

LV-2015-056



Landsvirkjun



Háslón

Sethjallar og rofsaga

Lykilsíða



Skýrsla LV nr: 2015-056

Dags: júní 2015

Fjöldi síðna: 118

Upplag: 50

Dreifing:

- ☐ Birt á vef LV
☒ Opin
☐ Takmörkuð til

Titill: Háslón, sethjallar og rofsaga

Höfundar/fyrirtæki: Snorri P Snorrason, Verkís, Bergrún A Ólafsdóttir og Guðrún Larsen, Jarðvísindastofnun HÍ, Ingibjörg Kaldal og Skúli Víkingsson, Íslenskar orkurannsóknir, Sigmundur Einarsson.

Verkefnisstjóri: Hákon Aðalsteinsson

Unnið fyrir: Landsvirkjun

Samvinnuaðilar: Íslenskar orkurannsóknir og Jarðvísindastofnun Háskólans

Útdráttur: Sethjallar í stæði Háslóns voru kortlagðir og gjóskulög á svæðinu notuð til að tímasetja og rekja rofsögu setfyllingarinnar. Stærstu drættir í atburðarásinn eru sem hér segir. Elsta setið í dalfyllunni er frá jökulhörfuninni í Ísaldarlok. Þar er um að ræða jökulárset og jökullónsset. Fyrir 7.500 árum eða jafnvel fyrr hófst jarðvegsmýndun á jökulárum í dalnum sem stóð yfir sleitulaust þar til fyrir um 2.500 árum, en þá höfðu jöklar vaxið svo að jökulá rann að nýju í dalnum og haldi jarðveginn með möl. Gjóskulög í farvegum við Dimmugljúfur benda til þess að gljúfrin hafi ekki grafist inn fyrir Fremri Kárahnjúk fyrr en skömmu eftir landnám. Ekki varð eining í höfundahópnum um túlkun atburðarásar og sett eru fram tvö líkön sem skýra atburðarás hvort fra sínu sjónarhorni.

Lykilorð: Háslón, Kárahnjúkar, rofhjallar, jökullón, jökulárset, jarðfræðikortlagning, brimþrep, gjóskulög, Dimmugljúfur, lónset, tímasetning, jökulhörfun.

ISBN nr:

Samþykki verkefnisstjóra
Landsvirkjunar

Háslón

Sethjallar og rofsaga



HÁSKÓLI ÍSLANDS



Efnisyfirlit

Efnisyfirlit	iii
Yfirlit yfir myndir	iv
Yfirlit yfir töflur	vi
Kort í vasa aftast í skýrslu	vi
1 Inngangur SE, SPS	1
2 Lónset sunnan Kárahnjúka SV, IK	5
2.1 Fyrri rannsóknir á setinu	5
2.2 Jarðgrunnskort af lónsetinu	6
2.3 Lýsingar á einingum kortsins	10
2.4 Sýnataka	24
2.5 Gjóskulög í lónsetinu	28
2.6 Snið	29
2.7 Landslag í lónsetinu	45
3 Gjóskulagarannsóknir og tímatal GL, BAÓ	47
3.1 Gjóskulagaskipan svæðisins – lykilsnið og aðstæður	47
3.2 Tímasetningar á jarðvegi í hlíðum ofan setfyllu og þrepa	53
3.3 Tímasetningar á jarðvegi í setlögum	53
3.4 Tímasetningar á jarðvegi á þrepum og hjöllum, rof setlaga	58
3.5 Tímasetning „strandlína“ með þykkum eldri jarðvegi	70
3.6 Tilraun til að tímasetja þorláksmýrastig	72
3.7 Tímasetning jarðhitaummerkja og sprunguhreyfinga	72
4 Rof – Farvegir og gljúfur SPS	75
4.1 Aðstæður í ísaldarlok	75
4.2 Berggrunnur við Dimmugljúfur	75
4.3 Hafrahvamar, eldri farvegir	76
4.4 Hafrahvamar, yngri farvegir	77
4.5 Fossar	77
4.6 Farvegir við Dimmugljúfur	78
4.7 Sprunguhreyfingar og jarðhiti	83
4.8 Gröftur gljúfranna	84
4.9 Breidd gljúfra og flóð	86
4.10 Rennslismynstur Jöklu fyrr og nú	87
4.11 Lón í ísaldarlok	87
5 Túlkun á atburðarrás	91
5.1 Atburðaröð samkvæmt líkani 1 – IK, SV og SPS	91
5.2 Túlkun á atburðarrás frá því að jökull hörfar frá Hafti – Líkan 2. GL, BAÓ	99
6 Sífreri SPS, SE	107
7 Heimildir og ítarefni	109

Yfirlit yfir myndir

Mynd 2-1. Jarðvegur milli malarlaga í farvegi austan Jöklu rúmum 3 km norðan við Sauða eystri (sjá snið 292 á mynd 2-29).	5
Mynd 2-2. Yfirlitskort sem sýnir afmörkun jarðgrunnskortanna tveggja af setfyllunni í mælikvarðanum 1:10.000 (með rauðum lit).	7
Mynd 2-3. Einfölduð útgáfa af jarðgrunnskorti af umhverfi Hálslóns.	8
Mynd 2-4. Einfaldað samsett snið sem sýnir uppbyggingu setfyllunnar og afstöðu seteininga sem sýndar eru á kortum 1-2 (í vasa).	10
Mynd 2-5. Berggrunnur undir lónsetinu í Sandskeiði vestan Jöklu.	11
Mynd 2-6. Skammt norðan við ármót Kringilsár og Jöklu stendur basalt upp úr árseti á 2-3 km löngum kafla. Syðri Kárahnjúkur sést í fjarska. Ljósmynd SVIK.	11
Mynd 2-7. Þykkir bunkar af jökulárseti ofan á dyngjubasalti og kubbabergi skammt sunnan Kárahnjúkastíflu. Setið myndaðist undir eða við jökuljaðar. Ofan á því er hið eiginlega lónset, sem sést sem móbrúnn flái ofarlega. Gráa efnið allra efst er skolað árset – „hreina mölin“ (Á5). Horft til suðausturs. Ljósmynd SVIK.	12
Mynd 2-8. Kornastærðargreiningar af jökulárseti frá Arnarbæli á Jökuldal.	13
Mynd 2-9. Sýni af lónseti (silt og sandur) undir mölinni á Sandskeiði.	14
Mynd 2-10. Norðanvert Horn.	15
Mynd 2-11. Fallsteinar í lónsetinu. Þeir hafa bráðnað úr ísjökum sem brotnuðu úr jökuljaðrinum og flutu á lóninu. Ljósmynd SVIK.	15
Mynd 2-12. Aflögun siltlaga í bökkum suðaustan undir Sauðafelli.	16
Mynd 2-13. Misgengi í sandlögum skammt frá Lindum. Líklega eru þau mynduð við skrið setsins undan halla. Ljósmynd SVIK.	16
Mynd 2-14. Hér má sjá hvernig grófari og þyngri sandlög (rauða örin) hafa sokkið ofan í fínkornaðra silt. Ljósmynd SVIK.	17
Mynd 2-15. Í hvamminum norðan við Sauða voru góð snið í óseyri sem myndaðist við að Sauða bar mikinn sand inn í hið forna lón. Ljósmynd SVIK.	18
Mynd 2-16. Horft vestur yfir Jöklu að Sauða, þar sem hjallar marka efsta vatnsborð gamla lónsins. Sjá einnig Mynd 2-17. Ljósmynd SVIK.	19
Mynd 2-17. Lagskipt mól og grófur sandur í efstu hjöllum sunnan Sauðar vestari (sjá líka Mynd 2-16). Ljósmynd SVIK.	19
Mynd 2-18. Skilin á milli jökulársets með siltklíningi og skolaðs ársets.	20
Mynd 2-19. Í stóra hjallanum rétt norðan við jökulgarðinn frá 1890 sést vel hvernig jarðvegurinn liggur milli hreinu og óhreinu malarlaganna en hægra megin á myndinni hefur hreina mölin rofist ofan af, svo að jarðvegurinn liggur í yfirborði. Ljósmynd SVIK.	21
Mynd 2-20. Skammt frá sniði 316 um 1½ km utan við ármót Kringilsár mátti sjá hvernig jarðvegur myndaðist í lægðum en náði ekki að festa á sléttu landi. Glöggst má sjá skilin milli „óhreinu“ og „hreinu“ malarinnar. Ljósmynd SVIK.	22
Mynd 2-21. Kornastærðargreiningar af mól og sandi af yfirborði Sandskeiðs (hreina mölin, Á5).	22
Mynd 2-22. Straumkast í Jöklu skammt norðan við Lindur. Ljósmynd SVIK.	23
Mynd 2-23. Ármót Kringilsár og Jöklu. Þarna rann Jökla um breiðar eyrar en efst til vinstri má sjá basaltklappir standa upp úr ársetinu. Ljósmynd SVIK.	24
Mynd 2-24. Horft suður yfir hjallana. Rauða örin bendir á meginbrimprepið ofan við Horn. Ljósmynd SVIK.	24
Mynd 2-25. Þykkasta meinta gjóskulagið í lónseti rétt norðan við Tröllagil (sýni 172a). Lagið er glerríkt, fislétt og sker sig vel frá siltlögunum umhverfis. Ljósmynd SVIK.	28
Mynd 2-26. Kortið vinstra megin sýnir öll snið sem tekin hafa verið í setbakka hins forna Hálslóns. Kortið hægra megin sýnir staðsetningu gjóskusniða. Sniðin eru einnig sýnd á jarðfræðikortum í vasa.	30
Mynd 2-27. Snið 136 austan Jöklu sunnan Fremri-Kárahnjúks. Ljósmyndir SVIK.	33
Mynd 2-28. Snið 261 vestan Jöklu við brúna. Ljósmyndir SVIK.	34
Mynd 2-29. Snið 292 austan Jöklu norðvestan við Sauðarkofa. Ljósmynd SVIK.	35
Mynd 2-30. Snið 300 austan Jöklu sunnan við Lindur. Ljósmynd IK.	36
Mynd 2-31. Snið 316 vestan við Jöklu tæplega 1½ km norðan við ármót Kringilsár. Ljósmynd SVIK.	37



Mynd 2-32. Snið 325/206 vestan Jöklu suðaustan við Sauðafell. Ljósmynd SV.	38
Mynd 2-33. Snið 327 vestan Jöklu suðaustan við Sauðafell. Ljósmynd SVIK.....	39
Mynd 2-34. Snið 338 vestan Jöklu sunnan við ármót Kringilsár og Jöklu. Ljósmynd SVIK..	40
Mynd 2-35. Snið 387/172 vesta Jöklu við Tröllagil. Ljósmyndir SVIK.	41
Mynd 2-36. Snið 399 austan Jöklu norðan til í Horni. Ljósmyndir SVIK.	42
Mynd 2-37. Snið 403 austan Jöklu rétt norðan við brúna. Ljósmyndir SVIK.....	43
Mynd 2-38. Malarás bugðast um dalbotninn og sást vel þar sem lónsetið hafði rofist ofan af honum skammt norðan við Tröllagil. Í fjarska sést hvernig hann gengur inn undir lónsetið. Ljósmynd IK.	46
Mynd 2-39. Sami malarás og á Mynd 2-38, en hér sést betur hvernig lagskiptingin í lónsetinu lagar sig að yfirborði ássins (rauða örin). Ljósmynd IK.	46
Mynd 3-1. Jarðvegssnið tekin sunnan við Sandfell.	48
Mynd 3-2. Hluti úr loftmynd af svæðinu suðvestan Sandfells, tekin áður en framkvæmdir á svæðinu hófust.	49
Mynd 3-3. Einfölduð skýringarmynd af upphleðslu sets, myndun jarðvegs með gjóskulögum og rofi setfyllu.	51
Mynd 3-4. Lykilsnið við Kárahnjúka.	52
Mynd 3-5. Snið í jarðveg milli malarlaga.	55
Mynd 3-6. Jarðvegur milli malarlaga.	57
Mynd 3-7 Þrep og hjallar við Lindur.	59
Mynd 3-8. Jarðvegssnið á þrepum, raðað frá suðri til norðurs.	60
Mynd 3-9. Neðri hluti jarðvegssniðs G102 við Lindur.	61
Mynd 3-10 a) Jarðvegur á og við efra þrep í sniði G10.	62
Mynd 3-11 Jarðvegur við efra þrep vestan ár (G19-20).	63
Mynd 3-12 Aurar Jökulsár neðan Hafrahvamma.	64
Mynd 3-13 Jarðvegur á meginhjöllum var yfirleitt siltkenndur ofan til og oft með ryðlitum röndum og blettum, en vegna hraðrar uppsöfnunar varðveittust gjóskulög vel, einkum í kverkum næst þrepunum.	65
Mynd 3-14 Jarðvegssnið á meginhjöllum.	66
Mynd 3-15 Snið á smáhjöllum neðan meginhjalla og á stöllum í gljúfri sunnan Kárahnjúkastíflu.	67
Mynd 3-16 Jarðvegur á stalli í gljúfrinu sunnan Kárahnjúkastíflu (G57).	68
Mynd 3-17 Einfölduð skýringarmynd af upphleðslu sets, myndun jarðvegs og rofi setfyllu.	69
Mynd 3-18 Samantekt á atburðarás tengd við lykilsnið og tímasetningar með gjóskulögum. Lesist frá neðstu línu og upp.	71
Mynd 4-1 Elstu farvegir til norðurs frá Hafti (556 m á myndinni).	76
Mynd 4-2. Skessugjá, horft til suðvesturs í sprungustefnu.	77
Mynd 4-3 Lóðrétt slit í gljúfurvegg við Ytri-Kárahnjúk gegnt Haftinu.	78
Mynd 4-4. Þrjár kynslóðir farvega sunnan við Haftið.	79
Mynd 4-5 Jarðvegssnið í farvegum við Dimmugljúfur.	80
Mynd 4-6 Drangahvamar. Horft er til suðurs af eystri barmi farveganna. Ljósmynd SVIK	81
Mynd 4-7 Niðurgöngugil séð frá vestari bakka gljúfursins. Á myndinni sjást þrjú rofstig. Ljósmynd GL.	82
Mynd 4-8 Leifar farvega rofstiga 4-7 á austurbakka gljúfursins rétt norðan við Kárahnjúkastíflu. Ljósmynd SPS.	82
Mynd 4-9 Myndin er tekin í hæð efsta rofþreps/strandlínu skammt sunnan Sauðár vestari og horft er til suðurs.	83
Mynd 4-10. Sprungur og sprungufletir í gljúfurveggjum Dimmugljúfra.	84
Mynd 4-11 Horft inn gljúfrin frá stalli neðan við Haftið.	86
Mynd 4-12 Hæðir rofþrepa og fleiri myndana í stæði Háslóns og við Dimmugljúfur.	88
Mynd 5-1. Yfirlitskort sem sýnir jökulhörfun á Brúaröræfum og Vesturöræfum.	92
Mynd 5-2 Brimþrep við Horn. Örin bendir á þrepið. Ljósmynd SPS.	95
Mynd 5-3 Brimþrep í Kringilsárrana.	96
Mynd 5-4 Einfölduð skýringarmynd af aðstæðum í dalnum sunnan Fremri-Kárahnjúks.	99
Mynd 5-5. Jarðvegur ofan á setlögum frá hörfunarskeiði jökulsins eftir kortum IK og SV er sýndur með grænum þríhyrningum (hæð ekki nákvæm).	101



Mynd 5-6. Rauðir hringir marka hæð malar á „efra þrepi“ í fjórum sniðum þar sem jarðvegur með gjóskulögum var mældur niður á möl.	102
Mynd 5-7. Rauðir hringir marka hæð malar í mældum sniðum.	103
Mynd 5-8. Hæð sethjalla og þrepa vestan og austan Jökulsár, sem sannanlega eru með jarðvegi með gömlum gjóskulögum eða skilgreind sem V3 set á kortum, er sýnd með grænum þríhyrningum.	104
Mynd 6-1 Þiðnuð rúst á svæði sem var sífrerasvæði fyrir fáeinum árum eða áratugum. Ljósmynd Helgi Torfason.....	107
Mynd 6-2 Ummerki sífrera við Háslón. Kortið er byggt á skoðun loftmynda frá Loftmyndum ehf. Gulbrúnir flekkir sýna ummerki sífrera. Virkur sífreri fannst ekki.	108

Yfirlit yfir töflur

Tafla 2-1. Sýni tekin sumarið 2005	26
Tafla 2-2. Sýni tekin sumarið 2006.	27
Tafla 2-3. Jarðlagasnið í lónfyllu hins forna Háslóns.	31
Tafla 3-1 Leiðarlög, þekkt gosár	50
Tafla 3-2 Leiðarlög, reiknaður aldur	50
Tafla 4-1 Halli farvega við Haftið. Hæðir eru teknar af hæðargrunni Loftmynda ehf.	85

Kort í vasa aftast í skýrslu

Nr.	Lýsing	Kvarði	Stærð
1	Háslón set í lónstæði, norðurhluti	1:10.000	A1
2	Háslón set í lónstæði, suðurhluti	1:10.000	A1
3	Farvegakort	1:10.000	A1

1 Inngangur SE, SPS

Árið 2005 fól Landsvirkjun Almennu verkfræðistofunni hf., síðar Verkís hf., að sjá um rannsóknir á sethjölum og gjóskulögum í jarðvegi meðfram Jökulsá á Dal sunnan við Kárahnjúka. Rannsóknarsvæðið er í lónstæði Háslóns, sem síðar myndaðist við virkjun Jökulsár. Svæðið hvarf undir vatn við myndun lónsins í september 2007. Rannsóknnum þessum var ætlað að uppfylla skilyrði sem sett voru fram í úrskurði umhverfisráðherra um mat á umhverfisáhrifum Kárahnjúkavirkjunar, dags. 20. desember 2001.

Í 11. lið í úrskurði umhverfisráðherra segir:

Áður en fyllt verður í Háslón skal framkvæmdaraðili í samráði við Náttúrufræðistofnun Íslands ljúka rannsóknum á þeim setlögum sem mynduðust í fornu jökullóni sunnan Kárahnjúka. Framkvæmdaraðili skal jafnframt láta rannsaka og kortleggja gjóskulög í jarðvegi sem hverfa munu í Háslón beggja vegna Jökulsár sunnan Kárahnjúka og á Fljótssdalsheiði. Niðurstöður rannsókna skulu birtar innan tveggja ára frá því að vatni er hleypt í Háslón.

Árið 2004 fól Landsvirkjun Náttúrufræðistofnun Íslands að meta stöðu þeirra jarðfræðirannsókna sem snerta framangreindan úrskurð umhverfisráðherra og vinna á grundvelli þess mats rannsóknaráætlun sem fullnægði skilyrðum ráðherrans. Rannsóknaráætlunin var birt í skýrslu Náttúrufræðistofnunar *Staða rannsókna á setlögum í fyrrum Háslóni* (Helgi Torfason o.fl. 2005). Þar kom fram að til að uppfylla skilyrði umhverfisráðherra þyrftu að fara fram ítarlegri rannsóknir á eftirtöldum þáttum:

- Jökulbergi og jökulruðningi
- Jökullónseti í neðri hluta setfyllunnar
- Jökulárseti og jarðvegi í efri hluta setfyllunnar og tengslum hennar við jökul
- Rofi og rofsögu
- Gjóskulögum
- Sífrera

Í skýrslu Náttúrufræðistofnunar eru setlögin sunnan Kárahnjúka nefnd einu nafni setfyllan. Nánar er útlístað um hvaða atriði skuli fjallað og hvaða gögnum skuli skilað vegna einstakra rannsóknarþátta. Í skýrslunni sem hér birtist er gerð grein fyrir framangreindum þáttum.

Almenna verkfræðistofan hf. (síðar Verkís hf.). samdi við Íslenskar orkurannsóknir um sérfræðirannsóknir á sviði setlaga- og ísaldarjarðfræði og sáu Ingibjörg Kaldal og Skúli Víkingsson um þann verkþátt. Jafnframt var samið við Raunvísindastofnun Háskólans um sérfræðirannsóknir á sviði gjóskulaga og tímasetninga og um þær sáu Guðrún Larsen og Bergrún Arna Óladóttir. Fyrir hönd Almennu verkfræðistofunnar sáu Snorri P. Snorrason og Sigmundur Einarsson um verkstjórn auk rannsókna á efsta hluta setfyllunnar og rofsögu. Síðari hluta verktímans var Sigmundur sjálfstæður verktaki. Verkefnisstjórn af hálfu Landsvirkjunar var í höndum Péturs Ingólfssonar og síðar Hákonar Aðalsteinssonar.

Rannsóknir fóru að mestu fram sumrin 2005 og 2006. Verkefninu var í upphafi nokkuð þröngur stakkur skorinn bæði hvað varðar tíma og fjármuni. Svigrúm til rannsókna var takmarkað við tvö sumur vegna fyllingar Háslóns, en æskilegt hefði verið að hefja rannsóknir a.m.k. einu ári fyrr. Þá breyttust rannsóknarforsendur töluvert frá því sem lagt var upp með í skýrslu Náttúrufræðistofnunar Íslands (Helgi Torfason o.fl. 2005). Þar segir um myndun setlaga og rof þeirra samhliða myndun rofhjallanna að „ágæt mynd [sé] komin af þessari sögu“ en „þó [sé] full ástæða til að kanna betur efsta hluta sethjallanna (þann hluta sem myndaðist síðast), rofsögu hjallana og tengsl þeirra við myndun Hafrahvammagljúfurs og framrás jökla sunnan við svæðið.“ Þetta álit Náttúrufræðistofnunar var annars vegar stutt með tilvitnunum í rannsóknir Óskars Knudsen og P.M. Marren (2000, 2002) þess efnis að „setlög úr fyrrum Háslóni [hafi] sennilega byrjað að myndast í lok ísaldar fyrir um 10.000 árum en meginhluti lónsetsins [hafi] hlaðist fljótt upp, e.t.v. á 100–200 árum“ og hins vegar með tilvitnun í rannsóknir Jórunnar

Harðardóttur o.fl. (2001a) þess efnis að „setlögin og landformin sem tengjast hinu forna Hálslóni [séu] af óþekktum aldri, en þó eldri en 4000 ára og yngri en 10.000 ára.

Þessar forsendur voru lagðar til grundvallar við upphaflega rannsóknaráætlun og við þær miðuðust tíma- og kostnaðaráætlun verkefnisins. Eftir að rannsóknir hófust kom í ljós að sá þekkingargrunnur sem lagt var upp með í byrjun reyndist ekki eins haldgóður og Náttúrfraeðistofnun hafði talið og sneri það einkum að aldri og túlkunum á yngri hluta setlaganna. Þetta leiddi til þess að hugmyndir um viðfangsefnið tóku stöðugum breytingum á rannsóknartímanum og urðu rannsóknir af þessum sökum töluvert tímafrekari en gert hafði verið ráð fyrir í upphafi. Þessi annmarki á uppsetningu verkefnisins leiddi til þess að tíminn varð of knappur og þegar upp var staðið náðist ekki að samræma niðurstöður einstakara rannsóknarhópa áður en rannsóknarsvæðið hvarf undir vatn. Óvissa í rannsóknargögnum, einkum varðandi rof og upphleðslu, þar sem frekari gögn vantaði til staðfestingar á einstökum þáttum, olli síðan verulegum ágreiningi um túlkun og hefur leitt til ómældra tafa við úrvinnslu verkefnisins. Af þessum sökum hefur lokafrágangur skýrslunnar dregist úr hömlu. Við þessum ágreiningi hefur verið brugðist með því að höfundar setja hin ólíku sjónarmið fram í mismunandi köflum skýrslunnar án þess að fyrir liggi (að öllu leyti) ein sameiginleg niðurstaða. Höfundar hvers kafla eru tilgreindir í byrjun hvers kafla. Það er mat rannsóknaraðila að slík framsetning stangist ekki á við þau skilyrði sem fram koma í úrskurði umhverfisráðherra.

