fyrir um 9000 árum (Hreggviður Norðdahl og Halldór G. Pétursson 2005). Meðan á hörfuninni stóð var nóg bræðsluvatn fyrir jökulár og til að flytja jökulrænt set. Eldvirkni jókst mjög



Mynd 2. Klippa úr Jarðfræðikorti af Íslandi, 1: 600 000. Bergunnur (Haukur Jóhannesson og Kristján Sæmundsson 2009). Stórávítishraun og yngri dyngjuhraun (rauðleit) til vinstri, eldri berggrunnur (gráleitur, brúnleitur) til hægri. Sterkari rauður litur er settur í Sveinahraun, um 11000 ára gamalt (Magnús Á Sigurgeirsson 2016). Hér er hraunið í Vesturdals-Hljóðaklettadældinni endurteiknað í samræmi við nýjar hugmyndir (Ásta R. Hjartardóttir og Páll Einarsson 2019) um að Hljóðaklettahraun sé hluti af Sveinahrauni sem rann niður farveg Jökulsár. Kristján Sæmundsson (1973) taldi að hrauntaumur úr Hljóðaklettahrauni hefði runnið meðfram jaðri Stórávítishrauns eftir fornum farvegi Jökulsár niður að Vestaralandi (ekki teiknaður hér). Hraun úr Kröflueldum (bláleit), sjást neðst til vinstri.

Þegar jökulfarg minnkaði og hröð landlyfting tók við (Guðmundur E. Sigvaldason o.fl. 1992; MacLennan o.fl. 2002) og hluti af þeim eldgosum varð undir jökli. Vafalítið hafa öðru hvoru komið jökulhlaup, ýmist frá jökulstífluðum vötnum eða eldgosum. Á seinni helmingi tímabilsins, þegar hlýjast var á nútíma (t.d. Ran et al. 2008; Darren Larsen et al. 2012) minnkuðu jöklar enn. Hálendið greri upp og stórir hlutar þess fengu jarðvegs- og gróðurþekju, að nýrunnum hraunum undanskildum (t.d. Ólafur Arnalds 1992; Rannveig Ólafsdóttir o.fl. 2001). Fyrir 8000 árum voru Jökulsá á Fljótssdal og Jökulsá á Brú orðnar dragár/lindár, enginn jökulgormur var í Jökulsá á Fljótssdal þar til fyrir 4400 árum (Striberger o.fl. 2012) og jökulaurar við Jökulsá á Brú greru upp (Guðrún Larsen og Bergrún Óladóttir 2015). Vafalítið gildi sama um Jökulsá á Fjöllum, hún var líklega orðin lindá/dragá með óverulegan rofmátt.



Mynd 3. Vesturdalur-Hljóðaklettur, hraunþekja eftir að Sveinahraun rann niður farveg/gljúfur Jökulsár fyrir um 11000 árum og fyllti dæld sunnan við Stórávítishraun (<12000 ára). Þekja (hálfagnsæ), sem sýnir útbreiðslu Sveinahrauns og skyldra gósefna, er að mestu dregin eftir sýnilegum leifum. Útlínan víkur frá þekjunni þar sem ætla má að hraun sé undir setlögum og er að hluta áætluð eftir hæðarlínunum (170-180 m a.s.l., skv korti með 5 m hæðarlínunum). Rauðir hringir sýna helstu gjallhryggi. Sveinahraun rann inn í Kvíafarveg sem þá var orðinn til og vafalítið lengra en núverandi leifar þess ná. Hér er einnig gert ráð fyrir að hraunbleðill sunnan Laxavogs og hraunið undir Lambafellsmó tilheyri Sveinahrauni sem hafi runnið niður með Stórávítishrauni að austan. (Grunnmynd Map.is – Loftmyndir ehf).

Hvernig var staðan í V-H dældinni fyrir 7000 árum? Var hún ennþá full af hrauni og gjalli með þekju úr framburði jökulár og jökulhlaupa? Leifar þessa gamla framburðar/hlaupsets gætu verið í Mosum austan Jökulsár þar sem þykkt og gróft set liggur ofaná gjall- og hraunmyndunum (Hafursstaðaset, yfirborð mótað af yngri hlaupum, [Myndir 1 og 3](#)). Austan við Lambafell eru stórgerðir jökulárárar eða flóðset (Lambafellsmór, [Myndir 1 og 3](#)) í um 160 m y.s. ofan á þunnu hrauni sem líkist Sveinahrauni. Jarðvegurinn ofan á þessu seti er gamall, gjóskulögin Hekla-3 (um 3000 ára) Hekla-4 (um 4300 ára) eru ofarlega í jarðveginum og líklega Hekla-Ö (um 6100 ára, óstaðfest) og neðsti hluti hans er eldri en 7000 ára (reiknaður aldur um 8700 ár). Rennslismunstur auranna bendir til að „gáttin“ hafi verið 0,1-0,2 km norðan við núverandi rof í Lambafellshala á hrauni í 155-160 m y.s. Waitt ([2002](#)) taldi að þröngt gljúfur væri komið í hraunstíflurnar á þessum tíma en skilgreinir það ekki nánar.

Hugsanleg sviðsmynd er að í V-H dældinni, milli Kvía og Eyjaráss, hafi verið hraunfylla í 160 m y.s. nyrst og 180 m y.s. syðst (**Mynd 3**) undir flákum af gömlu jökulhlaupa- og jökulárseti með gróðurþekju og aðgerðalítilli lindá/dragá. Venjulegt útrennsli úr dældinni gat verið til Ásbyrgis um Kvíafarveg, um þröngt en grunnt gljúfur norðan við Lambafellshala eða yfir hraunhaft til Laxavogs, en hann er leif eldra gljúfurs, nú þurrt.

Waitt (2002) taldi að setlagastaflí í Vesturdal væri bakvatnsset (backflood beds) úr hlaupvatni sem safnast hefði upp vegna tregs útrennslis um þröngt gljúfur. Hér eru leiddar líkur að því að hlaupvatn sem setti af sér bakvatnssetið í Vesturdal hefði ekki getað safnast upp og myndað setlög þar í allt að 190 m y.s. nema að önnur þrengsli eða fyrirstaða væri í dældinni því vítt yfirfall (>1,5 km) var í 160 m y.s. um Kvíafarveg til norðurs. Milli Rauðhóla og Lambafells var dældin þrengst.

3. Vesturdals-Hljóðaklettasvæðið, setlög frá tímum Waitt-hlaupanna

Setlagastaflanum í Vesturdal var fyrst lýst af R.B. Waitt (2002). Waitt telur 16 setlög í Vesturdal vera bakvatnsset frá hlaupum sem runnu inn í V-H dældina og mynduðu uppistöðu (ponded) þar sem setið settist til. Hann telur hlaupin ekki hafa verið stór (of moderate volumes) og gerir ráð fyrir tímabundinni vatnssöfnun í V-H dældinni þar sem bakvatnsset gat sest til vegna tregs útrennslis úr dældinni - og að þetta hafi endurtekið sig í öllum 16 hlaupunum. Waitt taldi að set úr þessum hlaupum hefði einungis varðveist í Vesturdal. Aldurinn taldi hann vera 8000-4000 ár.

Hér á eftir verða hlaupin sem mynduðu setlögin í Vesturdal nefnd eftir Waitt og kölluð Waitt-hlaup til aðgreiningar frá öðrum hlaupum í Jökulsá á Fjöllum.

Kirkbride o.fl. (2006) lýsa tveim setlögum austan Jökulsár gegnt Vesturdal. Tímasetningar með geislakoli staðfestu að þau eru af sama aldri og setlögin í Vesturdal. Kirkbride o.fl. (2006) telja að Waitt-hlaupin hafi verið “megafloods” (yfir milljón rúmmetrar á sekúndu) en færa þó ekki rök á móti túlkun Waitts (2002).

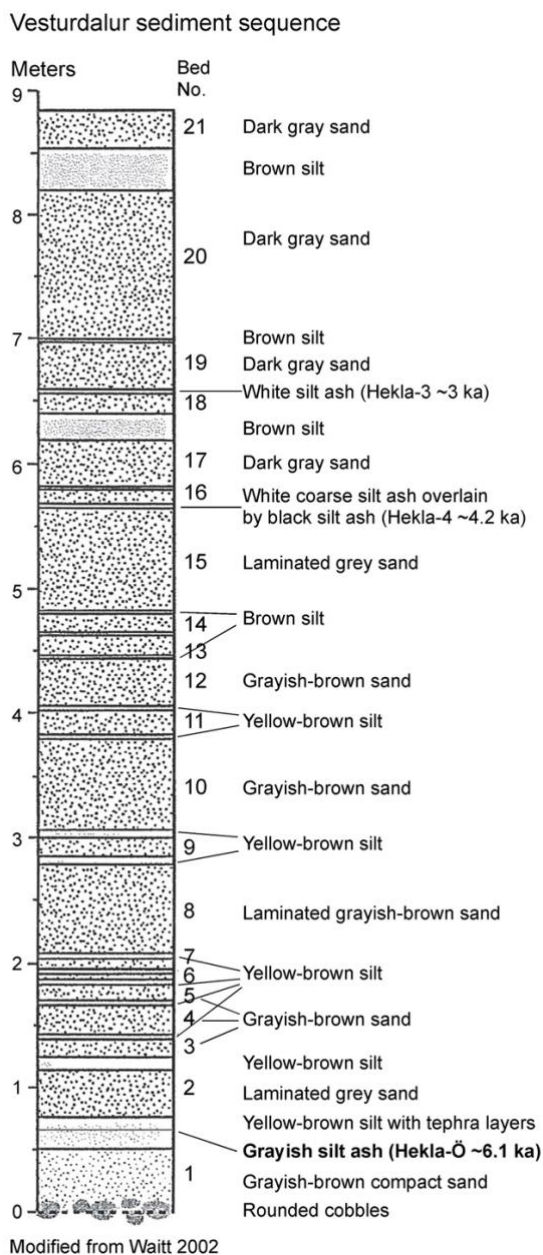
Setlögnum í Vesturdal er rækilega lýst í grein Waitts (2002) en hér er þeim lýst í stórum dráttum. Hafa þarf í huga að setlagastaflinn er enn að rofna og snið Waitts hefur breyst töluvert frá 2002. Setlög með sömu einkennum og setlögin í Vesturdal finnast víðar í V-H dældinni og einnig ofan við Dettifoss eins og rakið verður hér á eftir en eru hvergi jafnvel varðveitt og í Vesturdal.

Setlagastaflinn í Vesturdal er 8-9 m þykkur (**Mynd 4**). Í neðstu 6 metrunum eru 16 aðgreind setlög með misgreinilegum, siltkenndum „jarðvegi“ á milli laganna (Waitt 2002). Neðsta setlagið liggur á stórgrýti úr misjafnlega vel núnum hnallungum. Setlögin eru 10-90 cm þykk, úr glerrikum, brúngráum-grásvörtum sandi (**Viðauki 1**), gáróttum, skálöguðum og/eða víxllöguðum, þykkustu lögin eru rétt lóðgreind (Waitt 2002; Kirkbride o.fl. 2006). Setið er harðnað en vindSORfið (**Mynd 5a&b og Viðauki 2**). Neðstu 7 lögin eru yfirleitt fínsöndug með finlegum byggingareinkennum. Lög 8 til 14 eru ívið grófari í korninu, með greinilegri byggingareinkennum og jafnvel með grófsöndugum linsum (t.d. lag 8). Í lögum 15 og 16 virðist aftur vera meira fínefni. Lag 15 er þykkast þessara laga, 85-90 cm samkvæmt Waitt (2002).

Greinilegasta jarðvegslagið er milli setlaga 1 og 2 en í því eru 6 gjóskulög og eitt þeirra er meint Hekla-Ö (um 6100 ára), en ekki Hekla-5 (um 7100 ára) eins og Waitt hefur líklega talið (2002)**. Einnig er greinilegt jarðvegslag milli setlaga 10 og 11 og milli setlaga 15 og 16 en í jarðveginum milli þeirra er Hekla-4. Þessi 16 setlög hafa því hlaðist upp á rúmlega 2000 árum.

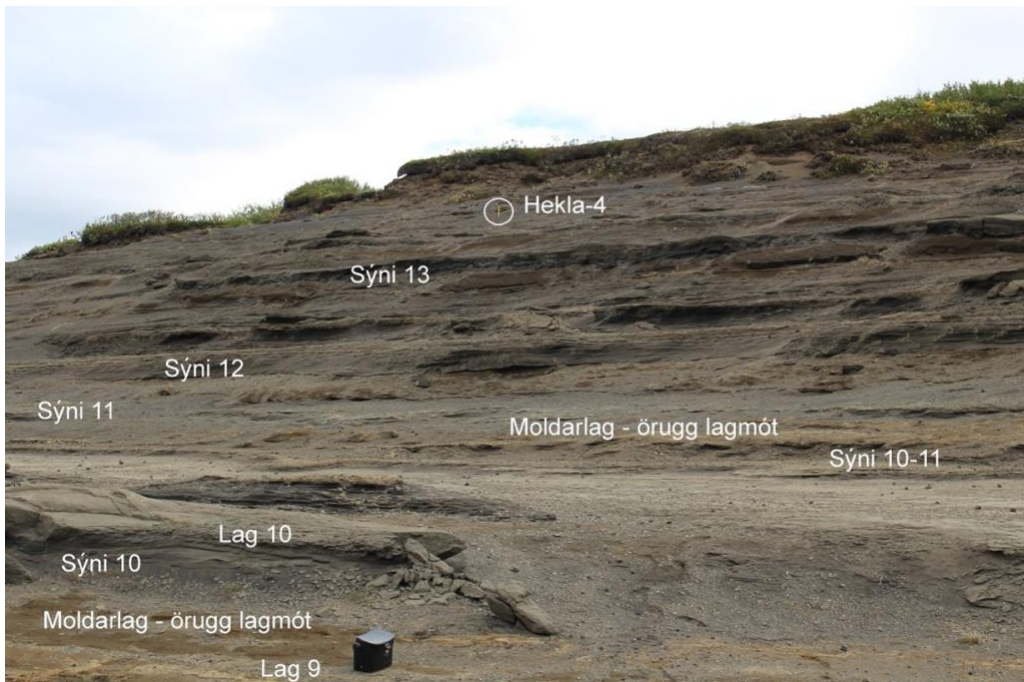
Sýni voru tekin úr öllum setlögnum í Vesturdal nema því neðsta (lagi 1), eitt til þrjú úr hverju lagi (**Viðaukar 1 og 2**). Ef eitt sýni var tekið var það yfirleitt neðst úr einingunum, einnig voru tekin sýni af misgrófu seti og úr efsta hluta lags, sjá **Viðauka 1**. Setkorn/glerkorn í stærðunum 63-250 micron voru efnagreind í örgreini Jarðvísindastofnunar. Efnasamsetning meginhluta glersins er basalt með einkennum Bárðarbungu-Veiðivatnakerfisins^{oo} (**kafli 6 og Viðauki 1, Mynd V-1**). Setlagastaflinn hefur rofist síðan Waitt lýsti honum og núverandi snið er ekki á sama stað, því er ekki fullvíst að

númer setlaga (Mynd 4 og Viðauki 2) séu þau sömu og hjá Waitt um miðbik staflans. Gjóskulögin úr þykkasta jarðvegslaginu voru einnig efnagreind og tilvist Hekla-Ö staðfest.

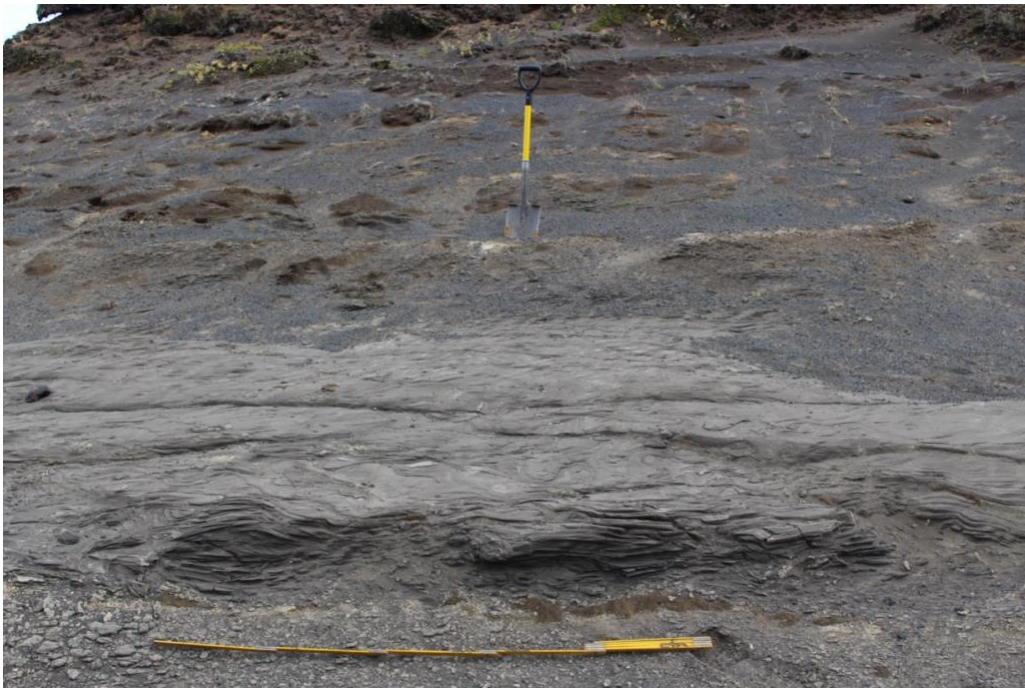


Mynd 4. Snið af setlögum í Vesturdal úr grein Waitts (2002). Gjóskulagið Hekla-Ö var teiknað inn í jarðvegslagið milli laga 1 og 2. Ofar eru gjóskulögin Hekla-4 milli laga 15 og 16 og Hekla-3 milli laga 18 og 19. Lög 1-16 eru vatnsborin, bakvatnsset (backflood beds) úr jökulhlaupum en lög 17-21 eru vindborin. Þykkt vatnsborna setsins er um 6 m. Vatnshæð í þessum hlaupum gæti því hafa verið svipuð.

Jarðvegur milli setlaganna sýnir að á milli hlaupa var svæðið þurr og stundum gróið því gjóskulög varðveittust í jarðveginum. Mismikil þykkt bendir til að mislangur tími hafi liðið milli hlaupanna, í sumum tilfellum er jarðvegur ekki réttnefni. Þykkastur varð jarðvegurinn um 55 cm, gjóskulög meðtalin. Meðaltími milli hlaupa, 150 ár, gefur því ekki rétta mynd en sýnir að hléin voru áratugir og aldir. Kirkbride o.fl. (2006) tímasettu tvö setlög með geislakolsgreiningu. Þeir telja yngra lagið, ~4650 ára, samsvara lagi 15 í Vesturdal enda liggi Hekla-4 ofan við það. Það eldra, ~5050 ára, telja þeir samsvara lagi 14 - sem er óvissara vegna mikils þykktarmunar og bendir fremur til laga 13.



Mynd 5a. Vesturdalur-Hljóðaklettur, setlög 10 til 15, skófla stendur í Heklu-4 gjóskulaginu, merkt með hvítum hring. Setlag 15 er beint undir Heklu-4/skóflu.



Mynd 5b. Vesturdalur-Hljóðaklettur, nærmynd af lagi 15. Ljósa gjóskulagið sem skóflan stendur í er Hekla-4 og bakvið hana grillir í lag 16. Sjá einnig [Viðauka 2](#).

Setlög, eða öllu heldur leifar setlaga, með sömu útlitseinkenni og setið í Vesturdal finnast víðar í V-H dældinni ([Mynd 6](#), [sjá einnig myndir í Viðauka 3](#)) en hvergi hafa fundist jafnþykk og jafnmörg lög og þar. Setlögin eru hörðnuð og ná svipaðri hæð, 180-190 m y.s. á flestum stöðunum. Þar sem setlögin finnast í jarðvegi eru þau á milli sömu gjóskulaga, Heklu-Ö og Heklu-4.

Nyrsti fundarstaður austan Jökulsár er sléttur fláki þar sem jarðvegur og setlög (Bægistaðaset) liggja á Sveinahrauni í Skógarbjörgum ([Viðaukar 1 og 3](#)). Þar er hraunið í rúmlega 170 m y.s. og setið í um 180 m y.s. Sunnar, í vatnsrás milli eldri setbunka (Mosar-Hafursstaðaset) og hliðarinnar neðan við gömlu Hafursstaði, finnast setlög samsvarandi yngstu setögunum í Vesturdal, þó ekki yngsta setlagið (Kirkbríde o.fl. [2006](#)).

Nyrsti staður vestan Jökulsár þar sem setlög með útlitseinkenni svipuð Vesturdalssetinu hafa fundist með vissu er í hlíðinni vestan vegar niður í Vesturdal (Mynd 6, sjá einnig myndir í Viðauka 3). Þaðan og að sniði Waitts í Vesturdal glittir í setlög á nokkrum stöðum. Sunnar, beggja vegna við gamla býlið Svínadal eru setflákar með sömu einkennum (Viðauki 3), þar er gjóskulagið Hekla-4 ofarlega og jarðvegur undir setinu. Setlög með sömu útlitseinkenni liggja a.m.k. að hluta undir sléttunni suðaustan við Eyjarás. Varðveisla þeirra í Jökulsárgljúfrum hefur ekki verið rakin. Sunnan við Dettifoss, vestan Jökulsár, finnast setlög með sömu útlitseinkenni og af sama aldri (sjá kafla 5 og Viðauka 4).

Tekið skal fram að lagskiptur, blágrár setbunki í dæld í Rauðhólum í rúmlega 190 m y.s. tilheyrir eldra seti með aðra efnasamsetningu (Viðauki 5).

Norðan við V-H dældina, í jarðvegi meðfram Kvíafarvegi vestanverðum, hafa vatnsborin setlög með byggingareinkenni Vesturdalssetsins ekki fundist. Þar eru hins vegar þykk “sandlög” með svipuðum lit og kornum og þau, en lausari í sér og án fínasta efnisins. Gjóskulagið Hekla-4 er ofarlega í þessu seti. Setkornin (glerkornin) hafa sömu efnafræðilegu einkenni og setið í Vesturdal (Viðauki 1). Ofan Heklu-4 er setið jarðvegsblandað og foklegt en neðan Heklu-4 er setið lagskipt, hreint og ekki ljóst hvort það er vatnsbórið eða vindbórið. Það gæti verið samstofna lagi 15 í Vesturdal, sem er næst undir Heklu-4 og eitt þykkasta setlagið þar. Þetta bendir sterklega til að a.m.k. sum hlaupanna sem mynduðu setlögin í Vesturdal og V-H dældinni hafi runnið um Kvíafarveg til Ásbyrgis.

Sigurvin Elíasson (1978) sýnir aðeins eitt snið (X) í jaðri Kvíafarvegar sem nær rétt niður fyrir Heklu-3. Í nokkrum öðrum sniðum (I, III, IV) austan og vestan Ásbyrgis sýnir hann sandlag/lög undir og rétt ofan Heklu-4 sem hann lýsir sem svörtum grófsandi og telur vera ummerki eftir flóð. Þau hafa ekki verið könnuð en eru líklega af sama toga og ofangreind „sandlög“ við Kvíafarveg og styðja þá að Waitt-hlaupin hafi farið þar um.

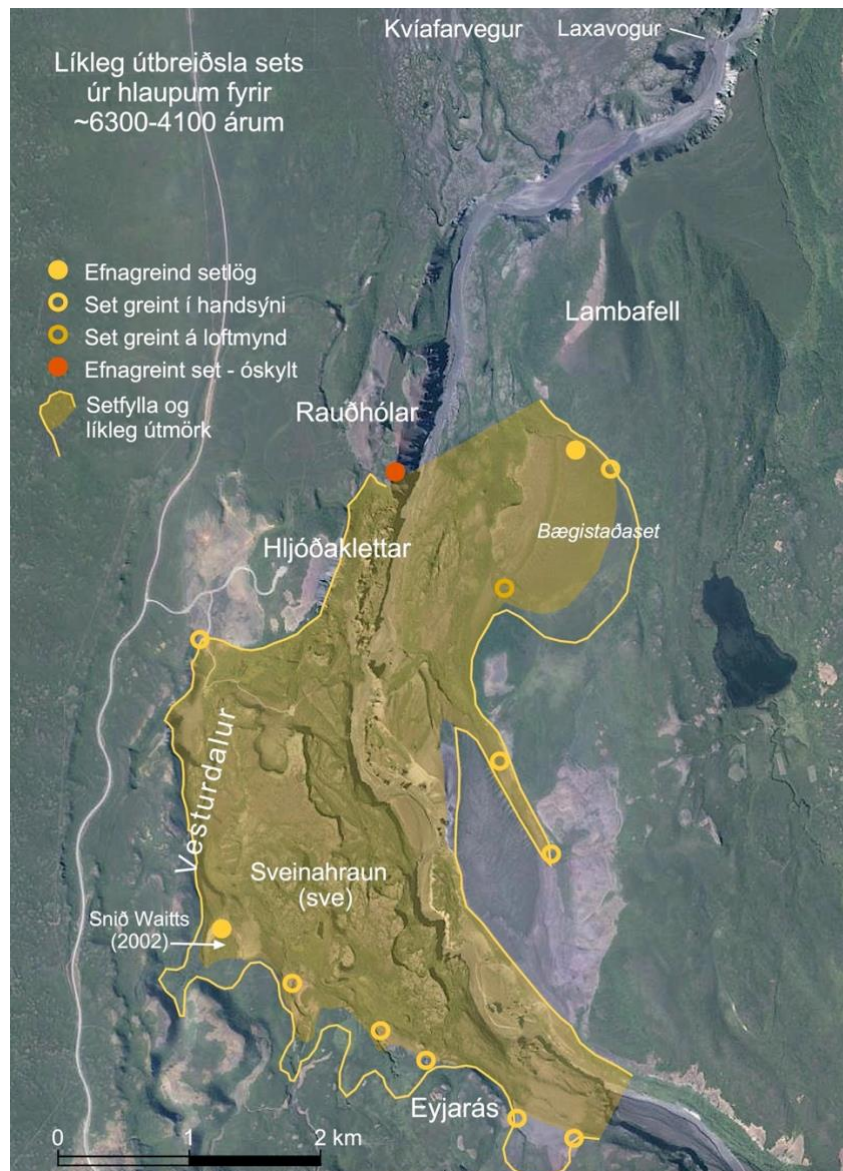
Setlagastaflinn í Vesturdal sýnir að 16 hlaup breyttu ekki aðstæðum í V-H dældinni meira en svo að hlaupset gat sest til í 180-190 m y.s. í rúmlega 2000 ár. Waitt (2002) telur hlaupin hafa verið „of moderate volumes“ sem gæti samsvarað töluverðu eða stóru hlaupi (3 eða 4 í Töflu 1, sjá kafla 5). Hann leggur ekki mat á hvort stærð hlaupanna hafi breyst með tíma. Vera má að hlaupin hafi verið svipuð að stærð allan þennan tíma en þykkt setlaganna var þó breytileg. Þrengsli sem ollu tregu útrennsli gátu breyst með tíma og flutt meira vatn - en þá hljóta hlaupin að hafa stækkað þannig að hlutfallið milli innrennslis og útrennslis hélst svipað.

Eins og áður er nefnt telja Kirkbride o.fl. (2006) að Waitt-hlaupin hafi verið “megafloods” (yfir milljón rúmmetrar á sekúndu) en rökin eru ekki augljós. Þeir virðast leggja núverandi gljúfur út úr V-H dældinni til grundvallar, þ.e. telja að glúfrið hafi verið til á þessum tíma, og gera ekki ráð fyrir neinum stórfelldum breytingum á útrennsli um gljúfrið við mat á þessum hlaupum.

Ekki er hægt að álykta að hlaupin hafi hætt þótt setlög hafi hætt að hlaðast upp í Vesturdal – ef þrengslin breyttust og útrennsli úr dældinni var jafnt innrennsli í hlaupunum varð engin vatnssöfnun í dældinni. Hvort hlaupin hafi farið stækkandi eða minnkandi með stækkandi jökli verður ekki sagt.

** Á svæði ofan við Dettifoss finnast samskonar setlög og í sniði Waitts í Vesturdal ásamt Heklu-4 og Heklu-Ö. Þar eru einnig eldri setlög með sömu útlitseinkenni, það elsta er um 7000 ára eða aðeins yngra en Hekla-5 (sjá Viðauka 4).

°° Bárðarbungu-Veiðivatnakerfi er yfirleitt stytt í Bárðarbungukerfi í megintexta hér á eftir.