Hluti af meginniðurstöðum rannsókna hafa hefur þegar birst í blöðum og tímaritum. Helstu niðurstöður úr myndunarsögu Dimmugljúfra og sethjallanna sunnan Kárahnjúka birtust í grein í tímaritinu Glettingi eftir Guðrúnu Larsen o.fl. árið 2007. Áður hafði verið fjallað um ýmsar helstu niðurstöður í viðtölum við Guðrúnu Larsen í Austurglugganum þann 26. október 2006 og í Morgunblaðinu þann 4. apríl 2007. Þá birtist hluti af niðurstöðum gjóskulagarannsókna í doktorsritgerð Bergrúnar Örne Óladóttur árið 2009 og einnig í vísindagreinum eftir Bergrúnu Örne Óladóttur o.fl. í tímaritunum Bulletin of Volcanology og Holocene árið 2011 og í Náttúrufræðingnum árið 2013.

1.1 Kort og hæðargögn

Hæðargrunnur er frá Loftmyndum ehf. Loftmyndirnar sem liggja að baki kortum af svæðinu voru teknar 1998 í um 3500 m hæð. Loftmyndir ehf. afhentu kort af svæðinu með 2 m hæðarlínunum og treystu sér ekki til að hafa nákvæmnina meiri. Að jafnaði eru loftmyndir teknar í 2000 m hæð ef ætlunin er að gera kort með meiri nákvæmni t.a.m. 1 m hæðarlínunum. Loftmyndir ehf. afhentu einnig hæðarlíkan sem kortin eru gerð eftir. Notkun á þessum gögnum bendir til þess að nákvæmni líkansins standi varla undir 2 m hæðarlínunum. Síðar voru gerð kort með 1 m línunum en þau eru einfaldlega gerð eftir sömu gögnum og nákvæmni þeirra engu betri. Hæðaróvissan í líkaninu er varla minni en 2 m. Höfundar hafa vitað frá öndverðu um þessa óvissu.

1.2 Fyrri rannsóknir

Jarðfræðirannsóknir á svæðinu sunnan Kárahnjúka beindust í fyrstu nær eingöngu að framhlaupum í Brúarjökli ásamt tilheyrandi landmótun. Upp úr 1970 hófst könnun vegna mögulegra virkjunarframkvæmda á vatnasvæði Jökulsár á Dal og í kjölfarið hófust rannsóknir á líklegum virkjunarsvæðum og nágrenni þeirra. Þá hófust rannsóknir á berggrunni en það var ekki fyrr en um aldamótin 2000 sem rannsóknir hófust á sethjöllunum sunnan við Kárahnjúka.

Heimildir fram til 1900

Elstu jarðfræðilegar lýsingar af rannsóknarsvæðinu sunnan við Kárahnjúka fjalla um framhlaup í Brúarjökli á síðustu öldum. Í ferðabók Eggerts Ólafssonar og Bjarna Pálssonar 1752-1757 (Eggert Ólafsson 1943) er að finna elstu lýsingar á Brúarjökli og óróleika eða framhlaupi sem varð í jöklinum árið 1625 og í Jöklaleti Sveins Pálssonar frá ofanverðri 18. öld (Sveinn Pálsson 1945) dró hann þá ályktun að jökullinn hefði hlaupið á árunum 1720–1730. Þorvarður Kjerúlf (1890) héraðslæknir Norður-Múlasýslu gerði sér ferð inn á Brúaröræfi til að kanna framhlaup Brúarjökuls árið 1890. Hann segir frá því hvernig jökullinn hafi gengið fram yfir og undir „gamlar jökulýtur“ sem „voru um 80 ára gamlar“, þ.e. frá framhlaupi jökulsins árið 1810.

Þessar frásagnir eru grundvöllur þekkingar á framhlaupssögu Brúarjökuls, en eftir 1600 er hún nokkuð vel þekkt, þ.e. að jökullinn hafi hlaupið 1625, á tímabilinu 1720–1730, og árin 1810 og

1890. Hlaupið árið 1890 var hið mesta frá lokum ísaldar og hlaupið 1810 hið næstmesta og hafa þau að mestu máð burt ummerki eldri hlaupa.

Rannsóknir 1900–1970

Framan af 20. öld fór ekki mikið fyrir rannsóknum á svæðinu. Daniel Bruun (1902) lýsti aðstæðum við Brúarjökul u.þ.b. 10 árum eftir framhlaupið 1890 og Þorvaldur Thoroddsen (1914) ritaði um framhlaupin 1810 og 1890. Paul Woldstedt (1939) greindi frá rannsóknum á jökulmenjum framan við íslenska jökla árið 1938 og fjallaði m.a. um jökulgarðinn frá 1890 framan við Brúarjökul. Einnig birti Sigurður Þórarinnsson grein um framhlaup í austurhluta Brúarjökuls árið 1938. Árið 1953 lýsti Gunnar Hoppe landmótun við Brúarjökul og Emmy Todtmann birti ítarlegar niðurstöður sínar á ummerkjum framhlaupanna í greinum 1955, 1957 og 1960. Todtmann varð fyrst til að átta sig á fornum jökulgarði sem myndaður var á framrásarstigi jökuls sem hún nefndi Þorláksmýrastig og taldi um 2500 ára. Síðar sýndi Sigurður Þórarinnsson (1964a) fram á það með gjóskulagarannsókn að Þorláksmýragarðurinn er mun eldri eða frá því snemma á nútíma.

Fyrstu lýsingar á sethjölum og mótun berggrunnsins sunnan við Kárahnjúka er að finna í dagbókarlýsingum Pálma Hannessonar frá 1933 sem gefnar voru út að honum látnum (Pálmi Hannesson 1958). Pálmi taldi Kárahnjúka hafa myndast í eldgosi seint á síðasta jökulskeiði og myndað berghaft í árdal Jökulsár. Innan við berghaftið hafi síðan myndast jökullón framan við hörfandi jökul og það smám saman fyllst af setlögum. Síðar hafi Jökulsá myndað Hafrahvammagljúfur, grafið setlögin út úr dalnum í þremur meginlotum og myndað hjallana meðfram ánni. Þessi einfalda og skýra túlkun Pálma Hannessonar var almennt viðurkennd þar til aldursákvörðun bergs úr Kárahnjúkum leiddi í ljós að þeir eru mun eldri en frá síðasta jökulskeiði eða um 180 þús. ára (Jóhann Helgason & Duncan 2003).

Árin 1963–64 gekk Brúarjökull fram og lýsti Sigurður Þórarinnsson (1964b, 1969) gangi framlaupsins þar sem jökullinn skreið fram um 8 km á tæpu ári. Ingibjörg Kaldal og Skúli Víkingsson (2001) tóku síðar saman yfirlit um framhlaup Brúarjökuls á sögulegum tíma.

Rannsóknir frá 1970 til aldamóta

Hugmyndir um virkjun vatnsafls á svæðum norðan Vatnajökuls komu fram um 1970. Þær þróuðust síðan yfir í stærri virkjunarhugmyndir sem fólu í sér söfnun vatns af stærra svæði og beindust rannsóknir m.a. að Jökulsá á Dal. Bessi Aðalsteinsson (1991) vann að kortlagningu berggrunns í Brúardölum og víðar á árunum 1971–1985 og rakst þá jafnframt á athyglisverða jökulgarða (Bessi Aðalsteinsson 1987). Jökulgarðarnir birtust á korti í Árbók Ferðafélagsins 1987 (Hjörleifur Guttormsson 1987). Berggrunnsrannsóknir við Jökulsá á Dal og Dimmugljúfur héldu áfram eftir 1990, einkum í tengslum við veituleiðir um jarðgöng (Ágúst Guðmundsson 1992, 1996). Jafnframt var unnið að rannsóknum á jarðgrunni vegna byggingarefna (Skúli Víkingsson 1991, Skúli Víkingsson og Þórólfur H. Hafstað 1992 a og b, 1993, Ágúst Guðmundsson 1995). Á tíunda áratugnum vann Óskar Knudsen (1995, 2000) að rannsóknum á svæðinu framan við Brúarjökul og fjallaði þá m.a. um krákustígshryggi.

Rannsóknir frá árinu 2000

Rannsóknir á setlögum hófust skömmu fyrir aldamótin 2000, að mestu í tengslum við undirbúning Kárahnjúkavirkjunar. Ingibjörg Kaldal og Skúli Víkingsson (2000, 2001) gerðu jarðgrunnskort af svæðinu og skoðuðu setlögin lauslega. Þau fjölluðu um möguleg tengsl fornra jökulgarða við sethjallana og töldu að Dimmugljúfur og setlögin hefðu grafið löngu eftir að dalurinn fylltist af seti, seint á nútíma og jafnvel ekki fyrr um 2000 árum eða jafnvel enn síðar vegna jarðvegs sem fannst ofan á lónsetinu og undir yngri eyramöl sem fyllti dalinn. Síðar sumarið 2000 unnu Jórunn Harðardóttir o.fl. (2001a, 2001b) við rannsóknir á lónsetinu. Aldur jarðvegsins var ákvarðaður með kolefnisgreiningum og var niðurstaða þeirra sú að gröftur Dimmugljúfra og setlaganna hefði hafist fyrir um 4000 árum og hefði staðið enn fyrir 1800 árum.

Óskar Knudsen og Philip M. Marren (2000 og 2002) könnuðu setlögin, einkum með hliðsjón af setmyndunarumhverfi.

2 Lónset sunnan Kárahnjúka SV, IK

2.1 Fyrri rannsóknir á setinu

Fyrstu jarðfræðirannsóknir á Brúaröræfum tengdust einkum framgangi Brúarjökuls 1890 og 1964. Pálmi Hannesson hefur sennilega verið fyrstur manna til að lýsa setfyllunni sunnan við Kárahnjúka (í dagbókarlýsingum frá 1933 sem gefnar voru út 1958 að honum látnum). Þar kemur fram sú hugmynd að Kárahnjúkar hafi myndast í eldgosi seint á síðasta jökulskeiði og að við það hafi dalurinn stíflast. Innan við berghaftið hafi myndast jökullón framan við hinn hörfandi jökul og fylltist það smám saman af seti. Þó að það sé rétt að þetta sé yngsta gosmyndunin á svæðinu er hún samt miklu eldri en frá síðasta jökulskeiði eða um 180 þúsund ára gömul (Jóhann Helgason & Duncan 2003).

Ingibjörg Kaldal og Skúli Víkingsson (2000 og 2001) gerðu jarðgrunnskort af svæðinu og skoðuðu setfylluna lauslega. Þau fundu 20-30 cm þykkt jarðvegslag með gjóskulögum ofan á jökulárseti efst í lónfyllunni á nokkrum stöðum í lónstæðinu beggja vegna Jöklu (sjá Mynd 2-1).



Mynd 2-1. Jarðvegur milli malarlaga í farvegi austan Jöklu rúmum 3 km norðan við Sauðá eystri (sjá snið 292 á mynd 2-29).

Neðst er óskolað jökulárset. Ofan á því er um 30 cm þykkt jarðvegslag með gjóskulögum og efst er vel skoluð einsleit möl. Á þessum stað fannst jarðvegurinn fyrst sumarið 2000. Sauðafell er í fjarska fyrir miðri mynd og syðri Kárahnjúkur lengst til hægri. Ljósmynd SVIK.

Ofan á jarðveginum liggur vel skolað malarlag. Það þótti benda til þess að eftir að jökullinn var horfinn úr dalnum hafi verið þar lítill vatnagangur, að öllum líkindum einungis bergvatnsá, dalurinn hafi gróið upp og jarðvegur tekið að myndast. Þegar jökullinn tók að stækka verulega á ný síðla á nútíma fór jökulá aftur að renna um dalinn. Af þessu þótti augljóst að Dimmugljúfur tóku ekki að grafast fyrr en löngu eftir að dalurinn hafði fyllst af seti og að gróftur gljúfursins á þessum slóðum hafi ekki hafist fyrr en seint á nútíma eða jafnvel ekki fyrr en fyrir um 2000 árum eða jafnvel enn síðar (Ingibjörg Kaldal & Skúli Víkingsson 2000, 2001). Sú mikla breyting sem varð á afrennslisháttum, og markast af því að malar- og sandlög leggjast yfir jarðvegin, er álitin að hafi orðið við kólnunina miklu fyrir um 2500 árum og kennd hefur verið við upphaf

járnaldar á Norðurlöndum og er í gróðurfarsrannsóknnum kennd við breytinguna úr birkiskeiðinu síðara yfir í mýraskeiðið síðara. Jöklar á háum fjöllum svo sem Snæfelli og Örfæfajökli gengu þá fram (Sigurður Þórarinnsson 1956, 1964 a og b). Ekki er þekkt hvernig útbreiðsla stóru jöklanna var á þessum tíma né hvort þeir hafi gengið fram strax þá, enda varð mesta framsýn þeirra ekki fyrir en í lok níttjándu aldar.

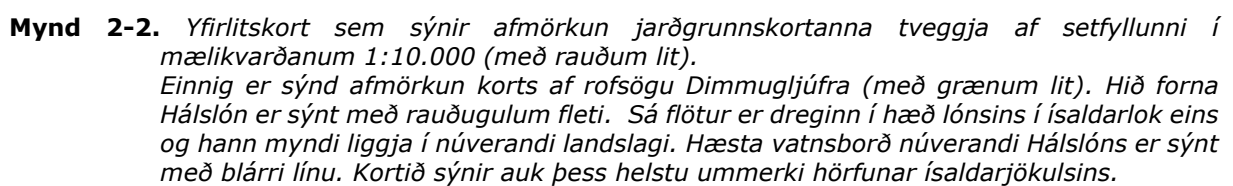
Síðar um sumarið 2000 vann hópur jarðfræðinga einnig við mælingar á lónsetinu vegna mats á umhverfisáhrifum Kárahnjúkavirkjunar (Jórunn Harðardóttir o.fl. 2001a, 2001b). Þeir fundu jarðveginn víðar og létu gera nokkrar ^{14}C -aldursgreiningar á honum. Niðurstaða þeirra var að gróftur setfyllunnar og þar með Dimmugljúfra hefði hafist fyrir um 4000 árum og hefði staðið enn fyrir 1800 árum.

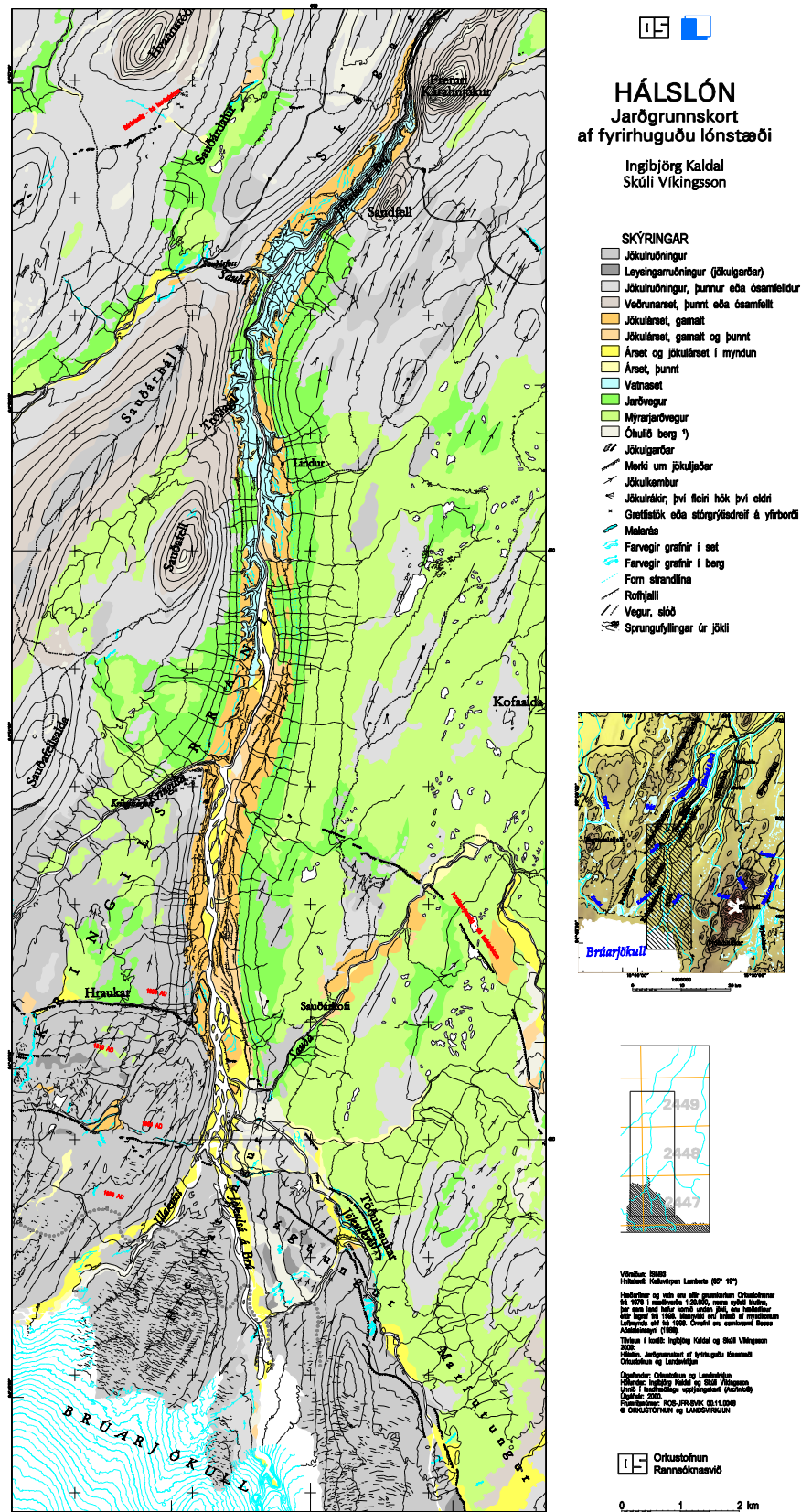
Síðar hefur komið í ljós að þessar aldursákvæðanir voru ónákvæmar. Gjóskulagarannsóknir Guðrúnar Larsen og Bergrúnar A. Óladóttur styðja tilgátu Ingibjargar og Skúla og bæta miklu við hana. Tími sá sem jarðvegur var að myndast (eftir að dalurinn fylltist og áður en ármöl þakti hann) var mun lengri en áður var talið. Það sem mestum tíðindum sætir er þó að eftir landnám voru enn áraur á móts við Fremri-Kárahnjúk og Sandfell og innsti og þrengsti hluti Dimmugljúfra grófst ekki fyrir en á 12. öld (Guðrún Larsen o.fl. 2007). Um þetta er fjallað nánar í kafla 3 um gjóskulagarannsóknir.

2.2 Jarðgrunnskort af lónsetinu

Skýrslunni fylgir kort af setfyllunni í mælikvarðanum 1:10.000. Kortið er í tveimur hlutum eins og sýnt er á yfirlitskorti (Mynd 2-2). Kortið byggir á vettvangsrannsóknnum sem fram fóru sumrin 2005 og 2006. Eins og segir í kafla 2.1 hafði áður verið gert jarðgrunnskort í mælikvarðanum 1:25.000 af umhverfi væntanlegs Háslóns, en það var unnið fyrir Landsvirkjun um síðustu aldamót (Ingibjörg Kaldal & Skúli Víkingsson 2000). Mynd 2-3 sýnir kortið smækkað og nokkuð einfaldað.

Þá voru innviðir setfyllunnar einungis skoðaðir að litlu leyti en nú hefur verið gert mun nákvæmara kort af setfyllunni sjálfri og reynt að koma uppbyggingu hennar til skila á korti.





Mynd 2-3. Einfölduð útgáfa af jarðgrunnskorti af umhverfi Háslóns. Kortið var unnið í mælikvarðanum 1:25.000 um síðustu aldamót (Ingibjörg Kaldal og Skúli Víkingsson 2000).

Vinnuaðferðir í mörkinni

Allir athugunarstaðir voru mældir inn með GPS tæki. Teknar voru stafrænar ljósmyndir af setbökkunum báðum megin Jöklu allt frá stíflustæðinu við Fremri-Kárahnjúk suður fyrir stóra hjallann og jökulgarðinn sem markar framrás Brúarjökuls 1890. Allir myndatökustaðir voru jafnframt mældir inn með GPS tæki. Kortið var hnitað í ArcInfo landupplýsingakerfi, beint á tölvuskjá með aðstoð myndkorta frá Loftmyndum ehf. frá 1998 (höfð sem bakgrunnur á tölvuskjánum), snertimyndapörum (sem myndkortin voru gerð eftir) í eigu Landsvirkjunar, foldarathugunum og síðast en ekki síst stafrænu ljósmyndunum sem teknar höfðu verið við foldarvinnuna.

Grunnkortið

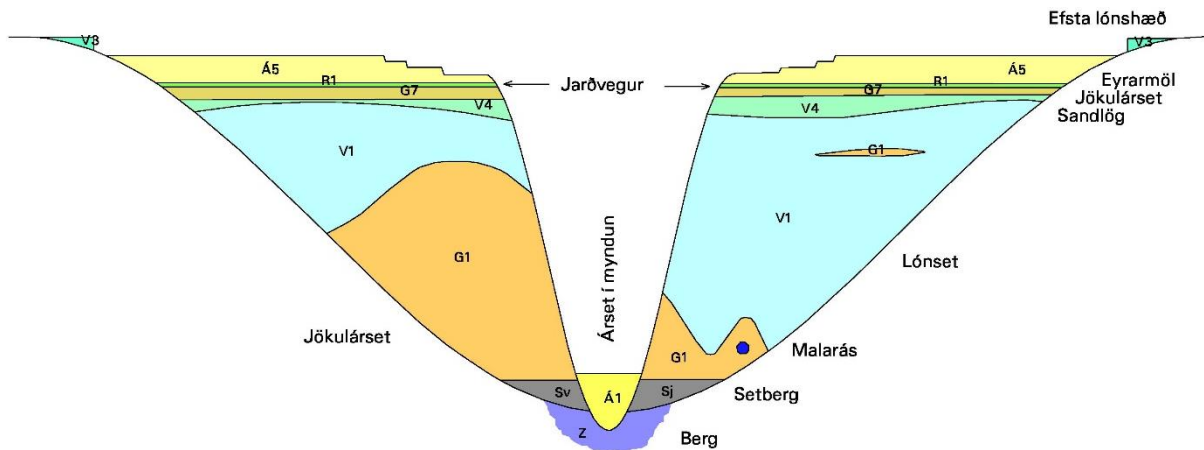
Hæðarlínur grunnkortsins voru gerðar eftir landlíkani Loftmynda ehf., að stofni til því sama og notað var til þess að búa til myndkort úr loftmyndunum sem teknar voru 1998. Uppistaðan í landlíkaninu eru punktar með 10x10 m millibili. Líkanið var síðan bætt með því að hnita á skjá svokallaðar brotlínur, en þar liggja punktar miklu þéttar en í netinu og hægt að velja þeim legu þar sem eru miklar hallabreytingar eins og hjallabrunir, botn, brúnir farvega o.s.frv. Aður hafði þetta einkum verið gert á þeim svæðum þar sem fyrirhuguð voru mannvirki. Utan mannvirkjasvæðanna voru engar aðrar hæðarupplýsingar en hið sjálfvirkt reiknaða net. Vegna þessa verkefnis fékk Landsvirkjun Loftmyndir ehf. til þess að bæta brotlínunum við á slóðum hjalla, strandlína og farvega. Við það batnaði hæðarlínukortið verulega. Loftmyndir ehf. gerðu síðan hæðarlínur með 2 m bili eftir hæðargögnunum svo bættum. Að lokum var landlíkanið notað til þess að bæta inn hæðarlínunum með 1 m bili, þar sem 2 m bil fer ekki vel með 5 m bili. Á kortunum eru sýndar 1 m hæðarlínur í daufum gráum lit, en þar sem þær myndu trufla aðalatriði kortsins of mikið eru þær felldar burtu en 5 m hæðarlínur látnar nægja.

Jarðgrunnskortið

Við gerð jarðgrunnskortsins var stuðst við drög að staðli fyrir jarðgrunnskort (Ingibjörg Kaldal o.fl. 1984). Helstu flokkar sets sem við sögu koma á kortinu eru: Jökulárset sem er táknað með bókstafnum G, vatnaset með V, árset með Á og þurrlendisjarðvegur með R. Berggrunnur er táknaður með bókstafatáknum Z fyrir óflokkað berg, S fyrir setberg o.s.frv. Fleiri flokkar eru í kerfinu en þeir koma ekki við sögu hér. Á kortinu eru einnig sýndir rofhjallar¹, strandlínur (roffprep og/eða smáhjallar) og farvegir sem myndaðir eru við annað rennslismynstur en var fyrir virkjun. Staðsetning sniða í lónfylluna sem fjallað er um í kafla 2.6 og gjóskulagasnið sem koma við sögu í kafla 3 eru sýnd.

Kortlagning sethjallanna í hinu forna Hálslóni í mælikvarðanum 1:10.000 krafðist mun meiri sundurgreiningar sets en venja er að viðhafa þegar laus jarðlög (jarðgrunnur) eru kortlögð í minni mælikvarða. Flokkunin byggist á uppruna setsins. Þar sem upphleðsla sets er einföld getur uppruni, kornastærð, aldur o.s.frv. haldist nokkuð í hendur. Í sethjöllunum er þetta allmiklu flóknara. Jökulársetið er t.d. flokkað í 3 flokka eftir aldri, lónssetið bæði eftir aldri og grófleika og ársetið eftir aldri. Mynd 2-4 sýnir mjög einfaldað, samsett þversnið af uppbyggingu setsins í dalnum til skýringar á þessari flokkun og aldursröðun.

¹ Hér þýða rofhjallar það sem myndast þegar á grefur sig niður og skilur eftir hjalla á víð og dreif niður hlíðina. Þetta er mest áberandi á mótis við Kringilsá og þar fyrir innan.



Mynd 2-4. Einfaldað samsett snið sem sýnir uppbyggingu setfyllunnar og afstöðu seteininga sem sýndar eru á kortum 1-2 (í vasa).

Einungis er um skýringarmynd að ræða. Sniðið er ekki af ákveðnum stað í dalnum og má því allt eins spegla. Einingunum er lýst einni af annarri í aldursröð í eftirfarandi köflum.

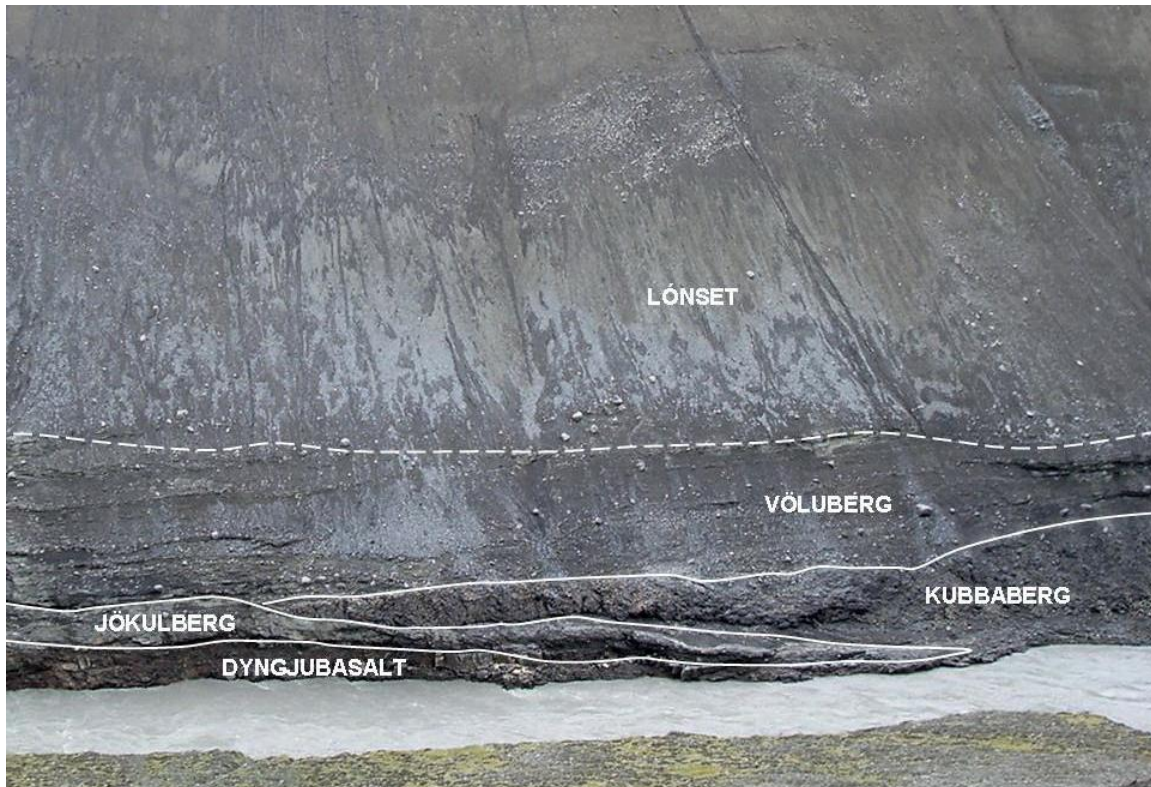
2.3 Lýsingar á einingum kortsins

Hér á eftir verður einingum kortsins lýst í aldursröð og byrjað á þeirri elstu. Bókstafatákn í sviga eru þau sömu og notuð eru á kortunum þremur (í vasa).

Berggrunnur – Z, Sv og Sj

Berggrunnur svæðisins er ekki umfjöllunaratriði þessarar skýrslu en hefur verið kortlagður af fjölmörgum jarðfræðingum á undanförunum áratugum (Ágúst Guðmundsson 1995, 1996, Árni Hjartarson & Elsa G. Vilmundardóttir 1998, Bessi Aðalsteinsson & Helgi Torfason 1992, Jóhann Helgason & Duncan 2003, Kristján Sæmundsson & Haukur Jóhannesson 2005). Á kortinu er greint á milli *ósundurgreinds berggrunns* (Z), aðallega basaltþyngju og móbergs, og *jökulbergs* eða *völubergs* (Sj, Sv) sem víða liggur ofan á gosbergi en tilheyrir berggrunninum. A.m.k sum þeirra setbergslaga ganga inn í berggrunninn, svo þau eru augljóslega eldri en frá upphafi nútíma, eða frá því að jökull hörfaði, sem er umfjöllunarefni þessa verks (Mynd 2-5).

Í venjulegu sumarrennsli Jöklu sást samfelld í berggrunninn undir setfyllunni alla leiðina frá Dimmugljúfrum suður á móts við suðurenda Sauðafells þar sem hann hvarf í árset. Berggrunnur stakk síðan aftur upp kollinum rúmlega kílómetra norðan við ármót Kringilsár og Jöklu, og sást þar samfelld á um 2-3 km löngum kafla (Mynd 2-6). Enn sunnar var hann að mestu hulinn árseti nema á um kílómetra kafla skammt norðan við Hrauka (jökulgarðinn frá mestu framrás Brúarjökuls á nútíma um 1890).



Mynd 2-5. Berggrunnur undir lónsetinu í Sandskeiði vestan Jöklu.

Á myndinni sést hvernig jökulbergslag, sem rekja má nokkurn spöl beint undir setbakkanum, gengur inn á milli dyngjubasalts og kubbabergs og því augljóslega eldra en frá síðasta jökulskeiði. Ljósmynd SVIK.



Mynd 2-6. Skammt norðan við ármót Kringilsár og Jöklu stendur basalt upp úr árseti á 2-3 km löngum kafla. Syðri Kárahnjúkur sést í fjarska. Ljósmynd SVIK.

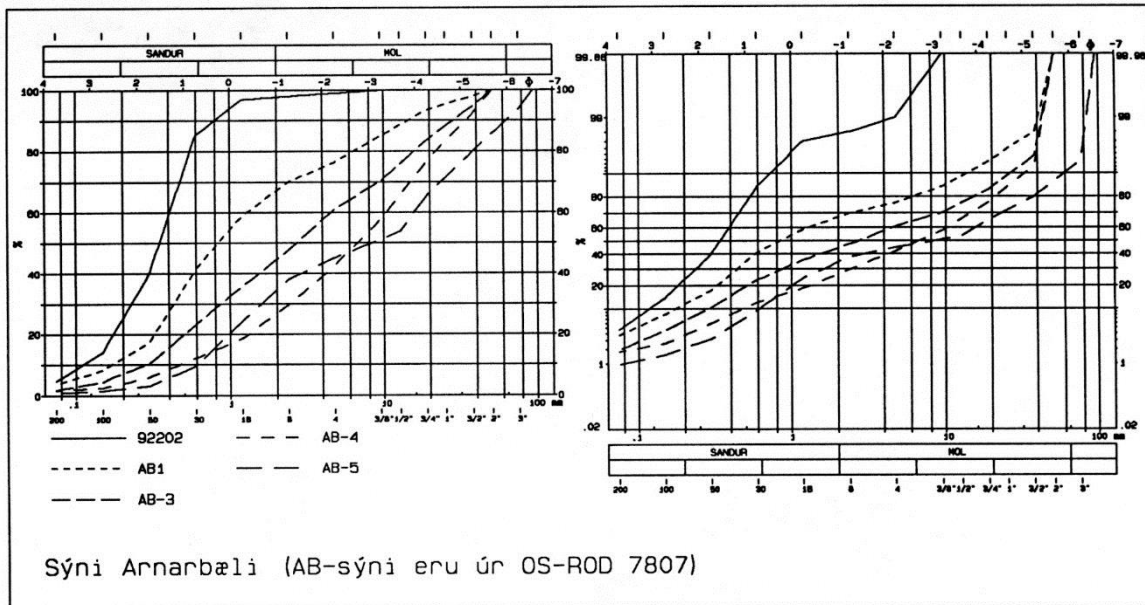
Jökulárset – G1

Víðast í botni hins U-laga, jökulsorfna dals sunnan Kárahnjúka er misgróft jökulárset frá upphafi nútíma sem myndaðist þegar ísaldarjökullinn var að hörfa suður dalinn (G1). Þykkast er jökulársetið næst miðjum dalnum, en þynnist til hliðanna. Stærstu hrúgurnar eru í norðurhluta setfyllunnar, á mótis við norðurenda Sandskeiðs (Mynd 2-7 og kort 1), á mótis við mitt Sandskeið og í Horni. Víða er þessi eining 20-30 m þykk og enn þykkari á stöku stað. Setið í þessum hrúgum er dæmigert jökulárset, þar sem skiptast á mjög gróft efni með stórum, ýmist grunnbornum eða kornbornum hnullungum, og malarrík lög. Fínasta efnið eru oftast sandríkar, lagskiptar linsur. Yfirborð jökulársetsins er mjög mishæðótt. Þótt ekki sé augljóst af setinu sjálfu hvort þar er um myndunarform eða rofform að ræða, má gera ráð fyrir að rof hafi ekki orðið á þessum skilum þar sem þau eru lægri en þröskuldurinn sem vatnið þurfti að renna yfir. Roð hefur að sjálfsögðu getað orðið undir jökli, en að öllum líkindum er hér að miklu leyti um að ræða set sem jökulvatnið setti af sér undir jöklinum og við jaðar hans sem eins konar óseyri, en náði ekki að flytja burtu yfir þröskuldinn. Þykkustu hrúgurnar hafa myndast þar sem jökullinn hafði einhverja viðstöðu eða hörfaði hægt (dauðis). Á nokkrum stöðum í þessari einingu fundust ótvíræð merki um malarása í botni hins forna dals og er þeim lýst nánar í kafla 2.7. Þarna eru opnur þó ekki nógu góðar til þess að ásaformið komi vel fram, ólíkt því sem er innar á dalnum, en þar má rekja ásana drjúgan spöl.



Mynd 2-7. Þykkir bunkar af jökulárseti ofan á dyngjubasalti og kubbabergi skammt sunnan Kárahnjúkastíflu. Setið myndaðist undir eða við jökuljaðar. Ofan á því er hið eiginlega lónset, sem sést sem móbrúnn flái ofarlega. Gráa efnið allra efst er skolað árset – „hreina mölin“ (Á5). Horft til suðausturs. Ljósmynd SVIK.

Efnið er eins og slíku efni er gjarnt, mjög misleitt (heterogent) að kornastærð. Iðulega eru í malarásum stórgrýtishnallungar umfluktir mól og sandi. Sýnataka er þess vegna annmörkum háð þótt unnið sé með stórrí gröfu. Sýni frá Arnarbæli á Jökuldal (Pálmi R. Pálmason & Sveinn Þorgrímsson 1978) er mjög dæmigert fyrir slíkt efni. (Mynd 2-8).

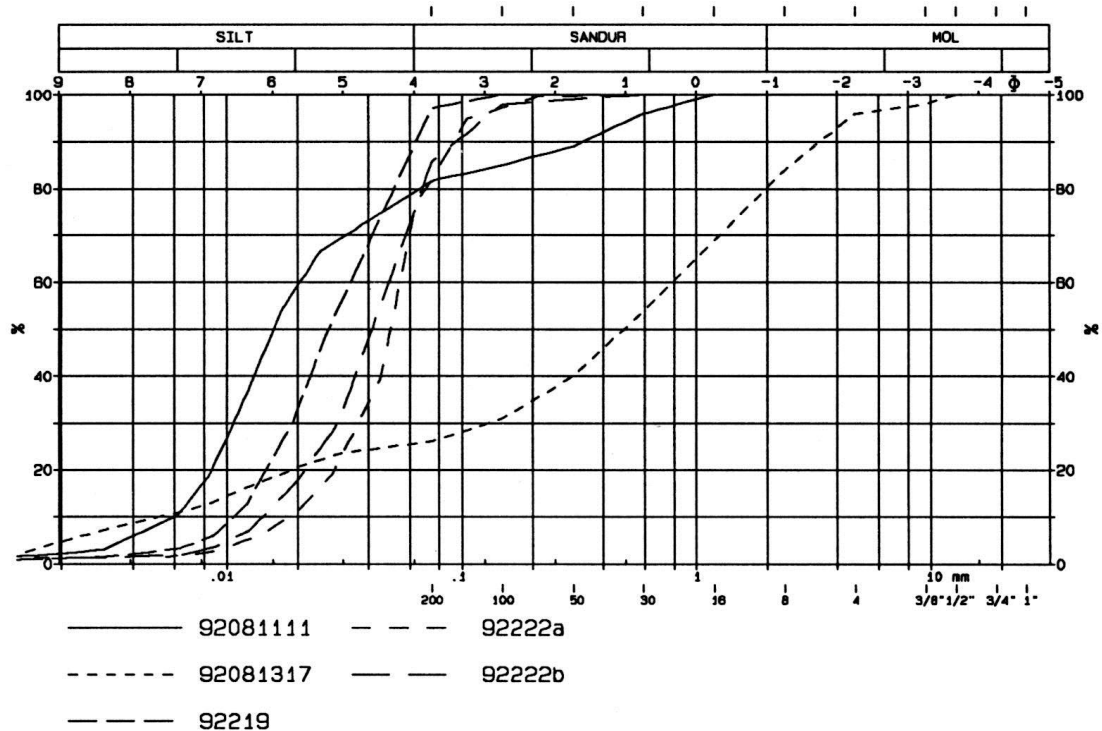


Mynd 2-8. Kornastærðargreiningar af jökulárseti frá Arnarbæli á Jökuldal.

Lónset – V1

Ofan á jökulársetinu liggur hið eiginlega lónset (V1) sem myndaðist þegar jökullinn hörfaði lengra frá þröskuldinum við Kárahnjúka og lónið dýpkaði. Meginhluti þessa hluta setfyllunnar er lagskipt silt sem er misríkt af fínsandi. Milli hreinni silt laga er mikið um fín- og millisendin lög sem skera sig vel frá siltinu. Yfirleitt eru þessi sendu lög örpunn eða innan við 1 cm. Flest þeirra eru vafalítið mynduð að sumri til, þegar vatnsstreymi hefur verið meira um lónið og aurburður grófari. Fínni lögin eru í flestum tilfellum mynduð að vetri til, jafnvel við það að aurburður settist til í lóninu undir ís. Óskar Knudsen gerði tilraun til að mæla slík lög nákvæmlega í 11 m sniði og mældi þar 83 lagpör (Óskar Knudsen & Marren 2000). Hvort um eiginleg hvarflög (þ.e. árslæg) er að ræða skal ekki fullyrt hér.

Ekki er hlaupið að því að greina þetta efni til kornastærðar. Á árunum upp úr 1990 voru gerðar töluverðar byggingarefnisrannsóknir við Jöklu vegna hugsanlegra virkjanaframkvæmda (Skúli Víkingsson & Þórólfur H. Hafstað 1992a, 1992b og 1993). Þar sem lónsetið er fínast kom lítið út úr greiningunum þar sem kornin voru mjög samlímd og setið hart. Þau sýni sem ekki voru köggluð sýndu 75 til 90 % fínefni, en greiningin á því sýndi mjög litla dreifingu (mikla flokkun). Köggluðu sýnin (92081111 og 92081317) gáfu engan nothæfan kornastærðarferil en þó má sjá að þau innihalda meira af fínefni en óköggluðu sýnin. Sand- og malarinnihald sem ferlarnir gefa til kynna eru hins vegar vegna köggla en í sýnunum var engin mól og lítill sem enginn sandur (Mynd 2-9).



Mynd 2-9. Sýni af lónseti (silt og sandur) undir mölinni á Sandskeiði.

Sýnin eru öll meira og minna köggluð nema 92222 sem var rakt. Það var greint bæði í setvog OS (92222a) og með hýdrómetar á Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins (92222b), eins og hin sýnin.

Sums staðar leggjast lagskiptu siltlögin beint ofan á jökulárset eða berggrunn, en annars staðar eru neðstu metrarnir úr grófara efni, þ.e. nær eingöngu úr sandi af ýmsum kornastærðum og jafnvel þunnum fínmalarlögum. Þessi lög eru að öllum líkindum mynduð í jökulnánd. Fínni lögin hafa aftur á móti myndast þegar jökullinn hafði hörfað sunnar í dalinn.

Lónsetið er þykkast nyrst í lónskálinni þar sem þykktin er sums staðar hátt í 50 m eins og t.d. víða undir Sandskeiði. Lónið hefur verið langt og mjótt. Breiðast virðist það hafa verið um 900 m nálægt Sauða en mjóst um 350 m við Fremri-Kárahnjúk. Syðsta opna í siltlögin fannst um 800 m sunnan við ármót Kringilsár og Jöklu. Þar fyrir sunnan er eingöngu grófara jökulárset að finna. Lónið hefur af því að dæma verið um 14 km langt.

Víða mátti glögglega sjá hvernig lónsetið lagar sig að undirlaginu þ.e. jökulársetinu í botni dalsins, sem er eins og fyrr segir mjög mishæðótt. Lagskiptingin í því fylgir yfirborði undirlagsins, sem bendir til mikils botnskriðs ("underflow") sem aftur bendir til jökulnándar (Benn & Evans 1998). Þetta var t.d. mjög greinilegt norðantil í Horni (Mynd 2-10 og Mynd 2-36) og skammt norðan við Tröllagil, þar sem siltið hefur lagst ofan á malarása (Mynd 38 og Mynd 39). Víða eru fallsteinar („dropstones“) í siltinu sem bráðnað hafa úr ísjökum sem brotnuðu úr jökuljaðrinum og flutu niður eftir lóninu (Mynd 2-11). Einnig mátti víða sjá hvernig lögin eru aflöguð af ýmsum ástæðum. Oftast er þar líklega um afleiðingar jarðskjálfta



Mynd 2-10. Norðanvert Horn.

Þar mátti sjá hvernig lagskipting í lónsetinu lagar sig að undirliggjandi landslagi, þ.e. misþykku jökulársetinu. Sjá einnig á Mynd 2-36 þar sem skilin milli eininga eru dregin inn á myndina. Ljósmynd SVIK.



Mynd 2-11. Fallsteinar í lónsetinu. Þeir hafa bráðnað úr ísjökum sem brotnuðu úr jökuljaðrinum og flutu á lóninu. Ljósmynd SVIK.



Mynd 2-12. Aflögun siltlaga í bökkum suðaustan undir Sauðafelli.
Hugsanlega er þessi aflögun af völdum jarðskjálfta, en hún er bundin ákveðnum lögum og má rekja hana nokkurn spöl. Ljósmynd SVIK.



Mynd 2-13. Misgengi í sandlögum skammt frá Lindum. Líklega eru þau mynduð við skrið setsins undan halla. Ljósmynd SVIK.

að ræða og hefur þá stífni laganna, vatnsmettun og styrkur jarðskjálftanna ráðið mestu um með hvaða móti lögin hafa aflagast. Dæmi um slíka aflögun eru sýnd á Mynd 2-12. Annars staðar mátti sjá lítil misgengi sem oftast eru mynduð við skrið undan halla og þunga ofanálíggjandi laga (Mynd 2-13). Á stöku stað sást einnig hvernig grófara og þyngra set hefur sokkið ofan í fínkornaða setið eins og sjá má á Mynd 2-14.



Mynd 2-14. Hér má sjá hvernig grófari og þynгри sandlög (rauða örin) hafa sokkið ofan í fínkornaðra silt. Ljósmynd SVIK.

Fyrri rannsóknasumarið var nokkur áhersla lögð á að leita að gjóskulögum í lónsetinu, sem hugsanlega gætu nýst sem leiðarlög. Sum fyrrnefndra sandlaga eru mjög gjóskurík og vafalítið gjóskulög að uppruna en önnur ekki. Umfjöllun um gjóskulögin í lónsetinu er í kafla 2.5.

Lónset, sandlög – V4

Efstu metrar lónsetsins eru víða úr lagskiptum sandi með bylgjuförum sem mynduðust þegar lónið var að fyllast af seti í grunnu vatni (V4). Annars staðar vantar þessi efstu sandlög alveg. Þetta mátti t.d. sjá í sniði 300 sunnan við Lindur (Mynd 2-30).

Í bugnum norðan við ármót Sauðár vestari og Jöklu eru miklir bunkar af sandi ráðandi í stað fína lagskipta lónsetsins (Mynd 2-15. og Mynd 2-28). Þessi sandlög eru óseyri sem myndaðist þar sem Sauðá rann út í lónið. Þegar Jökla gróf sig niður í setið, grófst sandurinn mun auðveldar en siltið og stór hvammur myndaðist utan við Sauðá. Áður en farið var að safna vatni í Háslón, var brú yfir Jöklu yst í þessum hvammi. Leifar af sandinum frá Sauðá mynda eins konar fleyg inn í stóra hjallann, sem kallaður hefur verið Sandskeið. Sumarið 1993 voru gerðar rannsóknir á setinu í Sandskeiði með hugsanlegt byggingarefni í huga, eins og fyrr er nefnt. Ofan á sandinum og lónsetinu var malarlag („hreina mölin“, Á5 á kortinu), sem var allt nýtt í stíflumannvirki. Nokkur sýni voru tekin úr sandinum árið 1993 (Skúli Víkingsson og Þórólfur Hafstað 1993) og voru þau kornastærðargreind. Þessi sýni voru öll tekin úr bökkunum nema eitt sem var tekið inni á hjallanum þar sem eyramölin (hreina mölin) huldi sandinn ekki.



Mynd 2-15. Í hvamminum norðan við Sauðá voru góð snið í óseyri sem myndaðist við að Sauðá bar mikinn sand inn í hið forna lón. Ljósmynd SVIK.

Kornadreifing reyndist mjög svipuð. Efnið er fíngert og lítil kornadreifing (þ.e. mikil kornastærðarflokkun). Meðalkornastærðin liggur mjög nálægt mörkum sands og silts og nokkur sýnanna lentu að meiri hluta siltmegin þeirra marka. Ekki voru tök á því að meta hvernig þessir kornastærðareiginleikar dreifast í setinu, en þó virtist sem setið yrði að jafnaði siltríkara nálægt botni, en auk þess voru siltrík lög hér og hvar í setinu.

Efstu lónhjallar – V3

Efstu malarhjallar við Sauðá eru augljóslega hluti óseyrar. Þeir eru í hæð við brimþrepið sem markar efsta vatnsborð í dalnum. Hjallarnir eru langir og mjóir. Þeir teygja sig nokkur hundruð metra út frá Sauðá til beggja átta meðfram hlíðinni (Mynd 2-16). Áin hefur augljóslega lagt til efni við myndun þeirra en lögun þeirra ber hins vegar ekki keim af venjulegri óseyri heldur teygjast þeir alllangt meðfram hlíðinni. Sandbunkarnir í lónsetinu utan við Sauðá eru líklegast myndaðir samtímis. Ástæða þess að óseyrin er svona teygð með hlíðinni gæti verið að jökull hafi verið í dalnum á meðan óseyrin myndaðist og efni tengt henni hafi því leitað meðfram jöklinum í báðar áttir.