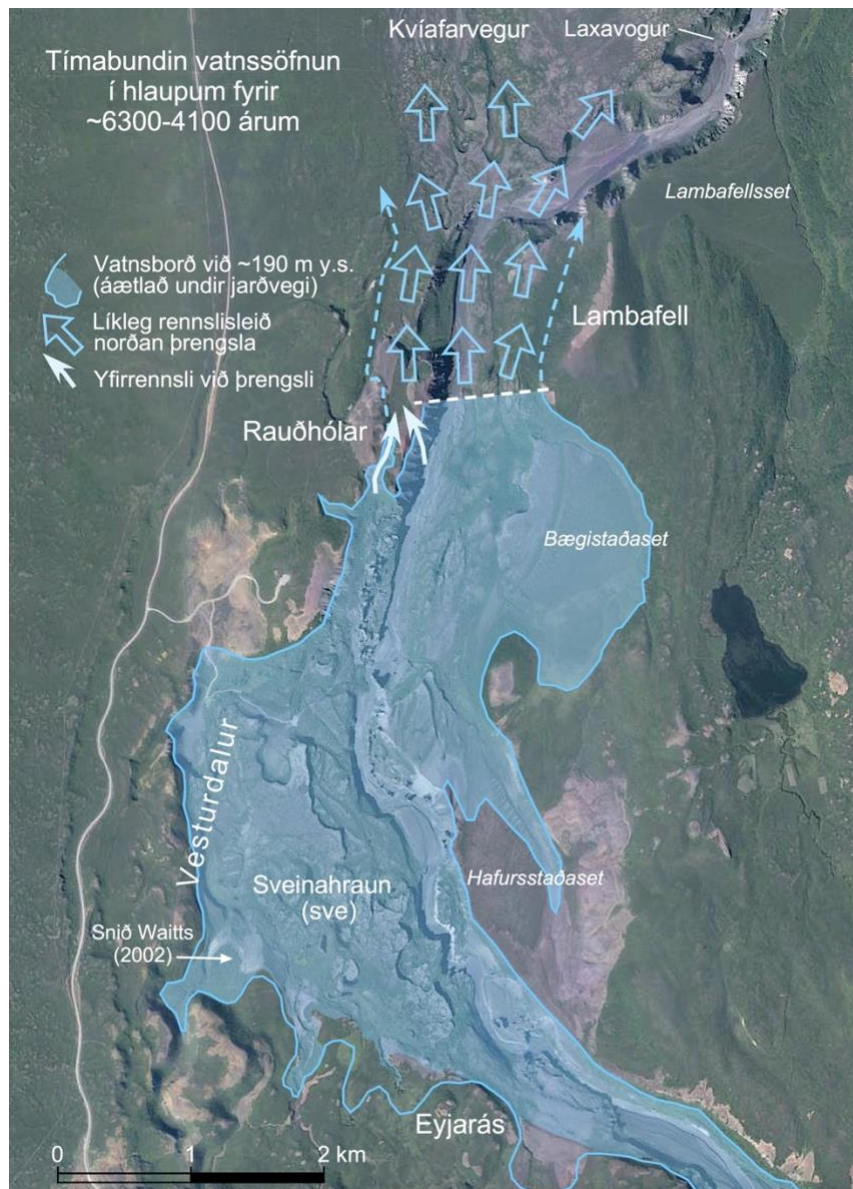


Mynd 6. Vesturdalur-Hljóðaklettur, líkleg útbreiðsla sets úr Waitt-hlaupum. Fylltir hringir sýna hvar setlögin hafa verið efnagreind. Opnir hringir sýna hvar setlög með sömu útlitseinkenni og í sníði Waitts (2002) í Vesturdal hafa verið skoðuð á vettvangi og/eða tímasett, dekkri hringir sýna hvar setlög eru áætluð samkvæmt loftmynd. Hæstu fundarstaðir setsins eru í um 192-194 m y.s. við Eyjarás. Þekjan sýnir útbreiðslu setsins í dældinni samkvæmt fundarstöðum. Útlínan víkur frá þekjunni þar sem ætla má að setlögin séu undir jarðvegi eða hafi raskast af yngri hlaupum. Því er einnig er miðað við 190 og 195 m y.s. hæðarlínur þar sem annars er ekki kostur. (Grunnmynd Map.is – Loftmyndir ehf).

4. Leiðir Waitt-hlaupanna frá Vesturdals-Hljóðaklettasvæði

Hvar var útrennslið úr V-H dældinni á tímum Waitt-hlaupanna? Sveinahraun í Kvíafarvegi er nú í um 160 m y.s. en gæti hafa verið heldur hærra fyrrum, áður en rofnaði ofan af því. Núverandi landslag bendir til að landhæð þar sem nú er gljúfur norðan við Lambafellshala hafi verið svipuð, nálægt 160 m y.s. og að gáttin hafi verið 0,1-0,2 km norðan við núverandi rof í Lambafellshala. Aðra hvora leiðina hefur daglegt rennsli farið. En til að skapa skilyrði fyrir bakvatnssetið í Vesturdal þurfti þrengsli/fyrirstöðu sunnar í V-H dældinni sem gátu valdið tímabundinni vatnssöfnun upp í um 190 m.y.s.

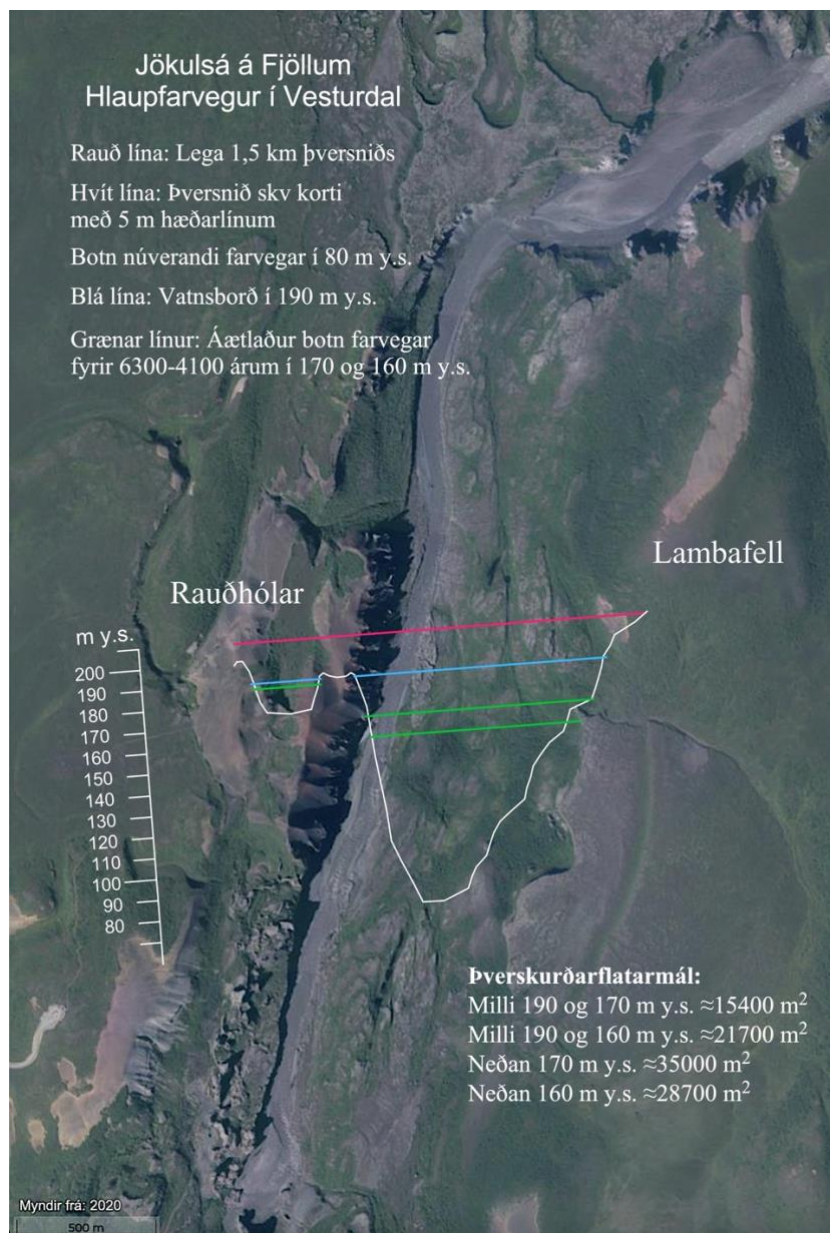
Líklegast er að þrengsli/fyrirstaðan hafi verið milli Rauðhóla og Lambafells. Þar á milli eru nú um 0,8 km í 190 m y.s. hæð en venjulegt útrennsli gat verið lægra og þrengra. Hraunið sunnan Lambafells er í um 170 m y.s. sem bendir til hraunbotns í svipaðri hæð þar sem þrengst var.



Mynd 7. Vesturdalur-Hljóðaklettar. Líklegt umfang vatnssöfnunar ofan við þrengsli milli Rauðhóla og Lambafells. Brotin hvít lína sýna hvar nú er þrengst milli þessara staða. Blá þekja (hálfagnsæ) sýnir líklegt yfirborð við 190 m y.s. Útlínan vikur frá þekjunni þar sem ætla má að vatn hafi legið innar. Ljósbláar örvar sýna yfirrennsli í ~190 m y.s. (hér er talið að farvegir í Rauðhólum séu frá tíma Waitt-hlaupanna). Brotnar bláar línur tákna líkleg útmörk farvega og opnar bláar örvar tákna líklega leið Waitt-hlaupanna. Yngri hlaup hafa eytt ummerkjum þeirra og núverandi gljúfur var ekki til þá., sbr Kafla 8. Ætla má að vatnsborð hafi verið heldur hærra en 190 m y.s., að minnsta kosti sunnan til þar sem innrennslið var í dældina. (Grunnmynd Map.is – Loftmyndir ehf).

Gosefnastaflinn rís hæst >200 m y.s. við Rauðhóla og gjallmyndanir gætu hafa teygst sig lengra austur í átt að Lambafelli. Bægistaðasetið er rétt ofan við þrengsli á móts við Rauðhólana og það styður takmarkandi útrennsli á þessum stað. Vatnsrás um 0,2 km breið liggur í gegnum gervigígasvæðið í Rauðhólum í því sem næst 190 m y.s. Þar hefur vatn runnið til norðurs án þess að grafa sér djúpan farveg í fremur auðrofið efni. Það bendir til að þarna hafi verið yfirfall frá meginfarvegi austan við Rauðhólana.

Eins og áður er nefnt sýna þykk “sandlög” í jarðvegi meðfram Kvíafarvegi að vestan, eldri en gjóskulagið Hekla-4, að Waitt-hlaup runnu inn í eða eftir farveginum – og líklega niður í Ásbyrgi – og lögðu til efni í þessi lög. Afstaðan til Heklu-4 bendir til að þetta hafi verið yngstu hlaupin, t.d. hlaupið sem myndaði lag 15 en það er þykkast laganna í Vesturdal samkvæmt mælingu Waitts (2002). Ekki tókst að grafa til botns í “sandlögum” með handafli svo ekki er vitað hvort elstu



Mynd 8. Þversnið þar sem þengst er milli Rauðhóla og Lambafells. Rauð lína markar legu þversniðs, hvít lína sýnir núverandi þversnið (tíðöld yfirhækkun), um 50.000 m^2 neðan 190 m y.s. (blá lína). Á tímum Waitt-hlaupanna, fyrir 6300-4100 árum, var þversniðið/gáttin miklu grynri. Líklegt er að botninn hafi verið í svipaðri hæð og hraunið undir setflákanum sunnan við Lambafell, um 170 m y.s. (efri græn lína) og þverskurðarflatarmál megingáttar um 15.400 m^2 . Yfirfallið í hliðarrás var mjög grunnt og rennsli takmarkað. Miðað við reiknaðan meðalrennslihraða í hamfarahlaupum í Jökulsá (Ahlo o.fl. 2005, 2007), 2.8 og 6 m/sek, gæti gegnumstreymi í a.m.k einhverjum Waitt-hlaupanna hafa verið um $43.000\text{-}93.000 \text{ m}^3/\text{sek}$. (Grunnmynd Map.is – Loftmyndir ehf). Sjá kort með 5 m hæðarlínunum í **Viðauka 6**, mynd V6-8.

hlaupin skildu eftir svipuð ummerki. Vel má vera að Waitt-hlaup hafi einnig sveigt til austurs meðfram Lambafellshala. En þá hefur ekki verið komið djúpt gljúfur við Lambafellshala, annars hefði hlaupvatn varla eða ekki runnið inn í Kvíafarveg.

5. Hve stór voru Waitt-hlaupin?

Ef þrengsli við Rauðhóla-Lambafell ollu vatnssöfnuninni var „lónið“ sem myndaðist í Waitt hlaupunum aðeins 10 -15 km^2 . Það að hlaupin 16 ollu svo litlum breytingum í meira en 2000 ár að vatnsborð í dældinni náði nokkurn veginn sömu hæð í hverju hlaupi gæti bent til að þau hafi ekki haft nægt hámarksrennsli og/eða ekki varað nógu lengi (nægjanlegt vatnsmagn) til að rjúfa sér mikla farvegi. Önnur skýring gæti verið að eldri og stærri hlaup hafi verið búin að móta farveginn og rjúfa

burt laust efni (t.d. úr Rauðhólum) svo meira varð ekki gert fyrr en búið var að dýpka farveg norðan við Lambafellshala.

Waitt (2002) taldi líklegast að hlaupin hefðu verið „moderate“, hugsanlega á ofangreindum forsendum. Gáttin milli Rauðhóla og Lambafells var um 15.400 m², miðað við 20 m dýpi (milli 170 og 190 m y.s. – Mynd 8, sjá einnig Viðauka 6) og gat flutt um 93.000 m³/sek miðað við meðalstraumhraða reiknaðs hamfarahlaups, 6 m/sek (hámarksrennsli 900.000 m³/sek, Ahlo o.fl. 2005) en um 43.000 m³/sek miðað við meðalstraumhraða í heldur minna hlaupi, 2,8 m/sek (hámarksrennsli 180.000 m³/sek, Ahlo o.fl. 2007). Þrengslin eru stutt og þar fyrir neðan vikkar farvegurinn. Við Kvíar (1,5 km neðar) er farvegurinn 1,5 km breiður og hraun í 160 m y.s. Vera má að gáttin hafi verið grynri en 20 m og þverskurðarflatarmálið mun minna.

Tafla 1. Stærðarflokkar hlaupa

Stærðarflokkur	Hámarksrennsli m ³ /sek
1	<3.000
2	3.000-10.000
3	10.000-30.000
4: stórhlaup	30.000-100.000
5: hamfarahlaup	>100.000
6: „megaflood“	>1000.000

Flokkun byggð á Magnús T. Guðmundsson o.fl. (2005), Kirkbride o.fl. (2015).

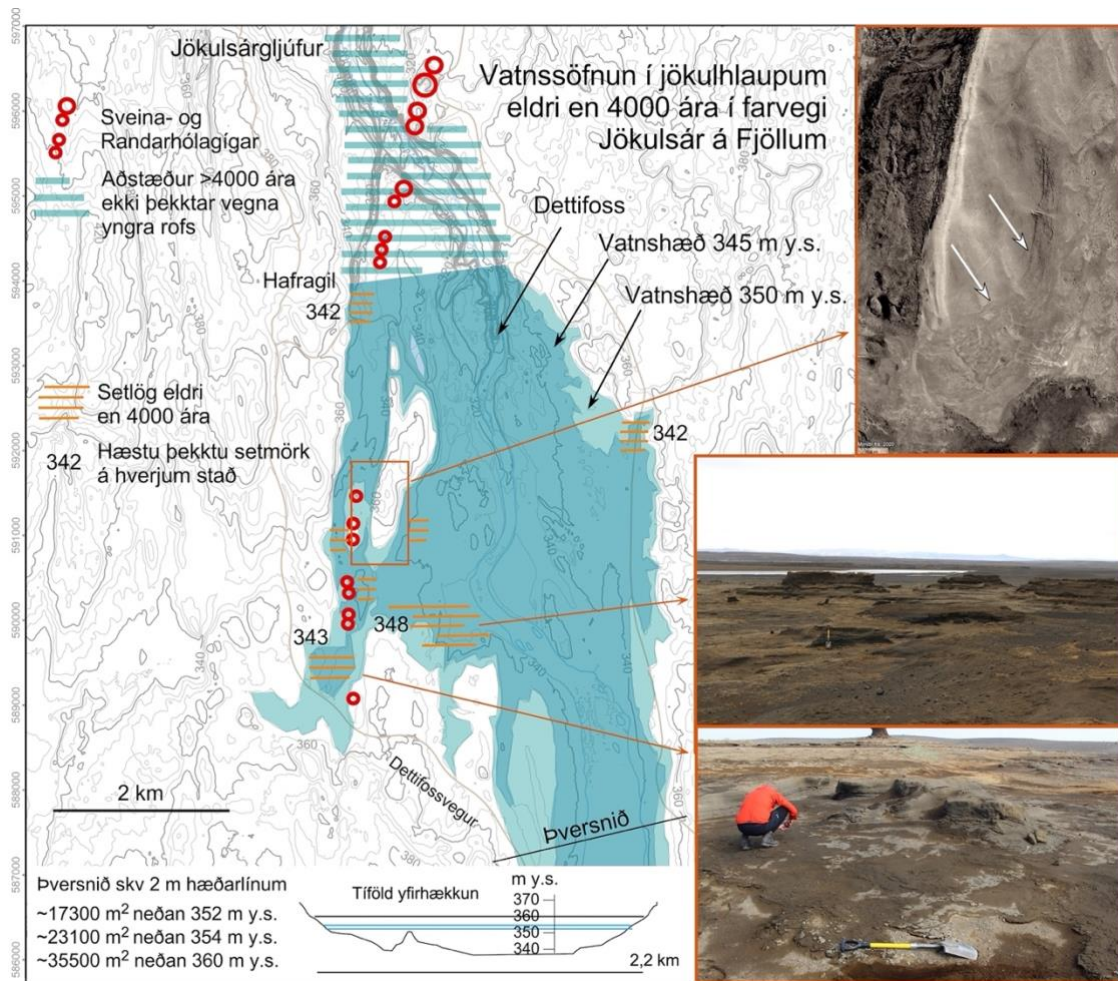
Líkanreikningar á hlaupum í Jökulsá á Fjöllum (t.d. Ahlo o.fl. 2005; 2007) sýna vatnssöfnun á nokkrum stöðum þar sem þrengsli voru á leið þeirra til sjávar, m.a. við Vaðöldu, Upptýppinga og Möðrudal á Fjöllum. Það tempraði rennslið og dró úr rennslistoppum. Þetta á einnig við Waitt-hlaupin. Litla „uppistaðan“ í Vesturdals-Hljóðaklettadældinni var sú neðsta og síðasta á langri leið.

Upplýsingar um stærð Waitt-hlaupanna má e.t.v. nálgast ofar í farvegi Jökulsár, ofan við Sveina-Randarhóla gígaröðina sem Sveinahraun rann frá fyrir um 11000 árum (Mynd 2). Á tíma Waitt-hlaupanna, áður en megingljúfrið grófst gegnum gígaröðina og meðfram Sveinahrauni við Dettifoss (Mynd 9 og Viðauki 6) var þrengra við gígaröðina og hraunið. Í hlaupum safnaðist vatn ofar í farveginum og setti af sér setlög með sama útliti og setið í Vesturdal og með sömu efnafræðilegur einkennum (þau sem hafa verið greind). Hæst nær þetta set upp í 348-349 m y.s. (Mynd 9) en norðar, beggja vegna Jökulsár, hefur setið fundist hæst í ~342 m y.s. Bæði Hekla-4, Hekla-Ö (efnagreind) og Hekla-5 hafa fundist í þessu seti. Setið er nú mikið rofið og myndar stabba/lög af hörðnuðu seti á nokkrum stöðum (Viðauki V-4).

Mynd 9 sýnir hluta af svæðinu sem fór undir vatn í Waitt-hlaupunum. Vatnshæð er dregin eftir hæðarlínu í 345 og 350 m y.s. eða ívið hærri en setmörkin, en ekki tekið tillit þess að þetta var straumvatn með einhvern halla (gradient) á vatnsborði. Hæstu strandlínur eru í 354 m y.s. en þær hafa ekki verið tímasettar og óvíst hvort þær tilheyra Waitt-hlaupunum eða yngri hlaupum.

Um 8 km ofan við þrengslin við Sveina-Randarhóla er þversnið sem ætla má að sé lítið breytt frá tíma Waitt-hlaupanna. Setmörk þar eru ekki þekkt. Miðað við vatnshæð 352-354 m y.s. (gradient 0,25-0,5 m/km) og 2-2,1 km breitt þversnið er gáttin um 17.300-23.100 m². Sé miðað við meðalstraumhraða í reiknuðum hamfarahlaupum getur gáttin flutt 104.000-140.000 m³/sek (Ahlo o.fl. 2005, 6 m/sek) eða 48.400-60.000 m³/sek (2,8 m/sek, Ahlo o.fl. 2007). Tölur þeirra fyrir straumhraða „characteristic of a large backwater area“ í stærra hlaupinu eru 2,5-5 m/sek. Hermun á rennsli í jökulhlaupi í Jökulsá á Fjöllum með 100.000 m³/sek hámarksrennsli (Kort 9, Sigríður S Gylfadóttir o.fl. 2017) bendir til straumhraða á bilinu 2-5 m/sek fyrir þetta svæði.

Samkvæmt þessu virðist útilokað að Waitt-hlaupin hafi verið „megafloods“ með hámarksrennsli yfir milljón m³/sek. Bráðabirgðaniðurstaðan er að hámarksrennsli í a.m.k. sumum Waitt-hlaupum gæti hafa verið um 50.000-100.000 m³/sek þegar þarna var komið.



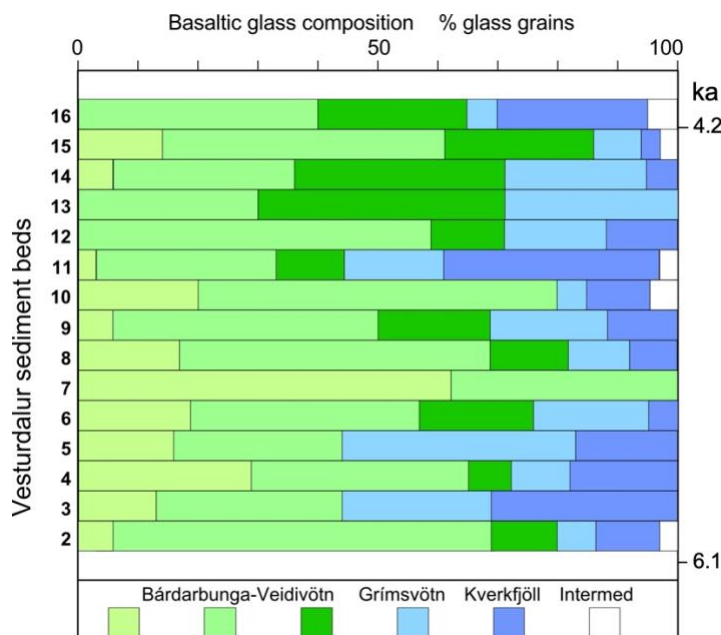
Mynd 9. Setlög eldri en 4000 ára (gulrauð strikuð og ljósmyndir), með sömu útlitseinkenni og setið í Vesturdal, settust til á svæði sunnan og austan við Sveina-Randarhólagíga (rauðir hringir) þegar hlaup komu Jökulsá og vatn safnaðist upp. Nánari umfjöllun er í **Viðauka 4**. Hæstu setmörk eru sýnd í m y.s. þar sem þau eru þekkt. Vatnhæð þar sem efstu setleifarnar finnast var líklega ≥ 350 m y.s. en óvíst að hún hafi verið sú sama í öllum hlaupum. Svæði undir vatni við 350 (grænleit) og 345 m y.s. (bláleit) eru dregin eftir hæðarlínun en gradient straumvatnsins er ekki reiknaður. Hæstu strandlínur á svæðinu, í 354 m y.s. (örvar á loftmynd), eru ótímasettar. Á þessum tíma hafði syðsti hluti Jökulsárgljúfra ekki grafið (Baynes o.fl. 2015b og **Viðauki 6**). Aldur Hafragils er ekki þekktur. Rennslisleiðir norðan setbunkans við Hafragil eru ekki þekktar vegna yngra rofs (strikað svæði). Þversnið skv. korti með 2 m hæðarlínun getur gefið hugmynd um líklegt vatnsmagn í jökulhlaupum fyrir 6300–4100 árum, sjá megintexta.

6. Orsakir og upptök Waitt-hlaupanna – eldvirkni á Bárðarbungukerfi

Um orsakir og upptök hamfarahlaupa í Jökulsá á Fjöllum hafa verið skiptar skoðanir. Hlaup úr jökulstífluðum vötnum, ýmist meðan jöklar voru að hörfa eða síðar, eru taldar orsök sumra hamfarahlaupa (Kristján Sæmundsson 1973; Haukur Tómasson 1973). Jökulhlaup í Jökulsá á Fjöllum geta stafað af eldvirkni tengdri öskjum Kverkfjalla og Bárðarbungu (t.d. Helgi Björnsson og Páll Einarsson 1991; Helgi Björnsson 2002; Haukur Tómasson 2002; Waitt 2002; Carrivick o.fl. 2004; Alho o.fl. 2007). Waitt (2002) fjallar hvorki um orsakir eða upptakasvæði hlaupanna sem hér eru kennd við hann en telur annars engin merki um hlaup úr öskju Bárðarbungu. Eins og áður er nefnt taldi hann að hlaupin hefðu verið “moderate”. Aðrir hafa talið þau “megafloods” (Kirkbride o.fl. 2006). Um hugmyndir varðandi yngri hlaup sjá kafla 8.

Þegar gjóskugler úr hlaupseti úr Vesturdal var efnagreint (**Viðauki 1**) kom í ljós að meirihluti glerkornanna var basalt með efnasamsetningu sem þekkt er innan Bárðarbungukerfisins. Yfirleitt voru 3–4 glergerðir í hverju sýni eins og viðbúið er þegar set berst langa leið um árfarveg og eyrar. Tiltölulega fá korn voru af hverri gerð (gler með einkenni Grímsvatna, Kverkfjalla, súrt gler) nema

af gleri með einkenni Bárðarbungukerfis, einkum gleri með lágu TiO_2 , lágtítangleri eða L-Ti gleri (Mynd 10). Í 12 af 15 setlögum voru Bárðarbungueinkenni ríkjandi, í einu er Kverkfjallasamsetning algengust og Grímsvatnasamsetning í öðru. Í einu sýni er skiptingin jafnari.



Mynd 10. Hlutfall glergerða (%) í sýnum úr setlögum 2-16 í Vesturdal. Sjá umfjöllun í Viðauka 1. Gler frá Bárðarbunga-Veidivatnakerfi er í grænum litum. Ljósgrænt: Gígöldu samsetning. Milligrænt: L-Ti samsetning. Dökkgrænt; H-Ti samsetning. Ljósblátt: Grí samsetning. Dökkblátt: Kve samsetning. Greind voru 20 -100 korn úr hverju lagi. Af 15 lögum bendir efnasamsetning í 12 þeirra til uppruna á Bárðarbunga-Veidivatnakerfi, eitt lag gæti verið úr Grímsvatnakerfi (lag 5) og annað úr Kverkfjallakerfi (lag 11). Hlutföll í lagi 3 benda einna helst til Bárðarbunga-Veidivatnakerfis.

Nýlegar rannsóknir á gjóskulögum í jarðvegi umhverfis Vatnajökul (Bergrún Óladóttir o.fl. 2011a,b), á Austurlandi og Norðurlandi og landgrunninu þar úti fyrir (Esther Guðmundsdóttir o.fl. 2011, 2016) hafa leitt í ljós að gjóskulög með lágtítangleri finnast einkum á vissum tímabilum, fyrir 6100-5400 árum og fyrir 4400-3700 árum. Bæði þessi tímabil falla innan tímaramma Waitt-hlaupanna. Hér eru því tengsl bæði í tíma og efnasamsetningu. Á Vestfjörðum hafa fundist gjóskulög með lágtítangleri frá tímabili fyrir 5500-5000 árum (Harning et al. 2018).

Gjóskulög með lágtítangleri eru a.m.k. 20 (eitt jarðvegssnið, Bergrún A. Óladóttir o.fl. 2011a) á tímabilinu fyrir 7500-3500 árum, en gætu verið yfir 30 alls. Frá tíma Waitt-hlaupanna eru a.m.k. 12 lágtítan gjóskulög (eitt jarðvegssnið) og 4-5 lög bætast við úr öðrum sniðum en ólíklegt er að öll gjóskulög hafi varðveist. Búið er að kortleggja útbreiðslu 12 gjóskulaga sem staðfestir upptök á svæði sem nú er hulið af Vatnajökli, líklega norðvestantil. Sprengigosin sem mynduðu sum þessara basísku gjóskulaga voru stór, álíka og Grímsvatnagos 2011, en 0,6-0,8 km³ af gjósku komu upp í því gosi (Magnús T. Guðmundsson o.fl. 2013). Fjallað verður um gjóskulögin í annarri grein (Guðrún Larsen o.fl. í undirbúningi). Mikil virkni var einnig á Kverkfjallakerfi fyrir 6000-5000 árum en lægð í virkni á Grímsvatnakerfi (Bergrún Óladóttir o.fl. 2011a).