Slíka hjalla (V3) er auk þess að sjá á svæðinu þar sem Kárahnjúkastífla er nú og áfram nokkur hundruð metra norðan hennar vestan megin í dalnum. Einnig á stuttum kafla við suðurenda Sandfells austan ár.

Efnið í þessum hjöllum er mestmegnis lagskipt möl, mest í fín- og millimalarflokkum, og grófur sandur (Mynd 2-17). Þessir hjallar marka efsta vatnsborð lónsins.



Mynd 2-16. Horft vestur yfir Jöklu að Sauðá, þar sem hjallar marka efsta vatnsborð gamla lónsins. Sjá einnig Mynd 2-17. Ljósmynd SVIK.



Mynd 2-17. Lagskipt möl og grófur sandur í efstu hjöllum sunnan Sauðár vestari (sjá líka Mynd 2-16). Ljósmynd SVIK.

Efra jökulárset frá hörfunarskeiði Ísaldarjökulsins – G7 óhreina mölin

Þessi malaréining (G7) fékk vinnuheitið „óhreina mölin“ til aðgreiningar frá „hreinu mölinni“ eða eyramölinni (A5) sem fjallað er um hér fyrir aftan. Þessi tvö malarlög eru víða aðgreind af jarðvegslagi (R1), en eru auðsundurgræinanleg þótt enginn sé jarðvegurinn á milli (Mynd 2-18). Þegar Ísaldarjökullinn hafði hörfað suður úr dalnum fylltist lónið smám saman af seti sem leysingarvatnið frá honum bar með sér í miklum mæli. Enn var jökulgormur í vatninu sem áberandi siltklíningur á mól og steinum ber vott um – þar af nafnið.

Á móts við miðjan Kringilsárrana, t.d. í syðsta sniðinu (292 á Mynd 2-29) er þessi eining um 9 m þykk. Hún þynnist til norðurs og er víða um 2-4 m þykk. Nyrstu ummerki eru skammt norðan við Tröllagil þar sem óhreina mölin virðist vera að deyja út (Mynd 2-18). Hún fannst ekki í Horni eða neins staðar norðan þess. Ekki er hægt að sýna eininguna (G7) á kortunum nema þar sem hún er þykkust.



Mynd 2-18. Skilin á milli jökulársets með siltklíningi og skolaðs ársets.

Skammt norðan við Tröllagil mátti glögglega sjá skilin á milli jökulársets með siltklíningi, sem er efsta seteiningin í hinu forna lóni (G7), og skolaðs ársets sem fyllti dalinn á Mýraskeiðinu hinu síðara (A5). Víða annars staðar í dalnum var jarðvegur á þessum skilum. Ljósmynd IK.

Jarðvegur milli malarlaga – R1

Þegar unnið var við gerð jarðgrunnskortsins sumarið 2000 fannst jarðvegur á nokkrum stöðum beggja vegna Jöklu milli laga (Ingibjörg Kaldal & Skúli Víkingsson, 2000 og 2001 Jórunn Harðardóttir o.fl. 2001a, 2001b). Nánar tiltekið er jarðvegurinn ofan á fyrrnefndu jökulárseti („óhreinu mölinni“) og undir vel skolaðri ármöl sem lýst er í næsta kafla („hreinu mölinni“) sjá Mynd 2-29. Víða var jarðvegslagið um 20-30 cm þykkt, sums staðar með gjóskulögum en annars staðar vantaði þau. Þykkast fannst þetta lag norðan við Tröllagil þar sem lagið er um 2 m þykkt með fjölda gjóskulaga, sjá kafla 3 um gjóskulagarannsóknir og tímatal. Víða á mörkum jökulársetsins og efsta malarlagsins er einungis um jarðvegsklíning að ræða eða að efsti hluti jökulársetsins sé litaður af mýrarrauða. Annars staðar eru engin ummerki um jarðveg en mörkin milli malarlaganna samt augljós eins og sjá má á Mynd 2-18. Erfitt er að sýna þetta þunna lag á kortinu, en það er gert með grænni línu á þeim stöðum þar sem lagið fannst. Vestan undan stóra hjallanum framan við jökulgarðinn frá 1890 hefur skolast ofan af jarðvegslaginu svo að það liggur á yfirborði á rúmlega 100 m kafla meðfram læk sem hefur skorist þar niður (Mynd

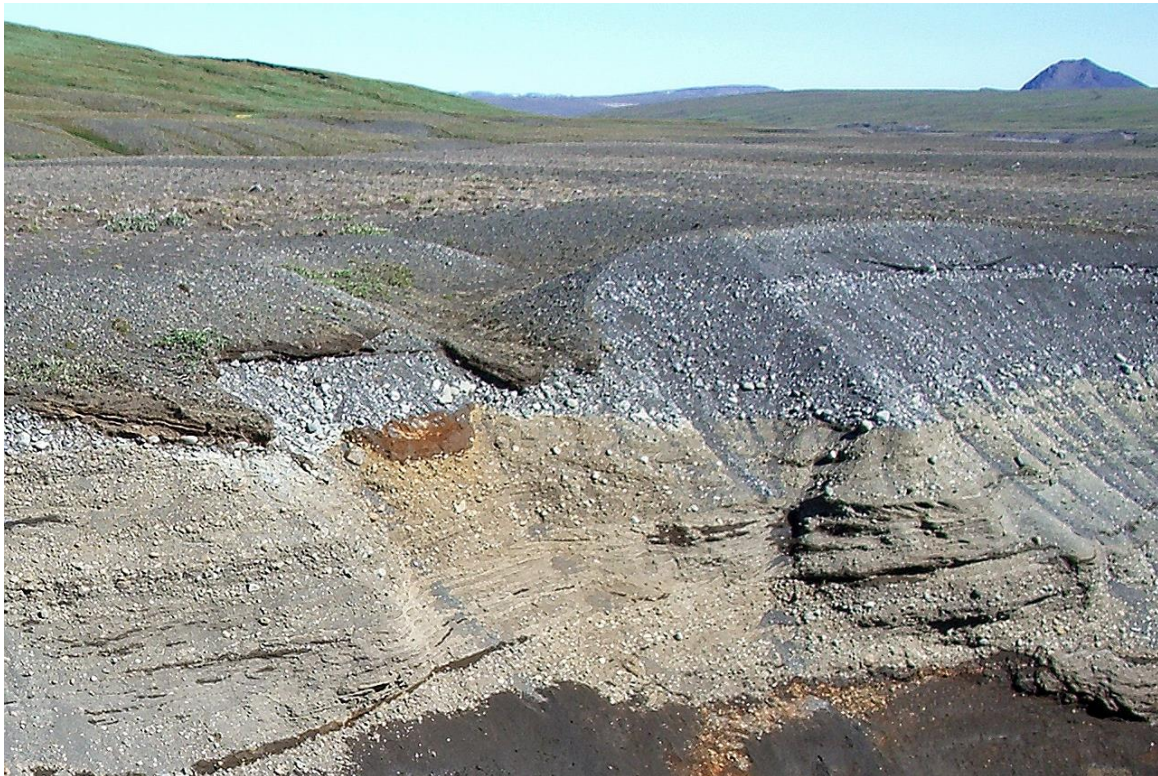
2-19). Nyrsti fundarstaður jarðvegslagsins er skammt norðan við Tröllagil og fannst það víða þaðan, báðum megin Jöklu, alla leið suður að stóra hjallanum við jökulgarðinn frá 1890, þar sem gott snið var að finna (sjá kafla 3). Jarðvegur milli laga og óhreina mölin finnst hvorugt norðan Tröllagils. Hugleiðingar um þetta eru í kafla um túlkun aftar í þessu riti. Jarðvegurinn var sýnu rýrari austan ár sunnan við Lindur og ekki fundust góð snið á því svæði. Sums staðar mátti sjá hvernig jarðvegur safnaðist í lægðir eða farvegi í jökulársetið en ógróið var í kring (Mynd 2-20). Jarðvegurinn litar efsta hluta jökulársetins oft af mýrarrauða eins og lýst er hér að framan og sá hluti setsins hefur í allmörgum tilvikum harðnað og stendur út úr mölinni. Í nokkrum tilvikum sjást slík lög á loftmyndum. Slíkar upplýsingar gáfu vísbendingar um útbreiðslu jarðvegs en ekki um þykkt hans. Hugmyndir um þetta eru í kafla 5 um túlkun atburða.



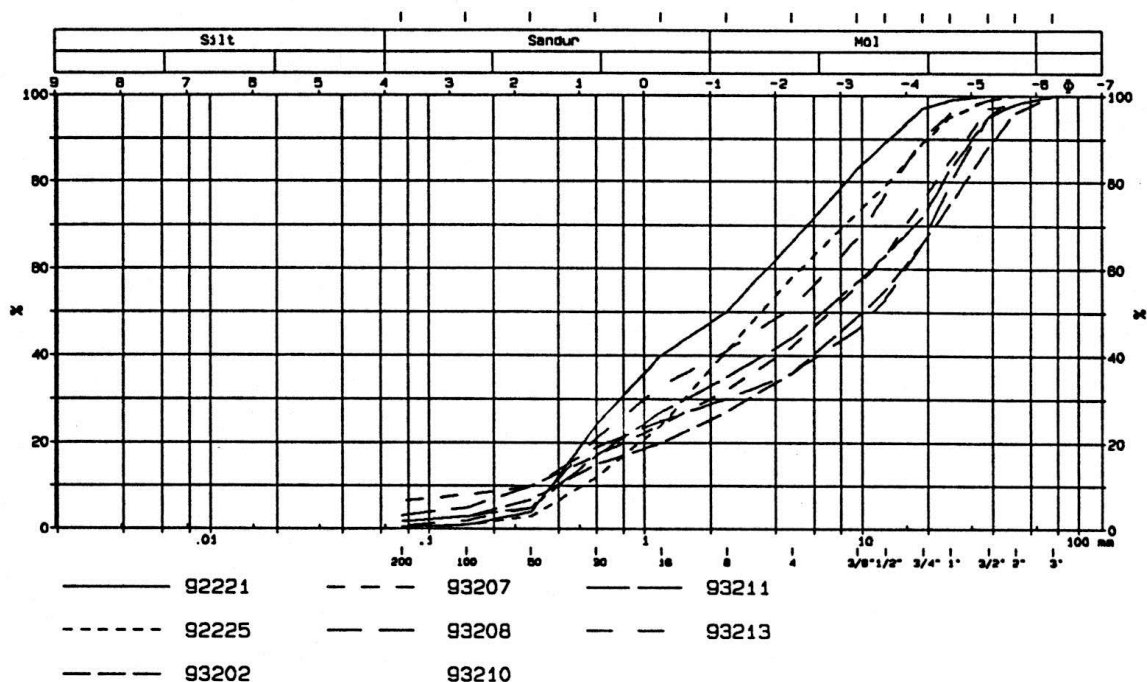
Mynd 2-19. Í stóra hjallanum rétt norðan við jökulgarðinn frá 1890 sést vel hvernig jarðvegurinn liggur milli hreinu og óhreinu malarlaganna en hægra megin á myndinni hefur hreina mölin rofist ofan af, svo að jarðvegurinn liggur í yfirborði. Ljósmynd SVIK.

Árset efst í lónfyllunni – hreina mölin - Á5

Stærsti samfelldi hjallinn er Sandskeið vestan Jöklu gegnt Sandfelli. Hann er um 0,8 km² að stærð. Efsti hluti hans var gerður úr eyramöl (hreinu mölinni – Á5) og yfirborðið fagurlega sett farveganeti og sýndi glögglega hvernig efnið myndaðist. Þessi möl var helsta steypuefnisnáma Kárahnjúkastíflu. Hún myndaði aðeins nokkurra metra þykkt lag. Með cobraborun var það áætlað rétt rúmir 3 m að meðaltali og yfir 2 milljónir m³ (Skúli Víkingsson & Þórólfur H. Hafstað 1993). Innst á þessum stóra hjalla er efnið undir eyramölinni sendið. Skýringin er sú að Sauðá bar mikið af sandi út í lónið á myndunartíma setsins eins og lýst er hér að framan og sést á Mynd 2-15. Þegar Jökla gróf sig ofan í setið grófst sandurinn mun auðveldar en siltið og stór hvammur myndaðist utan við Sauðá. Töluvert af malarefni var í hvamminum. Hluti þess jafnaðist nokkuð út sem eyrar neðan við hjallahæð Sandskeiðs. Þessi eyramyndun stöðvaðist við að Jökla gróf sig niður í berg og Sauðá elti hana. Malarefnið þarna var nýtt í framkvæmdir og í námum sást að undir eyramölinni var óreglulega lagskipt, að hluta til gróf möl sem virtist tengjast hugsanlegum malarás sem gengur neðst inn í hjallann Sandskeið. Sjá snið 261 á Mynd-28.



Mynd 2-20. Skammt frá sniði 316 um 1½ km utan við ármót Kringilsár mátti sjá hvernig jarðvegur myndaðist í lægðum en náði ekki að festa á sléttu landi. Glögggt má sjá skilin milli „óhreinu“ og „hreinu“ malarinnar. Ljósmynd SVIK.



Mynd 2-21. Kornastærðargreiningar af mól og sandi af yfirborði Sandskeiðs (hreina mölin, Á5).

Af hreinu mölinni voru tekin 8 sýni og kornastærðargreind árin 1992 og 1993 (Skúli Víkingsson og Þórólfur H. Hafstað 1993) sjá Mynd 2-21. Malarinnihaldið er 25-45%, fínefni nær ekkert og sandurinn nær allur í grófari kantinum. Fínsandur í efni á heiðum uppi er mjög oft brún- eða gulleitur, enda mikið af kornunum komið úr móbergsgleri. Við það að fínsandinn vantar verður

yfirbragð efnisins dekkra og virkar hreinna. Eiginleikar og útlit þessa efnis er mjög dæmigert fyrir vel þvegið árset. Þessir eiginleikar benda einir og sér til þess sama og sú saga sem lesa má úr legu þessa efnis. Þetta eru eyrar sem lagst hafa yfir jarðveg langt frá jökli. Þegar áin gróf sig niður í mölina mynduðust rofhjallar neðar í hlíðinni. Slíka hjalla er jafnan ekki hægt að rekja langar leiðir hvern um sig heldur hefur áin skilið eftir smábút hér og annan þar eftir því sem hún gróf sig lengra niður. Þar sem hún gróf í fínna efni urðu engir slíkir rofhjallar til þar sem malarefni til þess skorti.

Árset í myndun – Á1

Þessi eining á kortinu sýnir árset í myndun í farvegi Jöklu fyrir áfyllingu Háslóns. Alla leiðina frá stíflustæðinu við Kárahnjúka suður á móts við stóra hjallann við suðurenda Sauðafells rann Jökla á klöpp. Á þessum kafla voru boðaföll og flúðir í ánni, en þær benda til þess að áin hafi enn verið að grafa sig niður. Mynd 2-22 sýnir straumkast skammt norðan við Lindur. Þar fyrir sunnan breikkaði farvegurinn og árset settist til, en er líklega ekki mjög þykkt því rúmlega kílómetra norðan við ármót Jöklu og Kringilsár stakk klöppin aftur upp kollinum og sá í hana af og til upp úr áreyrum í breiðum farvegi Jöklu alla leiðina suður að stóra hjallanum við jökulgarðinn frá 1890 (sjá Mynd 2-23). Ársetið var dæmigert árset fyrir jökulá - kornastærðir mest sandur og mól með hnallungum.



Mynd 2-22. Straumkast í Jöklu skammt norðan við Lindur. Ljósmynd SVÍK.



Mynd 2-23. Ármót Kringilsár og Jöklu. Þarna rann Jökla um breiðar eyrar en efst til vinstri má sjá basaltklappir standa upp úr ársetinu. Ljósmynd SVIK.



Mynd 2-24. Horft suður yfir hjallana. Rauða örin bendir á meginbrimþrepið ofan við Horn. Ljósmynd SVIK.

2.4 Sýnataka

Tafla 2-1 sýnir sýni sem tekin voru sumarið 2005. Þá beindist sýnataka einkum að gjóskulögum í lónsetinu (sjá nánari umfjöllun í kafla 2.5 um gjóskulög í lónsetinu).

Tafla 2-2 sýnir sýni sem tekin voru sumarið 2006. Þá voru tekin allmörg sýni úr hinum ýmsu einingum, en þó einkum finni hluta lónsetsins. Á sniðum í kafla 2.5 má sjá hvar flest þeirra eru tekin. Sýnin hafa ekki verið kornagreind en verða geymd ef óskað verður eftir frekari úrvinnslu

þeirra í framtíðinni. Ekki voru tekin sýni úr jökulársetinu sem er neðst, né heldur mölinni í yfirborði, því hún var rannsökuð ítarlega þegar byggingarefni var kannað á fyrstu stigum rannsókna vegna Kárahnjúkavirkjunar.

Kornastærðargreiningar hafa verið gerðar á töluverðum fjölda sýna ef allt er talið. Það hefur þó ekki verið gert sérstaklega í tengslum við þetta verkefni, enda ekki talið að það myndi bæta við miklum upplýsingum. Sumt af því seti sem myndar setfylluna er mjög óaðgengilegt til að mæla kornastærðardreifingu (sjá kafla 2.3 um einstakar einingar kortsins) eða ill-kornastærðargreinanlegt.



Tafla 2-1. *Sýni tekin sumarið 2005*

Sýnisnr.	Dags.	Staður	Lýsing	Eining	Sniðnr.
136	20050813	Sunnan Fremri Kárahnjúks - austan Jök	Meint gjóskulag - dökkur, léttur sandur	Í siltríku lónseti	136
140	20050813	Sunnan Fremri Kárahnjúks - austan Jök	"Steingert" meint gjóskulag	Í siltríku lónseti	136
142	20050813	Sunnan Fremri Kárahnjúks - austan Jök	Svartur sandur með bylgjuförum	Ofan á lónseti	
146-a	20050813	Horn - austan Jöklu	Meint gjóskulag - um 6 cm - dökkt, lagskipt. Efnagr.	Í siltríku lónseti	399
146-b	20050813	Horn - austan Jöklu	Meint gjóskulag - um 6 cm - dökkt, lagskipt. Efnagr.	Í siltríku lónseti	399
146-c	20050813	Horn - austan Jöklu	Meint gjóskulag - um 6 cm - dökkt, lagskipt. Efnagr.	Í siltríku lónseti	399
146-d	20050813	Horn - austan Jöklu	Meint gjóskulag - um 1 cm - dökkt - ofan við 146 a-c	Í siltríku lónseti	399
146-e	20050813	Horn - austan Jöklu	Sandur	Undir lónseti	399
146-f	20050813	Horn - austan Jöklu	Siltborinn sandur	Undir lónseti	399
148-a	20050813	Horn - austan Jöklu	Gulbrúnn siltríkur sandur	Efst í lónseti	399
148-b	20050813	Horn - austan Jöklu	Grár fínsandur	Efst í lónseti	399
172-a	20050814	Neðan við Tröllagil - vestan Jöklu	Meint gjóskulag - 4-6 cm - dökkt, ólagskipt. Efnagr.	Í siltríku lónseti	387/172
172-b	20050814	Neðan við Tröllagil - vestan Jöklu	Meint gjóskulag - 0,5-1 cm - grænbrúnt - neðan við a. Efr	Í siltríku lónseti	387/172
172-c	20050814	Neðan við Tröllagil - vestan Jöklu	Meint gjóskulag - 0,5-1 cm - dökkt - neðan við b. Efnagr.	Í siltríku lónseti	387/172
174	20050814	Neðan við Tröllagil - vestan Jöklu	Silt	Siltríkt lónset	
210	20050815	Suðurendi Sauðafells - vestan Jöklu	Meint gjóskulag - sendið, dökkt	Í siltríku lónseti	



Tafla 2-2. *Sýni tekin sumarið 2006.*

Sýnisnr.	Dags.	Staður	Lýsing	Eining	Sniðnr.
301-1	20060723	Sunnan við Lindur - austan Jöklu	Sandur	Neðst í lónseti	300
301-2	20060723	Sunnan við Lindur - austan Jöklu	Méluborinn fínsandur	Neðst í lónseti	300
301-3	20060723	Sunnan við Lindur - austan Jöklu	Méla	Neðst í lónseti	300
316	20060723	Norðan við ármót Kringilsár og Jöklu	Svartur skolaður sandur	Undir lónseti	316
325	20060723	Norðan við ármót Kringilsár og Jöklu	Harðar staflaga sandútfellingar	Í méluvík lónseti	
387-1	20060725	Neðan við Tröllagil - vestan Jöklu	Méla - fínlagsskipt	Í méluvík lónseti	387/172
387-2	20060725	Neðan við Tröllagil - vestan Jöklu	Méla - fínlagsskipt	Í méluvík lónseti	387/173
387-3	20060725	Neðan við Tröllagil - vestan Jöklu	Méla - fínlagsskipt - lagskipting trufluð	Í méluvík lónseti	387/174
387-4	20060725	Neðan við Tröllagil - vestan Jöklu	Méla - fínlagsskipt	Í méluvík lónseti	387/175
387-5	20060725	Neðan við Tröllagil - vestan Jöklu	Méla - fínlagsskipt - lagskipting trufluð	Í méluvík lónseti	387/176
387-6	20060725	Neðan við Tröllagil - vestan Jöklu	Méla - fínlagsskipt	Í méluvík lónseti	387/177
387-7	20060725	Neðan við Tröllagil - vestan Jöklu	Méla - fínlagsskipt, með bylgjuförum	Í méluvík lónseti	387/178
387-8	20060725	Neðan við Tröllagil - vestan Jöklu	Sandrík méla með víxllögun	Í méluvík lónseti	387/179
399-1	20060726	Norðan í Horni - austan Jöklu	Méluborinn sandur	Í méluvík lónseti	399
399-2a	20060726	Norðan í Horni - austan Jöklu	Sandur, kristalríkur - gjóskulag?	Í méluvík lónseti	399
399-2b	20060726	Norðan í Horni - austan Jöklu	Mélulinsa	Í méluvík lónseti	399
399-3	20060726	Norðan í Horni - austan Jöklu	Méla	Í méluvík lónseti	399
399-4	20060726	Norðan í Horni - austan Jöklu	Méla - gulleit - 1 cm þykkt lag	Í méluvík lónseti	399
399-5	20060726	Norðan í Horni - austan Jöklu	Méla - fínlagsskipt	Í méluvík lónseti	399
399-6	20060726	Norðan í Horni - austan Jöklu	Sandrík méla	Í méluvík lónseti	399
403-1	20060726	Við brú - austan Jöklu	Harðar sandútfellingar - staflaga og greinóttar	Í méluvík lónseti	403
403-2	20060726	Við brú - austan Jöklu	Méluríkur fínsandur sem 403-1 er í	Í méluvík lónseti	403
403-3	20060726	Við brú - austan Jöklu	Harðar sandkúlur - sumar holar að innan	Í méluvík lónseti	403
403-4	20060726	Við brú - austan Jöklu	Méla - fínlagsskipt	Í méluvík lónseti	403
403-5	20060726	Við brú - austan Jöklu	Méla með fínsandslögum	Í méluvík lónseti	403

2.5 Gjóskulög í lónsetinu

Sumarið 2005 var þó nokkur vinna lögð í að leita að gjóskulögum í sethjöllunum. Reynsla rannsókna á lónseti frá ísaldarlokum á Emstrum (Ingibjörg Kaldal & Elsa G. Vilmundardóttir 2002) gaf vonir um að finna mætti gjóskulög í lónseti Háslóns sem nýst gætu sem leiðarlög. Það olli því vonbrigðum að engin augljós og afgerandi (t.d. ljós og súr) gjóskulög fundust í lónsetinu. Ástæðurnar fyrir því geta verið margvíslegar. Svæðið er fjær nútímaeldstöðvum en Emstrur, sem eru umkringdar virkum eldstöðvum. Eins myndaðist hið forna Háslón framan við hörfandi jökuljaðar svo að setið er grófara og setmyndunarumhverfið mun órólegra en á Emstrum þar sem vatn safnaðist í lægðir milli móbergshryggja, nokkuð fjarri jökli.