Sterkar líkur eru því á að a.m.k. 12 af 15 jökulhlaupunum fyrir 6300-4100 árum hafi orsakast af eldgosum á Bárðarbungukerfi. Hugsanlegt er að sitt hvort hlaupið hafi orsakast af eldgosum á Kverkfjalla og Grímsvatnakerfi. En hvar var nægilegt vatn eða ís að hafa til að knýja basísku sprengigosin og jökulhlaupin? Hér á eftir er áherslan lögð á Bárðarbungukerfið og aðstæður þar.

Á nútíma var einna hlýjast fyrir 8000 til 7000 árum en þá hófst hægfare kólnun (t.d. Vinther o.fl. 2006; Ran o.fl. 2008; Darren Larsen o.fl. 2012). Talið er að jöklar hafi náð lágmarki fyrir þann tíma (t.d. Hreggviður Norðdahl og Halldór G. Pétursson 2009; Darren Larsen o.fl. 2012). Á Helga Björnssyni (2009) er helst að skilja að einungis hafi verið smájöklar á hæstu fjöllum á Vatnajökuls-

svæðinu þegar hlýjast var og jökulhettur ekki farið að myndast fyrr en fyrir 4000 árum. Fleiri hafa tekið í sama streng en Kirkbride o.fl. (2006) telja að Vatnajökull hafi verið samfelldari jökulbreiða (large composite ice cap) á tíma Waitt-hlaupanna.

Flest Waitt-hlaupin eru frá tímabili þegar jöklar voru – hugsanlega – einungis á Bárðarbungu sjálfri og öðrum háum fjöllum. Líklegasta upptakasvæði flestra hlaupanna er þá hlíðar eða askja Bárðarbungu. Ekki er hægt að gera ráð fyrir sama landslagi í öskjunni og nú, nýleg eldvirkni og brotahreyfingar sýna að askjan getur breyst á stuttum tíma (Magnús T. Guðmundsson o.fl. 2016). Lægsta skarð í öskjubarmana liggur austur úr öskjunni (Helgi Björnsson o.fl. 1992). Landslag myndi beina vatni til A og N ef gysi í norður- og austurhlíðum Bárðarbungu eða öskjunni. Magn bræðsluvatns úr jökulís í hlíðum fer eftir þykkt íss og lengd gossprungu (Magnús T. Guðmundsson og Þórdís Högnadóttir 2005), sjá einnig Kafla 9.

Á tímum Waitt-hlaupanna var lengst af engin jökulá í farvegi núverandi Jökulsár á Fjöllum heldur dragá eða lindá, ef svipað gildi um hana og Jökulsá á Fljótsdal (sbr. Striberger o.fl. 2012). Sú á gæti hafa runnið í gömlum, víðum farvegi hamfarahlaups frá leysingaskeiði ísaldarjökulsins sem Waitt-hlaupin fylgdu eða fóru lítið út úr. Talið er líklegt að hálendið hafi verið sémilega gróið á þessum tíma (Ólafur Arnalds 1992; Rannveig Ólafsdóttir o.fl. 2001) og ólíklegt að miklir ógrónir sandar hafi legið framan við jökulsporða. Hlaupvatn með gjóskugleri úr eldgosi undir jökli fyrir 6000 árum var ekki að flæða um land eins og við þekkjum í dag. Þetta gæti verið ein skýringin á að gjóskuglerið skilaði sér lítið mengað niður í Vesturdal. Vegalengdin sem hlaupin runnu er um 150 km miðað við núverandi jaðar Dyngjújökuls en allt að 40 km lengri miðað við upptök við Bárðarbungu.

Ekki er víst að yngsta hlaupið sem merki sjást um í Vesturdal sé síðasta hlaupið sem bar lágtítangler niður Jökulsá. Gjóskulög með þessi einkenni hverfa að mestu úr jarðvegssniðum fyrir um 3700 árum sem bendir til breytinga á eldvirkni Bárðarbungukerfisins. Því er hugsanlegt að hlaupin hafi ekki hætt fyrr en þá.

Niðurstaðan er að í a.m.k. 12 af 15 tilfellum eru sterkar líkur á að Waitt-hlaupin hafi orsakast af bræðsluvatni frá eldgosum á gossprungum innan megineldstöðvarinnar Bárðarbungu (í hlíðum, öskju eða öskjubroti), sem leitaði í farveg Jökulsár á Fjöllum og setti af sér setlög rík af gosefnum í setgildrum eins og V-H dældinni.

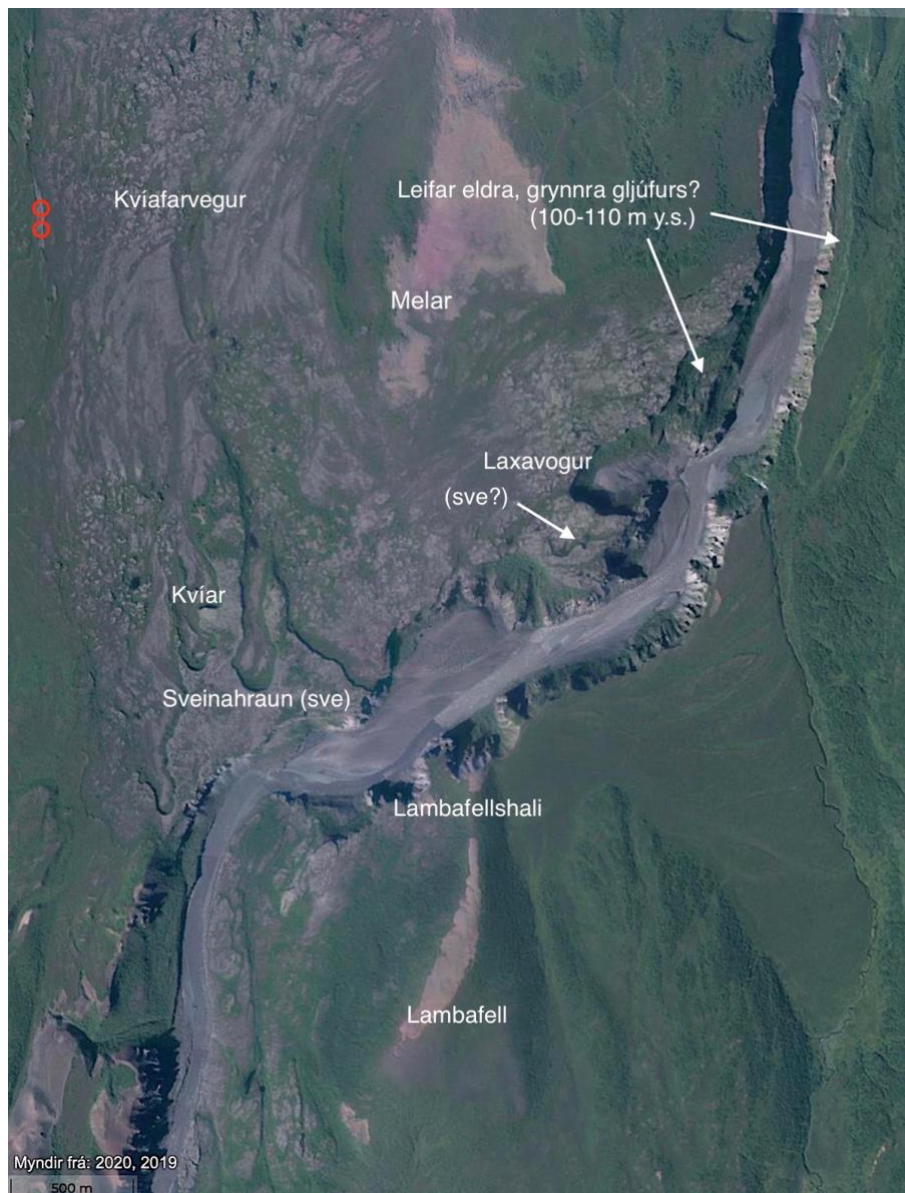
7. Aðstæður í Vesturdals-Hljóðaklettadæld eftir Waitt-hlaupin.

Hvernig voru aðstæður í V-H dældinni þegar Waitt-hlaupin hættu? Voru komin gljúfur meðfram Lambafellshala?

Ekki er hægt að sjá hvort eða hversu djúpur farvegur var kominn þar sem nú er gljúfur norðan við Lambafell fyrir 4000 árum. Hér hefur verið gert ráð fyrir að hraunbotn hafi verið milli Rauðhóla og Lambafells í 170 m y.s. eða sömu hæð og hraunið í Skógarbjörgum undir Bægistaðaseti. Þaðan hallar landinu að Kvíafarvegi í 160 m y.s. við Lambafellshala.

Á loftmyndum sést að hlaupvatn, a.m.k. í yngri hlaupum (kafla 8), hefur bæði runnið norður Kvíafarveg og einnig sveigt til austurs milli Mela og Lambafellshala. Hlaupvatn sem fór til austurs rann/féll í gljúfur við Laxavog og neðan hans því engin merki sjást um þessi hlaup austan við núverandi gljúfur (Mynd 11 og Viðauki 6). Það bendir til að nægilega djúpur farvegur til að taka við vatninu hafi verið kominn upp að Laxavogi.

Hlaup, líklega það sem setlag 15 er úr (rétt undir Heklu-4 gjóskunni), rann örugglega norður Kvíafarveg vestan við Mela. Ef Waitt-hlaupin voru af þeirri stærðargráðu sem útreikningarnir í Kafla 5 benda til hafa e.t.v. flest þeirra runnið um Kvíafarveg og sum hafa vafalítið einnig sveigt til austurs milli Mela og Lambafells niður í forvera Landsgljúfra.



Mynd 11. Farvegir norðan til og norðan við Vesturdals-Hljóðaklettadældina. Lambafell er neðst fyrir miðri mynd. Kvíafarvegur er í beinu framhaldi af Vesturdals-Hljóðaklettadældinni. Waitt-hlaup, líklega það sem setti af sér setlag 15, rann norður Kvíafarveginn en yngri hamfarahlaup hafa eytt ummerkjum um það nema í jarðveginum vestanmegin við farveginn (rauðir hringir). Vel sést hvernig hlaupfarvegir skipta sér um Mela. Farvegur til hægri norðan núverandi gljúfurs stefnir norðan við Laxavog og hlaupvatn hefur steptst niður í gljúfur sem þar var komið og einnig niður í Laxavog þar sem gil var að byrjað að grafast áður en flaumurinn lagðist þar sem núverandi gljúfur er. Líklegt er að Waitt-hlaup hafi einnig runnið þá leið. Venjulegt útrennsli gæti verið norður Kvíafarveg eða austur með Lambafelli, eða hvorutveggja en öll ummerki eru nú horfin. (Grunnmynd Map.is – Loftmyndir ehf).

Ofan Laxavogs hlýtur farvegurinn að hafa verið grunnur, í 155-160 m y.s., annars hefði hlaupvatn ekki leitað norður Kvíafarveg. Ef djúpur farvegur hefði verið kominn upp fyrir Lambafellsskala hefðu Waitt-hlaupin getað rofið sig niður í gosefnastaflann, dýpkað þrengslin og þá hefði vatnsborð varla náð sömu hæð í 2000 ár í Vesturdal.

Líklegasta sviðsmyndin í V-H dældinni þegar tíma Waitt-hlaupanna lauk er dæld með setfyllu í 180-190 m y.s. meðfram hlíðunum, inn fyrir Eyjaás vestanmegin og Mosa austanmegin (Mynd 6) en farveg með hraunbotni frá Eyjarási í 180 m y.s. að Lambafelli í ~170 m y.s. og Kvíum í ~160 m y.s. Venjulegt útrennsli vatns gæti verið um Kvíafarveg eða austur með Lambafelli, eða hvorutveggja.

Hvert var venjulegt rennsli í Jökulsá fyrir 4000 árum? Jöklar voru að stækka. Var hún orðin jökulá sem bar jökulgorm eins og Jökulsá á Fljótsdal á þeim tíma (Striberger o.fl. 2012)? Telja verður líklegt að svo hafi verið en hversu mikinn rofmátt áin hafði verður ekki ráðið af núverandi gögnum.

Fyrir um 4000 árum, skömmu eftir að gjóskulagið Hekla-4 féll, verða kaflaskil í sögu Vesturdals-Hljóðaklettadældarinnar. Merki um Waitt-hlaupin hverfa og líklega verður hlé um sinn. Bæði Kvíafarvegur og V-H dældin gætu hafa gróið upp. Þetta hlé sést m.a. í myndun móajarðvegs vestan Kvíafarvegs áður en foklög vegna framburðar í yngri hlaupum myndast. Saga þeirra hlaupa verður sögð annars staðar en örstutt umfjöllun er í Kafla 8.

8. Hamfarahlaup yngri en 4000 ára - áhrif í Vesturdal-Hljóðaklettum

Margir hafa fjallað um yngri hlaupin í Jökulsá á Fjöllum (t.d. Sigurður Þórarinnsson 1950; Haukur Tómasson 1973, 2002; Kristján Sæmundsson 1973; Sigurvin Elíasson 1974, 1978; Sigurjón Ísaksson 1985; Jóhann Helgason 1987; Guttormur Sigbjarnarson 1990; Waitt 2002; Kirkbride o.fl. 2006; Alho o.fl. 2005; Carrivick o.fl. 2004, 2013; o.fl.) og greinir á bæði um fjölda hlaupa, tímasetningar, stærð og upptök. Um hlaup frá sögulegum tíma verður ekki fjallað að sinni. Flestir nefna forsögulegu hlaupin stórhlaup eða hamfarahlaup og því verður haldið hér. Hámarksrennsli í þessum hlaupum hefur verið talið allt frá nokkur hundruð þúsund upp í milljón m³/sek, að hluta byggt á líkanreikningum og/eða ummerkjun (rof, set o.fl.). Hér á eftir verður nýjum athugunum stuttlega lýst en umfjöllun bíður betri tíma.

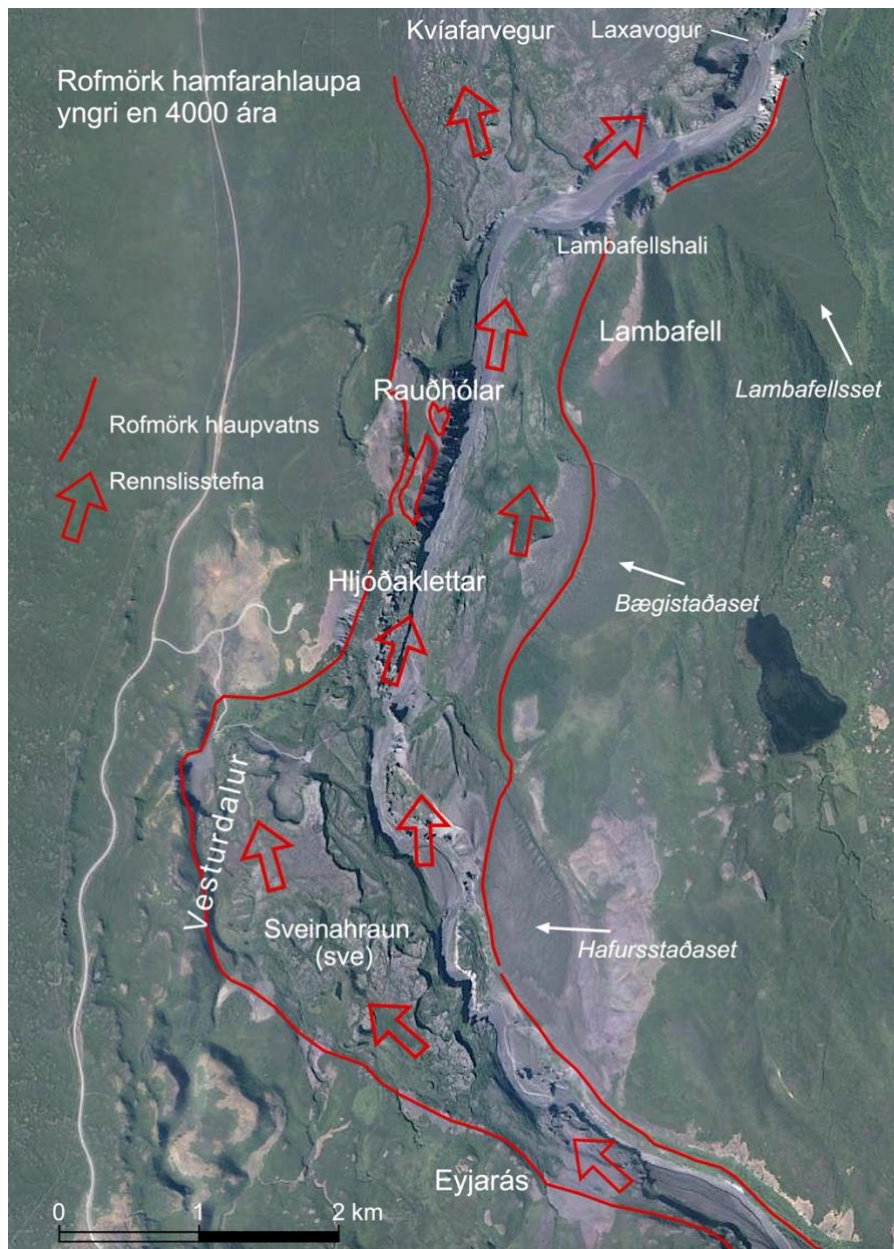
Hlaupset úr þrem hlaupum yngri en 4000 ára fannst ofan Vesturdals-Hljóðakletta dældarinnar, í Hólmatungum og ofan við Dettifoss. Öll hlaupin runnu gegnum V-H dældina og ollu breytingum en áhrif hvers og eins verða ekki aðgreind hér.

Í Hólmatungum fannst setlag, skafl af vatnsborinni svartri gjösku blandaðri jarðvegi, undir gjóskulaginu Hekla-3 (um 3000 ára) í 220-230 m y.s. Hlaupið rann um Vesturdals-Hljóðaklettadældina en setti ekki af sér bakvatnsset eða annað set í Vesturdal. Gler í setinu hefur einkenni Grímsvatna- eða Kverkfjallakerfis.

Tvö setlög yngri en gjóskulagið Hekla-3 fundust um 15 m yfir núverandi farvegi Jökulsár, í 346-348 m y.s. í jarðvegstorfum um 4 km ofan Dettifoss. Þau liggja ofar en set úr Waitt-hlaupunum á sömu stöðum (Mynd 9 og Mynd V4-7). Setlögin eru aðgreind af jarðvegslagi með svörtu, sandgrófu gjóskulagi, væntanlega úr Hverfjallsgosi fyrir ~2600 árum (Kristján Sæmundsson o.fl. 2012). Neðra setlagið, um 60 cm úr silti, sandi og mól, er aðskilið frá Heklu-3 með þunnu (~cm) jarðvegslagi og er talið um 3000 ára. Efra setlagið er um 30 cm þykkt sandlag með allt að 30 cm bergbrotum úr lítt núnu hrauni efst. Líklegur aldur er 2000-2400 ár eða 2200 ±200 ár. Lega setsins hátt uppi í hlíð sýnir að þarna safnaðist vatn líkt og í eldri hlaupunum en efnið er miklu grófara sem e.t.v. bendir til meira vatnsmagns. Gler í báðum setlögum var efnagreint og hefur einkenni Bárðarbungukerfis en efnasamsetning (H-Ti gler) er önnur en Waitt-setsins, líkari gjóskulögum yngri en Hekla-3.

Áhrif þessara yngri hlaupa í V-H dældinni voru mikil. Hér er talið líklegt að þau hafi rofið burt laust efni í dældinni upp í amk 180 m y.s., meðal annars helminginn af Bægistaðasetinu (Mynd 12, sjá einnig Viðauka 3 og 6). Þau holuðu úr Sveinahrauni í Vesturdal og flettu hrauninu vestan við Lambafell burt, eftir stendur smáleif í um 170 m y.s. Roffarið er breiðast skammt sunnan við Hljóðakletta og norðan við Lambafellshala, rúmlega 2 km á breidd.

Til að hreinsa út úr Vesturdal-Hljóðaklettadældinni - og skapa núverandi aðstæður/landslag - þurfti að grafa gljúfur milli Lambafellshala og Laxavogs niður fyrir 80 m y.s. Hvort hamfarahlaup lauk því verki eða skildi eftir verkefni við frekari mótun farvegarins fyrir smærri hlaup er ekki vitað. En líklegt er að Vesturdals-Hljóðaklettadældin hafi að mestu fengið núverandi útlit í þessum hamfarahlaupum, einkum yngsta hlaupinu fyrir um 2200 árum.



Mynd 12. Vesturdalur-Hljóðaklettur. Rofmörk eða útmörk hamfarahlaupa yngri en 4000 ára eru dregin með rauðum línun, ummerki yngsta hlaupsins fyrir um 2200 árum eru líklega greinilegust. Örvar sýna rennslisleiðir. Vera má að skolað hafi yfir og meðfram setbunkanum sem hér er kallaður Hafursstaðaset en ekkert set yngra en 4000 ára fannst í jarðvegi í rásinni austan hans. Núverandi gljúfur norðan Lambafellshala varð til í þessum hlaupum en óvíst er hvenær það og farvegur Jökulsár voru fullmótuð, sbr. Kafla 8. (Grunnmynd Map.is – Loftmyndir ehf).

9. Vangaveltur

Stærð jökla

Óumdeilt er að jöklar voru í lágmarki á tímabili fyrir 9000-7000 árum síðan þegar loftslag var hlýrra en nú (t.d. Hreggviður Norðdahl og Halldór G. Pétursson 2009; Darren Larsen o.fl. 2012). En hversu litlir jöklar eða jökulhettur voru þá er ekki vitað. Helgi Björnsson (2009) telur líklegt að þegar hlýjast var hafi aðeins verið smájöklar á hæstu fjöllum þar sem Vatnajökull er nú. Fyrir 3000-4000 árum hafi jökulhettur farið að vaxa og, samkvæmt líkanreikningum, runnið saman fyrir um 2000 árum. Aðrir telja, eins og áður hefur verið nefnt, að stærri ísbreiða hafi verið á Vatnajökulssvæðinu, t.d. Kirkbride o.fl. (2006) sem telja Waitt-hlaupin „megafloods“ og jafnframt staðfestingu á að Vatnajökull hafi þá verið stór jökulbreiða (large composite ice cap).

Hafi jökulhetturnar náð saman milli Bárðarbungu, Kverkfjalla og Grímsvatna með þykku ísflákum gætu gosstöðvar og upptakasvæði verið utan megineldstöðvanna. Vafalítið er að jöklar fóru stækkandi á tíma Waitt-hlaupanna og vitað er að jökulgormur var kominn í Jökulsá á Fljótssdal fyrir um 4400 árum (Striberger o.fl. 2012). Að öðru jöfnu (s.s. stærð eldgosa) var meiri jökulís til að bræða og viðbúið að hlaupin færu stækkandi með tímanum. Engin ótvíræð merki sjást þó um slíkt og vatnssöfnun í V-H dældinni virðist hafa verið svipuð í þessum hlaupum, en það sem myndaði setlag 15 í Vesturdal fyrir ~4300 árum var með þeim stærri.

Orsakir Waitt-hlaupanna, lega gossprungna og stærð hlaupanna

Orsakir Waitt-hlaupanna eru eldgos undir ís eða vatni í Vatnajökli eða forvera hans. Setlögin eru að stórum hluta gler með þekktri efnasamsetningu kviku þriggja eldstöðvakerfa undir Vatnajökli (Mynd 10 og Viðauki 1). Í flestum setlaganna, eða 12, er gler með samsetningu Bárðarbungukerfis ríkjandi, en í einu er Kverkfjallasamsetning algengust og Grímsvatnasamsetning í öðru (Mynd 10). Hér hefur verið gengið út frá því flest gosin hafi orðið á eldstöðvakerfi Bárðarbungu og eitt á hvoru hinna.

Komið hefur fram að Waitt-hlaupin virðast hafa verið af svipaðri stærð í meira en 2000 ár. Þótt gjóskulög frá sama tímabili séu þekkt hefur stærð þeirra ekki verið metin og þau hafa ekki verið pörðu við einstök hlaup. Gjóska úr sumum þeirra barst svo víða að magnið hlýtur að hafa verið svipað og Grímsvatnagosi 2011 eða 0,6- 0,8 km³ (Magnús T. Guðmundsson o.fl. 2013; Guðrún Larsen o.fl. í undirbúningi) en önnur eru lítil.

Þótt ljóst sé að flest Waitt-hlaupanna voru af völdum eldgosa á Bárðarbungukerfi er ekki fullljóst hvar sú eldvirkni var. Í Kafla 6 eru leiddar líkur að upptökum í Bárðarbungu sjálfri, þ.e. megineldstöðinni. Ef jöklar voru aðeins á hæstu fjöllum og huldu öskjur og hlíðar þeirra voru gosstaðir takmarkaðir við þau svæði. Það hve mikið bræðsluvatn getur myndast fer eftir lengd og framleiðni gossprungu og ísþykkt (Magnús T. Guðmundsson og Þórdís Högnadóttir 2005). Gossprungur í NA hlíðum Bárðarbungu gætu hafa verið allt að 5 km langar en undir fremur þunnum ís. Miðað við bráðnunarhraða 1,3 m³/sek á hvern lengdarmetra gossprungu (Magnús T. Guðmundsson og Þórdís Högnadóttir 2005) getur slíkt gos brætt um 6500 m³/sek í skamman tíma sem samsvarar um 0,02 km³ af bræðsluvatni á einni klst. Eftir 1-2 klst er líklegt að gosið hafi brætt sig gegnum ísinn. Þessi sviðsmynd gætur tæplega skýrt umfang hlaupanna. Gossprungur innan öskju Bárðarbungu gætu hafa verið tvöfalt lengri en aðstæður á þeim tíma eru ekki þekktar. Þó má telja fullvíst að ísþykkt hafi verið meiri þar en í hlíðum fjallsins. Ísbráðnun í gosi sambærilegu við Kötlugosið 1918 gæti verið 100.000 -150.000 m³/sek, sem samsvarar 0,3 - 0,5 km³ af bræðsluvatni á klukkustund (Magnús T. Guðmundsson og Þórdís Högnadóttir 2005). Askja Bárðarbungu er því líklegri gosstaður. Skarð er í öskjubörmunum að austanverðu og bræðsluvatn vegna goss í öskjunni leitaði a.m.k. að hluta til austurs.

Ahlo o.fl. (2007) gerðu ráð fyrir 13 km³ af vatni í líkanreikningum fyrir hlaup með hámarksrennsli 180000 m³/sek. Svipuð virkni og var fyrstu klukkustundir Kötlugossins 1918 hefði brætt þetta magn á 1-1,5 sólarhring ef ísþykkt var nóg. Hafi gosið innan öskju Bárðarbungu við aðstæður sem líkjast aðstæðum í Kötlugosum, þ.e. ísfylltri en grynri öskju en nú þar sem skriðjöklar lágu í skörðum út úr öskjunni, getur það jafnframt skýrt hratt útrennsli bræðsluvats í upphafi gosanna.

Margar skýringar geta verið á því að misstór gos valdi álíka stórum hlaupum – t.d. að ísinn sé takmarkandi þáttur. Eina skýringu enn má nefna – að á þessu tímabili hafi svipað ferli verið í gangi í Bárðarbungu og er í Grímsvatnaöskjunni nú, að vatn safnist í öskjuna vegna jarðhita og hlaupi síðan úr öskjunni við að jökulhella lyftist þegar vissri vatnhæð er náð. Þrýstíléttirinn gæti hafa valdið gosum (líkt og gerst hefur í Grímsvötnum) sem bættu gosefnum og bræðsluvatni við jarðhitahlaupvatnið. Það gæti skýrt svipaða stærð hlaupanna ef stofninn var uppsafnað vatn vegna jarðhita. Vera má, líkt og í Grímsvötnum, að hlaup úr öskjunni hafi verið mun tíðari og minni á þessu tímabili en aðeins þau sem fluttu gosefni og aukið bræðsluvatn í tengslum við eldgos hafi skilið eftir ummerki í farvegi Jökulsár.

Um gossprungur á Kverkfjallakerfi gæti gilt það sama og um Bárðarbungukerfið, gossprungur gætu hafa opnast undir ís í öskjum Kverkfjalla eða fjallshlíðum. Bræðsluvatn frá gossprungum í öskjunum og utan þeirra getur runnið til Jökulsár á Fjöllum (Helgi Björnsson o.fl. 1992). Ef ekki var komin samfelld ísbreiða hafa gossprungur tengdar öskjum Grímsvatnakerfis varla getað valdið hlaupum í Jökulsá á Fjöllum en bræðsluvatn frá gossprungum á norðurhluta kerfisins getur leitað norður meðfram Kverkfjöllum vestanmegin og til Jökulsár á Fjöllum (Helgi Björnsson o.fl. 1992).

Rauðhólar og Sveinahraun

Hér að framan hefur verið gengið út frá því að Rauðhólar séu gervigígar í Sveinahrauni (Ásta R. Hjartardóttir og Páll Einarsson 2019) en ekki gígar í sérstöku eldgosi (hlk), og því á Sveinahraun bæði við hraunin sve og hlk. Segja má að Rauðhólar séu rofnir inn að “föstum kjarna” úr hrauni í gáttinni milli þeirra og Lambafells. Gáttin virðist ekki hafa víkkað eða dýpkað í Waitt-hlaupnum. Vera má að hlaup eldri en þau, t.d. tengd hörfun jökuls, hafi mótað hana löngu fyrr.

Hversu langt niður með núverandi gljúfri nær Sveinahraun? Í umfjöllun hér að framan hefur verið gert ráð fyrir að Sveinahraun hafi a.m.k. náð niður að Laxavogi. Sveinahraun rann inn í Kvíafarveg og hefur mun sléttara yfirborð þar en Stórávítishraunið, sem hefur mishæðottara yfirborð. Leifar af hrauni við Laxavog (*ör efst á Mynd 3, sjá einnig Viðauka 6*) hafa yfirborð sem líkist Sveinahrauni. Þunna hraunið undir Lambafellsmó (Lambafellsseti) virðist einnig slétt. Þetta styður að hraun hafi einnig runnið inn í farveg sem kominn var meðfram Stórávítishrauni norðan Lambafellshala, eins og Kristján Sæmundsson (1973) og Sigurvin Elíasson (1974) gera ráð fyrir, og fyllt hann. Skera má úr um uppruna hraunlaganna þar með efnagreiningum* en nokkrar spurningar vakna um þennan farveg.

Hljóðaklettur og Rauðhólar í framhaldi af þeim raða sér í beina línu - það er eðlilegt ef þetta væri eiginleg gossprunga. En ef þetta eru gervigígar tengdir Sveinahrauni hlýtur ástæðan að vera önnur - t.d. afmarkaður árfarvegur. Þar sem Hljóðaklettur eru núna sést lengst niður í u.þ.b. 80 m y.s. Þá hlýtur gljúfur út úr dældinni hafa verið komið niður fyrir 80 m y.s. þegar Sveinahraun rann. Gljúfrið hafði þá væntanlega verið grafið af jökulvatni meðfram Stórávítishrauni frá Lambafelli niður að Áshöfða fyrir 12000 til 11000 árum - áður en Sveinahraun rann og fyllti gljúfrið, a.m.k. að hluta.

Önnur skýring gæti verið að Rauðhólar séu gervigígar sem tilheyri Stórávítishrauni. Þá er auðvelt að skýra gljúfur í 80 m y.s. sem hluta af gljúfri sem lá norður frá V-H dældinni og Stórávítishraun fyllti (*Viðauki 6, Mynd V6-5*). Aðstæður við Vesturdals-Hljóðaklettadældina virðast hafa verið túlkðar þannig að vatn eða jökull hafi hindrað Stórávítishraun í að renna/leita inn dældina (t.d. Kristján Sæmundsson 1973). Sjá má í gljúfurvegnum þar sem Kvíafarvegur byrjar (*Mynd V6-5*) að beltað dyngjuhraun, að því er virðist það sama og Stórávítishraun, hefur fyllt djúpan og víðan farveg sem var í beinu framhaldi af V-H dældinni. Farvegurinn var grafinn í hallandi gamlan hraunstafla. Það vekur spurningar um hvort þetta mikla hraun hafi stöðvast – án átaka og ummerkja – við vatn eða jökul. Skera má úr um uppruna Rauðhólanna með efnagreiningu.

* Staðfest sem Sveinahraun með efnagreiningum á hraunsýnum, sjá umfjöllun aftast í Viðaukum.

Eldri setlög

Rannsóknin í V-H dældinni beindist aðallega að Waitt-setlögum og eldri setlög voru aðeins könnuð í tengslum við þau. Eins og nefnt hefur verið hér að framan eru allstór eldri setlög á tveim stöðum, Lambafellsset (Lambafellssmór) og Hafursstaðaset (Mosar) sjá *Viðauka 5*. Lambafellssetið (Lambafellsmór) er miklu eldra en Hekla-4 og Hekla-Ö, reiknaður aldur þess bendir til 8700 ára. Vatn hefur aldrei flætt um það síðan jarðvegsmýndun hófst en grunn rás hefur grafið meðfram núverandi gljúfri. Hafursstaðasetið er bunki úr grófu seti, stærstu hnellingar nálgast metra að stærð. Meðfram setbunkanum að austanverðu hefur grafið vatnsrás og í henni er jarðvegur með Heklu-4 og Waitt-setlögum (Kirkbride o.fl. 2006). Engin merki eru um gróft set í vatnsrásinni. Hafurstaðasetið er því eldra - og e.t.v. miklu eldra en Waitt-setlög (*sjá Viðauka 5*).

Leifar gamals setlags sem líkist Waitt-setlögum en er blágrárra að lit fundust í dæld í rúmlega 190 m y.s. í Rauðhólum. Tvö sýni af því voru efnagreind og reyndust bæði vera með einkennandi samsetningu Grímsvatnakerfis. Þau líkjast mest efnasamsetningu gjósku úr lögum í svonefndri Saksunarvatns-syrpu. Aldur gjóskulaga í Saksunarvatnsyrpu er frá 9900 til 10400 ár (Bergrún A. Óladóttir o.fl. 2020). Engin glerkorn af annarri gerð voru í þeim sýnum sem greind voru. Setið var lagskipt með votti af skálögun og hefur sest til í vatni. Hvort uppruninn var gjóskufall í tjörn eða lón eða set úr jökulhlaupi er ekki ljóst en einsleitnin bendir heldur til gjóskufalls. En vel má vera að eitthvert gosanna í Saksunarvatnssyrpunni hafi valdið jökulhlaupi niður Jökulsá.

Tímasetningar

Tímasetning Sveinahrauns (sve) byggist á að það sé samtímamyndun gjóskulagsins Askja-S sem er um 11000 ára. Efnasamsetning gjóskulagsins sem liggur undir gjalli/hrauni úr Sveinahraungosinu er sú sama og Öskju-S (Magnús Á. Sigurgeirsson 2016). Vitað er um annað yngra gjóskulag, Askja-L um 9400 ára, með nánast sömu efnasamsetningu á Austurlandi (enginn marktækur munur í staðalfrávik, Esther Guðmundsdóttir o.fl. 2016). Askja-S finnst víða um Norðausturland (Guðmundur E. Sigvaldason 2002) en Askja-L hefur aðeins fundist í stöðuvatnaseti í Leginum og er að líkindum mun minna gjóskulag.

Sé rétt til getið að blágráa setlagið í Rauðhólum tilheyrir Saksunarvatnssyrpunni eru þeir eldri en Askja-L og ljósa gjóskulagið er þá Askja-S en það sker ekki úr um hvort Rauðhólar eru 11000 (sve) eða 12000 ára (sto).

Frekari rannsóknir

Ummerki jökulhlaupa um neðsta hluta farvegjar Jökulsár á Fjöllum ná allt að 12000 ár aftur í tímann, frá þeim tíma er Stórávítishraun rann. Saga Jökulsárgljúfra eða forvera þeirra nær miklu lengra aftur – Stórávítishraun fyllti farveg sem lá beint norður frá Vesturdals-Hljóðaklettadældinni (Viðauki 6). Þarna er margt óunnið. Varðandi jökulhlaup niður farveg Jökulsár á Fjöllum og forvera hennar grillir í fjögur tímabil sem heppilegt væri að skoða hvert um sig: jökulhlaup fyrir 12000 til 7000 árum; 7000 til 4000 árum, 4000 til 1000 árum; og jökulhlaup á sögulegum tíma. Hér hefur verið fjallað um hlaup á tímabilinu 6300 til 4100 en reyndar vitum við að setlagið sem Waitt kallar nr 1 í Vesturdal er ekki úr fyrsta jökulhlaupinu. Elsta þekkt setlag með sömu útlitseinkennum og í Vesturdal er í setlagasyrpunni ofan við Dettifoss og er um 7000 ára gamalt.

Að lokum

Eins og dregið er á í kafla 6 og 8 hafa margir kannað ummerki hlaupa í Jökulsá á Fjöllum. Flestir hafa fjallað um hlaup eldri eða yngri en Waitt hlaupin og haft mismunandi skoðanir á umfangi þeirra og aldri. Fyrir utan Waitt (2002) var Sigurvin Elíasson (1978) sá sem helst athugaði tímabilið frá 6300-4100. Hann gerði sínar rannsóknir áður en Waitt lýsti setlögum í Vesturdal og áður en gjóskulaginu Hekla-Ö var lýst. Sú vitneskja hefði án vafa hjálpað honum til að aðgreina betur þau ummerki sem hann sá. Rannsóknasvæði Sigurvins var mun víðtækara en okkar og flest jarðvegssniða hans voru utan V-H dældarinnar. Nokkur sniða Sigurvins komu að góðu gagni þótt elsti hluti þeirra hafi verið endurtúlkaður og sama gildir um önnur snið verði rannsóknarsvæðið stækkað.

Þessi skýrsla tæpir á ýmsu sem nauðsynlegt er að skoða betur með vettvangsrannsókn, með efnagreiningum á kvikugleri í hlaupseti og með rennislíkani byggðu á tímasettum ummerkjum hlaupa. Þetta er undirstrikað hér vegna þess að án tímasetninga er hugsanlegt og raunar líklegt að ummerki margra hlaupa séu skilgreind sem ummerki eftir eitt stærra hlaup. Samanlögð geta ummerkin leitt til óraunhæfs stærðarmats, hamfarahlaupa með hámarksrennsli yfir milljón m³/sek (t.d. Howard o.fl. 2012). Einnig skiptir máli að kortleggja gjóskulög ættuð frá Bárðarbungu sem tengjast Waitt-hlaupunum til að meta stærðir gosanna – einkum vegna þess að fjallið er að rumska. Þetta er hægt en kostar fyrirhöfn og fé.

10. Samantekt

Setlög rík af gleri, frá tímabili fyrir 6300 til 4100 árum, finnast víða í Vesturdals-Hljóðaklettadældinni og einnig ofar með Jökulsá. Hlaupin sem settu þau af sér voru jökulhlaup, nefnd Waitt-hlaup eftir þeim sem fyrstur lýsti þeim (2002).

Waitt-hlaupin tengjast flest afmörkuðu eldvirknitímabili á Bárðarbungukerfi þegar gosefnin, gjóskulög, einkenndust af lágu TiO_2 magni. Meginhluti glers í seti 12 hlaupanna hefur efnafræðileg einkenni Bárðarbungukerfi, einkum gler með lágu TiO_2 magni. Í tveim setlögum er gler frá Grímsvötnum (lag 5) og Kverkfjöllum (lag 11) ríkjandi.

Á rúmlega 2000 árum komu a.m.k. 16 hlaup niður Jökulsá á Fjöllum, að meðaltali eitt hlaup á 150 ára fresti en hlé á milli hlaupanna voru mislöng. Gjóskulög með lágu TiO_2 magni frá sama tímabili eru fleiri, a.m.k. tuttugu.

Waitt-hlaupin benda eindregið til að á þessu tímabili hafi jökull, hugsanlega samfelld jökulbreiða, legið yfir þessum gosstöðvum.

Waitt-hlaupin höfðu takmarkaðan rofmið þegar þau komu niður í Vesturdal-Hljóðaklettadæld og ollu litlum breytingum í 2000 ár. Þau voru ekki „megahlaup“ en hámarksrennsli gæti hafa verið af stærðargráðunni 50 000-100 000 m^3/sek .

Waitt-hlaupin flæddu >150 km frá upptökum að Vesturdal en setið er furðu einsleitt miðað við langa rennislíeið. Ástæður þess gætu verið að þau runnu í stórum farvegi eldri hlaupa frá sama svæði, en einnig að umhverfisaðstæður voru aðrar og land miklu betur gróið en nú.

Waitt-hlaupin skildu við Vesturdals-Hljóðakletta dældina fyrir um 4000 árum nánast sléttfulla, með setfyllu upp í 190-180 m y.s. Hamfarahlaup yngri en 4000 ára grófu gljúfur út úr dældinni norðan Lambafellshala og rufu burt setfyllu, hraun og gjall úr dældinni. Leifar setfyllunnar eru varðveittar meðfram hliðum hennar.

Waitt-hlaupin og yngri hamfarahlaup sýna að tímabundnar breytingar verða á eldvirkni eldstöðvakerfis Bárðarbungu. Waitt-hlaupin segja ekkert um hegðun jökulhlaupa í framtíðinni þegar aðstæður eru breyttar, jafnstór gos og þá gætu valdið stærri hlaupum nú.

Þakkir

Starfsfólki Vatnajökulshjórðgarðs norður er þakkað fyrir veitt rannsóknaleyfi innan þjóðgarðsins. Magnús T. Guðmundsson hæðarmældi setlög ofan Dettifos. Hann og Olgeir Sigmarsson tóku þátt í vettvangsvinnu og komu með margar góðar ábendingar. Þórdís Högnadóttir útbjó kortagrunna sem tölur um landhæð og aðrir útreikningar byggja á og Nína Aradóttir las yfir lokatexta skýrslunnar. Aðalsteinn Eiríksson, Eiríkur Aðalsteinsson og Guðrún Sigurjónsdóttir aðstoðuðu á margan hátt við ferðir um rannsóknarsvæðið. Sveinbjörn Aðalgeirsson í Vestaralandi II vísaði okkur til vegar og leyfði akstur um sína landareign. Loftmyndir af Map.is/Loftmyndum ehf eru grunnur margra teikninga. Bestu þekkir til þeirra allra.

English abstract

This report describes the evolution of the Vesturdalur depression in the lower part of the Jökulsá gorge in the Vatnajökull National Park. As defined here the Vesturdalur depression is about 8 km long between Kvíar in the north and Stallar south of Eyjarás (Figure 1). The emphasis is on jökulhlaups in the period 6.3–4.1 ka, first described by Waitt (2002), their origin, discharge and effects.

The Vesturdalur depression formed when the 12–11 ka Stórávíti lava flow (e.g. Sæmundsson et al. 2012) closed a valley or a former waterway of glacial rivers/melt water towards north into the Öxarfjörður bay (Figure 2). At that time a lake or ice lobe may have occupied the depression. The route of meltwater shifted to follow the lava edge towards northeast but jökulhlaups also formed a shallow channel, Kvíafarvegur, across the lava to Ásbyrgi canyon (Sæmundsson 1973; Tómasson 1973).

Around 11 ka lava flow(s) Sveinahraun and rows of large scoria craters (e.g. Sigurgeirsson 2016; Hjartardóttir and Einarsson 2019) partly filled and significantly narrowed the Vesturdalur depression (Figures 2 and 3). The lava flowed into the mouth of the Kvíar channel and followed a channel** along the edge of Stórávíti lava for 7–8 km down to Áshöfði. The lava filled the Vesturdalur depression to ≥ 160 m a.s.l. at Kvíar and close to ~ 190 m a.s.l. near Eyjarás. The highest scoria craters rose to 220 m a.s.l. at Rauðhólar.

In the following millennia glacio-fluvial and fluvial sediments were deposited in the Vesturdalur depression (e.g. Hafurstaðir gravel and boulder fan) and east of Lambafell (>8.7 ka Lambafell gravel and boulder fan, see Appendix 1–6) by meltwater from retreating inland ice and possibly volcanogenic jökulhlaups. Drainage was towards north and/or northeast past Lambafell hill.

The Vesturdalur area is now extensively eroded by mid- and late-Holocene jökulhlaups of volcanogenic origin, revealing the spectacular crater remnants Hljóðaklettur and unique exposures into the sediment deposits. In the following this area is referred to as Vesturdalur-Hljóðaklettur or V-H depression. The present outlet from the depression is a gorge from Lambafell hill along the east margin of Stórávíti lava.

Stacked sediments from 16 jökulhlaups dating to 6.3–4.1 ka are preserved in the now eroded Vesturdalur-Hljóðaklettur depression (Figures 4 and 5). The jökulhlaup sediments were first described by Waitt (2002). The sequence is constrained by two regional tephra markers, the lowermost sediment bed lies below the Hekla-Ö tephra marker (6.1 ka) and the youngest lies above the Hekla-4 tephra marker (4.3 ka). Remnants of these sediments have now been found throughout the V-H depression and downstream and upstream as well (Figure 6). The sediments contain significant proportions of volcanic glass with chemical compositions characteristic of Bárðarbunga, Grímsvötn and Kverkfjöll volcanic systems (Appendix 1). These volcanic systems are now partly covered by Vatnajökull glacier. Older sediments with these characteristic, about 7 ka, have been found outside the Vesturdalur-Hljóðaklettur depression.

Samples from 15 sediment beds at the Vesturdalur section were chemically analysed. Bárðarbunga characteristics dominate in 12 beds, Grímsvötn and Kverkfjöll characteristics dominated in one bed each and in one bed none is dominant. The composition of the Bárðarbunga volcanic glass in the sediments strongly resembles the volcanic glass in airborne Bárðarbunga tephra layers (predominantly Low-Ti glass) from the same period of time (Óladóttir et al. 2011).

The volcanic glass shows that these jökulhlaups were of volcanogenic origin and had travelled 150–200 km from the respective eruptions loci to Vesturdalur and beyond. Climate in the millennia before 6.3 ka was the warmest in Holocene time, Vatnajökull glacier was assumed to have reached minimum or even vanished and Jökulsá á Fjöllum had probably become a mostly spring-fed river with limited erosional power. However, repeated volcanogenic jökulhlaups strongly indicate the presence of abundant ice around 7 ka and onwards, contrary to these arguments.

The 16 sediment beds at Vesturdalur were deposited in a slack outside the main current of valley-filling jökulhlaups (Figure 7) that ponded in the valley as a result of hydraulically retarding outlet (Waitt 2002). The stack of 16 beds deposited at similar elevation over two millennia seems to indicate 1) that the jökulhlaups caused very little erosion in the depression and 2) that the jökulhlaups were moderate and of similar magnitude.

The new localities where sediments have been found, together with tephrochronological dating of other deposits, allow partial reconstruction of the hydraulically retarding part in the depression (Figure 8). An estimate based on the reconstructed “gate” and modelled average flow velocity elsewhere along Jökulsá (2.8–6 m/sec) indicate discharge of $4.3\text{--}9.3 \times 10^4$ m³/sec. This reconstruction assumes a bottom on solid lava at 170 m a.s.l. At least some of the jökulhlaups followed the Kvíar channel into Ásbyrgi dry canyon, including the jökulhlaup that deposited bed 15 shortly before 4.3 ka, leaving sediments along the edges of the channel.

South of the hydraulically restricting part (Rauðhólar-Lambafell) the 6.3-4.1 ka jökulhlaup sediments accumulated to 180-190 m a.s.l., at least along the margins of the depression. The average time between the 16 jökulhlaups is about 150 years but different thickness of silt and soil between the sediments indicates intervals of different length. The conditions in the depression between the jökulhlaup events are not known. During such intervals it may have been occupied by a springfed river, possibly with a runoff component.

Jökulhlaups stopped depositing sediments at Vesturdalur and elsewhere in the V-H depression around 4.1 ka. Glacial component in rivers originating in the highlands was manifest at 4.4 ka (e.g. Striberger et al. 2012) indicating larger glaciers and possibly larger jökulhlaups. If the conditions in the depression had changed, e.g. by increased erosion of the restricting areas, jökulhlaups may have continued without leaving any signs. No evidence exists for almost a millennium.

Three younger jökulhlaups in Jökulsá á Fjöllum followed this “quiet” time. Some time before 3 ka a jökul-hlaup left a glass-rich deposit at Hólmatungur about 6 km upstream from Vesturdalur. The volcanic glass has the characteristics of Grímsvötn or Kverkfjöll system.

Some 18 km upstream from Vesturdalur and south of Dettifoss (Figure 9 and Appendix 6) two jökulhlaups left sediment beds above the Hekla-3 tephra marker (3 ka). Sediments from both jökulhlaups contain volcanic glass with Bárðarbunga characteristics, somewhat different from those of the earlier sediments but strongly resembling the volcanic glass in airborne Bárðarbunga tephra layers (High-Ti glass) from the same period of time (Óladóttir et al. 2011). The older sediment lies just above the Hekla-3 tephra, the difference in age is decades. The younger sediment postdates a ~2.6 ka tephra layer (Sæmundsson et al. 2012) and is thought to be about 2.2 ± 0.2 ka old. Of these two the youngest jökulhlaup was the largest or at least had the largest carrying capacity, leaving boulders on vegetated slopes up to 15 m above the present river bed.

These late jökulhlaups rushed through the Vesturdalur-Hljóðaklettur depression and all may have followed the Kvíar channel into Ásbyrgi canyon. Soil with the Hekla-3 tephra marker was stripped away in the Kvíar channel by the two youngest jökulhlaups. Each of these floods must have modified the Vesturdalur-Hljóðaklettur depression (Figure 12).

However, in order to erode or clean out sediments, scoria and lava from the depression, a gorge deeper than 160 m a.s.l. must be eroded out from the depression. Here it is thought most likely that the youngest – and apparently largest – flood eroded down the last “barrier” in the 11 ka lava north of Lambafell and began the clearing out of sediments and volcanic material from the depression. The Vesturdalur-Hljóðaklettur depression may have acquired its present form mostly in the youngest flood, later modified by smaller volcanogenic floods, e.g. in historical time. The youngest flood has been considered megaflood by several authors (e.g. Tómasson 1973).

**Information added after completing the report, see note and table at the end of Supplement 6.

Heimildir

(Íslenskir höfundar eru skráðir skv. fornaefni en erlendir höfundar skv. eftirnafni nema í greinum á íslensku)

Alho P, Russel AJ, Carrivick JL, Kayhkö J, 2005. Reconstruction of the largest Holocene jökulhlaup within Jökulsá á Fjöllum, NE Iceland. *Quaternary Science Review* 24, 2319-2334.

Ahlo P, Roberts MJ, Kayhkö J, 2007. Estimating the inundation area of a massive, hypothetical jökulhlaup from northwest Vatnajökull, Iceland. *Natural Hazards* 41, 21-42. DOI 10.1007/s11069-006-9007-z

Ásta Rut Hjartardóttir og Páll Einarsson, 2019. Eru Hljóðaklettur og Rauðhólar í Jökulsárgljúfrum gervigigar? *Náttúrufræðingurinn* 89, 5-21.

Baynes ERC, Attal M, Dugmore AJ, Kirstein LA, Whaler KA, 2015a. Catastrophic impact of extreme flood events on the morphology and evolution of the lower Jökulsá á Fjöllum (northeast Iceland) during the Holocene. *Geomorphology* 250, 422-436

Baynes ERC, Attal M, Niederman N, Kirstein LA, Dugmore AJ, Naylor M, 2015b. Erosion during extreme flood events dominates Holocene canyon evolution in northeast Iceland. *PNAS* 112, 2355-2360.

Bergrún A. Óladóttir, 2009. Holocene eruption history and magmatic evolution of the subglacial Vatnajökull volcanoes, Grímsvötn, Bárðarbunga and Kverkfjöll, Iceland. PhD thesis, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand and University of Iceland, Reykjavík

Bergrún A. Óladóttir, Guðrún Larsen, Olgeir Sigmarsson, 2011a. Holocene volcanic activity at Grímsvötn, Bárðarbunga and Kverkfjöll subglacial centres beneath Vatnajökull, Iceland. *Bulletin of Volcanology* 73, 1187-1208.

Bergrún A. Óladóttir, Olgeir Sigmarsson, Guðrún Larsen and Jean-Luc Devidal, 2011b. Provenance of basaltic tephra from Vatnajökull subglacial volcanoes, Iceland, as determined by major- and trace element analyses. *The Holocene* 21, 1037-1048.

Bergrún A. Óladóttir, Thor Thordarson, Áslaug Geirsdóttir, Guðrún Eva Jóhannsdóttir, Jan Mangerud, 2020. The Saksunarvatn Ash and the G10ka series tephra. Review and current state of knowledge. *Quaternary Geochronology* 56, 101041. doi.org/10.1016/j.quageo.2019.101041

Carrivick JL, Russel AJ, Tweed FS, 2004. Geomorphical evidence for Jökulhlaups from Kverkfjöll volcano, Iceland. *Geomorphology* 63, 81-102.

Carriwick JL, Tweed FS, Carling P, Alho P, Marren PM, Staines K, Russel AJ, Rushmer EL, Duller R, 2013. Discussion of 'Field evidence and hydraulic modelling of a large Holocene jökulhlaup at Jökulsá á Fjöllum channel, Iceland' by Douglas Howard, Sheryl Luzzadder-Beach and Timothy Beach, 2012. *Geomorphology* 201, 512-519.

Dugmore AJ, Shore JS, Cook GT, Newton AJ, Edwards KJ, Larsen G, 1995. The radiocarbon dating of Icelandic tephra layers in Britain and Iceland. *Radiocarbon* 37, 2: 379-388.

Esther R. Guðmundsdóttir, Guðrún Larsen, Jón Eiríksson, 2011. Two new Icelandic tephra markers: The Hekla Ö tephra layer, 6060 cal. yr BP, and Hekla DH tephra layer, ~6650 cal. yr BP. Land-sea correlation of mid-Holocene tephra markers. *The Holocene* 21, 629-639.

Esther R. Guðmundsdóttir, Guðrún Larsen, Jón Eiríksson 2012. Tephra stratigraphy on the North Icelandic shelf: Extending tephrochronology into marine sediments off North Iceland. *Boreas* 41, 718-734.

Esther R. Guðmundsdóttir, Guðrún Larsen, Svante Björck, Ólafur Ingólfsson, Johan Striberger, 2016. A new high-resolution Holocene tephra stratigraphy in eastern Iceland: Improving the Icelandic and North Atlantic tephrochronology. *Quaternary Science Reviews* 150, 234-249.

Esther R. Guðmundsdóttir, Anders Schomacker, Skafti Brynjólfsson, Ólafur Ingólfsson, Nicolaj K Larsen 2018. Holocene tephrostratigraphy in Vestfirðir, NW Iceland. *Journal of Quaternary Science* 33, 827-839.

Guðmundur E. Sigvaldason 2002. Volcanic and tectonic processes coinciding with glaciation and crustal rebound: an early Holocene rhyolitic eruption in the Dyngjufjöll volcanic centre and the formation of the Askja caldera, north Iceland. *Bulletin of Volcanology* 64, 192-205.

Guðrún Larsen, Guðrún Sverrisdóttir, Haukur Jóhannesson, Árni Hjartarson, Páll Einarsson 2013. Hekla. Í: Júlíus Sólmes, Freysteinn Sigmundsson og Bjarni Bessason (ritstj.): *Náttúruvá á Íslandi - Eldgos og jarðskjálftar*, 189-209. Viðlagatrygging Íslands/Háskólaútgáfan, Reykjavík.