Þó voru tekin nokkur sýni af dökkum, meintum gjóskulögum (Tafla 2-1). Helst mátti búast við að finna loftborin gjóskulög í silthluta lónsetsins, a.m.k. ættu þau þar að greina sig best frá aðliggjandi seti. Eins og fyrr segir er aragrúi þunnra sandlaga milli siltríkari laga í fínkornaðasta hluta lónfyllunnar. Sandlögin hafa oftast misglögg efri- og neðrimörk. Oftast eru neðri mörk þeirra skarpri en þau efri og sandurinn verður finni og finni er ofar dregur (lóðgreining eða „gradering“). Ef bæði efri og neðri mörk laganna voru skörp, og sandurinn í lögunum gjóskuríkur, léttur og nokkuð einkorna, þóttu meiri líkur á að um hrein gjóskulög væri að ræða (Mynd 2-25). Eitt meint gjóskulag skar sig úr hvað þykkt varðar, en það var 6-8 cm þykkt og lagskipt. Þóttumst við finna það á 3 stöðum í lónseti milli Fremri-Kárahnjúks og



Mynd 2-25. Þykkasta meinta gjóskulagið í lónseti rétt norðan við Tröllagil (sýni 172a). Lagið er glerríkt, fislétt og sker sig vel frá siltlögunum umhverfis. Ljósmynd SVIK.

Horns. Milli Sandfells og Fremri-Kárahnjúks er setið og hið meinta gjóskulag grjóthart. Norðan til í Horni er setið hins vegar lausara í sér og náðust sýni úr mismunandi lögum hins meinta sama gjóskulags þar (Sýni 146 a – f).

Átta sýni af meintum gjóskulögum voru valin, þau sigtuð og gerðar af þeim gljásneiðar sem Guðrún Larsen efnagreindi í örgreini Háskólans í Björgvin.

Sýni 146 a, b og c (Mynd 2-36 af sniði 399 og Tafla 2-1) eru tekin norðan í Horni, austan Jöklu. Þau eru öll úr mismunandi lögum innan eina þykka (um 6 cm) meinta gjóskulagins sem við fundum og sagt er frá hér fyrir ofan. *Sýni 146 d* er úr 1 cm þykku lagi ofan við þykka lagið. Samkvæmt greiningu Guðrúnar Larsen eru öll sýnin „að mestu leyti (70-95%) basaltgler með nokkuð háu TiO_2 , líkast Grímsvatna- og Kverkfjallasamsetningu, og votti af basaltgleri með lægra TiO_2 . Þessi sýni gætu öll verið úr sama atburði eða skyldum atburðum/atburðaröð“ (Guðrún Larsen tölvupóstur 18.07.06).

Sýni 172 a, b og c (Mynd 2-35 af sniði 387/172 og Tafla 2-1) eru tekin úr þremur aðskildum meintum gjóskulögum neðan við Tröllagil, vestan Jöklu. Samkvæmt greiningu Guðrúnar Larsen eru sýnin „að mestu leyti (50-70%) basaltgler með lágu TiO_2 en að auki er tvennskonar basaltgler með hærra TiO_2 í sýnunum og vottur af súru gleri. Þessi þrjú sýni gætu öll verið úr sama atburði eða skyldum atburðum/atburðaröð (Guðrún Larsen tölvupóstur 18.07.06). Þessi lög eru hins vegar aðskilin af siltlögum, sem sýnir vel hversu lík að samsetningu hin meintu gjóskulög geta verið og því lítið á þeim að græða sem leiðarlögum. Guðrún getur þess jafnframt að sýni 146 og 172 geti ekki verið úr sama atburði/atburðum.

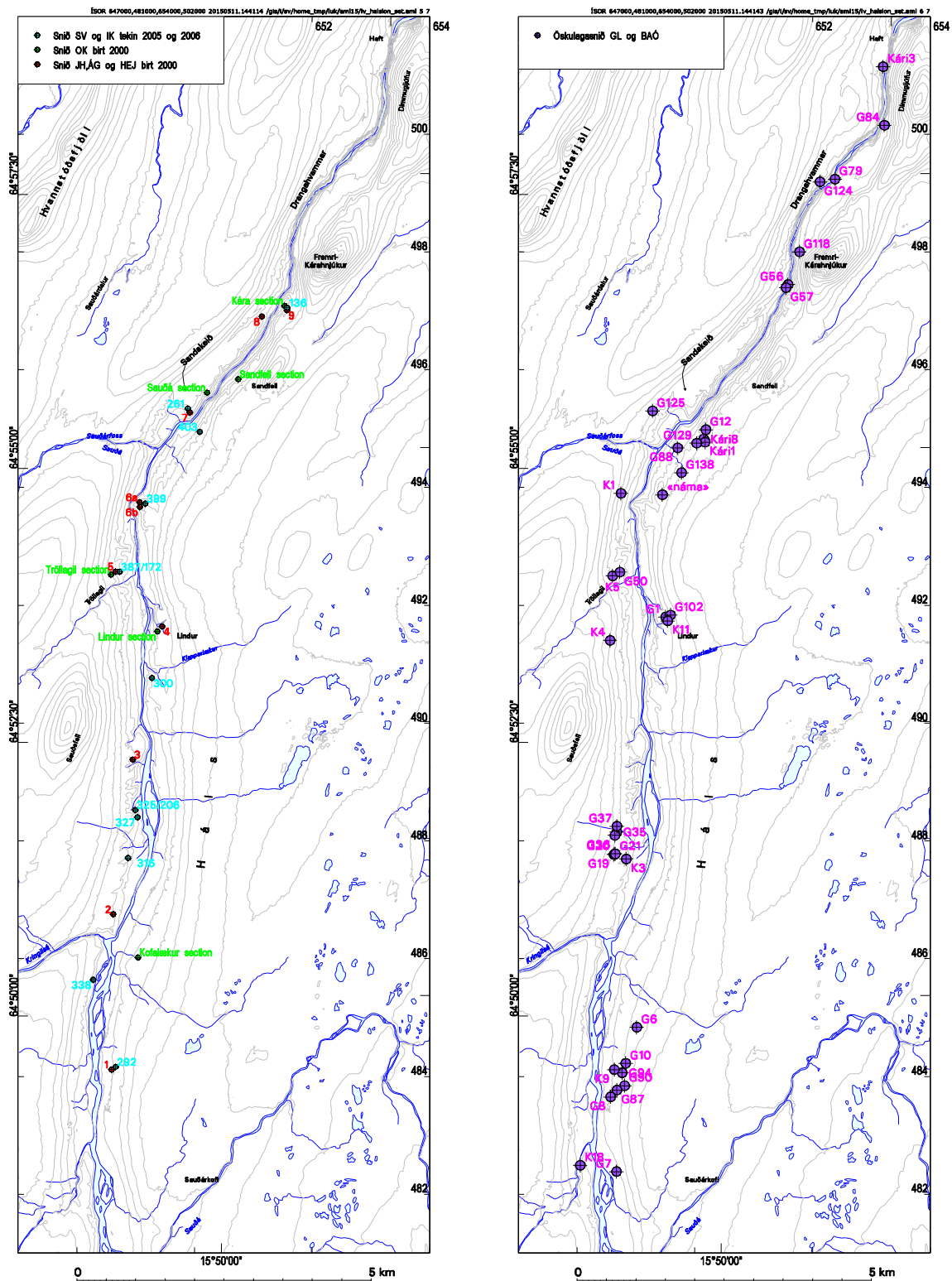
Sýni 210 (Tafla 2-1) er tekið úr siltríku lónseti við suðurenda Sauðafells, vestan Jöklu. Samkvæmt greiningu Guðrúnar Larsen er sýnið „að mestu leyti (60-70%) basaltgler með nokkuð háu TiO_2 , líkast Grímsvatna- og Kverkfjallasamsetningu, og votti af basaltgleri með lægra og hærra TiO_2 “ (Guðrún Larsen tölvupóstur 18.07.06). Guðrún getur þess einnig að sýnið geti verið úr sama atburði/atburðaröð og sýni 146.

Þar sem engin gjóskulög fundust í lónsetinu sem voru auðgreinanleg í bökkunum (þ.e. öðruvísi en með efnagreiningum) og þegar ljóst varð að ekki væri hægt að rekja lög langar leiðir milli sniða sökum hinnar miklu óreglu í uppbyggingu setlaganna, varð það fljótt ljóst að lítill tilgangur væri með frekari leit að gjóskulögum í lónsetinu.

2.6 Snið

Hér eru birt 11 snið sem höfundar tóku víðs vegar í lónskálinni. Áður höfðu Óskar Knudsen og Philip M. Marren birt 5 snið (2000) og Jórunn Harðardóttir og fl. (2001) 9 snið. Sum þeirra sniða sem hér eru birt eru tekin á svipuðum stöðum og fyrri snið en önnur á nýjum stöðum. Staðsetning allra sniðanna er sýnd á Mynd 2-26 og á jarðgrunnskortinu.

Vegna þess hversu hart setið er víða og með öllu ógræft með handafli var ætlunin að taka nokkur snið með ýtu eða gröfu. Slík framkvæmd er dýr og tímafrek og þegar í ljós kom hve óregluleg setlaguppbygging í lónskálinni er, var horfið frá henni, því metið var að hún skilaði ekki miklum viðbótarupplýsingum. Landslag hefur verið mjög mishæðótt í dalbotninum þegar hið eiginlega lónset tók að setjast til. Miklir, misháir hraukar af jökulárseti settust til í dalbotninum þegar Ísaldarjökullinn hörfaði suður dalinn. Ofan á þá lagðist hið eiginlega lónset – lagskipt sendin siltlög – og löguðu sig að undirlaginu.



Mynd 2-26. Kortið vinstra megin sýnir öll snið sem tekin hafa verið í setbakka hins forna Hálslóns. Kortið hægra megin sýnir staðsetningu gjóskusniða. Sniðin eru einnig sýnd á jarðfræðikortum í vasa.

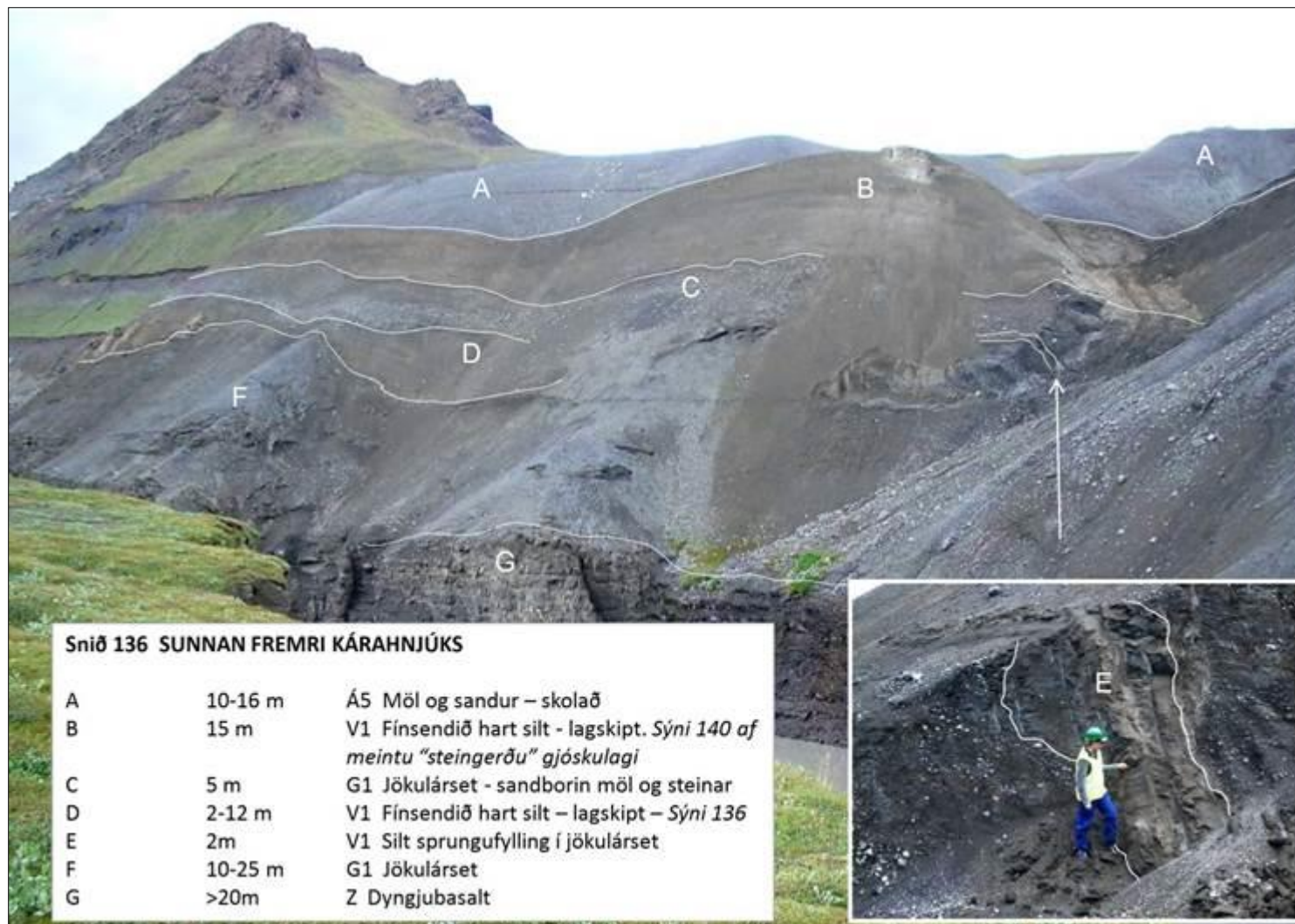
Vegna þess hve setlagaeiningar í lónskálinni eru misþykkar og síbreytilegar af þessum sökum var brugðið á það ráð að teikna setlagasniðin inn á ljósmyndir (oft samsettar) í stað þess að teikna upp hefðbundin súlusnið sem gæfu takmarkaðar upplýsingar nema einungis í þeim

punkti. Með þessu er vonast til þess að uppbygging setlaga í lónskál hins forna Háslóns komist betur til skila. Ljósmyndirnar af sniðunum skýra einnig betur en mörg orð hvers vegna snið tekin á nærri sama stað eru svona ólík. Það liggur aðallega í mismunandi þykktum en ekki mismunandi túlkun höfunda.

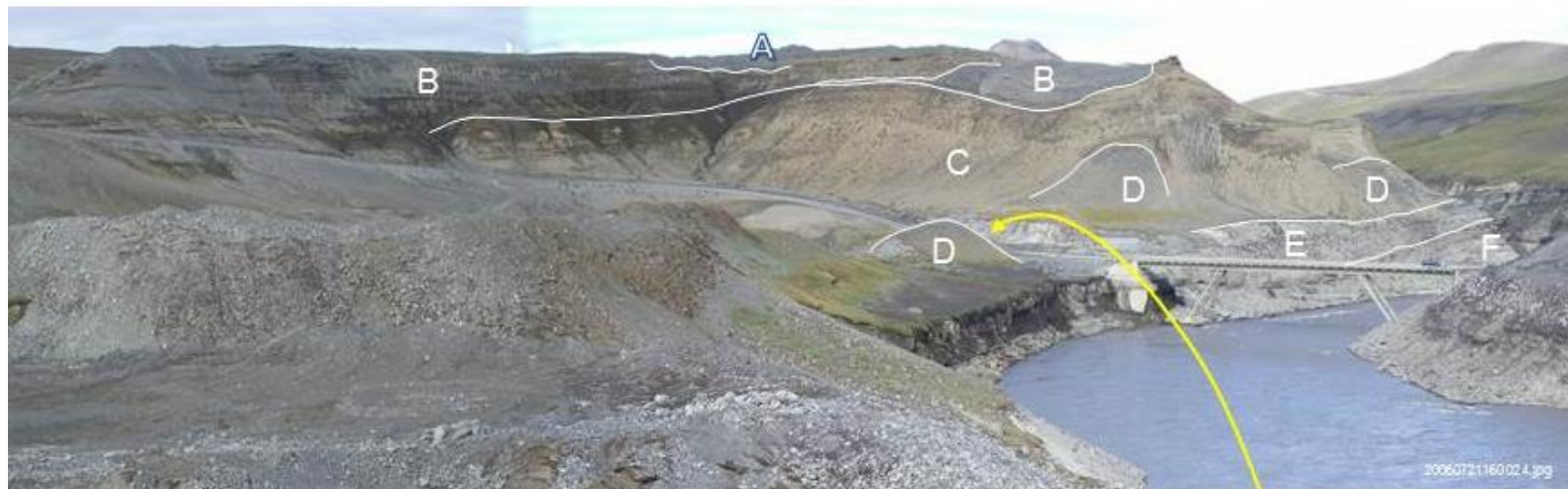
Tafla 2-3 gefur yfirlit yfir sniðin og staðsetning þeirra er sem fyrr segir á Mynd 2-26. Á ljósmyndirnar eru teiknaðar línur milli seteininga. Í skýringum eru þykktir og örstuttar lýsingar á einingunum ásamt kenni því sem viðkomandi eining hefur á jarðgrunnskortinu.

Tafla 2-3. Jarðlagasnið í lónfyllu hins forna Háslóns.

Nr.	Staðsetning
136	SunnanFremri Kárahnjúks - austan Jöklu
261	Í brúarbugnum syst í Sandskeiði - vestan Jöklu
403	Austan brúar yfir Jöklu
399	Norðan í Horni - austan Jöklu
387/172	Norðan við Tröllagil - vestan Jöklu
300	Sunnan við Lindur - austan Jöklu
325/206	Suðaustan við Sauðafell - vestan Jöklu
327	Suðaustan við Sauðafell - vestan Jöklu
316	Um 1 km norðan við ármót Kringilsár og Jöklu - vestan ár
338	Sunnan við ármót Kringilsár og Jöklu - vestan ár
292	Norðvestan við Sauðárkofa - austan ár



Mynd 2-27. Snið 136 austan Jöklu sunnan Fremri-Kárahnjúks. Ljósmyndir SVIK.



Snið 261 VIÐ BRÚ YFIR JÖKLU

A	1-2 m	Á5 Möl og sandur – skolað – búið er að fjarlægja x m
B	0 - 15 m	V4 Sandur með víxllögun og bylgjuförum – ættaður frá Sauðá
C	5 - 30 m	V1 Sandborið lagskipt silt
D	0 - 18 m	G1 Jökulárset – mest sandur og möl. Afmýndað vegna skriðs og hruns (glaciotektonik) – hugsanlega malarás
E	5 - 8 m	G1 Jökulárset – mest möl og steinar með hnallungum
F	2 - 8 m	Sj/Sv Fornt jökulberg og hnallungaberg
G	> 1 m	Z Basalt – (sést ekki á myndinni)



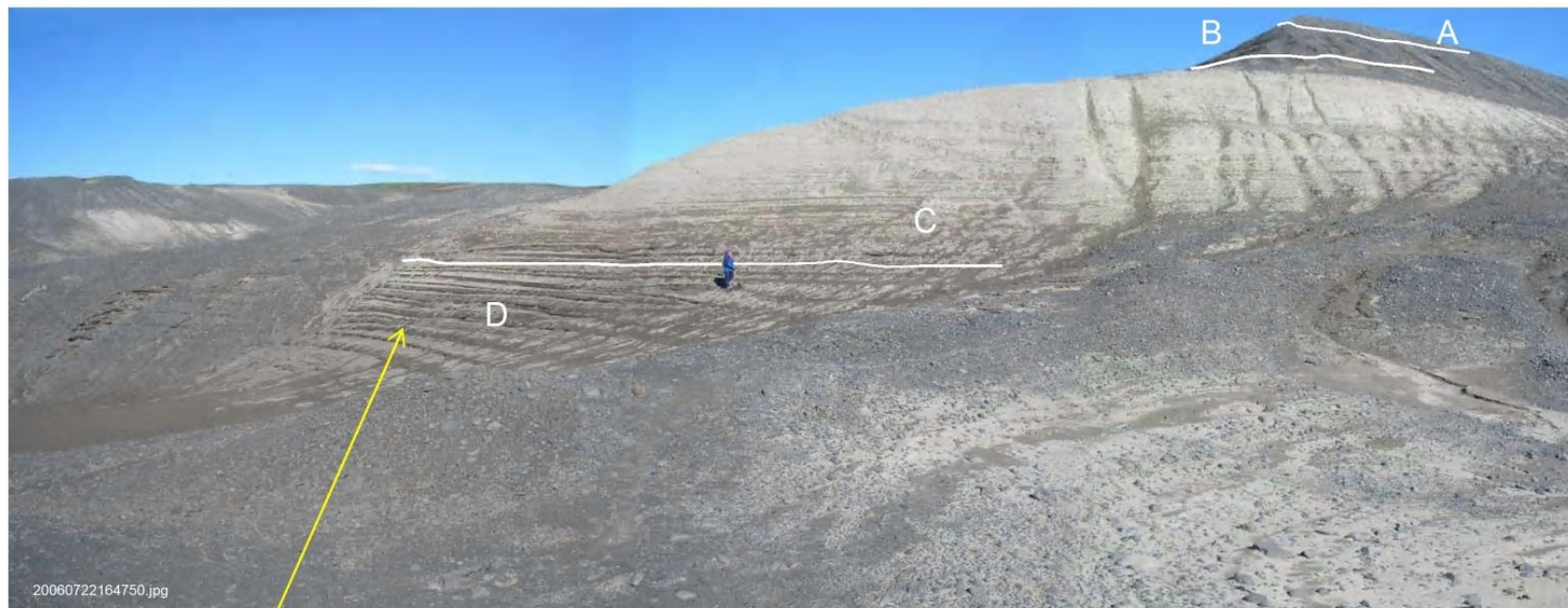
Mynd 2-28. Snið 261 vestan Jöklu við brúna. Ljósmyndir SVIK.



Snið 292 NORÐVESTAN VIÐ SAUÐÁRKOFA

A	8 m	Á5 Möl og sandur, skolað er ofar dregur
B	0 – 0,5 m	Á5 Sandur
C	1,5 m	R1 Jarðvegur með öskulögum
D	9 m	G7 Jökulárset, mest möl, sandur og stöku steinar - hart á köflum og jarðvegslitað ofantil
E	>3m	G7 Sandur með fínmalarlögum

Mynd 2-29. Snið 292 austan Jöklu norðvestan við Sauðárkofa. Ljósmynd SVIK.

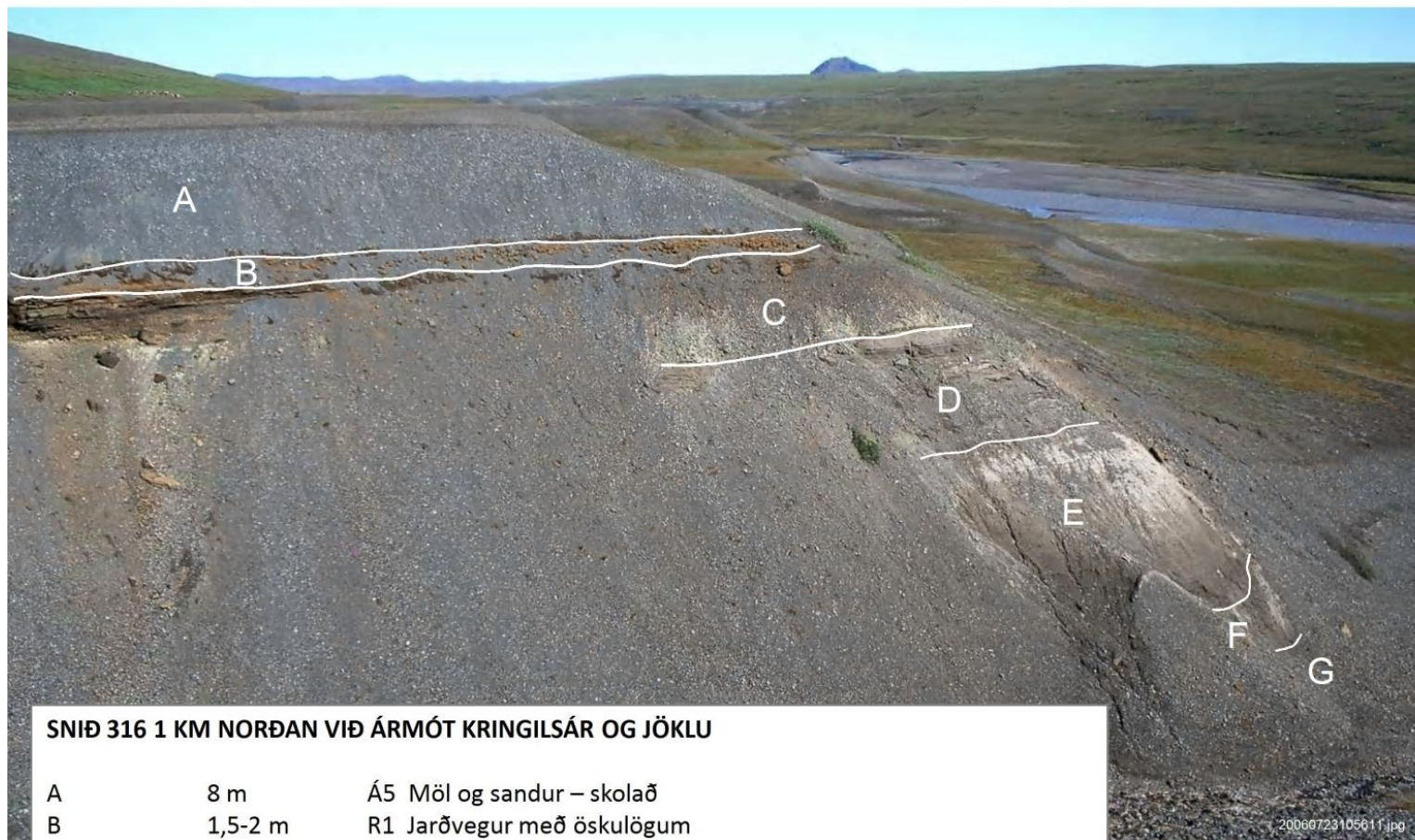


Snið 300 SUNNAN VIÐ LINDUR

A	2 m	Á5 Möl og sandur – skolað
B	4 -5 m	V4 Lagskiptur siltríkur sandur með bylgjuförum
C	15 m	V1 Fínlagskipt silt með fínsendnum lögum. <i>Sýni 301-3</i>
D	>8 m	V1 Sandur með bylgjuförum til skiptis við lagskipt siltborin fínsandslög. <i>Sýni 301-1 og 2</i>

Skilin milli C og D eru ekki skörp. Undir D er misþykkt jökulárset G1, líklega malarás.

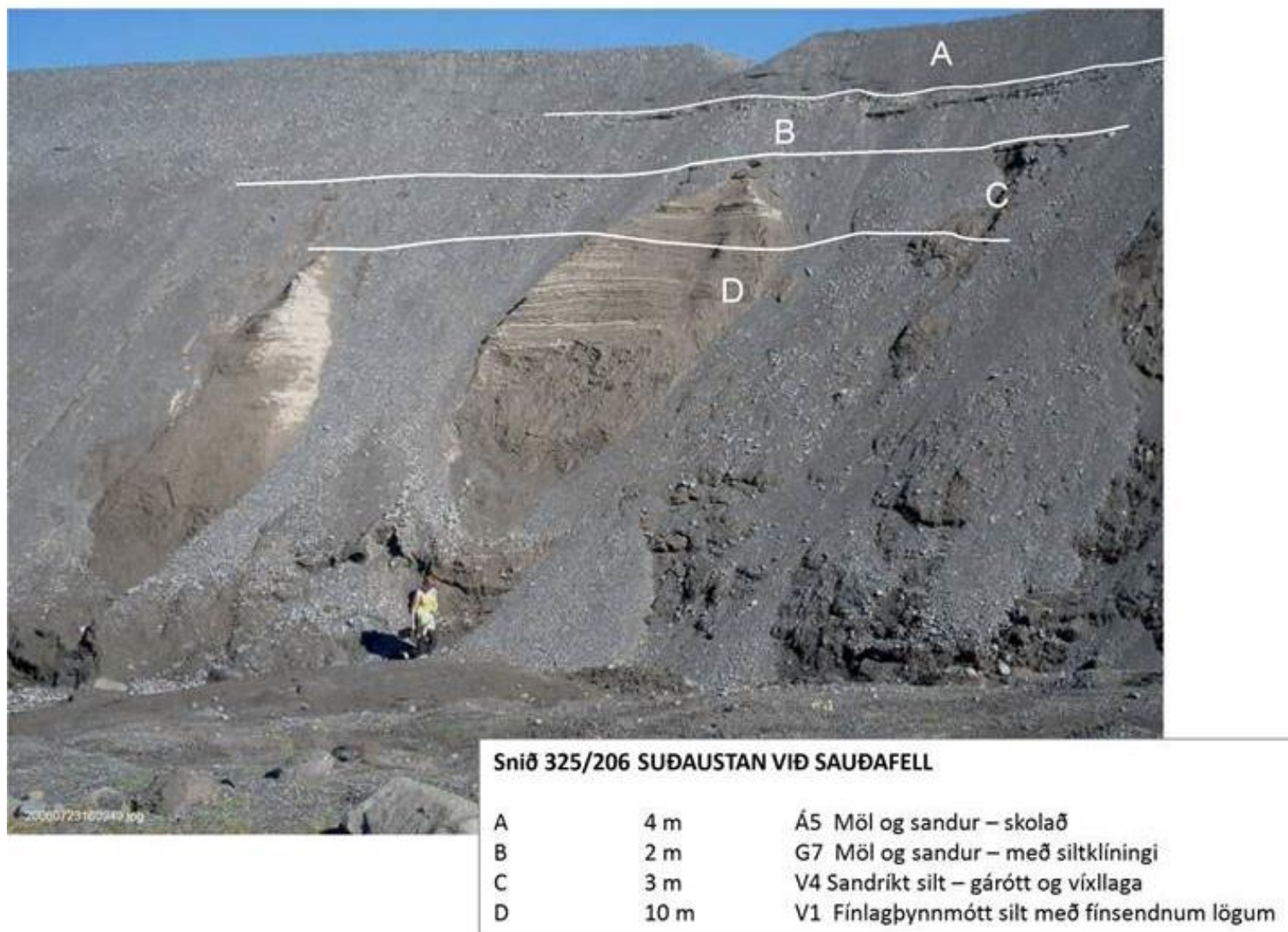
Mynd 2-30. Snið 300 austan Jöklu sunnan við Lindur. Ljósmynd IK.



SNID 316 1 KM NORÐAN VIÐ ÁRMÓT KRINGILSÁR OG JÖKLU

A	8 m	Á5 Möl og sandur – skolað
B	1,5-2 m	R1 Jarðvegur með öskulögum
C	3 m	G7 Möl og sandur – með siltklíningi og jarðvegslituð efst
D	5 m	V4 Sandríkt silt – gárótt
E	10 m	V1 Lagskipt silt með finsendum lögum
F	3 m	V1 Lagskiptur siltborinn sandur
G	>1m	G1 Sandur – skolaður (Sýni 316)

Mynd 2-31. Snið 316 vestan við Jöklu tæplega 1½ km norðan við ármót Kringilsár. Ljósmynd SVIK.



Mynd 2-32. Snið 325/206 vestan Jöklu suðaustan við Sauðafell. Ljósmynd SV.



Snið 327 SUÐAUSTAN VIÐ SAUÐAFELL

A	8 m	Á5 Möl og sandur – skolað
B	2-3 m	G7 Möl og sandur – með siltklíningi
C	3 m	V4 Sandrík méla – gárótt
D	10 m	V1 Lagskipt silt með fínsendum lögum
E	>2m	G1 Sandur með fínmalarlögum

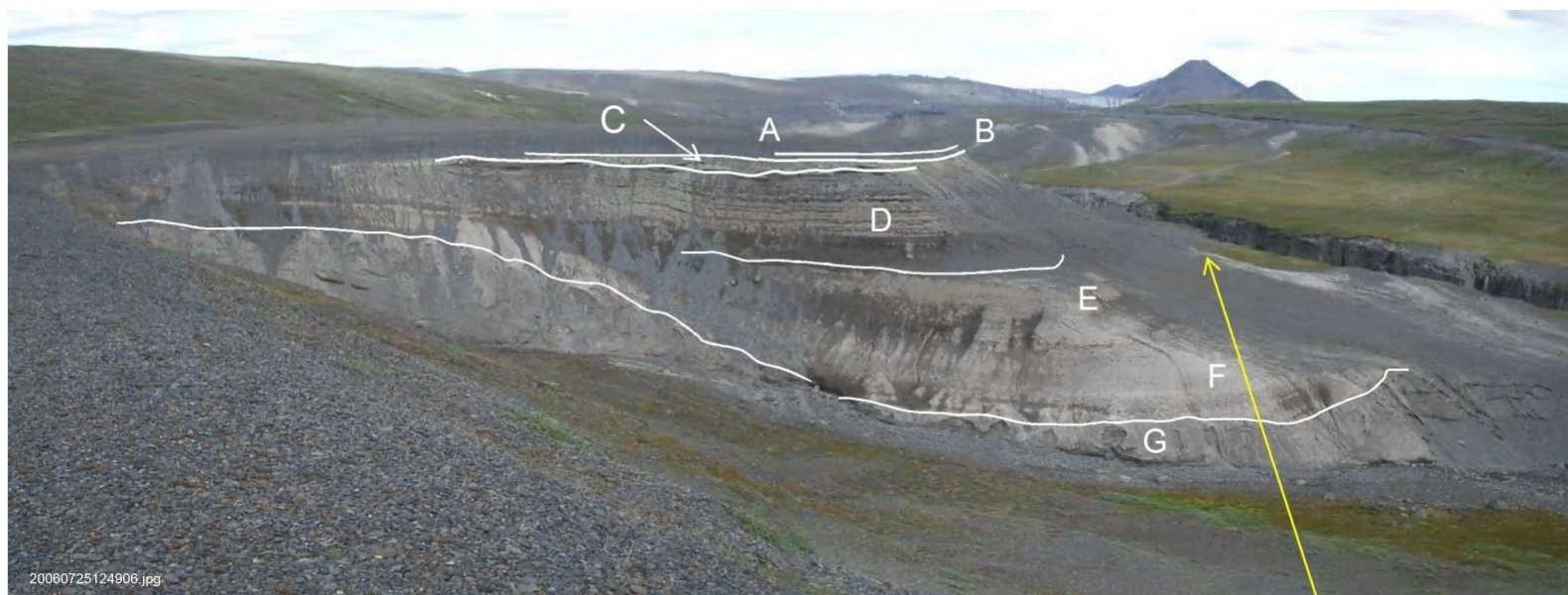
Mynd 2-33. Snið 327 vestan Jöklu suðaustan við Sauðafell. Ljósmynd SVIK.



Snið 338 SUNNAN VIÐ ÁRMÓT KRINGILSÁR OG JÖKLU

A	1 – 4 m	Á5 Möl og sandur með steinum - skolað
B	0 – 0,5 m	R1 Jarðvegur - móhella
C	2 – 4 m	G7 Jökulárset – mól, sandur og steinar með siltklíningi
D	2 – 4 m	V4 Siltríkur sandur- gáróttur
E	2 – 6 m	V1 Sandríkt silt – lagskipt
F	2 – 3 m	V1 Siltríkur sandur
G	4 m	G1 Jökulárset – steina- og hnullungarík mól
H	>1	Z Basaltklöpp

Mynd 2-34. Snið 338 vestan Jöklu sunnan við ármót Kringilsár og Jöklu. Ljósmynd SVIK.



SNID 387/172 TRÖLLAGIL

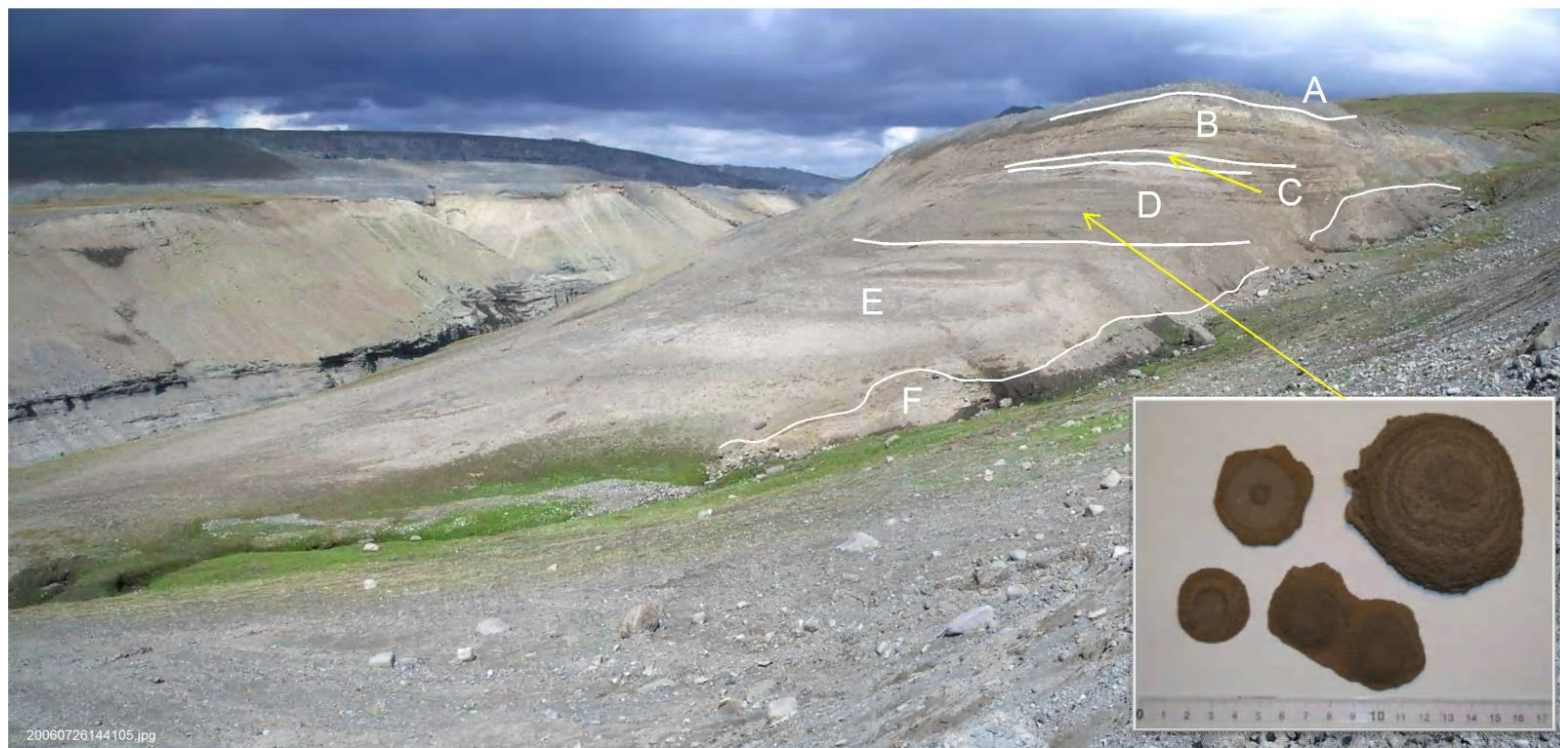
A	2 m	Á5 Möl og sandur – skuluð
B	0,2-2 m	R1 Jarðvegur með öskulögum
C	0-2 m	G7 Möl og sandur – með siltklíningi - jarðvegslitað efst
D	5 m	V4 Sandríkt silt – með bylgjuförum. <i>Sýni 387-8</i>
E	8 m	V1 Lagskipt silt með fínsendnum lögum. <i>Sýni 387-7</i>
	0,5-1 m	V1 Fínsandslinsa
F	5 m	V1 Lagskipt silt með fínsendnum lögum. 2 áberandi trufluð lög. <i>Sýni 172-1,2 og 3 af meintum öskulögum. Sýni 387-1,2,3,4,5,6 úr siltríkum lögum.</i>
G	0-8 m	G1 Jökulárset



Mynd 2-35. Snið 387/172 vesta Jöklu við Tröllagil. Ljósmyndir SVIK.



Mynd 2-36. Snið 399 austan Jöklu norðan til í Horni. Ljósmyndir SVIK.



Snið 403 AUSTAN BRÚAR

A	1 m	Á5 Mól og sandur – tilflutt rót af manna völdum
B	4 m	V1 Fínlagskipt silt með fínsandslögum – Sýni 403-5 úr mélu
C	0,5 m	Sandlinsa með bylgjuförum
D	7 m	V1 Fínlagskipt silt með fínsendnum lögum – harðar sandkúlur (pisolites) – Sýni 403-3 og 4
E	8 m	V1 Fínsendið silt – harðir sandstafir á kafla – Sýni 403-1 og 2
F	>2 m	G1 Jökulárset

Mynd 2-37. Snið 403 austan Jöklu rétt norðan við brúna. Ljósmyndir SVIK.

2.7 Landslag í lónsetinu

Þegar ísaldarjökullinn hörfaði suður eftir hinu jökulsorfnu trogi innan við haftið við Kárahnjúka hlóð hann undir sig miklum bunkum af jökulárseti ýmist undir eða framan við jökulinn. Þykkustu einingarnar eru í norðurhluta dalfyllunnar, á móts við norðurenda Sandskeiðs, á móts við mitt Sandskeið og í Horni (Mynd 2-7 og Mynd 2-36). Eftir að jökullinn tók að þynnast verulega hefur hann ekki átt auðvelt með að losa sig við efnið yfir þröskuldinn við Kárahnjúka og það því hlaðist upp undir jöklinum. Þegar jökullinn bráðnaði stóðu eftir miklir hraukar af misgrófu efni. Þegar aðhald var ekki lengur til staðar (jökullinn hafði hjaðnað) seig setið undan halla (gravity eða mass flow) og því mátti víða sjá í því ýmis konar innri aflögun, vegna þess að setið hefur verið vatnsósa eða misgengi og sprungur vegna sigs í þurrara seti. Hugsanlegt er að sumar hrúgurnar hafi myndast sem sprungufyllingar, þ.e. að efni hafi skolast af jöklinum ofan í opnar sprungur í honum. Víða er þessi eining 20-30 m þykk og enn þykkari á stöku stað. Þykkustu hrúgurnar eru flestar austan til í dalnum sem bendir til þess að Jökla hafi víða grafið sig niður í auðgræfari jarðlög vestan við þessi hrúgöld eins og mátti t.d. sjá í Horni.

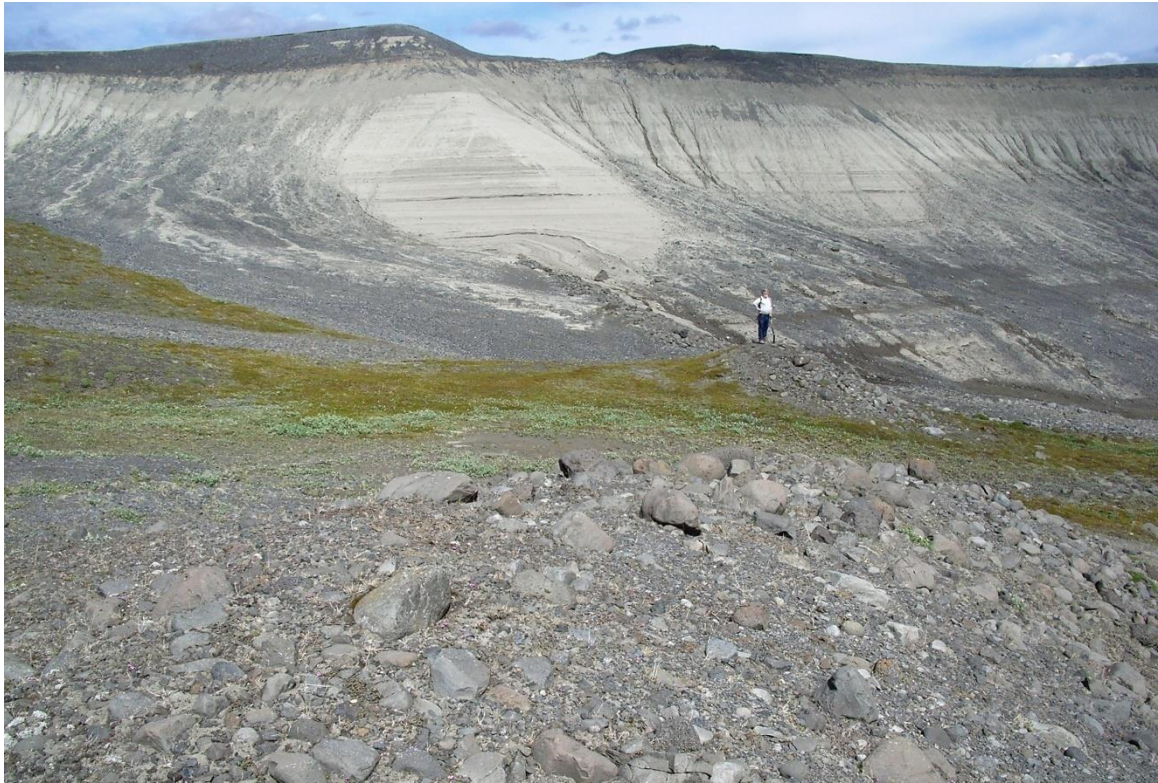
Sums staðar þar sem fína lónsetið hefur grafið ofan af jökulársetinu mátti sjá malarása sem bugðast hafa um dalbotninn. Þeir hafa að líkindum myndast í göngum í eða undir jöklinum og eru þeir víðast úr skoluðu malar- og sandefni með fremur grófri hnallungamöl. Einkum mátti sjá malarása á kaflanum frá Horni suður fyrir Lindur og einna fallegastir voru þeir í græfunum um 300-400 m norðan við Tröllagil (Mynd 2-38 og Mynd 2-39). Þar mátti glögglega sjá hvernig fína lónsetið lagaði sig að ásunum undir og gætir þess í lagskiptingunni í lónsetinu nokkra metra uppá við. Ysti malarás sem greindur var með vissu kom í ljós þegar efni var raskað við brúargerð yfir Jöklu við innri enda Sandskeiðs (Mynd 2-37).

Lónsetið jafnaði þessar mishæðir í undirlaginu að mestu leyti út svo yfirborð þeirra er víðast mishæðalítið eins og sjá má af mörgum sniðamyndanna. Þó mátti sums staðar sjá hvernig jarðvegur og efsta eyramölin safnaðist í skvompur og farvegi í jökulársetið ofan á hinum eiginlega lónseti (Mynd 2-20).

Allt yfirbragð setsins ber það með sér að upphleðsla hefur verið hröð. Fínefnaríki hluti setsins, hið eiginlega lónset, er eins og áður greinir lagskipt og lögin fylgja undirlaginu. Við hæga setmyndun verða lög frekar lárétt lagskipt (Benn & Evans 1998). Sums staðar eru nokkurra metra þykkar einingar af ólagskiptu sandríku silti sem benda til þess að eðjustraumar hafi orðið við það að mikið efni hefur borist inn í lónið á stuttum tíma og verið óstöðugt.

Nokkuð má ráða í hvar meginfarvegir Jöklu lágu þegar hún var að grafa sig niður í lónsetið og mynda bakkana sem eftir stóðu. Sums staðar í dalnum hefur lónfyllan rofist burt með öllu, en yfirleitt hagar því þá þannig til að þeim mun myndarlegri sethjallar eru í hlíðinni á móti. Dæmi um þetta er t.d. Horn, sem skagar út í dalinn til vesturs en Jökla krækti í sveig framhjá því. Í hlíðinni vestanmegin eru einungis ræfilslegar restar af bökkum sem mynduðust þegar áin var að grafa sig niður.

Annað dæmi um það sama er við Lindur þar sem lónsethjallarnir eru hvað breiðastir og hæstir. Í hlíð Sauðafells þar beint á móti eru nær engin ummerki lónsins. Er sunnar dregur með Sauðafelli er þessu þveröfugt farið. Breiðir og fallegir lónsetshjallar eru vestan megin en hlíðin er nær ber austan megin í dalnum.



Mynd 2-38. Malarás bugðast um dalbotninn og sást vel þar sem lónsetið hafði rofist ofan af honum skammt norðan við Tröllagil. Í fjarska sést hvernig hann gengur inn undir lónsetið. Ljósmynd IK.



Mynd 2-39. Sami malarás og á Mynd 2-38, en hér sést betur hvernig lagskiptingin í lónsetinu lagar sig að yfirborði ássins (rauða örin). Ljósmynd IK.