- Guðrún Larsen og Bergrún A. Óladóttir 2015. Gjóskulagarannsóknir og tímatal. Í Snorri P. Snorrason o.fl *Háslón, Sethjallar og rofsaga*. Rannsóknaskýrsla LV-2015-056.
- Guttormur Sigbjarnarson 1990. Hlaup og hlaupfarvegir. Í: Guttormur Sigbjarnarson (ritstj.): *Vatnið og landið. Ávörp, erindi og ágrip*, 129-143. Orkustofnun, Reykjavík.
- Harning DJ, Thordarson T, Geirsdóttir Á, et al. 2018. Provenance, stratigraphy and chronology of Holocene tephra from Vestfirðir, Iceland. *Quaternary Geochronology* 46, 59–76.
- Haukur Jóhannesson og Kristján Sæmundsson, 2009. Jarðfræðikort af Íslandi. 1:600 000 Berggrunnur. Náttúrufræðistofnun Íslands og Mál og Menning, Reykjavík.
- Haukur Tómasson 1973. Hamfarahlaup í Jökulsá á Fjöllum. *Náttúrufræðingurinn* 43, 12-34.
- Haukur Tómasson 2002. Catastrophic floods in Iceland. *The Extremes of the Extremes: Extraordinary floods*. IAHS Publication no. 271, 121-126.
- Helgi Björnsson 2002. Subglacial lakes and jökulhlaups in Iceland. *Global and Planetary Change* 35, 255-271.
- Helgi Björnsson 2009. *Jöklar á Íslandi*. Bókaútgáfan Opna, Reykjavík.
- Helgi Björnsson og Páll Einarsson 1991. Volcanoes below Vatnajökull, Iceland: Evidence from radio echo-sounding, earthquakes and jökulhlaups. *Jökull* 40, 147-168.
- Helgi Björnsson, Finnur Pálsson og Magnús T. Guðmundsson 1992. Vatnajökull, norðvesturhluti. 1: 100000. Jökulbotn. Landsvirkjun og Raunvísindastofnun Háskólans, Reykjavík.
- Henning Muus og Hákon Bjarnason 1934. Nokkrar jarðvegsathuganir. *Náttúrufræðingurinn* 4, 128-149.
- Howard D, Luzzadder-Beach S, and Beach T, 2012. Field evidence and hydraulic modelling of a large Holocene jökulhlaup at Jökulsá á Fjöllum channel, Iceland. *Geomorphology* 147-148, 24-38.
- Hreggviður Norðdahl og Halldór G. Pétursson, 2005. Relative sea-level changes in Iceland. In Caseldine, C et al.: *Iceland - Modern Processes and Past Environments*, 25-78.
- Jóhann Helgason 1987. Jarðfræðirannsóknir á vatnasviði Jökulsár á Fjöllum við Möðrudal. OS-87005/VOD-01
- Kirkbride MP, Dugmore AJ, Brazier V, 2006. Radiocarbon dating of mid-Holocene megaflood deposits in the Jökulsá á Fjöllum, north Iceland. *The Holocene* 16, 605-609.
- Kristján Sæmundsson, Árni Hjartarson, Ingibjörg Kaldal, Magnús Á Sigurgeirsson, Sigurður G Kristjánsson, Skúli Víkingsson, 2012. Jarðfræðikort af Norðurgosbelti. Nyrðri hluti. 1:100 000. Íslenskar Orkurannsóknir og Landsvirkjun, Reykjavík.
- Kristján Sæmundsson 1973. Straumrákaðar klappir kringum Ásbyrgi. *Náttúrufræðingurinn* 43, 52-60.
- Kristján Sæmundsson 1991. Jarðfræði Kröflukerfisins. Í: Arnþór Garðarsson og Árni Einarsson ritstj. *Náttúra Mývatns*. Hið íslenska náttúrufræðifélag, Reykjavík, 25-95.
- Kristján Sæmundsson, Magnús Á Sigurgeirsson, Karl Grönvold 2012. Þeistareykir. Jarðfræðirannsóknir 2011. ÍSOR 2012/024
- Larsen DJ, Miller GH, Geirsdóttir Á, Ólafsdóttir S. 2012. Non-linear Holocene climate evolution in the North Atlantic: a high-resolution, multi-proxy record of glacier activity and environmental change from Hvítárvatn, central Iceland. *Quaternary Science Reviews* 39, 14-25.
- Magnús Á Sigurgeirsson 2016. Eldar í Öskjukerfi fyrir 11000 árum. *Náttúrufræðingurinn* 86, 76-90.
- Magnús Tumi Guðmundsson, Jónas Eliasson, Guðrún Larsen, Ágúst Gunnar Gylfason, Páll Einarsson, Tómas Jóhannesson, Kristín Martha Hákonardóttir og Helgi Torfason, 2005. Yfirlit um hættu vegna eldgosa og hlaupa frá vesturhluta Mýrdalsjökuls og Eyjafjallajökli. Í: Magnús T. Guðmundsson og Ágúst G. Gylfason (ritstj.): *Hættumat vegna eldgosa og hlaupa frá vestanverðum Mýrdalsjökli og Eyjafjallajökli*, 159-179. Ríkislögreglustjórnin, Háskólaútgáfan, Reykjavík.
- Magnús Tumi Guðmundsson, Guðrún Larsen, Þorvaldur Þórðarson, 2013. Grímsvötn. Í: Júlíus Sólmes, Freysteinn Sigmundsson og Bjarni Bessason (ritstj.): *Náttúruvæ á Íslandi - Eldgos og jarðskjálftar*, 235-251. Viðlagatrygging Íslands/Háskólaútgáfan, Reykjavík.
- Magnús T. Guðmundsson, Kristín Jónsdóttir and 46 others, 2016. Gradual caldera collapse at Bárðarbunga volcano, Iceland, regulated by lateral magma outflow. *Science* 353, 6296, aaf8988-1-aaf8988-8. DOI: 10.1126/science.aaf8988

Magnús Tumi Guðmundsson og Þórdís Högnadóttir 2005. Ísbráðnum og upptakarennslu jökulhlaupa vegna eldgosa í Eyjafjallajökli og vestanverðum Mýrdalsjökli. Í: Magnús T. Guðmundsson og Ágúst G. Gylfason (ritstj.): *Hættumat vegna eldgosa og hlaupa frá vestanverðum Mýrdalsjökli og Eyjafjallajökli*: 159-179. Ríkislögreglustjórnin, Háskólaútgáfan, Reykjavík.

Ólafur Arnalds, 1992. Jarðvegsleifar í Ódáðahrauni. Græðum Ísland. Árbók Landgræðslunnar IV, 159-164.

Ran L, Jiang H, Knudsen KL, Eiríksson JE, 2008. A high resolution Holocene diatom record on the North Icelandic shelf. *Boreas* 37, 399-413.

Rannveig Ólafsdóttir, Peter Schlyter and Hörður V Haraldsson, 2001. Simulating Icelandic vegetation cover during the Holocene. Implications for long-term land degradation. *Geografiska Annaler*, vol. 83A(4), 203-215.

Sigríður S. Gylfadóttir, Tinna Þórarinsdóttir, Emmanuel Pagneux, Bogi Brynjar Björnsson. 2017. Hermun jökulhlaupa í Jökulsá á Fjöllum með GeoClaw. Veðurstofa Íslands, skýrsla VÍ 2017-004

Sigurjón P. Ísaksson 1985. Stórhlaup í Jökulsá á Fjöllum á fyrri hluta 18. aldar. *Náttúrufræðingurinn* 54, 165-191.

Sigurður Þórarinsson 1950. Jökulhlaup og eldgos á jökulvatnasvæði Jökulsár á Fjöllum. *Náttúrufræðingurinn* 20, 113-133.

Sigurður Þórarinsson 1959. Some geological problems involved in the hydroelectric developement of the Jökulsá á Fjöllum, Iceland. The State Electricity Authority, Reykjavík. 70 bls.

Sigurður Þórarinsson 1960. Der Jökulsá-Canyon und Ásbyrgi. *Petermanns Geographischen Mitteilungen* 104, 154-162.

Sigurvin Elíasson 1974. Eldsumbrot í Jökulsárgljúfrum. *Náttúrufræðingurinn* 44, 52-70.

Sigurvin Elíasson 1978. Molar um Jökulsárhlaup og Ásbyrgi. *Náttúrufræðingurinn* 47, 160-179.

Striberger J, Björck, S Holmgren S, Hamerlík L, 2012. The sediments of Lake Lögurinn - A unique proxy record of Holocene glacial meltwater variability in eastern Iceland. *Quaternary Science Reviews* 38, 76-88.

van der Bilt WGM, Barr ID, Berben SMP et al. 2021. Late Holocene canyon-carving floods in northern Iceland were smaller than previously reported. *Communications Earth & Environment* 2, 86. <https://doi.org/10.1038/s43247-021-00152-4>

Waitt RB. 2002. Great Holocene floods along Jökulsá á Fjöllum, north Iceland. In: Martini PI, Baker WR, Garzon G (eds), *Flood and megaflood processes and deposits: recent and ancient examples*. Special publications of International Association of Sedimentologists 32, 37-51.

Wohlfarth B, Blaauw M, Davies SM, Andersson M, Wastegård S, Hormes A, Possnert G, 2006. Constraining the age of Lateglacial and early Holocene pollen zones and tephra horizons in southern Sweden with Bayesian probability methods. *Journal of Quaternary Science* 21. 321-334.

VIÐAUKAR 1-6

Jökulhlaup í Jökulsá á Fjöllum fyrir 6300-4100 árum Setlög og landmótun í Vesturdal – Hljóðaklettum og nágrenni

¹Guðrún Larsen, ¹Esther R. Guðmundsdóttir, ^{1,2}Bergrún A. Óladóttir

¹Jarðvísindastofnun Háskólans, ²Veðurstofa Íslands,



Ljósmynd: Í Vesturdal. Horft til suðurs að setlagastafla (grár, fyrir miðri mynd) þar sem snið Waitts (2002) var tekið. Allar ljósmyndir í viðaukum eru teknar af Guðrúnu Larsen.

Viðauki 1

Efnagreiningar á seti úr jökulhlaupum (Waitt-hlaupum) fyrir 6300-4100 árum

Setlög in í Vesturdal eru rík af hálf gagnsæum glerkornum. Breytilegur litur glersins bendir til mismunandi efnasamsetningar en oftast er ljósgrængrátt gler ríkjandi í kornastærðum 0,250, 0,125 og 0,063 mm (250, 125, og 63 μ m).

Efnagreind voru sýni úr 15 setlögum (lög 2-16) og einu foklagi (lag 18) eins og þau voru skilgreind af Waitts (2002). Yfirleitt var eitt sýni tekið úr hverju setlagi en tvö sýni úr lögum 2, 4, 8. Úr lögum 8, 11 og 15 voru fleiri en ein kornastærð efnagreind til að kanna hvort stærð kornanna hefði áhrif á hvaða glergerð/efnasamsetning væri ríkjandi. Að minnsta kosti 20 korn voru greind úr hverju sýni/lagi (nema 10 korn úr lagi 18, foklagi). Stundum menguðu kristallar í glerinu efnasamsetninguna og var sleppt svo nokkur afföll urðu.

Setlýnin voru sett í gljásneiðar og efnagreind í örgreini Jarðvísindastofnunar Háskólans og Kaupmannahafnarháskóla við staðalaðstæður (sjá t.d. Esther R Guðmundsdóttir o.fl. 2016). Í hverri gljásneið voru 2-5 línur valdar tilviljanakennt og öll glerkorn í hverri línu efnagreind til að forðast hlutdrægni (tilhneigingu til að velja „góð“ korn). Niðurstöður efnagreininganna eru á [Mynd V-1](#).

Gjósuglerið í setlögnum er basaltgler af fimm aðgreinanlegum efnasamsetningum. Basaltið er ættað frá a.m.k. þrem eldstöðvakerfum (um einkenni sjá Bergrún A. Óladóttir o.fl. 2011a,b; Esther R. Guðmundsdóttir o.fl. 2012): Bárðarbungu-Veiðivatnakerfi (Vei-L og Vei), Grímsvatnakerfi (Grí) og Kverkfjallakerfi (Kve). Gíg er glersamsetning sem finnst m.a. í gjósugleri frá Gígöldum en vera má að þær séu hluti af Bárðarbungu-Veiðivatnakerfi (Bergrún A. Óladóttir o.fl. 2011a,b) og teljast þannig hér. Auk þess fundust örfá ísúr glerkorn.

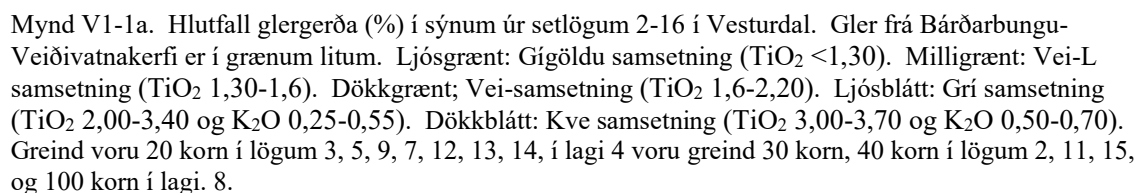
Skipting í grófum dráttum skv TiO_2 og K_2O : **Gíg** ($\text{TiO}_2 < 1,30$ og $\text{K}_2\text{O} < 0,15$); **Vei-L** ($\text{TiO}_2 1,30$ - $1,6$ og $\text{K}_2\text{O} 0,12$ - $0,20$); **Vei** ($\text{TiO}_2 1,6$ - $2,20$ og $\text{K}_2\text{O} 0,20$ - $0,35$); **Grí** ($\text{TiO}_2 2,00$ - $3,40$ og $\text{K}_2\text{O} 0,25$ - $0,55$); **Kve** ($\text{TiO}_2 3,00$ - $3,70$ og $\text{K}_2\text{O} 0,50$ - $0,70$).

Ein glersamsetning, Vei-L lágtítangler, finnst í öllum 15 setlögnum samkvæmt þeim sýnum sem greind hafa verið og er 30-65% af fjölda greindra glerkorna. Í fimm af 15 lögum eru Vei-L glerkorn $\geq 50\%$ og í öðrum fimm yfir 35% af fjölda greindra korna. Vei-L er því algengasta glersamsetning í 10 setlögum. Sé allt gler með einkenni Bárðarbungu-Veiðivatna talið saman er það ríkjandi glersamsetning (65-100%) í 12 setlögum af 15 ([Mynd V-1](#)). Aðeins í tveim setlögum er önnur glersamsetning algengust, Grí og Kve, en oftast eru korn með þessa efnasamsetningu 5-10% af fjölda greindra korna. Í einu setlagi er engin glersamsetning ríkjandi. Ísúr korn eru aldrei meira en 5%.

Eins og fram hefur komið teljum við meirihluta setlaganna tengjast eldvirkni í Bárðarbungu undir Vatnajökli. Gjósulög með Vei-L samsetningu eru ríkjandi þáttur í eldvirkni Bárðarbungu-Veiðivatnakerfisins á tveim tímabilum, fyrir 5900-5400 árum (a.m.k. 8 gjósulög þekkt), og fyrir 4800-3800 árum. Gjósulög frá Kverkfjallakerfi sýna að þar var gosið einnig há á tímabilinu 5700-5200 (a.m.k. 8 gjósulög þekkt).

Auðvelt er að skýra tilvist nokkurra glergerða/efnasamsetninga í hlaupsetinu. Frá Bárðarbungu (öskjunni) eru um 200 km eftir farvegi Jökulsár niður í Vesturdal, frá Kverkfjöllum 170-180 km og frá Grímsvötnum 160-170 km. Hlaupvatnið með setinu hefur þá flætt 160-200 km leið áður en finasta setið settist til í Vesturdal. Hlaupvatnið hlýtur að hafa tekið með sér eitthvert efni á langri leið sinni. Vera má að hlaupin hafi fylgt stærri eldri farvegum, einnig var landið betur gróið á þeim tíma. Gera má ráð fyrir að gosefni úr eldgosinu sem hlaupinu olli hafi verið stór hluti hlaupssetsins næst upptökunum en blandast eldra efni á leið sinni.

Efnagreiningartölur (pdf) 35 sýna verða í netútgáfu skýrslunnar.



Basaltgler - efnasamsetning % glerkorna

Lag 8 0 50 100

Setiög í Vesturdal, hlaupset

8e 63

8fn 63

8gn 250

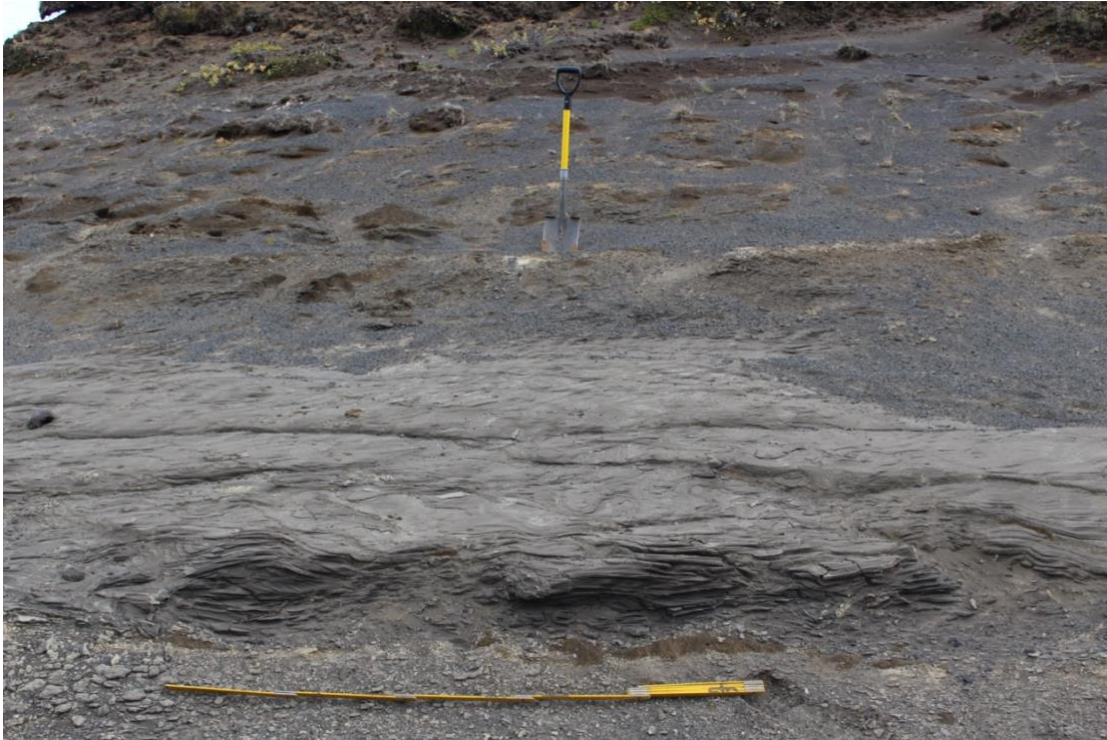
8gn 125

8gn 63

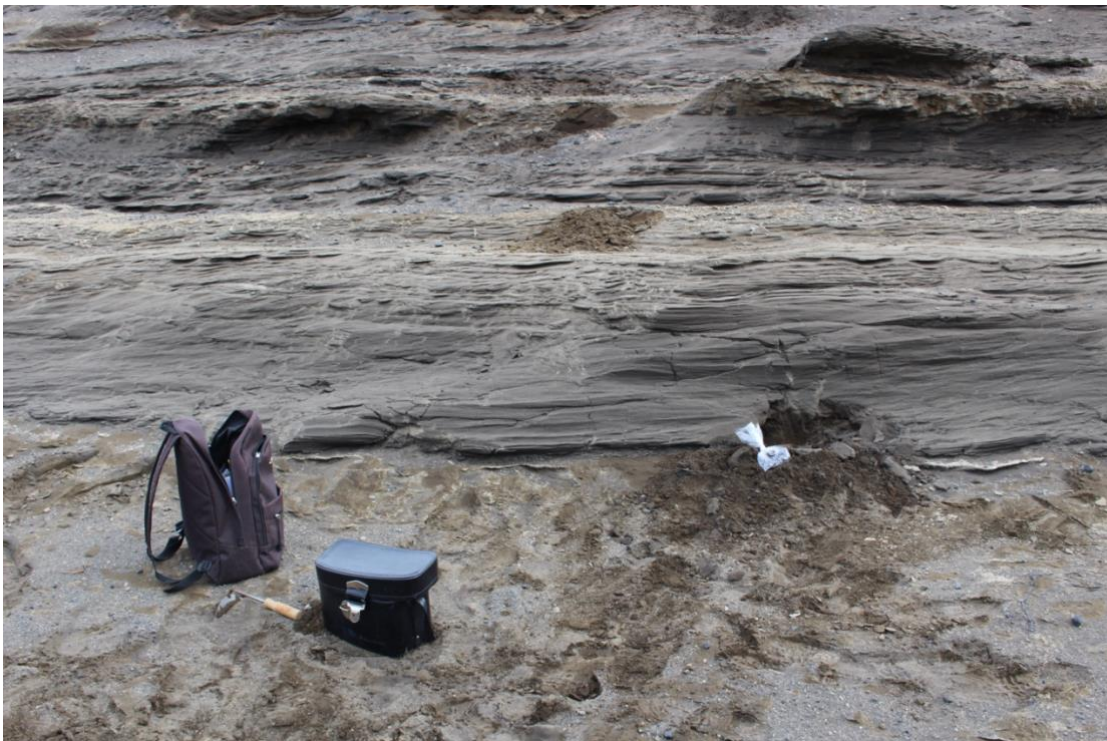
8 allt

Bárdarbunga-Veidivötn Grímsvötn Kverkfjöll Ísúrt gler

Verði gerð önnur tilraun til að efnagreina setlögin þarf að taka sýni úr efri hluta allra laganna.



Mynd V1-2 . Nærmynd af lagi 15 (Waitt 2002) í Vesturdal. Ljósa lagið sem skóflan stendur í er gjóskulagið Hekla-4, um 4300 ára gamalt. Setið er brúnsvart í fersku sári en yfirborðið er með brúngrárri veðrunarhúð. Það er þunnlögð og skálögð með litlum sköflum og gárum. Takið eftir mynstinu á yfirborði setsins. Mælikvarðinn er 1 m.



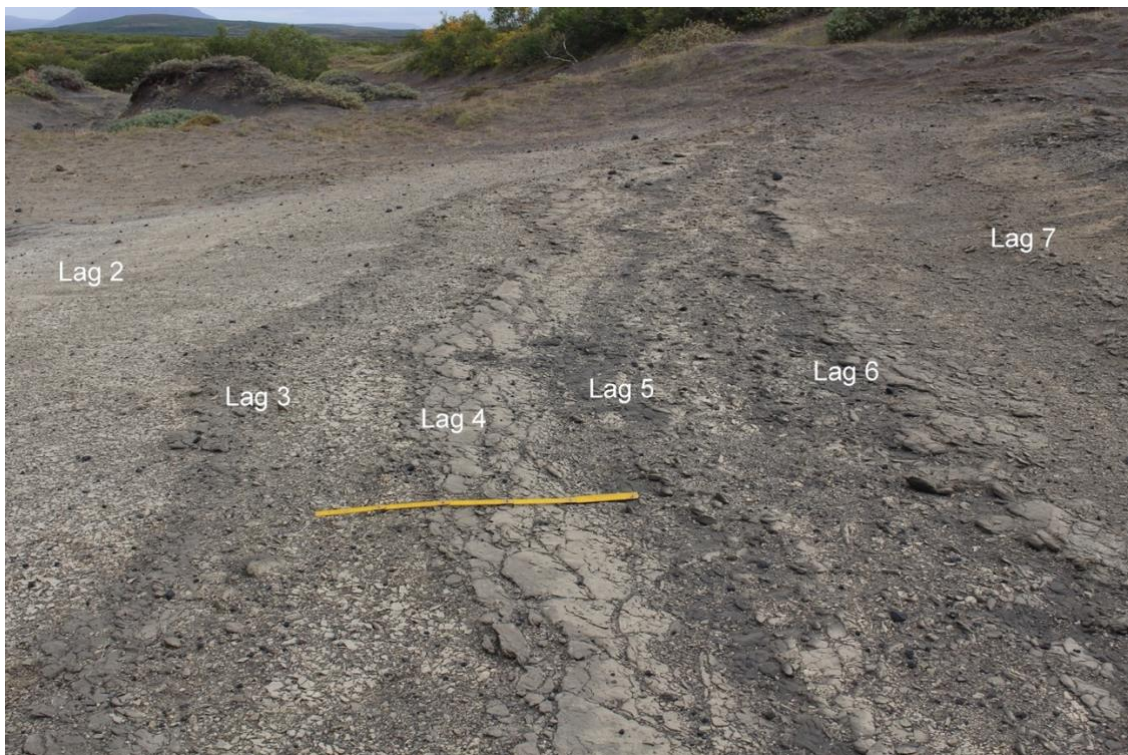
Mynd V1-3 . Nærmynd af (meintu) lagi 12. Sýnataka úr neðstu 10 cm setsins. Sömu einkenni og lag 15 en heldur grófara neðst og brúnleitar efst. Kirkbride o.fl. (2006) telja að efsti hluti sumra laganna í Vesturdal sé blandaður foki.

Viðauki 2. Snið í setstafla í Vesturdal, ágúst 2020.

Sýnum var safnað úr sama setstafla og Waitt (2002) mældi í Vesturdal en ekki alveg á sama stað. Staflinn var myndaður og skipting í lög skráð með hliðsjón af sniði Waitts, sjá myndatexta hér á eftir.



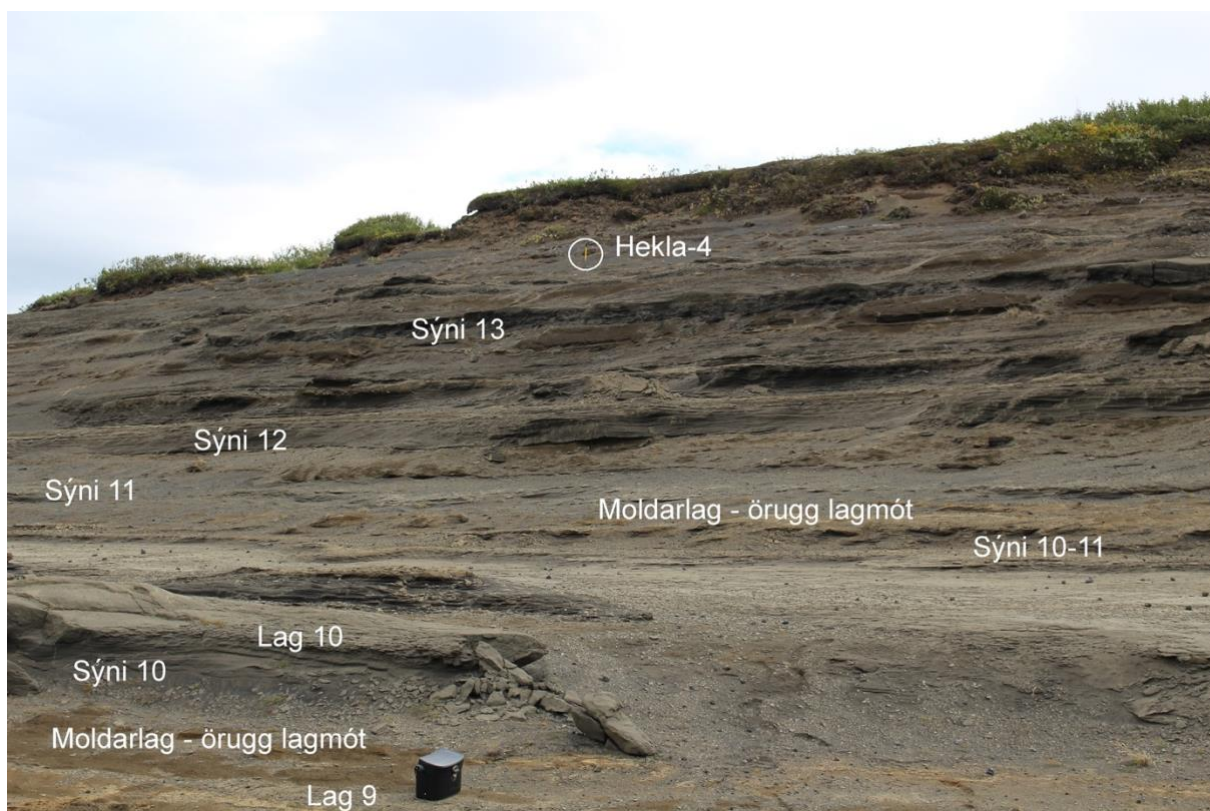
Mynd V2-1. Setstaflinn í Vesturdal (Map.is – Loftmyndir ehf). Hvít lína sýnir u.þ.b. legu sniðs norðvestan í staflanum í ágúst 2020. Snið Waitts (2002) var (líklega) norðaustan í staflanum.



Mynd V2-2. Neðsti hluti sniðs í ágúst 2020, lög 2-7. Tømmustokkur er 1 m á lengd.



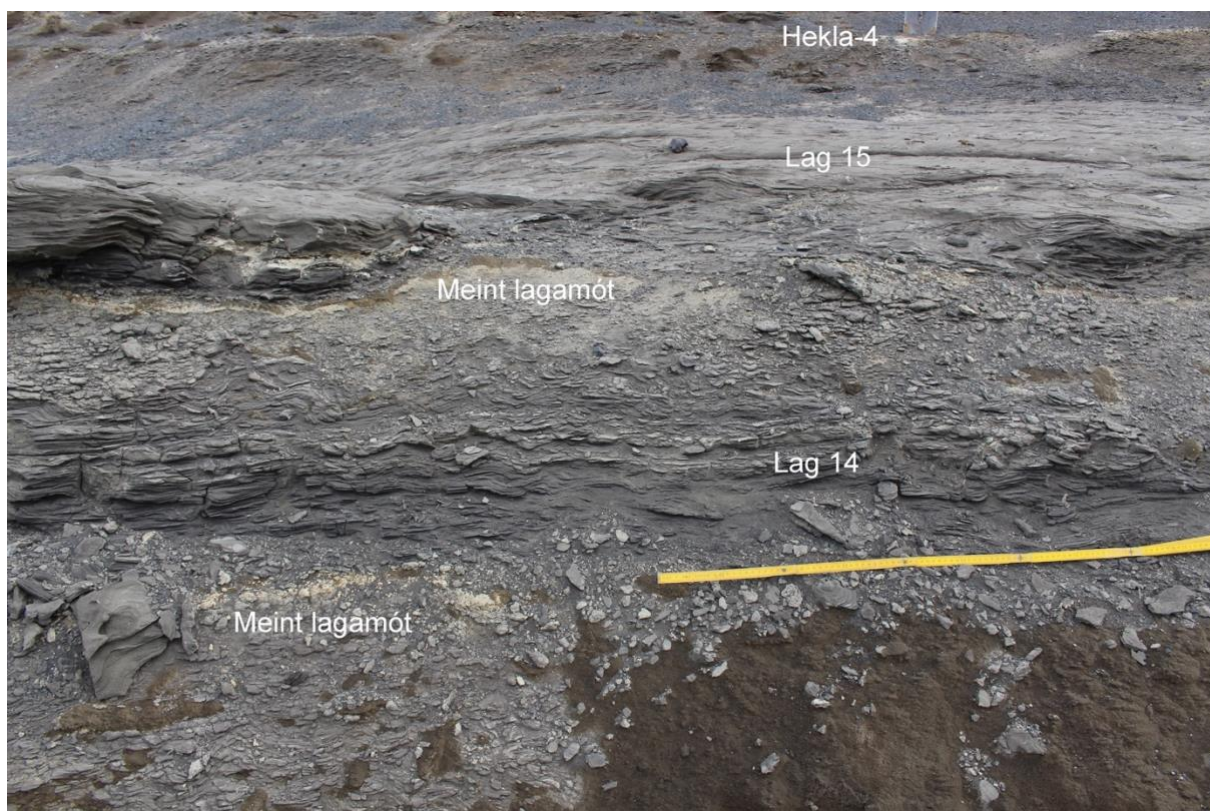
Mynd V2-3. Lög 8-10. Tømmustokkur er 2 m á lengd.



Mynd V2-4. Miðhluti sniðs, lög 9-13. Ofarlega stendur skófla (1 m) í gjóskulaginu Hekla-4, merkt með hring.



Mynd V2-5. Efri hluti sniðs, lög 13 og 14. Sýnataka úr lagi 13, handfang á sköfu er 11 cm.



Mynd V2-6. Efri hluti sniðs, lög 14 og 15. Tommustokkur 1 m. Efst sér í skóflublað og Heklu-4. Lag 16 er ofan við Heklu-4 og ekki sýnt hér.

Viðauki 3. Setlög í Vesturdal-Hljóðaklettadæld frá tíma Waitt-hlaupa (6300-4100 ára)

Setlög með sömu einkennum og setlögin í Vesturdal (Waitt 2002) finnast á fleiri stöðum beggja vegna Jökulsár (sbr. Kafla 3 og Kirkbride o.fl. 2006). Waitt taldi setlögin í Vesturdal eina varðveitta setið frá tímabilinu fyrir 8000-4000 árum, enda blasa setlögin við (Myndir V3-1-3) og eru best varðveitt þar. Setlög með sömu einkennum finnast einnig ofan Dettifoss, sjá Viðauka 4. Hér á eftir eru ljósmyndir frá nokkrum stöðum með stuttum skýringum, bæði yfirlitsmyndir og nærmyndir af setlögum, V3-1-10 eru af seti vestan Jökulsár, V3-11-15 af seti austan ár og V3-17, úr rofi vestan Kvíafarvegs, er höfð með hér.



Mynd V3-1. Loftmynd frá 2020 (Map.is - Loftmyndir ehf) sem sýnir setlagastaflann í Vesturdal og næsta nágrenni. Mælikvarði er neðst til vinstri, norður er upp. Setlögin liggja undir „torfunni“ neðst fyrir miðju, þau eru grá í fersku sári en fá brúnleita veðrunarhúð. Jarðvegslag undir setinu sést á stöku stað en jarðvegur ofan á setlögum hverfur undir rofabörðin. Snið Waitts (2002) var líklega mælt norðaustantil í staflanum. Sýni til efnagreininga voru tekin norðvestantil í staflanum, sjá Viðauka 2. Norðaustan við setlagastaflann sér í hraunið í Eyjunni og beint norður af honum eru öldóttir setbunkar úr hlaupum yngri en 4000 ára. Mynd V3-3 er tekin til suðurs af slóðinni við setbunkana. Kvarði er neðst í vinstra horni.



Mynd V3-2. Horft til V yfir Jökulsá að sniði Waitts í Vesturdal (mið mynd til hægri). Setlögin eða setfyllan mynda ljósgrátt band þar sem ógróið er. Framhald þeirra til suðurs sést til vinstri. Túnið í gamla býlinu Svínadal er á setsléttu rétt utan myndar til vinstri, sjá Mynd V3-5.



Mynd V3-3. Snið Waitts séð úr norðri, grár setlagastafli rétt ofan miðju sem ber yfir leifar Sveinahrauns. Vegurinn liggur um öldotta setbunka frá hamfarahlaupum yngri en Hekla-4.



Mynd V3-4. Setbunki með einkenni Waitt-sets í lækjardragi 1,8 km suðaustan við snið Waitts.



Mynd V3-5. Svínadalur, eyðibýli og tún, um 1 km suðaustan við snið Waitts. Í rofinu til hægri sér í setlög með sömu einkennum og þar. Setlögin eru vafalítið undir sléttunni sem túnið er á. Kvarði er neðst í vinstra horni. Loftmynd frá 2020: Map.is – Loftmyndir ehf.



Mynd V3-6. Grár, lagskiptur setbunki í 180-190 m y.s. í brekku þar sem nýi vegurinn (efst til hægri) liggur niður í Vesturdal. Sjá mynd V3-8. Loftmynd frá 2020: Map.is – Loftmyndir ehf.



Mynd V3-7. Horft til V yfir Jökulsá. Ofarlega til hægri sést vegurinn niður í Vesturdal og vinstra megin við hann sér í lárétt setlög (gróðurlaus, hvít ör) í 180-190 m y.s. Líklega liggur setið einnig undir grónu stöllum þar sunnan við. Aðeins neðar sér í leifar af hrauninu sem setið liggur á. Slóðin niður á bílastæði er á miðri mynd. Til vinstri er Eyjan (leifar Sveinahrauns, rofið af yngri hlaupum) og yngra set.



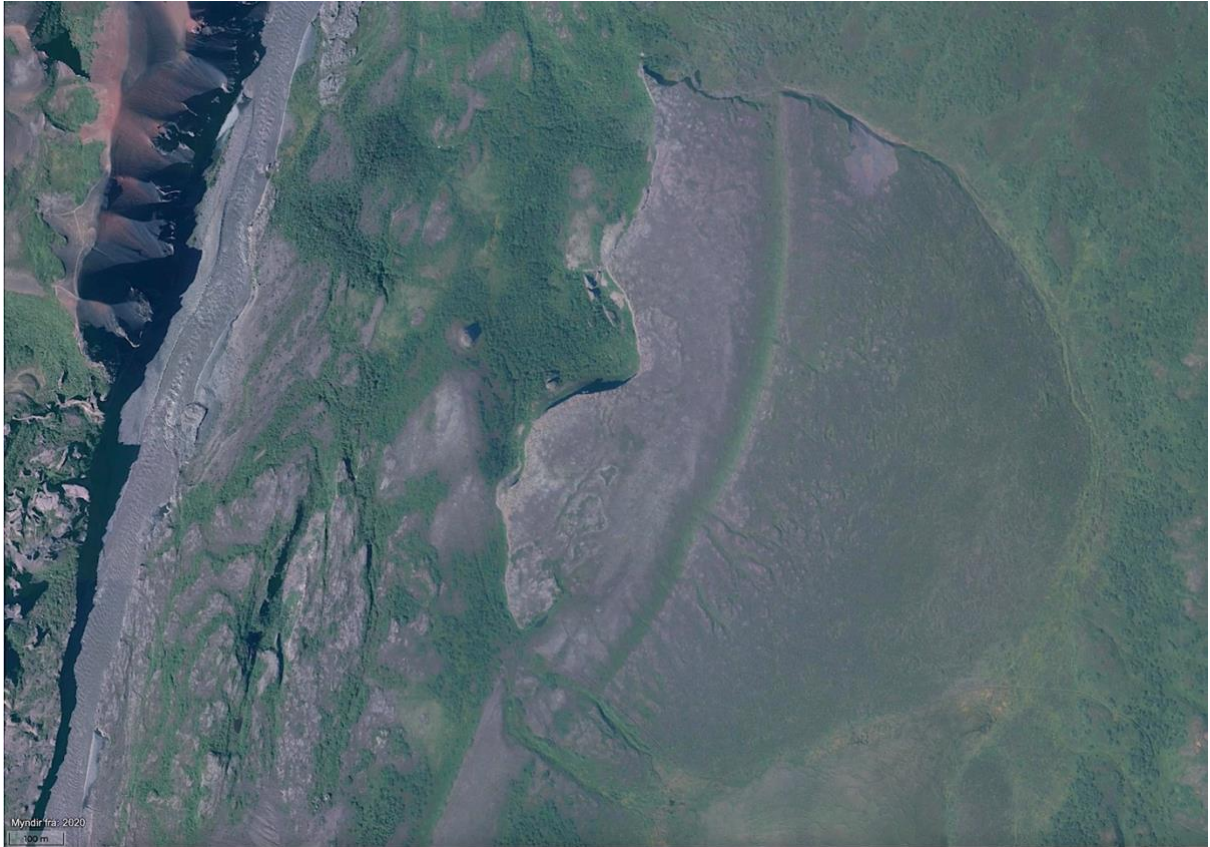
Mynd V3-8. Nærmynd af setlögnum vestan við veginn niður í Vesturdal. Trjágróður sem mælikvarði. Vegurinn er neðst til hægri á myndinni. Setlögin hafa sömu útlitseinkenni og í sniði Waitts í Vesturdal en hafa ekki verið efnagreind.



V3-9. Horft til suðausturs af Eyjarási, 2,7 km suðaustan við snið Waitts. Í gildragi meðfram ásnum sést í lagskipt set í sand- og siltstærðum með svipuð útlitseinkenni og í sniði Waitts í Vesturdal. Ofan á því er yngri ólagskipt set í sand og malarstærðum, 1-2 m þykkt á þessum stað.



V3-10. Nærmynd af seti í gildragi suðaustan Eyjaráss, neðri hlutinn grásvartur glerkendur sandur með tærum kristöllum, efri hlutinn finni og brúnleitari og harðnaður. Svipuð lög kíkja hér og hvar upp úr sandi og mól næsta 0,5 km á sléttunni suðaustan Eyjaráss.



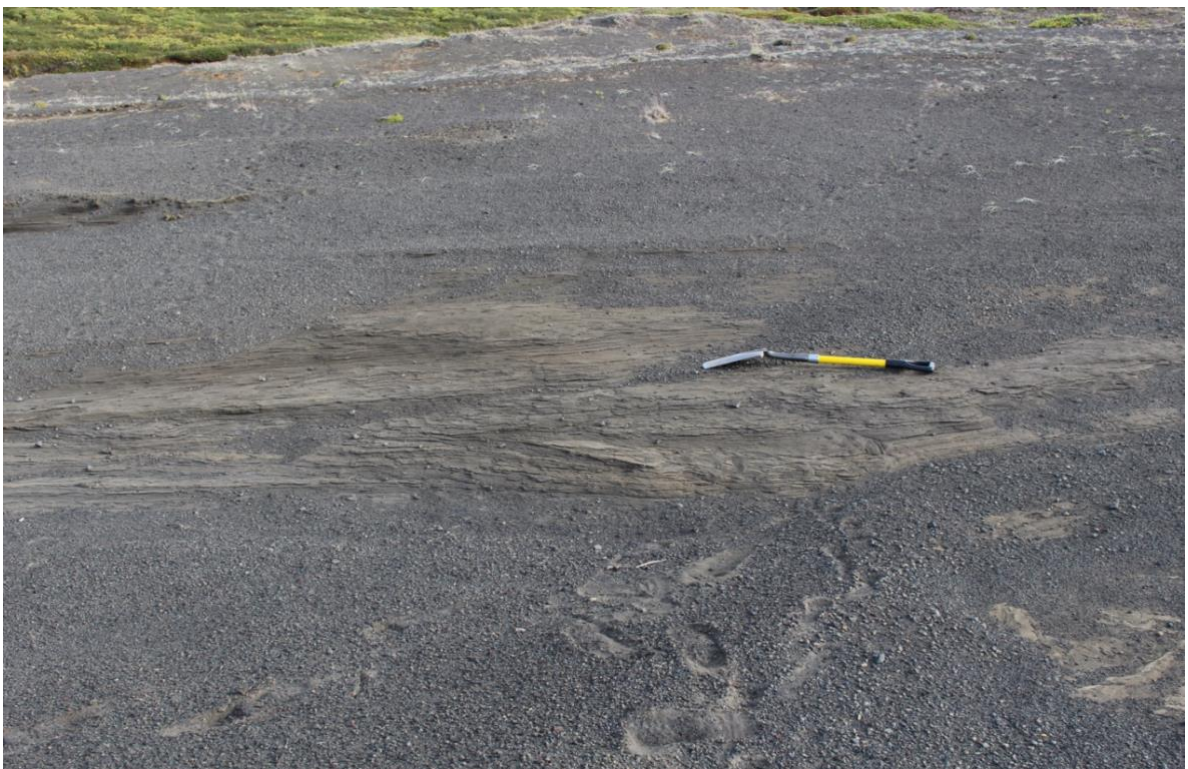
Mynd V3-11 Setslétta á leifum Sveinahrauns (Skógarbjörgum, á miðri mynd) austan Jökulsár gegnt Rauðhólum í krika sunnan við Lambafell, hér kallað Bægistaðaset. Setlögín voru efnagreind og hafa einkenni Waitt-sets, sjá myndir V3-13 og -14, og liggja undir jarðvegslagi með gjóskulögunum Heklu-3 og-4. Yngri hlaup hafa sópað burt hluta setsléttunnar, sjá mynd V3-12. Myndin sýnir 2,2 km breitt svæði, kvarði er neðst í vinstra horni. Loftmynd frá 2020: Map.is – Loftmyndir ehf.



Mynd V3-12. Setslétta á Sveinahrauni. Horft til suðurs. Vestan Bægistaðamýrar (og norðan Bægistaða) er dálítill hraunslétta, Skógarbjörg, í rúmlega 170 m y.s. með þykkum setlögum og jarðvegi. Roffar eftir hlaup sem hreinsað hefur burt lausu jarðlögín inn á mitt hraun sést greinilega. Lengst til vinstri sér í rof í jarðveg og set þar sem næstu myndir eru teknar.



Mynd V3-13. Setlög í jarðvegi á Sveinahrauni vestan Bægistaðamýrar (og norðan Bægistaða), hér kölluð Bægistaðaset. Ljósa lagið (þurrt) ofan við skóflurnar er Hekla-3. Neðan við skóflurnar sést í Heklu-4 (hvítar örvar, rakt) ljóst jarðvegsblandað neðst, dekkri toppur, hreinsað neðan við rauðu skófluna. Setlagið á myndinni samsvarar lagi úr efsta þriðjungi Vesturdalssetsins. Staðfest með efnagreiningu en ekki er vitað hvaða lag (númer) það er.



Mynd V3-14. Setlagabunkinn á Sveinahrauni er 3-4 m þykkur, undir er 30-40 cm þykkur jarðvegur og sandur og möl neðst. Þar sem setið finnst á yfirborði er það harðnað og ógerningur að grafa í gegnum það.



V3-15. Jarðvegssnið sunnan við Gömlu Hafursstaði, í sama lækjarfarvegi/vatnsrás og snið Kirkbríde o.fl. 2006, sjá mynd V3-16. Ljóst lag með dekkri toppi er Hekla-4. Undir því er grásvart set með útlitseinkenni Waitt-sets og þunnu mólaki næst gjóskulaginu. Dökka lagið ofan við gjóskulagið er mór og ofar er ljósari jarðvegur ríkur af „barnamold“. Kirkbríde o.fl. tímasettu móinn beggja vegna með geislakolsgreiningu, sjá Kafli 3. Setbunkinn vestan við vatnsrásina er úr þéttpökkuðu, grófu jökulárseti (Viðauki 5, V5-13 og-14).



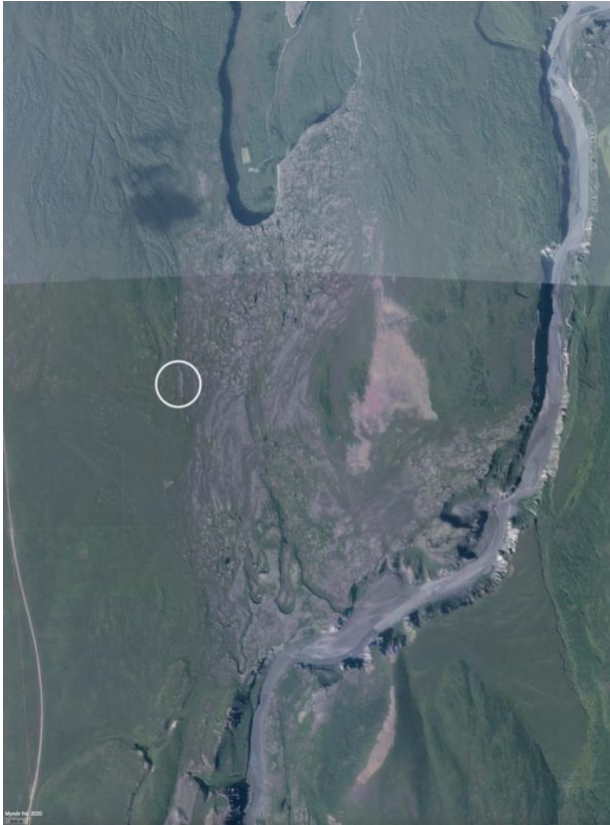
Mynd V3-16. Setbunki austan við Jökulsá úr þéttpökkuðu, fremur grófu jökulárseti (möl, hnullungar). Svæðið heitir Mosar en hér nefnt Hafursstaðaset til aðgreiningar frá öðru seti.

Vatnsrásin sem snið Kirkbríde o.fl. er í liggur meðfram þessum grófa setbunka og hefur rofist eftir að hann settist til. Engin merki eru um gróft set í vatnsrásinni, þar eru einungis sandgróf setlög með einkennum Waitt-sets.

Hafursstaðasetið hlýtur því að vera eldra en Waitt-setlögin og hlaupin sem settu þau af sér. Hlaupvatnið rann meðfram setbunkanum og kann að hafa skolað yfir hann en án þess að taka með sér gróft efni.

Yfirborð Hafursstaðasetsins er með grunnum rásum/farvegum. Jarðvegur er þunnur eða enginn nema í farvegum. Sigurvin Eliasson (1977) fann Heklu-3 neðarlega í rúmlega meters þykum mó í „aurfarvegi á Mosum“ sem bendir til að yngri hlaup hafi ekki flætt af krafti yfir svæðið.

Loftmynd: Map.is – Loftmyndir ehf.

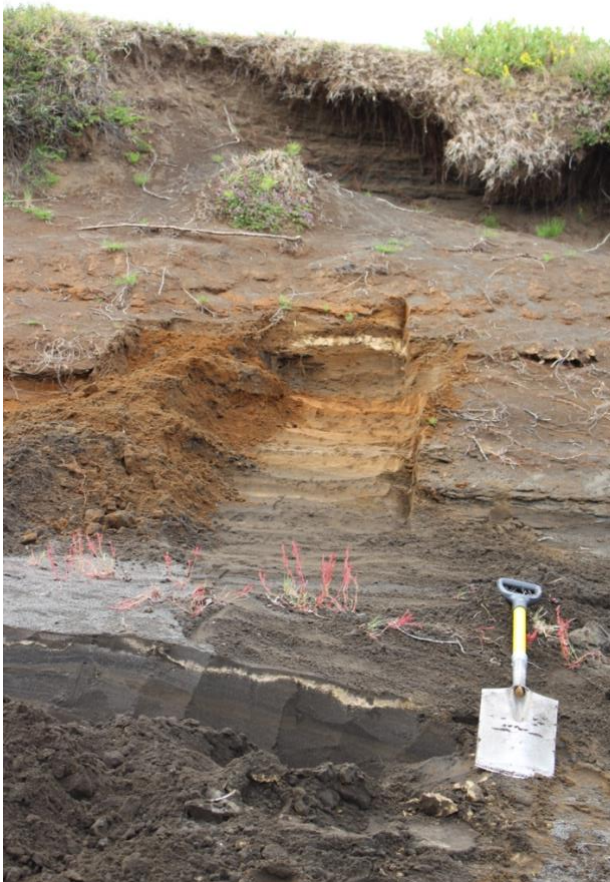


Mynd V3-17a.

Kvíafarvegur er á miðri mynd, að mestu án jarðvegs því hlaup yngri en Waitt-hlaupin sópuðu honum burt. Efst sér í suðurhluta Ásbyrgis. Jökulsárglúfur-Landsgljúfur til hægri. Rofið á mynd V3-17b er merkt með hvítum hring.

Í þykka jarðveginum utan Kvíafarveggar má greina eldri vatnsfarvegi, einkum vestan Ásbyrgis.

Myndin sýnir um 5 km breitt svæði, kvarði er neðst í vinstra horni. Loftmynd frá 2020: Map.is – Loftmyndir ehf.



Mynd V3-17b

Jarðvegssnið í rofi vestan við Kvíafarveg (hvítur hringur á V31-7a). Neðri hluti sniðsins er grafinn í grásvart set í sandstærðum, með sömu útlitseinkenni setlaganna í sniði Waitts í Vesturdal nema finefni vantar. Ljósá gjóskulagið í setinu er Hekla-4, með grásvörtum toppi sem er ívið dekkri en setið. Setið er tiltölulega hreint neðan gjóskulagsins en verður blandað jarðvegi ofar. Sýni úr neðri hluta var efnagreint og hefur sömu efnafræðilegu einkenni og setið í Vesturdal.

Ofar sér í jarðvegslag (brúnt/gulbrúnt) og dekkra fok/set undir ljósa gjóskulaginu Hekla-3. Efri hluti sniðsins var ekki mældur.

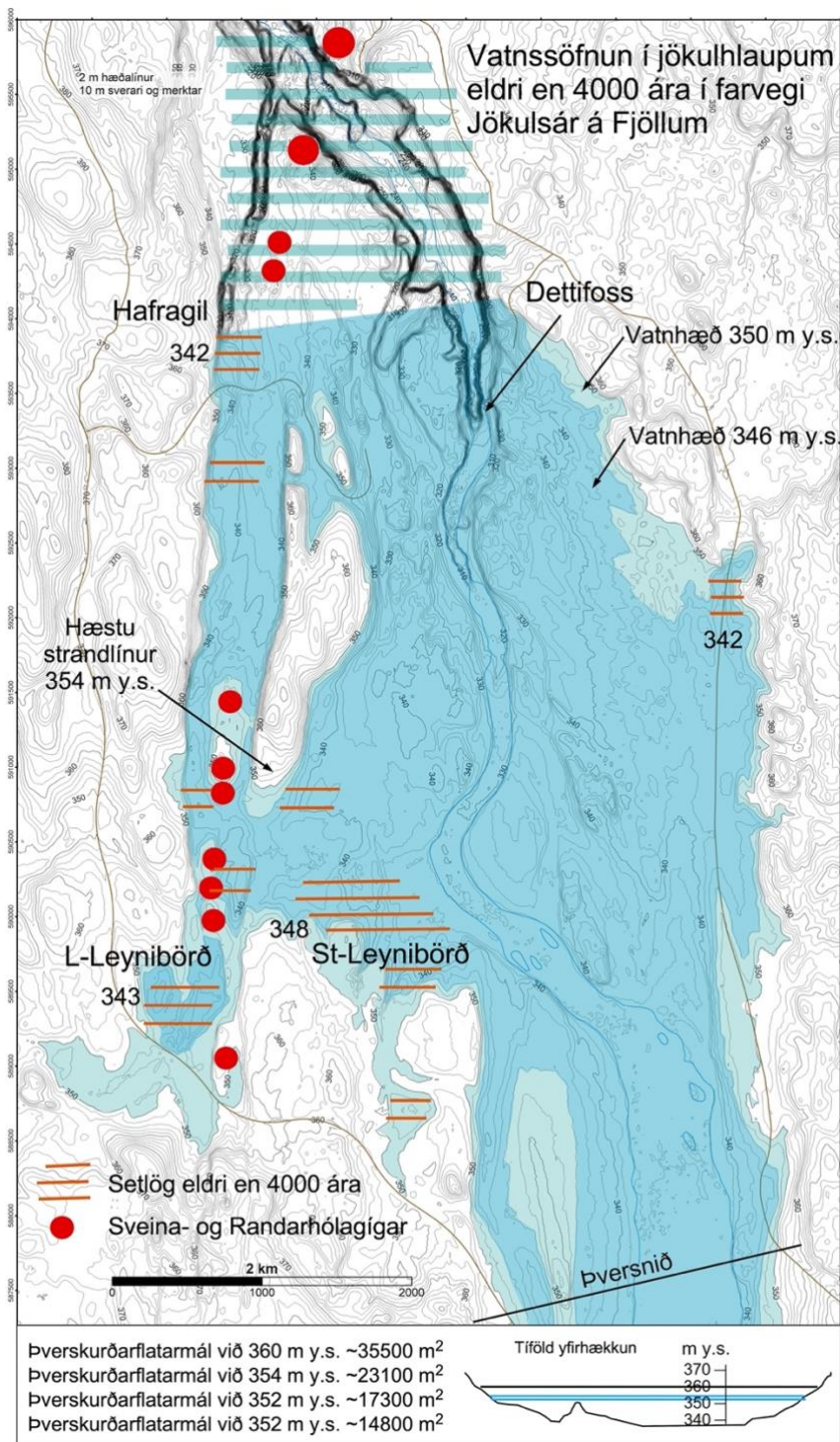
Mynd V3-17 a og b.

Viðauki 4. Setlög frá tíma Waitt hlaupa (6300-4100 ára) ofan við Dettifoss

Áður hefur komið fram að Waitt (2002) taldi setlögin sem hann lýsti í Vesturdal einungis varðveitt þar. Í undirbúningi fyrir útivinnu meðfram Jökulsá á Fjöllum sumarið 2021 vöktu ljósar skellur á loftmynd á Map.is athygli höfunda. Þær tengdust þeim litlu jarðvegsleifum sem eftir voru á stóru örfoka svæði ofan við Dettifoss. Hugmyndin var að mæla þarna gjóskusnið og athuga hugsanleg setlög. En þessar skellur líta öðruvísi út á jörðu niðri og ekki er eins auðvelt og sýndist að finna þær – þess vegna nafnið Leynibörð.

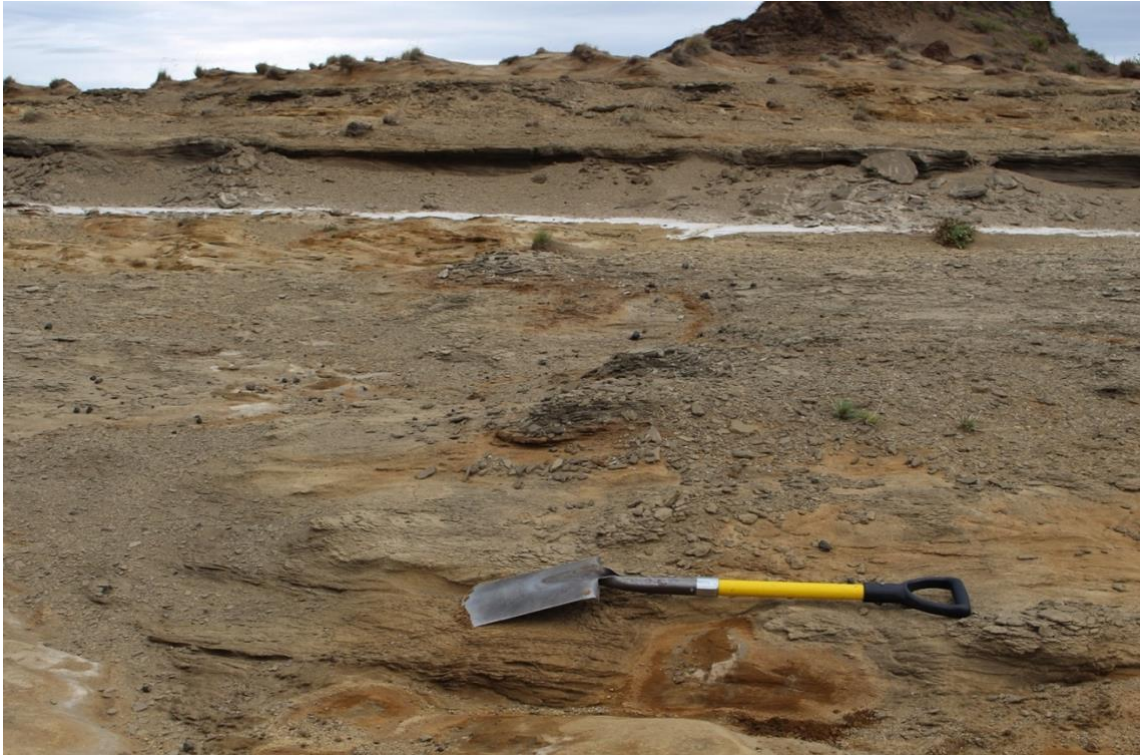


Mynd V4-1. Loftmynd (Map.is – Loftmyndir ehf) af svæði norðan Dettifoss, milli Jökulsár og þjóðvegjar (grá lína t.v.). Rofabörðin neðst á myndinni eru einu jarðvegsleifarnar á þessu svæði. Ljósu skellurnar eru þurrar leifar af lagskiptu seti með furðu lík einkennum og setlögin í Vesturdal. Afstaða setsins til gjóskulaganna Hekla-3, -4 og -Ö er sú sama og í Vesturdal, en hér eru elstu setlögin rétt ofan og neðan Heklu-5 (7100 ára). Einnig hér myndar setið aðgreind lög (Myndir V4-3-16) en þau hafa ekki verið kortlögð/skoðuð til að finna fjölda laga eða til að tengja við sniðið í Vesturdal. Sýna má fram á með samanburði við kort með 2 m hæðarlínunum að vatn hefur flætt eftir dældum alveg vestur undir núverandi veg (Mynd V4-2) og þar með að setið er vatnsborið en ekki fok af Jökulsáráurum.