3 Gjóskulagarannsóknir og tímatal GL, BAÓ

3.1 Gjóskulagaskipan svæðisins – lykilsnið og aðstæður

Kárahnjúkasvæðið er í 50 til 80 km fjarlægð frá virkasta jarðeldasvæði á Íslandi, eldstöðvunum undir norðvestanverðum Vatnajökli. Í eldgosum undir jökli eru gosefnin yfirleitt eingöngu gjóska. Þess var því að vænta að yfir Kárahnjúkasvæðið hefði fallið gjóska frá fjölmörgum gosum í þessum eldstöðvum. Aðstæður til varðveislu voru góðar því svæðið var gróðursælt þótt það liggi allhótt yfir sjó. Sæmileg jarðvegspekja var í Hálsi austan Jökulsár, einkum sunnan Sandfells. Norðan Sandfells hafði þurrlendis-jarðveg blásið af að miklu leyti en jarðvegsleifar og rofabörð voru víða. Jarðvegur var þykkastur í hlíð Hálsins en miklu þynnri á hjöllum og rofþrepum. Vestan árinna var jarðvegspekjan mun minni, einna samfelldust norðan Kringilsár og í undirhlíðum Sauðafells en ofar hafði jarðveginn blásið af. Einnig þar var jarðvegurinn þykkastur í hlíðinni en miklu þynnri á hjöllum.

Gjóskulög eru bæði gagnasafn um gossögu eldstöðva og tæki til að tímasetja atburði og breytingar. Hér er fyrst og fremst fjallað um tímasetningarþáttinn. Þekking á gjóskulagaskipan svæðis er forsenda þess að nota gjóskulög til tímasetninga. Ef aðstæður eru góðar er hægt að fá yfirlit yfir gjóskulögin á einum stað þar sem upphleðsla sets eða jarðvegs hefur verið ótrufluð á því tímabili sem til skoðunar er. Slík snið má nefna lykilsnið.

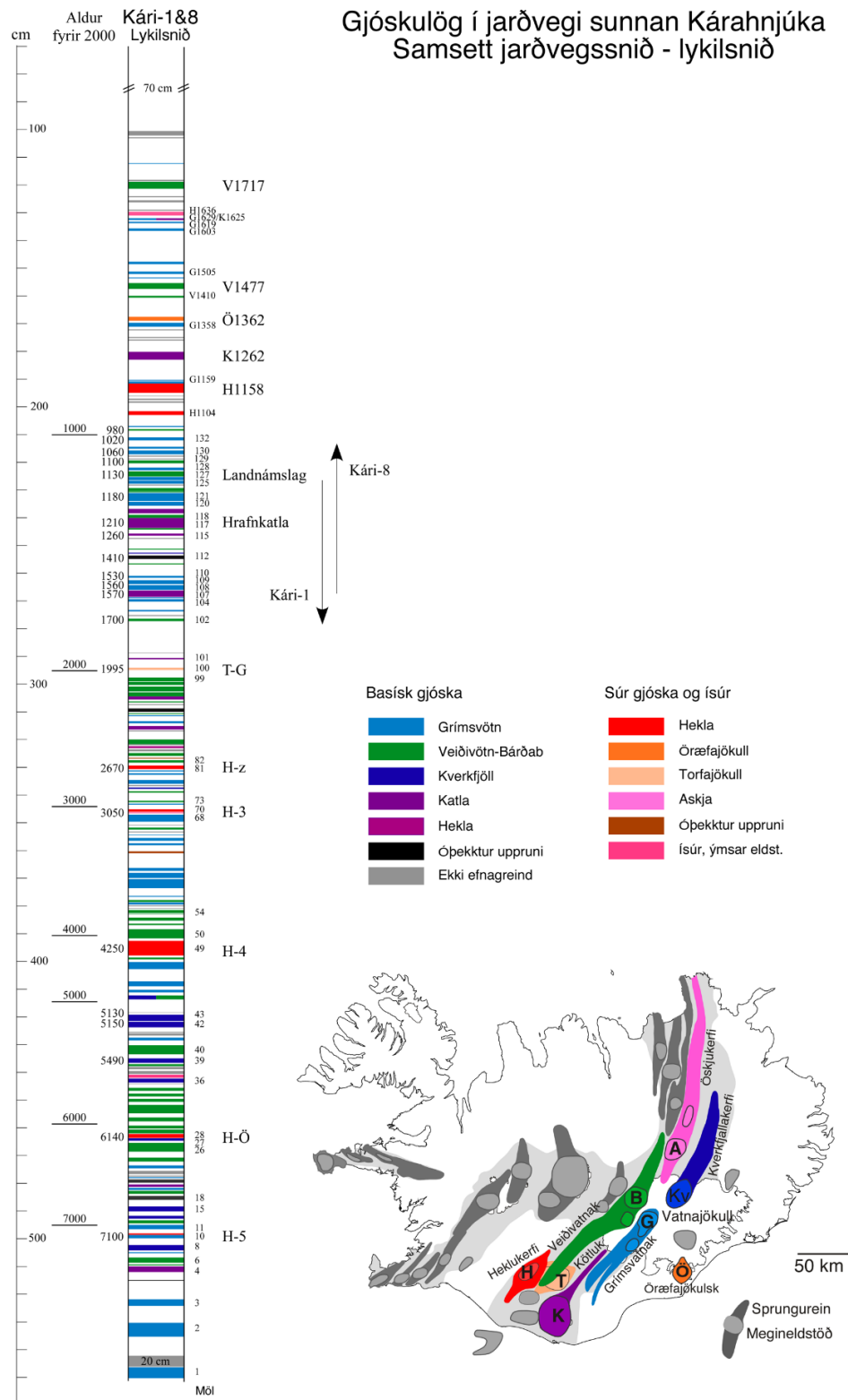
Lykilsnið fyrir Kárahnjúkasvæðið

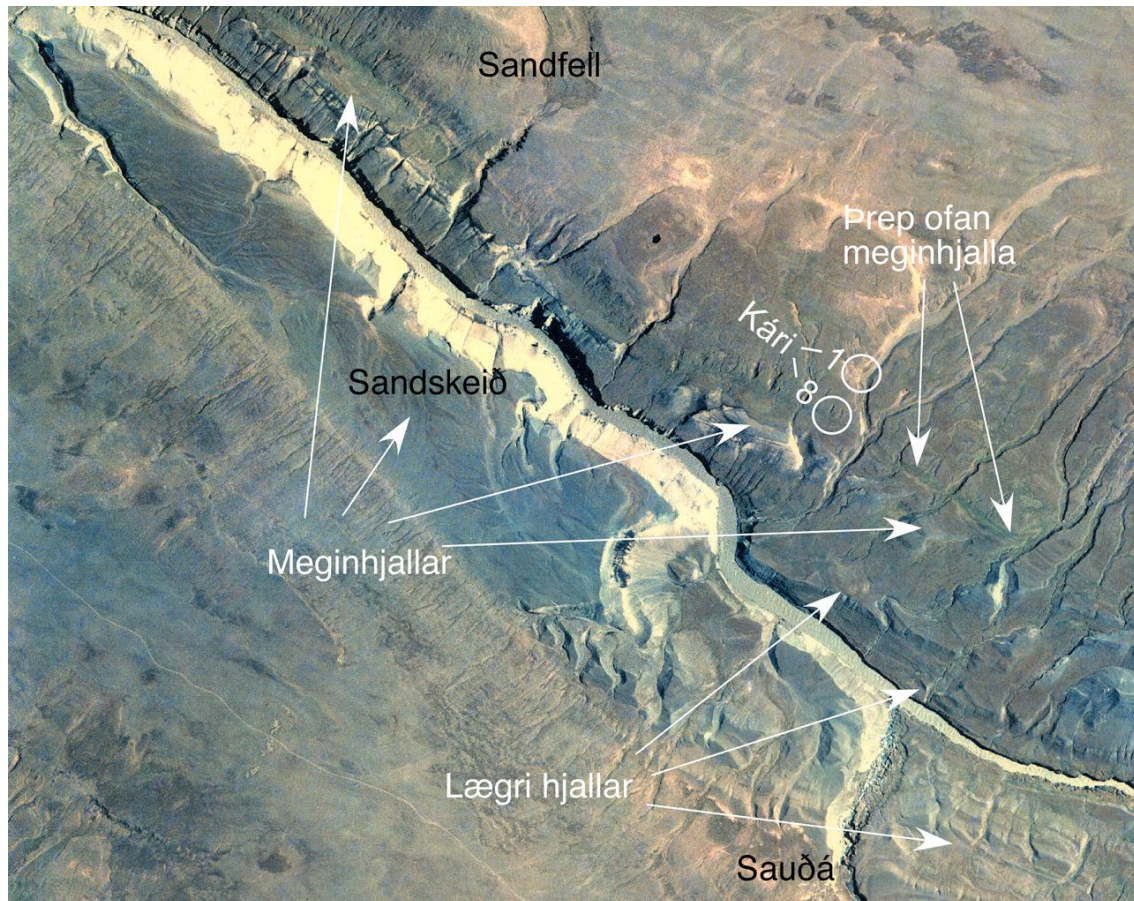
Við lagningu vegar niður af Hálsi að brúnni sem var á Jöklu suðvestan við Sandfell meðan á framkvæmdum stóð við Kárahnjúka, opnaðist nokkurra metra hár jarðvegsbakki, margir tugir metra á lengd. Ofan hjallanna var jarðvegurinn 4-5 m þykkur móajarðvegur sem náði niður í urð. Ekki varð annað séð en að þar hafi verið samfelld jarðvegsmyndun og að jarðvegurinn væri óraskaður á stóru svæði í bakkanum. Í gegnum þann hluta var mælt 3,4 m þykkt snið, Kári 1. Þar sem jarðvegsbakkinn lá niður í efsta rofþrepið var jarðvegurinn þynnri og í gegnum hann var mælt annað snið, Kári 8. Samsett snið, Kári 1 & 8 (Mynd 3-1) gegnum þetta manngerða rof var notað sem lykilsnið fyrir gjóskulagaskipan svæðisins, einkum vegna þess að hægt var að athuga gjóskulögin á allstóru svæði og velja góða sýnatökustaði.

Lykilsnið þarf að sýna gjóskulagaskipan svæðis í sem mestum smáatriðum. Í lykilsniðinu fyrir Hálslónssvæðið fundust um 180 lög af gjósku frá um 8000 ára tímabili. Langflest gjóskulög eru dökkleit (svört, grænbrún, grágræn) sem bendir til basískrar efnasamsetningar. Ljósleit gjóskulög (hvít, gráhvít, gulhvít), súr og/eða ísúr að efnasamsetningu, eru um 10 talsins. Lykilsniðið er sýnt á Mynd 3-1 og staðsetning á Mynd 3-2. Vegna hagstæðra aðstæðna er líklegt að fleiri lítil gjóskulög hafi geymst í lykilsniðinu en annars staðar.

Helstu gjóskulög og aldur þeirra - leiðarlög

Gjóskulög með glögg útlitseinkenni, og röð slíkra gjóskulaga, má nota sem eins konar leiðarlög til að tengja saman jarðvegssnið. Á Kárahnjúkasvæðinu eru 15 gjóskulög, níu ljósleit og sex dökkleit, sem auðvelt var að nota sem leiðarlög ein sér eða sem hluta af röð. Frá sögulegum tíma eru gjóskulögin V~1477, Ö-1362, H-1158, H-1104, V~870 (Landnámslag) og frá forsögulegum tíma Lag-121 um 1180 ára, Lag-117 (Hrafnkatla) um 1210 ára, T-G um 2000 ára, H-z um 2700 ára, H-3 um 3050 ára, H-4 um 4250 ára, Lag 42 um 5150 ára, Lag 39 um 5500 ára, H-Ö um 6140 ára og H-5 um 7100 ára (Sigurður Þórarinnsson 1958, 1968, 1971; Guðrún Larsen 1984; Guðrún Larsen o.fl. 2013; Dugmore et al. 1995; Bergrún A. Óladóttir 2011a&b; Esther Guðmundsdóttir o.fl. 2011). Nánari umfjöllun um lykilsniðið er í doktorsritgerð Bergrúnar Örne Óladóttur (2009).





Mynd 3-2. Hluti úr loftmynd af svæðinu suðvestan Sandfells, tekin áður en framkvæmdir á svæðinu hófust.

Myndin sýnir meginhjalla, prep ofan meginhjalla (austan ár) og lægri hjalla. Staðsetningar sniða, Kári-1 og Kári-8, eru sýndar með hring. (Loftmyndir ehf).

Gjóskulög eru tímasett með ýmsum aðferðum. Mörg gjóskulög frá síðustu 900 árum eru frá eldgosum sem tímasett eru í rituðum heimildum, t.d. Heklugjóskulag frá 1104 (sbr. Sigurður Þórarinnsson 1968). Nokkur eldgos/gjóskulög eru tímasett með talningu á árlögum í ískjörnum, t.d. svonefnt Landnámslag (sbr. Karl Grönvold o.fl. 1995 og Zielinski o.fl. 1998). Gjóskulög frá forsögulegum tíma eru tímasett með geislakolsgreiningu á gróðurleifum í eða við gjóskuna, t.d. Hekla-3 (sbr. Dugmore o.fl. 1995). Tímasetningum í geislakolsárum er breytt í svokölluð „leiðrétt“ ár með til þess gerðu forriti (CALIB 5.0, Reimer o.fl. 2004), en þau samsvara nokkurn vegin sólarárum (eða almanaksárum). Forritið gefur upp aldursbil með ákveðnum líkum en til einföldunar er meðaltalsgildi notað í sniðum og texta. Geislakolsaldur og leiðréttur aldur helstu leiðarlaga er að finna í töflu 3-1. Gjóskulög af þekktum aldri skiptast ekki jafnt á þessi 8000 ár, þau eru jafnmörg á síðustu ~1000 árum og á næstu 7000 árum á undan (Tafla 3-1).

Aldur annarra forsögulegra gjóskulaga í lykilsniðinu við Kárahnjúka er hins vegar reiknaður út frá jarðvegsþykktum milli tímasettra gjóskulaga (Bergrún A. Óladóttir o.fl. 2011a). Reiknaður aldur er besta nálgunin sem völ er á í stórum þurrlendissniðum. Reiknaður aldur leiðarlaga er sýndur í töflu 3-2.

Alls voru tekin sýni úr 152 lögum í lykilsniðinu. Ekki náðust sýni úr öllum lögum og nokkur báru þess merki að vera endurflutt gjóska. Alls voru 147 sýni efnagreind. Uppruni 141 gjóskulags er þekktur en sex gjóskulög eru af óvissum eða óþekktum uppruna. Í lykilsniðinu (Mynd 3-1) vísa litir gjóskulaganna til viðkomandi eldstöðvakerfa. Frekari umfjöllun um efnagreiningar og tengingar við eldstöðvakerfi er í greinum eftir Bergrúnu A. Óladóttir o.fl. (2011a og b).

Leiðarlög þekkt	Eldstöðva	Ártöl	Geislakols	Aldur f. 2000 AD	Heimildir
gosár/aldur	kerfi	(ritheim/ískjarnar)	aldur	almanaks og leiðr ár	
V-1717	Veiðiv-Bárð	1717		283	Sp 1976
V~1477	Veiðiv-Bárð	~1477		523	GL 1984
Ö-1362					
Ö-1362	Öræfajökull	1362		638	Sp 1976
					GL 1982
K-1262	Katla	1262		738	GL 1982
H-1158	Hekla	1158		842	GL 1982
H-1104	Hekla	1104		896	Sp 1968
V~870	Veiðiv-Bárð	871±2, 877±4		1130	KG ofl 1995
T-G (Grákolla)	Torfajökull		1995±30	2000	BÓ ofl 2011
H-3	Hekla		2879±34	3050	AD ofl 1995
H-4	Hekla		3826±12	4250	AD ofl 1995
H-Ö (Sauðárdal)	Hekla		5295±42	6140	ERG ofl 2011
H-5	Hekla		6185±85	7100	Sp 1971

Tafla 3-1 Leiðarlög, þekkt gosár

Leiðarlög	Eldstöðva	Reiknaður	Heimildir
reiknaður aldur	kerfi	aldur	
Lag 121	Grímsvötn	1180	BÓ ofl 2011
Lag 117 Hrafnkatla	Katla	1210	BÓ ofl 2011
Lög 109/108/107	Gríms/Katla	1550-1570	BÓ ofl 2011
Lög 104/103	Grímsvötn	1590-1640	BÓ ofl 2011
Lag 102	Veiðivötn	1700	BÓ ofl 2011
H-z	Hekla	2670	BÓ ofl 2011
Lag 42	Kverkfjöll	5130	BÓ ofl 2011
Lag 39	Kverkfjöll	5470	BÓ ofl 2011

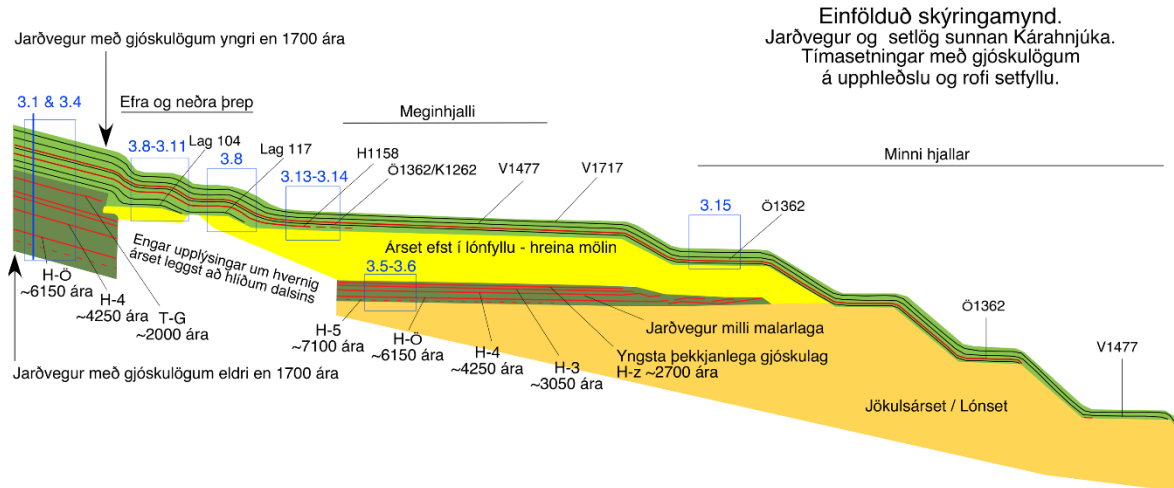
Tafla 3-2 Leiðarlög, reiknaður aldur

Þegar myndunarsaga jarðvegsins er rakin liggur beinast við að nota aldur í stað ártala. Aldurinn er í leiðréttum árum fyrir okkar tíma (um 2000) en er yfirleitt færður til næsta heila tugar. Við samanburð við fyrri rannsóknir þarf að hafa í huga að flestar fyrri rannsóknir á jarðvegi og þeirri sögu sem hann geymir miðuðu við geislakolsár. Upphaf nútíma telst vera fyrir 10.000 geislakolsárum en þau samsvara um 11.500 ískjarnaárum og leiðréttum árum. Hérlandis var nútímanum skipt í nokkur loftslagsskeið, birkilause skeiðið, birkiskeiðið fyrri, mýraskeiðið fyrri, birkiskeiðið síðara og mýraskeiðið síðara, og upphaf hvers skeiðs var sett við 10.000, 9000, 7000, 5000 og 2500 geislakolsár (Þorleifur Einarsson 1991). Upphaf hvers skeiðs í leiðréttum árum var fyrir um það bil 11500, 10.200, 7900, 5800 og 2600 árum.

Tímasetningar í köflunum hér á eftir miðast yfirleitt við neðsta og efsta þekkjanlega gjóskulag í jarðvegi í setlögum (milli malarlaga) og neðsta þekkjanlega gjóskulag í jarðvegi ofan á þrepum/hjöllum/rofflötum. Jarðvegur er oft raskaður eða hefur skriðið til svo fyrirvarar eru um eldri/ýngri gjóskulög eftir því sem við á. Skeikað getur 100-200 árum í tímasetningum vegna þessa og meira í einstökum tilfellum. Til leiðarlaga er vísað með heiti og aldri (t.d. H-Ö, um 6140 ára) en til annarra gjóskulaga er vísað með númerum þeirra í samsetta lykilsniðinu Kári-1 og Kári-8 (t.d. lag 42).

Aðstæður og opnur í jarðveg

Í botni dalsins sunnan Fremri-Kárahnjúks er setfylla, mjög rofin af Jökulsá. Ofan setfyllunnar eru aflíðandi hlíðar, víða þaktar þykkum jarðvegi. Breiðir hjallar (hér eftir nefndir meginhjallar), ýmist austan eða vestan megin Jökulsár, einkenna dalinn. Á köflum hefur áin rofið nánast allt set úr hlíðunum, t.d. í Sauðafelli gegnt Lindum, en annars staðar skilið eftir lægri hjalla neðan við meginhjallana, sums staðar allt að 6 smáhjalla. Ofan meginhjallanna eru víða stallar eða þrep, greinilegust austan Jökulsár þar sem þau eru nánast samfelld á löngum köflum. Þau eru sums staðar tvö, yfirleitt ekki breið (4-10 m) en þó með undantekningum. Efra þrepið markaði skýra „línu“ í hlíðina austan ár. Einfölduð skýringarteikning af aðstæðum er á Mynd 3-3.



Mynd 3-3. Einfölduð skýringarmynd af upphleðslu sets, myndun jarðvegs með gjóskulögum og rofi setfyllu.

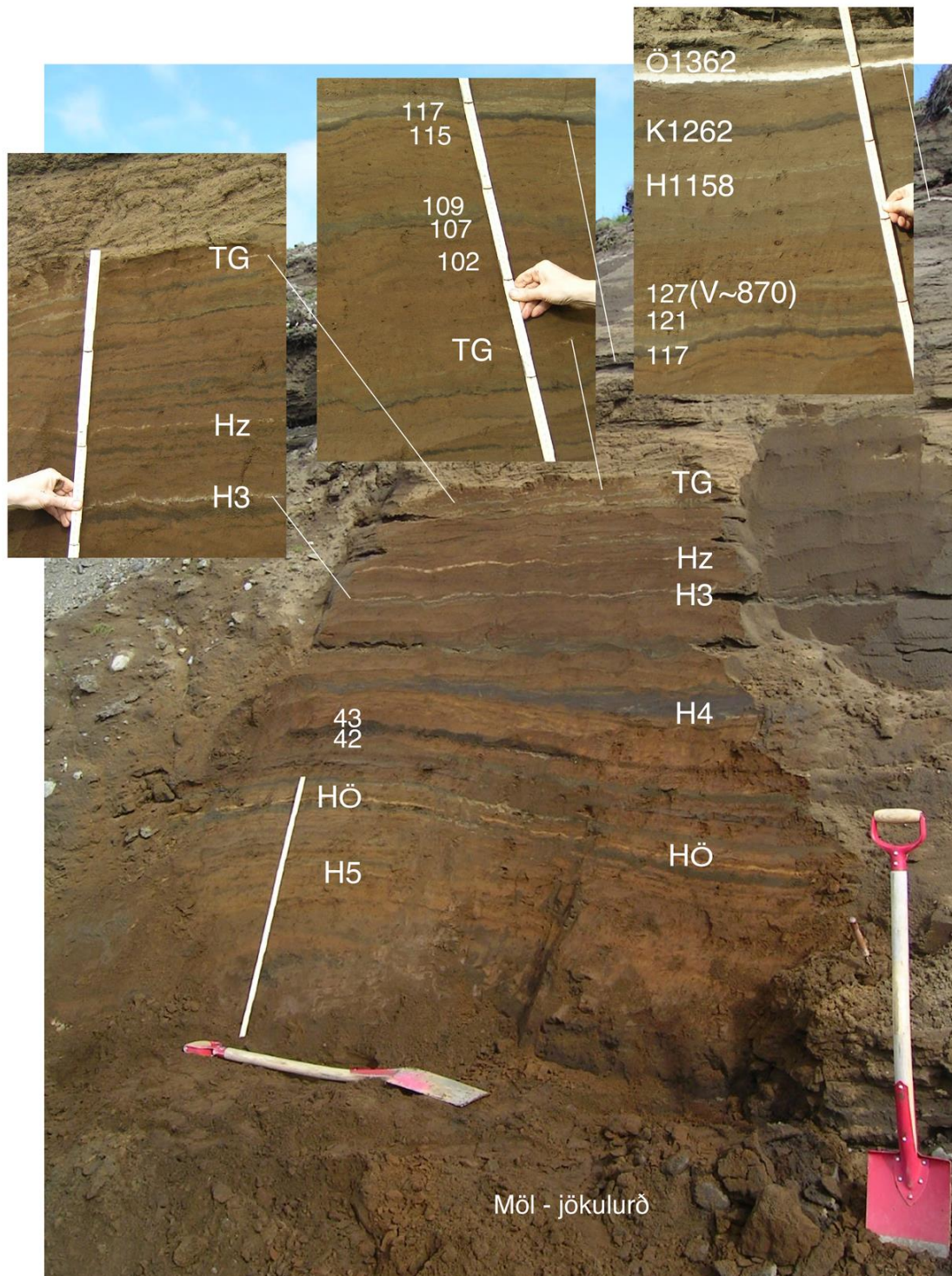
Jökulárset og lónset frá hörfunarskeiði jökuls er dökkgult. Jarðvegur 7700 til 1700 ára er dökkgrænn og einungis helstu leiðarlög eru sýnd með rauðum línunum. Hluti af þessum jarðvegi finnst milli malarlaga (sýndur þjappaður) en hann huldist ármöl fyrir um 2500 árum. Ármöl yngri en 2500 ára (Á5) er ljósgul. Jarðvegur yngri en 1700 ára er ljósgrænn, þykkt hans er ýkt. Helstu gjóskulög sem máli skipta fyrir tímasetningar eru sýnd (rauð - súr, svört - basísk). Bláir rammar vísa til mynda (sniðateikninga og ljósmynda).