Mynd V4-2. Fundarstaðir setlaga eldri en 4000 ára (gulrauð strikuð), með sömu útlitseinkenni og setið í Vesturdal, á svæði sunnan og austan við Sveina-Randarhólagíga (rauðir hringir). Vatn safnaðist þar þegar hlaup komu Jökulsá. Tölur sýna hæstu setmörk í m y.s. þar sem þau eru þekkt. Vatnhæð þar sem efstu setleifarnar finnast var líklega ≥ 350 m y.s. en óvíst að hún hafi verið sú sama í öllum hlaupum. Svæði undir vatni við 350 (grænleit) og 346 m y.s. (bláleit) eru dregin eftir hæðarlínum en gradient straumvatnsins er ekki reiknaður. Hæstu strandlínur á svæðinu eru í 354 m y.s. en hafa ekki verið tímasettar. Á þessum tíma hafði syðsti hluti Jökulsárgljúfra ekki grafist (Kirkbride et al. 2006 og Mynd V6-10) en aldur Hafragils er ekki þekktur. Rennslisleiðir norðan setbunkans við Hafragil eru ekki þekktar vegna yngra rofs (grænstrikað svæði).

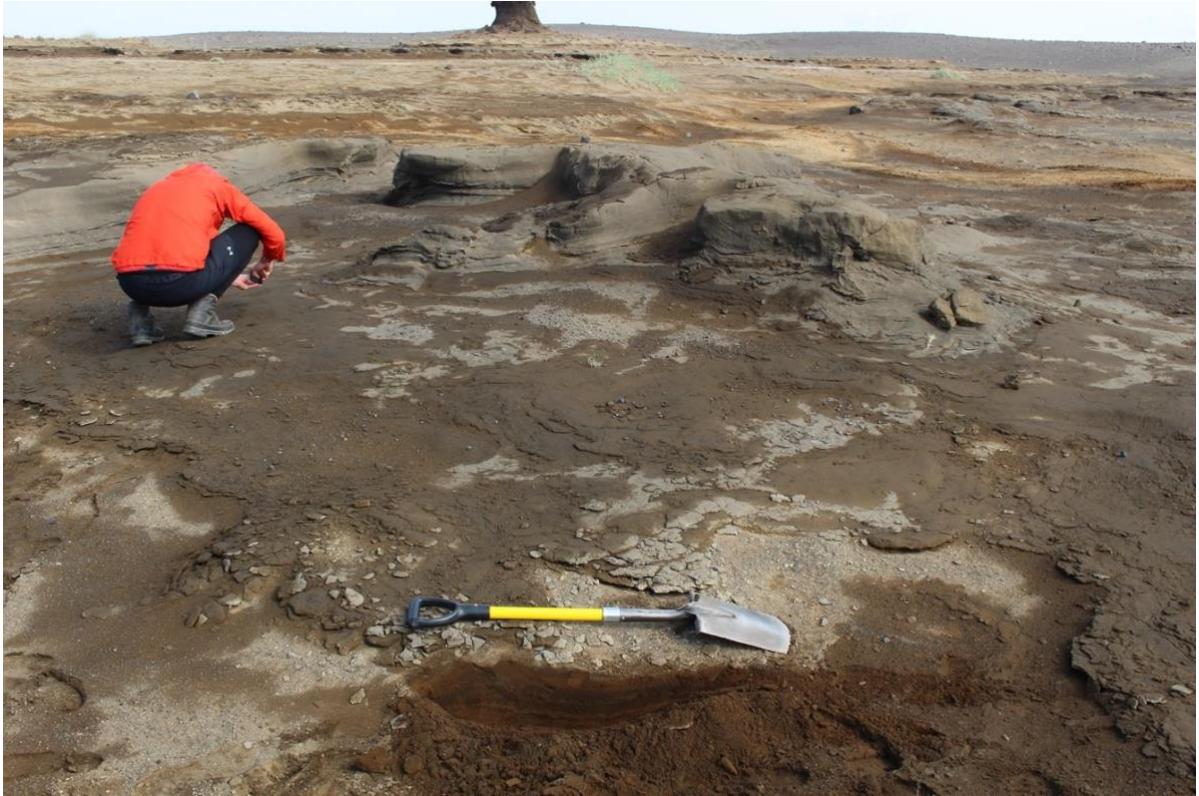
Norðan við Stóru Leynibörðin er grjótröst þar sem hægt er að komast í elstu setlöginn með einkennum Waitt-laganna. Þau elstu eru rétt ofan og rétt neðan Hekla-5 (7100 ára) gjóskulagsins, en hafa ekki verið efnagreind. Sjá Myndir V4-15 og 16.



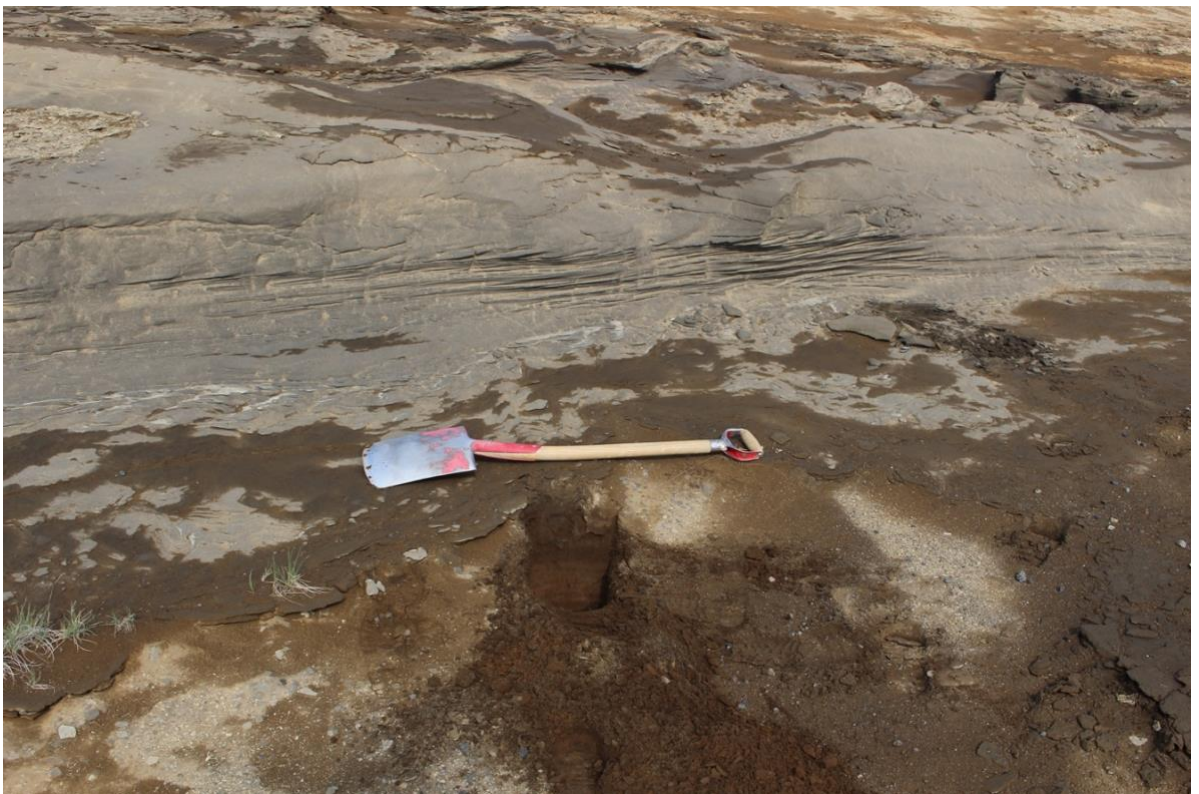
Mynd V4-3. Litlu Leynibörð. Hvíta lagið þvert yfir myndina er Hekla-3 og ofan við hana eru setlög yngri en Waitt-hlaupin. Undir skóflunni sér í Heklu-4 í þunnu jarðvegslagi og rétt ofan við er setlag sem líklega tilheyrir Waitt-hlaupi. Annað setlag er rétt neðan við Heklu-4.



Mynd V4-4. Litlu-Leynibörð, horft til A. Litlu Leynibörð eru í dæld sem hlaupvatn rann inn í úr austri þegar vatnsborð í hlaupum varð hærra en ~346 m y.s. Hekla-3 sést ofarlega til vinstri. Gulur tommustokkur liggur í gjóskulaginu Heklu-4 og neðan við er grafið gegnum setlag. Hekla-4 sést líka í jarðveginum aðeins nær. Bakpokinn stendur á jarðvegslagi með a.m.k. einu þunnu setlagi. Setlögin til hægri við bakpokann eru öll eldri en Hekla-4 og tilheyra Waitt-hlaupunum.



Mynd V4-5. Litlu Leynibörð, leifar rofabarðs efst á miðri mynd. Ofarlega sést þunn ljós rönd þar sem gjóskulagið Hekla-3 ber í grænu melgrastoppana. Setlagið sem verið er að skoða er eldra en Hekla-4 (sést illa á myndinni). Undir því er jarðvegur með gjóskulögum (neðan við gula skóflu).



Mynd V4-6. Sama setlag á öðrum stað, nærmynd sem sýnir lagskiptingu, að því er virðist skálögun.



Mynd V4-7. Horft upp til Stóru Leynibarða, norðurendi séður úr suðaustri. Stabbar úr hörðnuðu seti úr neðri hluta barðsins ber við loft, einnig sést lagskipting neðan til í barðinu. Þetta set er undir Heklu-4 og er jafnaldra og samstofna Waítt seti í Vesturdal. Í efri hlutanum eru setlög yngri en Hekla-3.



Mynd V4-8. Stóru Leynibörð. Rofnir setstabbar á flatlendi niðri undir Jökulsá sem sést á miðri mynd. Stabbinn til vinstri (ber í ána) er um ein mannhæð (1,7-1,9 m). Líkt og í Vesturdal er jarðvegur milli setlaga, sést hér neðst til vinstri. Sum jarðvegslög eru með gjóskulögum, m.a. Heklu-Ö (staðfest með efnagreiningu).



Mynd V4-9. Norðan við Stóru Leynibörð er grjótröst þar sem hægt er að komast í elstu setlögin sem svipar til setlaga í Vesturdal. Ljósa lagið í jarðveginum er Hekla-5 (7100 ára). Efra setlagið hefur sömu einkenni og set í Vesturdal en það það sem sést af neðra laginu kann að vera jarðvegsblandað. Hvort set né gjóska hefur verið efnagreint.



Mynd V4-10. Nærmynd af gjóskulaginu Hekla-5. Milli þess og setlagsins er eitt dökkt gjóskulag.



Mynd V4-11. Leifar setlaga ofarlega í brekku (~344 m y.s.) við Stóru Leynibörð, jarðvegur með gjóskulögum undir. Setið hefur sest til í nokkrum halla og er ekki eins reglulegt og neðar. Hlaupvatni í mörgum hlaupanna skolaði yfir háls í ~346 m y.s. og flæddi vestur í dældir þar (sjá Litlu Leynibörð).



Mynd V4-12. Hrauntaumur úr Sveinahrauni (á miðri mynd) flæddi niður að Jökulsá, setlög og jarðvegur eru bæði við jaðarinn og á hrauninu. Stalla eða strandlínur í fellinu norðan við hrauntauminn til hægri (sjá V4-1 loftmynd) ber yfir hraunið (örvar). Gígarröðin sést lengst til vinstri.



Mynd V4-13. Strandlínur í fellinu norðan við hrauntauminn og Leynibörðin, hæsta strandlína í 354 m y.s. Hluti af Sveinagígum til vinstri og tunga úr Sveinahrauni neðst til hægri. Loftmynd frá 2020: Map.is Loftmyndir ehf.



Mynd V4-14. Horft til norðurs að Hafragili yfir skellur af gömlum jarðvegi og hörðnuðum setlögum (sjá Mynd V4-2) í sigdalnum umhverfis Sveinagígasprunguna. Brúnn jarðvegur og grátt set (með útlitseinkenni Waitt-sets) liggja ofan á stórgrýti og hafa rofist burt í yngri hlaupum nema í rás næst misgenginu. Sveinagíga ber við himinn efst til vinstri. Ofarlega til vinstri sést í göngumann.



Mynd V4-15. Stabbi úr gráu lagskiptu seti á miðri mynd (klippa úr Mynd V4-12).



Mynd V4-16. Horft til suðvesturs, misgengisstallur í baksýn. Hekla-3 og Hekla-4 (hvítar örvar) eru ofarlega í jarðvegsleifunum. Bakpoki á sama stað og á Mynd V4-12 . Setlag eldra en Hekla-4 næst, gamall jarðvegur og eldra setlag neðar.

Viðauki 5. Set eldra en Waitt-hlaup, Rauðhólaset, Lambafellsset, Hafursstaðaset

Uppruni og tilurð nokkurra setlaga var könnuð til að útiloka tengsl við setlög á aldursbilinu 6300-4100 ár. Útliti, aldri, legu og uppruna (ef við á) þriggja þeirra er stuttlega lýst hér á eftir.



Mynd V5-1. Setlög varðveitt á smábletti í kvos í Rauðhólum í ~190 m y.s. Setið er grátt í fersku sári með brúnleitri veðrunarhúð, lagskipt og í sandstærðum. Undir því er jarðvegsnefna og svart gjall, og leifar af jarðvegi með gjóskulögum ofan á (rask ekki leyfilegt). Göngustígur og girðing sem viðmið.



Mynd V5-2. Setlög í Rauðhólum, skóflan er 103 cm. Lagskipt set með votti af skálögum, ofar eru skaflar að hluta huldur veðrunarlagi úr gjalli. Efnasamsetning glers í setinu hefur eingöngu einkenni Grímsvatnakerfis, einna líkust gleri í svokallaðri Saksunarvatnssyrpu, á aldursbilinu 10400-9900 ár.



Mynd V5-3. Nærmynd af setlögum í Rauðhólum. Litarmunur á seti og veðrunarkápu sést vel um miðja mynd. Göt í neðsta setlagið gætu verið eftir loftbólur fremur en gróður.



Mynd V5-4. Setlög í Rauðhólum. Á miðri mynd sjást ljósgráar ójöfnur úr finu seti á yfirborði eins lagsins. Myndin sýnir um 40 cm breitt svæði.



Mynd V5-5. Yfirlitsmynd (Map.is-Loftmyndir ehf) af Lambafellsmó sem hér er kallað Lambafellsset. Það er miklu eldra en Hekla-4 og Hekla-Ö (ekki staðfest með efnagreiningu) og reiknaður aldur er yfir 8700 ár skv. jarðvegi í rofinu norðarlega í Lambafellsmó. Ekki er fullljóst hvort þetta er flóðset eða áraurar eftir jökulvatn en greinilegir farvegir sjást á yfirborðinu. Þegar Lambafellssetið myndaðist var ekki komið gljúfur meðfram Lambafellsshala en gáttin hefur verið rétt norðan hans. Í gljúfurbarminum sést að þunnt hraunlag liggur undir setinu (Mynd V5-6), líklega Sveinahraun. Norðan núverandi gljúfurs er leif af sama hrauni ofan á Stóravítishrauninu. Hér er talið líklegt að Lambafellssetið sé gamall áframburður yngri en Sveinahraun (~11000 ára). Kvarði er neðst í vinstra horni.



Mynd V5-6. Horft yfir Lambafellsmó, sléttu úr árframburði ofan á þunnu hrauni austan við Lambafell, Lambafellsset. Hraunið, líklega Sveinahraun, liggur ekki fast upp að Lambafellshala en sést aðeins neðar (í viki þar sem þrjár kindur eru skali). Þetta er fremur þunnt hraunlag ofan á eldri berggrunni og sést í gljúfurbrúninni eins langt og augað eygir (niður undir Landsbjörg). Hér er talið líklegast að Sveinahraun hafi runnið út um dæld norðan við Lambafellshala, breitt úr sér austan við Lambafell og runnið áfram niður grunnan farveg. Ör sýnir hvar rofið á næstu mynd er.



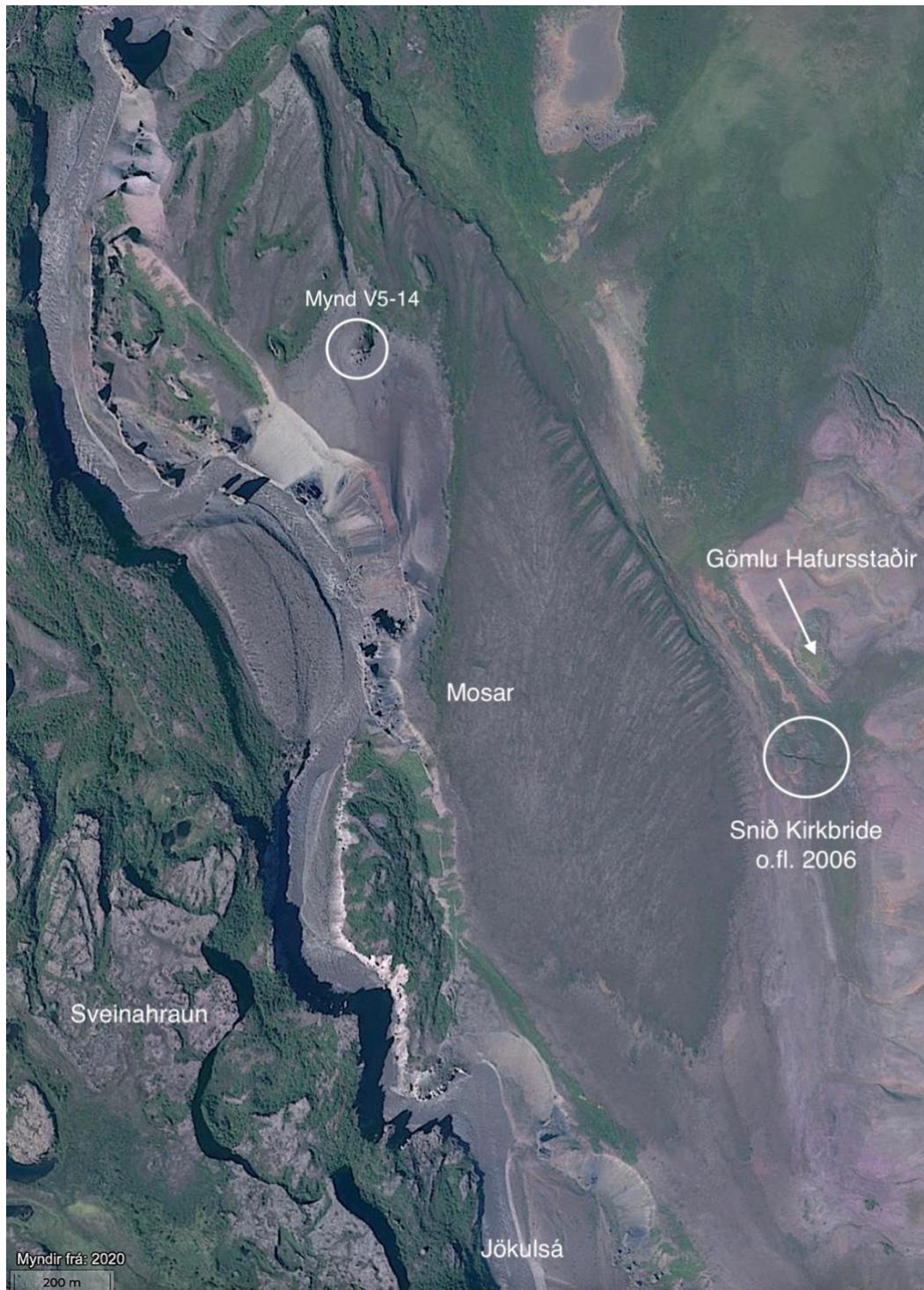
Mynd V5-7. Rofið í Lambafellsmó, horft til NA. Undir jarðvegi með Heklu-3, -4, -Ö og þykku svörtu gjóskulagi er mól með hnallungum, oft fremur núnum.



Mynd V5-8. Rofið í Lambafellsmó, horft til SV. Til hægri er far eða dæld, gróin, þar sem setið (Lambafellssetið) hefur rofist burt meðfram gljúfrinu. Grjótröstin á miðri mynd hefur líklega kastast upp þegar það gerðist. Hún gæti hafa rofist úr hrauninu undir Lambafellssetinu en getur líka verið óraskað og þvegið Lambafellsset. Ekki varð séð hvenær þetta gerðist - jarðvegur hefur líka raskast.



Mynd V5-9. Farið eða dældin í Lambafellssetið á gljúfurbarminum, horft til SV. Grjótröstin er ofan við miðja mynd. Grafin var 90 cm djúp hola þar sem jarðvegurinn var þykkastur (endí á tommustokk stendur upp úr holunni). Farið er því a.m.k. 1,5-2 m djúpt. Engin ljós gjóskulög fundust svo farið er yngra en Hekla-3, hversu mikið verður ekki sagt. Dökkt gjóskulag úr holubotni býður efnagreiningar.



Mynd V5-10 (einnig Mynd V3-16). Setbunki austan við Jökulsá í ~190 m y.s. úr þéttþökkuðu, fremur grófu jökulárseti (möl, hnullungar). Svæðið heitir Mosar en hér nefnt Hafursstaðaset til aðgreiningar frá öðru seti. Það líkist meira flóðseti en áraurum. Yfirborð Hafursstaðasetsins er með grunnum rásum sem dýpka að austurjaðri þess og eru þverskornar af yngri vatnsrás (með sniði Kirkbride o.fl. 2006) sem liggur meðfram þessum grófa setbunka. Rásin hefur rofist eftir að setbunkinn settist til. Engin merki eru um gróft set í vatnsrásinni, þar eru einungis sandgróf setlög með einkennum Waitt-sets og Hekla-4. Jarðvegur á Mosum er þunnur og sums staðar enginn. Sigurvin Elíasson (1977) fann Heklu-3 neðarlega í rúmlega meters þykkum mó í „aurfarvegi á Mosum“. (Map.is – Loftmyndir ehf).

Hafursstaðasetið hlýtur því að vera eldra en Waitt-setlögin og hlaupin sem settu þau setlög af sér. Hlaupvatn rann meðfram setbunkanum og því kann að hafa skolað yfir hann en án þess að taka með sér gróft efni. Hekla-3 í jarðvegsleifum bendir til að yngri hlaup hafi ekki flætt af krafti yfir svæðið.



Mynd V5-11. Horft yfir til suðvesturs yfir nyrsta hluta Hafursstaðasetsins á Mynd V5-10. Maður (~185 cm) á leið niður í gróna vatnsrásina milli hlíðar og setbunkans. Gjallkamb úr Sveinahrauni ber yfir setbunkann.



Mynd V5-12. Horft til suðausturs yfir austurbrún Hafursstaðasetsins, í baksýn hlíðin norðan við Gömlu Hafursstaði. Yfirborð setsins er gróið að hluta en jarðvegur er þunnur. Stórgrýti er á víð og dreif. Rásirnar í austurjaðri setbunkans eru 1-1,5 m djúpar og dýpka til austurs. Maður stendur á hrygg milli tveggja rása. Engin gjóskulög fundust þarna en sjá Sigurvin Elíasson (1977).



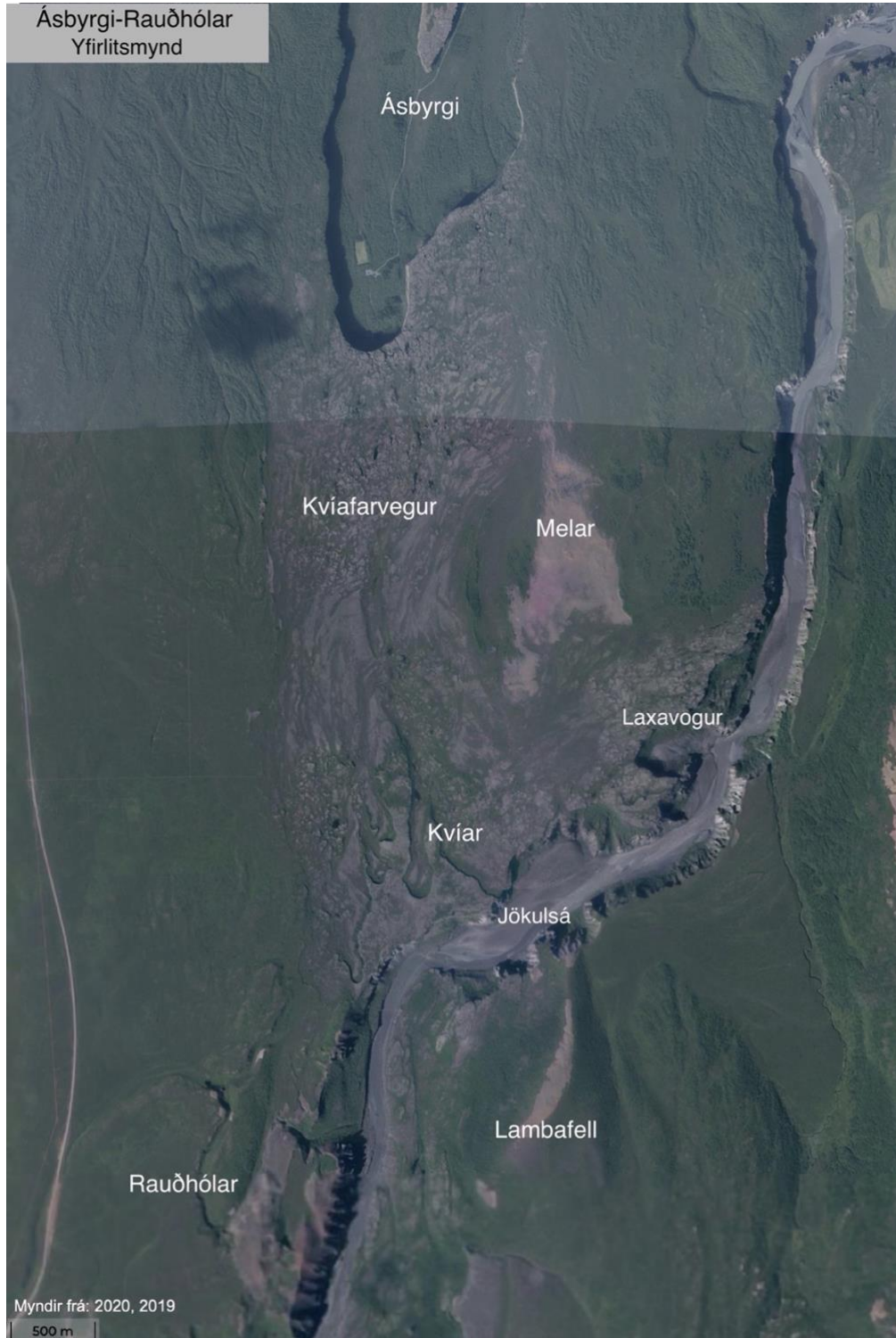
Mynd V5-13. Norðvesturhluti Hafursstaðasetsins er gróðurlaus á kafla. Yfirborðið er grýtt, þéttpakkað og ógræft með handverkfærum. Skóflan er 103 cm.



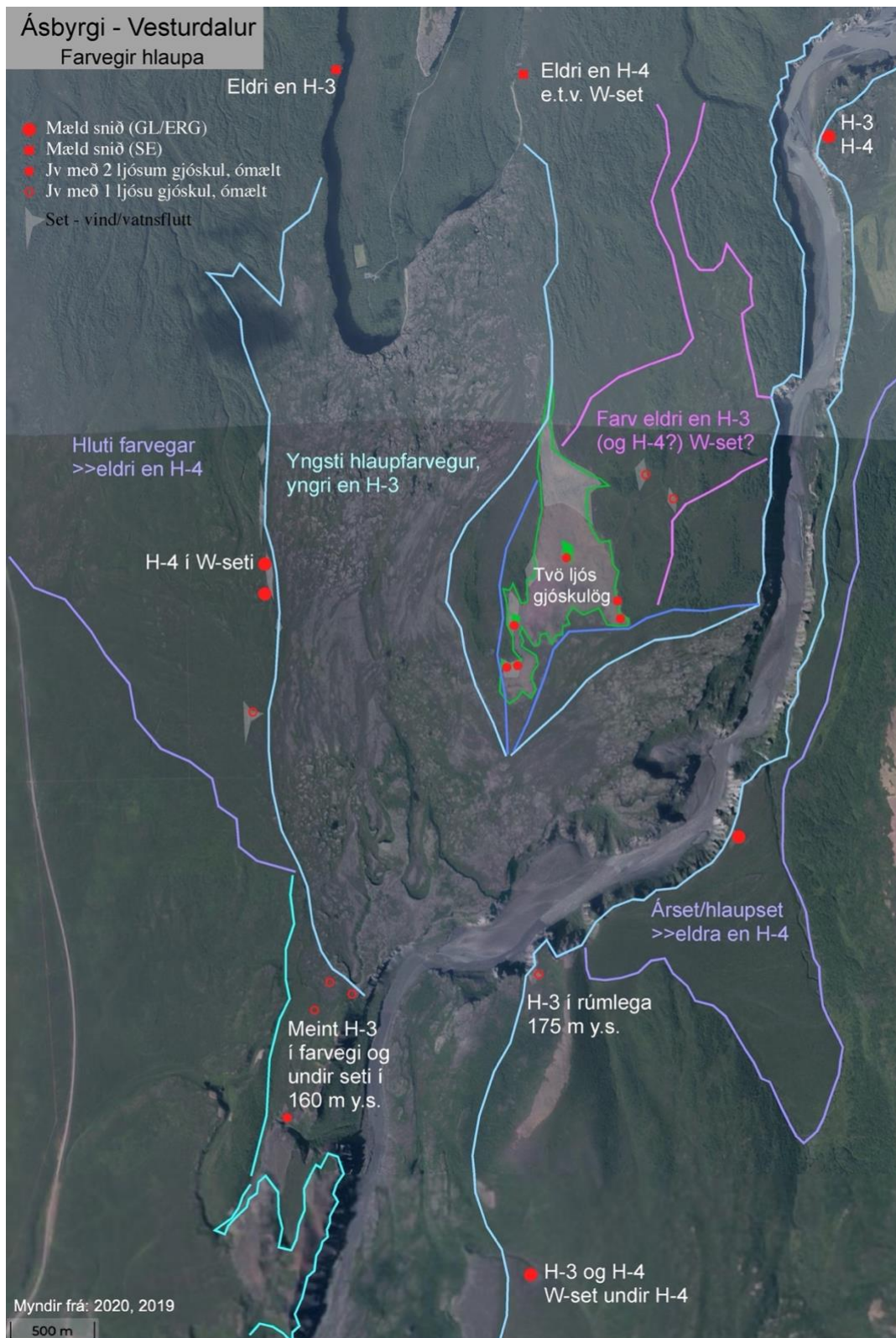
Mynd V5-14. Næst er stórgrýtt yfirborð og göngumenn sem mælikvarði. Stabbi úr sambökuðu svörtu og rauðoxuðu gjalli (tilheyrir Sveinahrauni) stendur upp úr setbunkanum norðarlega (hringur á Mynd V5-10). Stabbinn gæti verið Náttmálaklettur, eyktamark frá Gömlu Hafurstöðum. Hafurstaðasetið er því yngra en Sveinahraun, um 11000 ára, en eldra en Waitt setlögin, um 6300 ára.

Viðauki 6. Nokkrar vangaveltur um yngri og eldri farvegi, gljúfur og rof

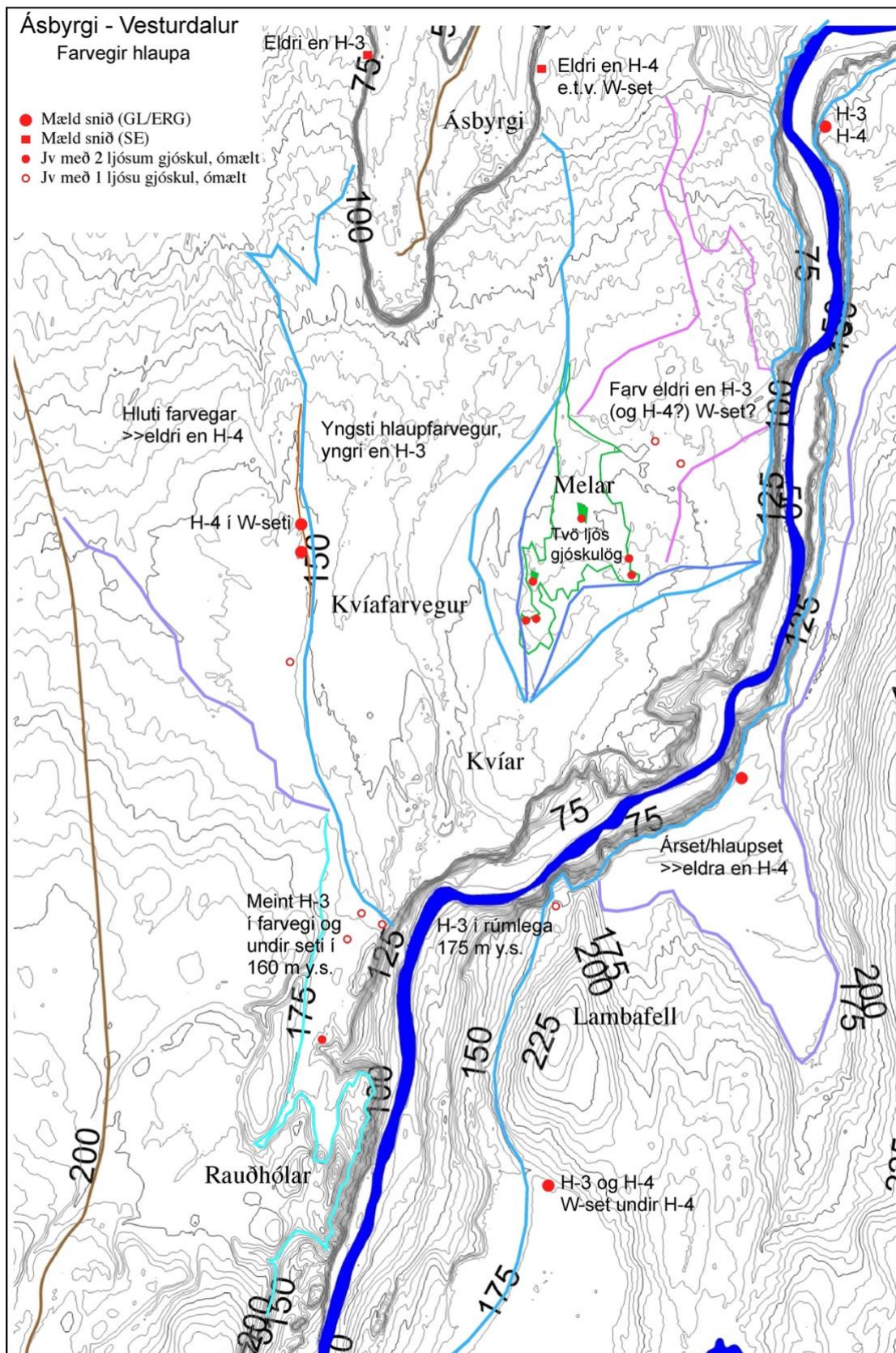
Landmótun utan Vesturdals- og Hljóðaklettadældarinnar er utan viðfangsefnis skýrslunnar sem Viðaukinn fylgir - nema fyrir tímabilið fyrir 6300-4100 árum og í tengslum við jökulhlaupin sem kennd eru við Waitt. Í því samhengi er áhugavert skoða hvenær og hvernig gljúfrin neðan við V-H dældina grófust inn fyrir Lambafell. Þá þarf að huga að rennslisleiðum og hugsanlegt umfang er sett inn á loftmyndir/kort. Einnig er dregið á gljúfurgröft og rof.



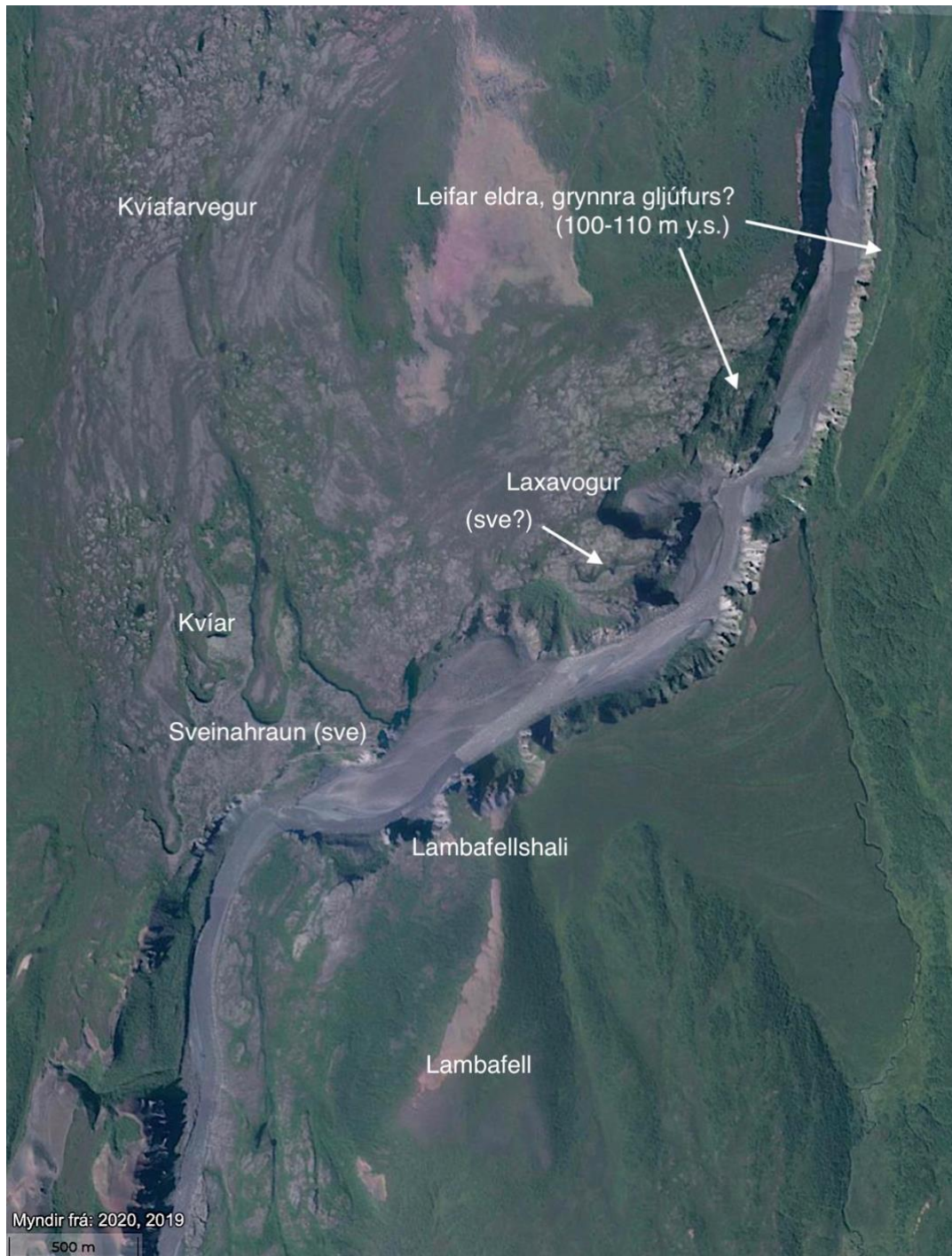
Mynd V6-1. Loftmynd með helstu örnefnum (Map.is - Loftmyndir ehf). Takið eftir Laxavogi, sem er þurrt gljúfur. Hugsanlega var gljúfur komið upp að Laxavogi á tímum Waitt-hlaupanna og grunnur farvegur milli þess og Vesturdals-Hljóðaklettadældarinnar norðan við Lambafell.



Mynd V6-2. Farvegir milli Vesturdals og Ásbyrgis frá mismunandi tímum (Grunnmynd: Map.is – Loftmyndir ehf). Ummerki elstu hlaupa og vatnsfalla eru yst beggja vegna, þau eru miklu eldri en H-4 (Hekla-4 ~4300 ára), etv frá þeim tíma er jöklar voru að hörfa (>9000 ára) og eldri en núverandi gljúfur norðan Lambafells. Setlög úr hlaupum fyrir 6300-4100 árum finnast í Vesturdal og sunnan Lambafells en frá Rauðhólum norður að Ásbyrgi sér lítið til ummerkja þessara hlaupa, þó finnst set af svipuðum aldri og H-4 bæði vestan og norðaustan yngsta farvegarins. Þrjú hlaup yngri en 4000 ára fóru vafalaust öll um Kvíafarveg, tvö þeirra yngri en H-3 (Hekla-3 ~3000 ára).



Mynd V6-3. Kort með 5 m hæðarlínunum af sama svæði og á loftmyndinni. Þrjú hlaup yngri en H-4 eru þekkt sem öll runnu líklega svipaða leið. Næstýngsta hlaupið, aðeins yngra en H-3 (Hekla-3 ~3000 ára) skolaði seti vestur fyrir Rauðhóla og setti það af sér ofan á gjóskulagið án þess að rjúfa það eða jarðveginn. Þetta hlaup, eða hlaup nokkru eldra en H-3, gæti hafa breitt úr sér beggja vegna Mela.

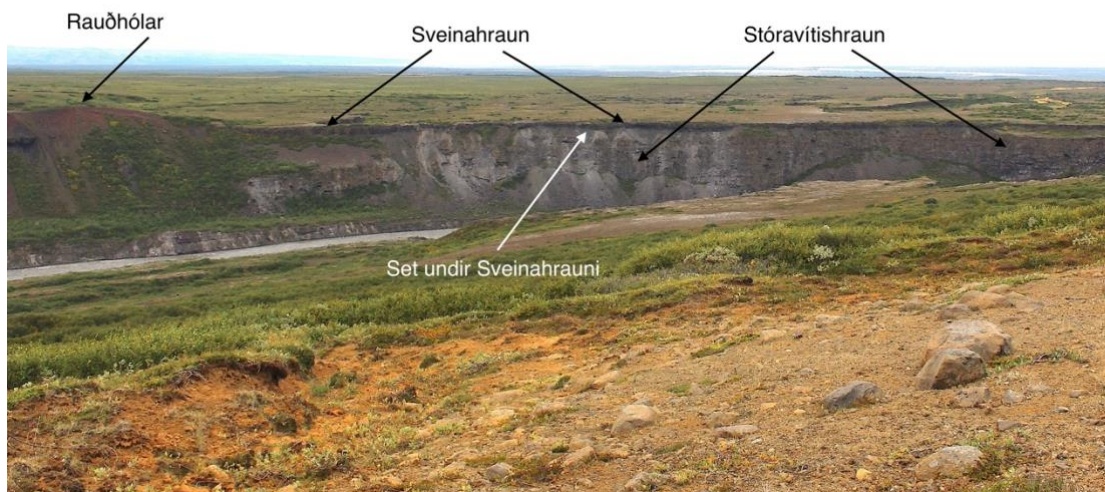


Mynd V6-4 (sama og Mynd 11). “Nærmynd” af gljúfri og hlaupfarvegum (Grunnmynd: Map.is – Loftmyndir ehf). Hvar var venjulegt útrennsli á tímum Waitt-hlaupanna? Yngri hlaup hafa rofið þau ummerki burt að mestu en hér eru nokkrar vangaveltur. Laxavogur er líklega efsti hluti eldra gljúfurs (örvar og hæðartölur) sem þá var enn aðskilið frá V-H dældinni með hraunhafti og grunnum farvegi. Þar gat venjulegt útrennsli og hlaupvatn farið um áður en núverandi gljúfur varð til, og/eða norður Kvíafarveg til Ásbyrgis. Leifar af hraunlagi við Laxavog (ör og sve?) með sams konar yfirborð og Sveinahraun í Kvíum benda til að Sveinahraun hafi náð a.m.k. þangað og verið hluti af hraunhaftinu.

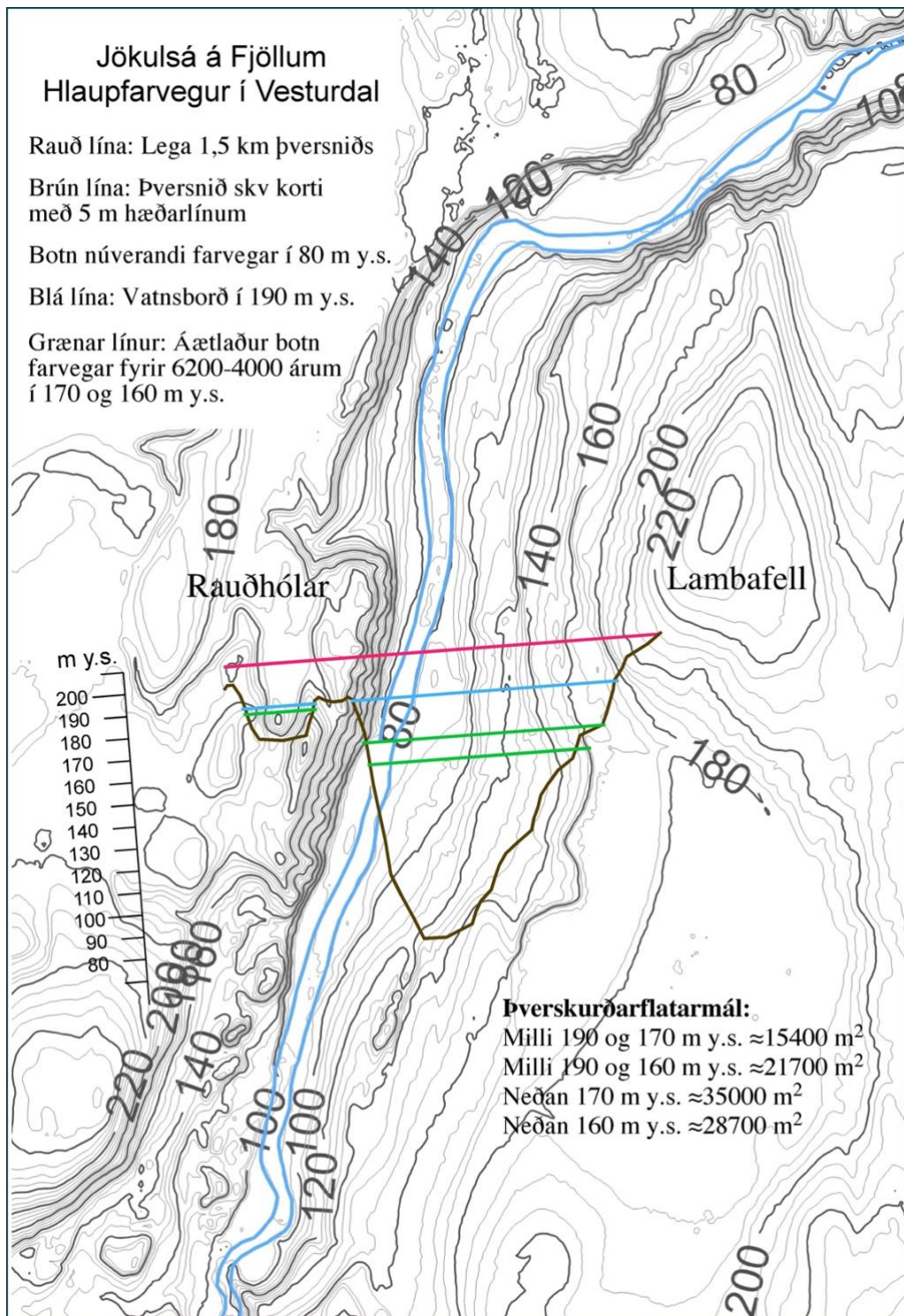
Gljúfur gat tæplega náð upp með Lambafelli/Lambafellshala fyrr en eftir tíma Waitt-hlaupanna, annars hefði grafist út úr V-H dældinni og hlaupset hætt að setjast til í Vesturdal. Á myndinni sést greinilega að hluti hlaupsvatns í yngri hlaupunum rann til Laxavogs (Mynd V6-2 og -3). Það bendir til að efsti hluti núverandi gljúfurs upp með Lambafelli/Lambafellshala hafi jafnvel ekki grafist fyrr en í yngsta hlaupinu. Einnig sést að gljúfrið við Laxavog var orðið nægilega stórt til að taka við hluta hlaupvatnsins í yngri hlaupunum, því lítið eða ekki flæddi upp á bakka hinum megin gljúfursins.



Mynd V6-5. Horft norður og niður með Jökulsá í átt að Kvíafarvegi frá Rauðhólum norðanverðum. Í gljúfurvegnum sést Sveinahraun fyrir miðju og setlög undir því. Stórávítishraun (beltað) er undir Sveinahrauni fyrir miðju, gamall berggrunnur er til hægri, og Rauðhólar til vinstri. Vel sést að lægð eða farvegur var í gamla berggrunninn (grá lína markar yfirborðið) í beinu framhaldi af V-H dældinni til norðurs sem Stórávítishraun fyllti – undir núverandi Kvíafarvegi. Brotin gul lína markar sýnilegan botn þess en skriða hylur mörkin. Ofan á Stórávítishrauni er set, jökulruðningur og/eða áframburður, sem hefur auðveldað rof á Sveinahrauni.

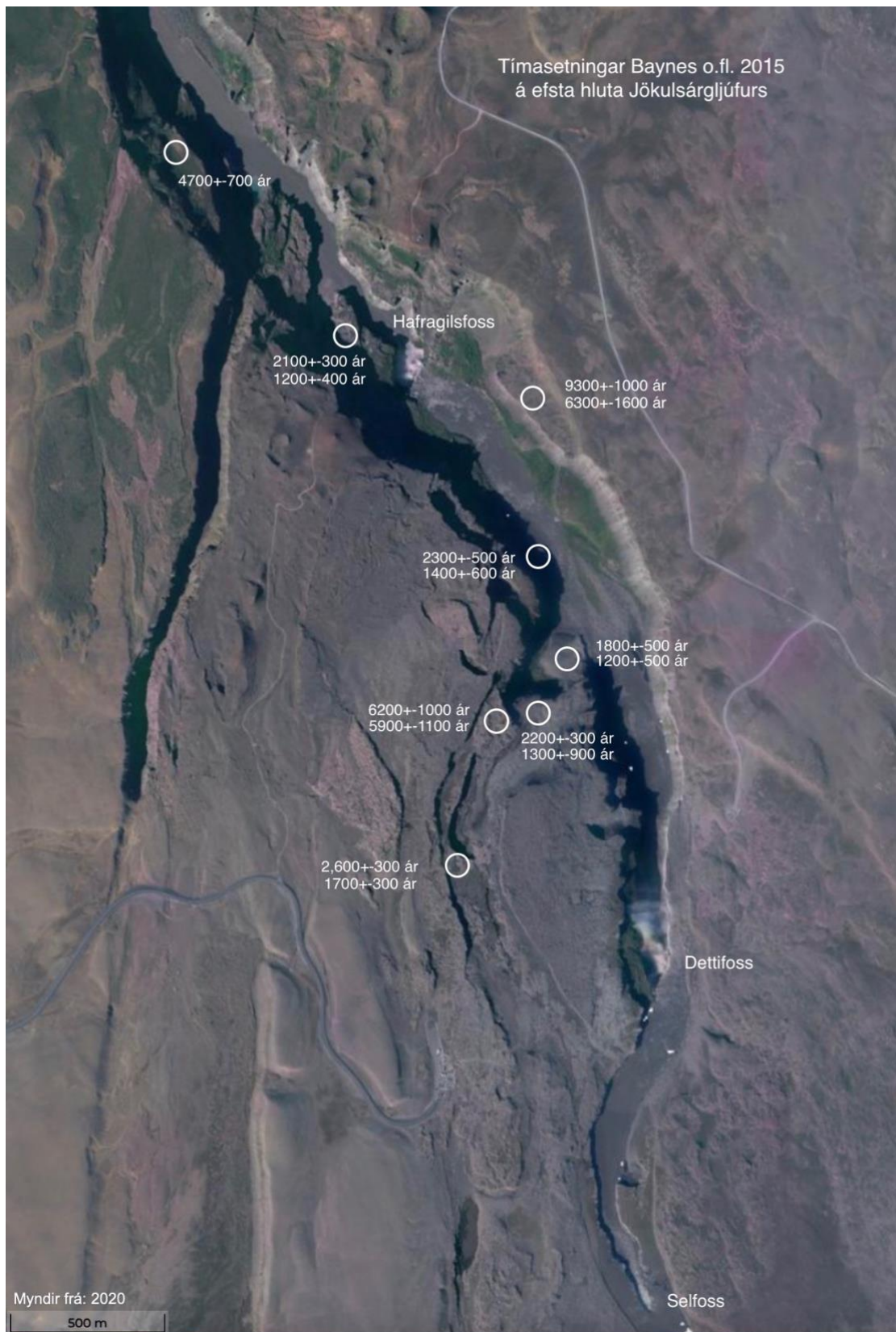


Mynd V6-7. Horft til norður frá Lambafelli yfir Kvíafarveg, Rauðhólar lengst til vinstri. Þunna hraunlagið á miðri mynd er Sveinahraun, undir því er Stórávítishraun, beltað dyngjuhraun. Á kafla þar sem Kvíafarvegur var dýpstur áður en Sveinahraun rann er laust set undir því sem hrynur niður eftir Stórávítishrauni. Vera má að þess vegna virðist beltunin í Stórávítishrauni óreglulegri þar en neðar í gljúfrinu. Eða er óreglan tengd Rauðhólum og tilurð þeirra, eru þeir e.t.v. hluti af Stórávítishrauni?



Mynd V6-8. Þversnið þar sem þrengst er milli Rauðhóla og Lambafells, eftir korti með 5 m hæðarlínunum. Svört lína sýnir núverandi þversnið (tífold yfirhækkun), um 50.000 m². Á tímum Waitt-hlaupanna, fyrir 6300-4100 árum, áður en gljúfur grófst norðan við Lambafellshala, var þversniðið eða gáttin miklu grynri. Líklegt er að botninn hafi verið svipaðri hæð og hraunið undir setflákanum sunnan við Lambafell, um 170 m y.s. efri græn lína) og þverskurðarflatarmál um 15.400 m². Sé miðað við reiknaðan meðalrennslihraða í hamfarahlaupum í Jökulsá (Ahlo o.fl. 2006, 2007), 6 og 2,8 m/sek, gæti gegnumstreymi í a.m.k einhverjum Waitt-hlaupanna hafa verið um 43.000 til 94.000 m³/sek.

Set tengt þrem hlaupum yngri en 4000 ár hefur fundist ofan við Vesturdals-Hljóðakletta dældina. Hvernig þetta þversnið breyttist í yngri hlaupum verður ekki séð.



Mynd V6-9. Efsti hluti Jökulsárgljúfra og sýnatökustaðir Baynes o.fl. 2015 (hringir og aldur). Tímasetningarnar styðja það að efsti hluti gljúfranna hafi grafist fyrir 2000-2500 árum. Landslagið sem Waitt-hlaupin fóru um var var annað og án gljúfranna.

Viðbót við Viðauka eftir frágang skýrslu

Eins og fram kemur í inngangi skýrslunnar töldu Kristján Sæmundsson (1. Mynd, 1973) og Sigurvin Elíasson (1974, 1977) að hraunið í Vesturdals-Hljóðaklettadældinni hefði einnig runnið meðfram austurjaðri Stóravítishrauns niður fyrir Vestaraland og Áshöfða. Sigurvin (1974) taldi að þar hefði verið kominn farvegur/gljúfur sem hraunið hefði fylgt og væntanlega fyllt. Þetta skiptir máli fyrir útrennslið úr V-H dældinni. Til að sannreyna að hraunið í V-H dældinni hefði runnið niður með Stóravítishrauni, hvort sem það var eftir grunnum farvegi/dæld eða gljúfri, voru tekin sýni úr efsta hraunlaginu við Vestaraland og hraunlaginu framan við Áshöfða.

Eftir að gengið hafði verið frá skýrslu og viðaukum komu niðurstöður úr efnagreiningum á þessum hraunsýnum sem Sæmundur A. Halldórsson á Jarðvísindadeild Háskólans lét gera (Sæmundur A. Halldórsson persónulegar upplýsingar). Samkvæmt þeim er efnasamsetning beggja hraunsýnanna alveg eins og efnasamsetning hrauna frá Sveina-Randarhólagosssprungunni. Þar með staðfestist að hraun í Vesturdal er í raun Sveinahraun eins og Ásta R. Hjartardóttir og Páll Einarsson (2019) töldu, hraunið teygði sig inn í Kvíafarveg og rann áfram meðfram Stóravítishrauni a.m.k. niður að Áshöfða, 7-8 km leið.

Efnagreiningar af hraunsýnum úr Jökulsárgljúfrum											
1) hraun norðaustan við Áshöfða og 2) efsta hraunlag á eystri gljúfurbarmi Jökulsár (Borgir) við Vestaraland.											
Sýni greind með ICP-OES 18.10.2024. Einstök gildi uppreiknuð í 100% en upphafleg summa sýnd aftast.											
Hvoru sýni var skipt í tvennt (n=2) og báðir hlutar greindir.											
Sample	SiO2	Al2O3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	TiO2	P2O5	Sum
G.Lar.1 (n=2)	49,92	14,03	12,63	0,22	6,98	11,69	2,38	0,24	1,74	0,16	100,46
G.Lar.2 (n=2)	49,89	13,99	12,66	0,22	7,03	11,67	2,39	0,24	1,74	0,16	100,24
Túlkun Sæmundur Halldórsson: Nauðalíkt efnagreiningum fjölda sýna úr hinni svokölluðu Sveina-Randarhóla gossprungu (Abersteiner et al. in prep), hlýtur að vera úr sama gosi, t.d. úr Randarhólum sjálfum.											