Svo til samfelld jarðvegsþekja var á 12 km kafla í neðanverðum hlíðum Hálsins frá Sandfelli suður í snið K9 (sjá kafla 3.3 og kort í vasa) en hún var mjög skorin af lækjarfarvegum. Vestan Jökulsár var sáemileg jarðvegsþekja á 5 km kafla frá Kringilsá norður í hlíðar Sauðafells. Bæði þessi svæði voru gengin nánast að endilöngu í nokkrum áföngum. Jarðvegstorfur og leifar voru víðar, þar á meðal í Fremri-Kárahnúk og á syllum í Dimmugljúfrum. Nyrst var farið í Hafrahvammagljúfur en þar er jarðvegsþekja á tæplega 1 km löngu svæði.

Þykki jarðvegurinn ofan setfyllunnar var móajarðvegur á allstórum kafla suðvestan Sandfells. Í þennan jarðveg voru opnur í vegköntum/skorningum, gryfjum og rofum og þar var lykilsniðið fyrir rannsóknasvæðið mælt (Mynd 3-1 og Mynd 3-3). Í þykkum jarðvegi sunnar í hlíðum í Hálsi og Sauðafelli var víða dökkur, lífrænn jarðvegur (mór) neðst, blautur og illgræfur með handafla en efri hlutinn þurrari og oft meira rofinn. Opnur í þennan jarðveg voru í lækjarfarvegum og undir það síðasta í setsöfnunargryfjum ofarlega í Hálsinum.

Þunni jarðvegurinn á þrepum og hjöllum var þurr og auðgræfur en góðar opnur í þennan jarðveg voru í lækjarfarvegum, malarnámum, gryfjum, vegskorningum og skurðum. Malarnámur voru yfirleitt á stærstu hjöllum en náðu sums staðar upp í neðra þrepið, t.d. ofan við Horn.

Jarðvegur milli malarlaga í hjöllum kom fram í djúpum giljum gröfnum í hjallana og þar voru helstu opnurnar (sjá kafla 2.3 og Mynd 2-19). Jarðvegurinn var ofan á setlögum frá hörfunarskeiði ísaldarjökulsins en undir yngri ármöl. Hann var yfirleitt harðnaður og oft aflagaður. Í einni malarnámu austan við Horn virtist jarðvegur liggja undir yngri ármölinni.



Mynd 3-4. Lykilsnið við Kárahnjúka.

Stóra myndin sýnir neðri hluta lykilsniðsins. Jarðvegurinn er gulbrúnn þurrlendisjarðvegur. Leiðarlög eru merkt með upphafsstaf eldstöðvar og/eða númeri. Innfelldu myndirnar sýna búa af efri hluta sniðsins. Yngstu leiðarlögin eru merkt með upphafsstaf eldstöðvar og gosári. Jarðvegur frá síðustu 1000 árum er grábrúnn, siltríkur fokjarðvegur. Ljósmyndir BAÓ og GL.

Jarðvegssnið voru mæld á völdum stöðum og mest áhersla lögð á jarðveg á þrepum, hjöllum og milli malarlaga. Þykkur jarðvegur í hlíðum í Hálsi og Sauðafelli var skoðaður á allmörgum stöðum og borinn saman við lykilsniðið, gjóskulög skráð en snið ekki mæld.

Skráðir athugunarstaðir sumrin 2005 og 2006 eru nálægt 150 á svæði frá Hraukum út í Hafrahvammagljúfur, þar með taldir staðir þar sem teknar voru ljósmyndir.

3.2 Tímasetningar á jarðvegi í hlíðum ofan setfyllu og þrepa

Elsta gjóskulag af þekktum aldri í jarðvegi í Hálsi og reyndar á öllu rannsóknasvæðinu var Heklulagið H-5, um 7100 ára gamalt. Það var örþunnt en vel finnanlegt í góðum opnum. Undir því fundust mest níu gjóskulög sem telja mátti loftfallin og óröskuð. Í lykilsniðinu suðvestan Sandfells var framreiknaður aldur lags 4 um 7600 ár en ekki var reynt að meta aldur þriggja neðstu gjóskulaganna því þar var jarðvegurinn grófari og harðari. Þau gætu hafa fallið á 100-200 ára tímabili svo líklega hófst jarðvegsmyndun á svæðinu suðvestan við Sandfell fyrir a.m.k. 7700 árum og jafnvel fyrr.

Greinilegasta leiðarlagið í elsta hluta jarðvegsins var gulhvíta Heklulagið H-Ö, um 6140 ára gamalt, 0.5-1.5 cm þykkt eftir aðstæðum. Undir því voru tvö auðþekkjanleg dökk gjóskulög og saman mynduðu þau röð sem auðvelt var að þekkja og rekja. Sunnan til í Hálsi og í Sauðafelli var neðsti hluti jarðvegs yfirleitt mór og neðsta þekkjanlega gjóskulagið var H-Ö en undir því voru 30 til >110 cm (>skóflulengd) jarðvegur með gjóskulögum niður í grjót. Þótt ekki tækist að grafa í botn er hér gert ráð fyrir að jarðvegurinn hafi byrjað að myndast á svipuðum tíma og í lykilsniðinu suðvestan Sandfells.

Yngri ljóslitu gjóskulögin H-4, H-3, H-z, H-1158 og Ö-1362, voru yfirleitt auðfundin og auðþekkt ásamt fylgilögum sínum en efri hluti jarðvegsins var víða rofinn. Dökku leiðarlögin frá tímabilinu um landnám (1100-1200 ára) mynduðu einnig auðþekkjanlega röð af grágrænum og svörtum gjóskulögum neðan við H-1158.

3.3 Tímasetningar á jarðvegi í setlögum

Jarðvegur milli malarlaga

Jarðvegur finnst allvíða á milli malarlaga í innanverðum dalnum sem geymdi Hálslón forna. Aðeins er um eitt jarðvegslag að ræða, alltaf með sömu afstöðu til setlaganna, ofan á lónsetinu en undir hreinu ármölinni (sjá kafla 2). Fundarstaðir eru sýndir á kortum af dalfyllingunni í 1:10.000 (í vasa). Jarðvegslagið er misþykkt, frá því að vera nokkurra sentímetra skæni upp í nærri 2 m þykkt lag. Í jarðveginum eru gjóskulög, mismörg og misvel varðveitt á hinum ýmsu stöðum, og mun betur varðveitt vestan megin í dalnum. Jarðvegurinn er yfirleitt ljósbrúnn og án lífrænna leifa, harðnaður og samþjappaður undir margra metra malarfargi, illgræfur og klofnar gjarnan í þunnar flögur. Alls staðar þar sem hann var skoðaður voru kaflar þar sem gjóskulögin voru hreyfð, kuðluð eða slitin, vegna þess að jarðvegslag hafði skriðið til eftir að þau féllu. Ekki er ljós hvort það gerðist fyrir eða eftir að mölin lagðist yfir hann. Jarðvegslagið fannst í hjöllunum skammt norðan við Tröllagil en ekki norðar með fullri vissu.

Stærstu opnur í jarðveg milli malarlaga vestan megin eru K18 í Stórahjalla, K3 í gili norðan Kringilsár og K5 í hjöllum norðan Tröllagils. Stærsta opnan austan megin er K9 í gili gegnt Kringilsá. Hvergi fannst alveg samfelldur, óhreyfður jarðvegur í opnunum og í K9 var aðeins lítill hluti óraskaður. Á þremur fyrstnefndu stöðunum voru snið gegnum jarðveginn mæld í bútum og tengd saman á auðþekktum gjóskulögum en ekki tókst að finna óraskaða kafla fyrir alla hluta hans á þeim tíma sem var til ráðstöfunar. Vegna fjölda góðra leiðarlaga má þó telja að sniðin gefi nokkuð rétta mynd af jarðveginum og að tímasetningar séu réttar.

Snið K18 í Stórahjalla. Jarðvegur milli malarlaga í Stórahjalla var um 1,8 m þykkur og vel varðveittur á köflum en hvergi var hægt að fá samfellt óraskað snið. Ofan á honum voru 20 m af hreinni ármöl (mælt). Alls fundust 35 gjóskulög í best varðveittu bútunum en gjóskulög í raskaða hluta sniðsins voru ekki mæld. Einfaldað en lítið samsett snið er sýnt á Mynd 3-5 og best varðveittu gjóskulögin á Mynd 3-6a. Yngsta þekkjanlega gjóskulagið er Heklulag kallað H-z, reiknaður aldur er um 2700 ár, og ofan við það var eitt dökkt gjóskulag. Yngsta tímasetta gjóskulag er H-3, um 3050 ára. Elsta tímasetta gjóskulag er H-Ö, um 6140 ára. Valinn var staður þar sem jarðvegur með leiðarlögunum H-z, H-3, H-4, og H-Ö og aðliggjandi gjóskulögum var sem minnst raskaður en ekki tókst að finna góðan neðri hluta. Neðan við H-Ö eru 10 dökk gjóskulög sem samsvara vel gjóskulögum í lykilsniði en undir þeim var jarðvegurinn í fellingum á kafla. Í þessum fellda jarðvegi var sums staðar, auk greinilegra dökkra gjóskulaga, vottur af örþunnu og örfínu ljósu gjóskulagi,

oftast bara litur en smáar linsur á stöku stað. Í lykilsniðinu hefur leiðarlagið H-5, um 7100 ára, þessi sömu útlitseinkenni og því má telja nánast fullvíst að neðsta ljósa lagið í Stórahjalla sé H-5. Undir hreyfða jarðveginum eru tvö dökk lög, líklega loftfallin gjóskulög, en neðstu 5-6 lögin í sniðinu gætu verið endurflutt. Neðsta lagið leggst beint ofan á mól í um 562 m y.s. (skv. mælingum og kortum í vasa). Samkvæmt þessu hefur verið kominn jarðvegur í Stórahjalla fyrir meira en 7100 árum og líklega töluvert fyrr. Varlega áætlað gæti elsti jarðvegurinn þar verið um 7500 ára gamall. Yngsti jarðvegurinn er líklega um 2600 ára gamall.

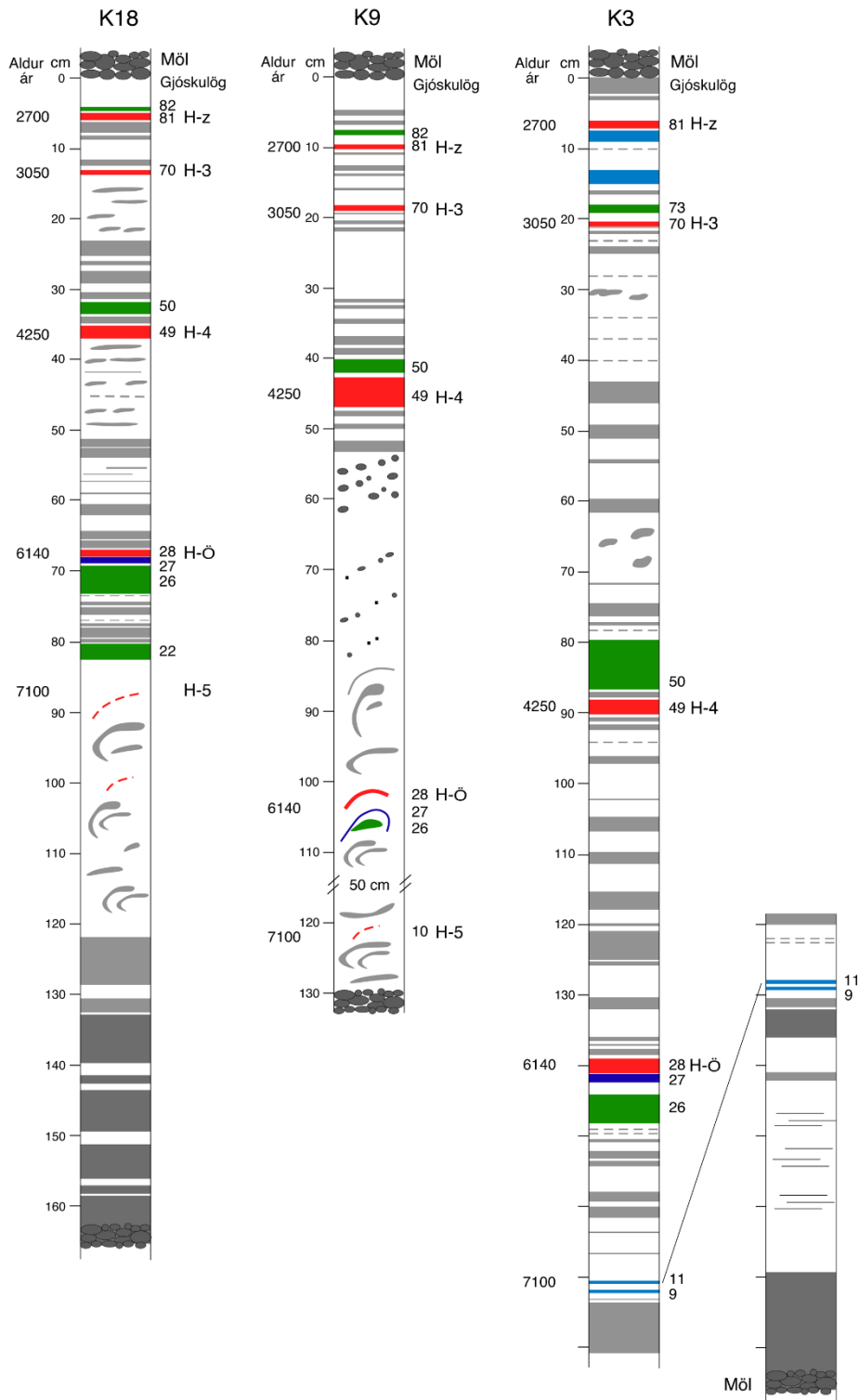
Snið K3. Þykkasti jarðvegurinn sem fannst var í sniði K3, mest um 2 m, og í honum voru allt að 60 gjóskulög. Í neðstu 60 cm eru sand- og siltlög. Einfaldað samsett snið er sýnt á Mynd 3-5. Ofan á jarðveginum voru um 8 m af ármöl og botn jarðvegs er í 557-558 m y.s. eftir því hvort sand- og siltlögin teljast til hans. Alls voru 12 gjóskulög efnagreind til að staðfesta uppruna leiðarlaga og neðstu gjóskulaga. Yngsta þekkjanlega gjóskulagið er H-z, reiknaður aldur er um 2700 ár, og ofan við það eru tvö dökk gjóskulög. Yngsta tímasetta gjóskulag er H-3, um 3050 ára, og elsta tímasetta gjóskulag er H-Ö, um 6140 ára. Undir H-Ö eru 14-15 gjóskulög en þar fyrir neðan eru sandlög í jarðveginum sem trufla upphleðsluna og loks sandur og mól. Í lykilsniðinu (Mynd 3-1) eru um 20 gjóskulög milli H-Ö og elsta tímasetta gjóskulagsins, H-5, um 7100 ára, sem er örþunnt á Hálslónssvæðinu. Neðstu gjóskulögin, sem hafa Grímsvatnaeinkenni, eru úr syrpu slíkra laga umhverfis H-5 en þrátt fyrir langa leit fannst H-5 ekki með vissu í sniði K3. Hugsanlegt er að þau samsvari lögum 11 og 9 í lykilsniðinu og að jarðvegur hafi verið byrjaður að myndast fyrir um 7000 árum og e.t.v. fyrr því jarðvegurinn með sandlögnum þurfti sinn tíma til að myndast. Yngsti jarðvegurinn er um 2600 ára gamall.

Snið norðan Tröllagils (K5). Nyrsti staður þar sem jarðvegur fannst með vissu milli malarlaga var í hjöllum norðan Tröllagils. Ofan á jarðveginum var 1-2 m lag af hreinni ármöl. Þessi staður er tæplega 5 km norðan við K3. Jarðvegurinn var mest um 2 m þykkur en var alls staðar meira og minna raskaður og í honum voru allt að 20 cm þykkar malarlinsur og sandlög. Lengsti óraskaði jarðvegsbúturinn var um 90 cm (Mynd 3-6b). Efstu þekkjanlegu lögin voru tvö „gróf“ dökk gjóskulög með kornum allt að 1 cm og sérstökum einkenniskornum, bjúgkornum (achnelítum) og teygðum glerjuðum kornum. Þessi gjóskulög samsvara lögum 39 og 42 í lykilsniðinu og eru þau einu með þessum einkennum á Kárahnjúkasvæðinu. Ofan við lag 39 var á einum stað 60 cm þykkur jarðvegur með hreyfðum gjóskulögum en ekki tókst að þekkja neitt þeirra og engin merki um H-z, H-3, né H-4 fundust þar. Neðsta þekkjanlega gjóskulagið var H-Ö og undir því 8-9 dökk gjóskulög, þau neðstu í siltkenndum jarðvegi.

Undir þeim var 50-60 cm lagskiptur, harðnaður sandsteinn og síðan mól. Samanburður mælinga við kort í 1:10.000 sýnir að mót jarðvegs og sandsteins voru í 555-556 m y.s.

Kísilútfellingar, líklega vegna afrennslis frá jarðhita í hlíðinni ofan við, voru í jarðveginum, og í sumum gjóskulögum. Útfellingarnar voru greinilegastar á dálitlum kafla neðan við H-Ö en byrjuðu fyrr og náðu a.m.k. upp að lagi 42. Ekki er hægt að fullyrða um hvort kísilútfellingar hafi verið í hreyfða jarðveginum. Kísilútfellingar voru víðar í hjallanum norðan við Tröllagil en í jarðveginum. Þær voru aðeins skoðaðar á einum stað fremst í hjallanum. Þar leggst hreina ármölin beint ofan á lagskiptan fínsand/silt með gárum. Á nokkrum stöðum (t.d. við G50) höfðu farvegir með stefnu frá hlíðinni grafist niður í lagskipta sandinn og síðan fyllst af grófara efni. Þeir voru nokkrir metrar á breidd og allt að 1,6 m djúpir. Grafið var snið í einn þessara farvega. Fyllingin var mól neðst, svo skálögóttur sandur með malarlinsum og loks mól og malarríkur sandur. Í fyllingarefninu voru kísilútfellingar, bæði í sandi og mól, en lagskipti fínsandurinn sem farvegirnir grófust í var án kísilútfellinga. Ofan á þetta lagðist hreina ármölin, en sums staðar voru ræksni af gamla jarðveginum á milli, m.a. með slitrum af H-Ö. Gröftur og fylling farveganna er því eldri en H-Ö (um 6140 ára) og líklega eldri en jarðvegurinn þarna.

Jarðvegur milli malarlaga

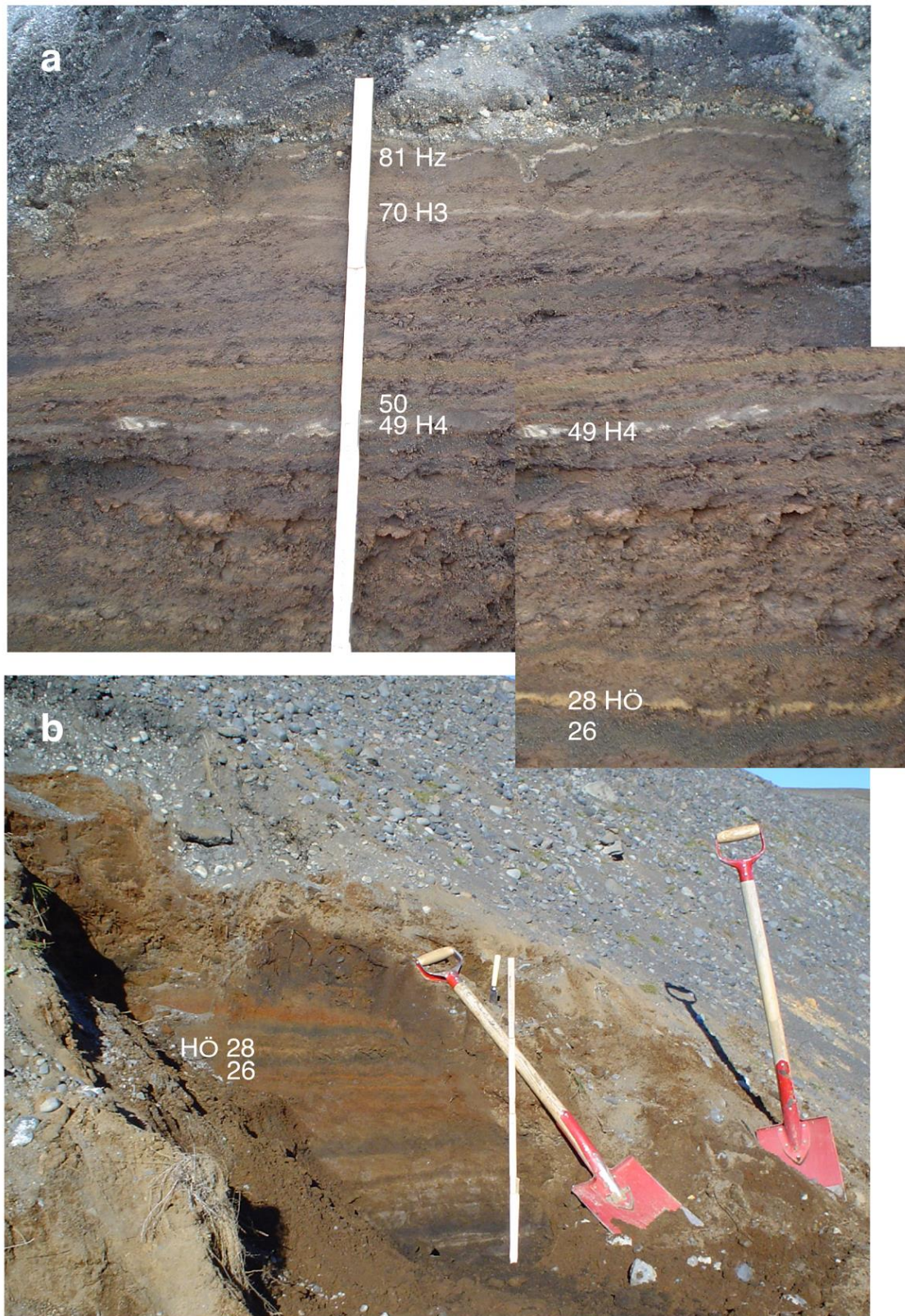


Mynd 3-5. Snið í jarðveg milli malarlaga.

Sniðunum er raðað frá suðri norður eftir dalnum. Gjóskulög þekkt með vissu af útlitseinkennum gjóskunnar (samkvæmt lykilsniði) og efnagreind gjóskulög eru sýnd í viðeigandi lit en önnur gjóskulög eru höfð grá að lit. Gosár sögulegra gjóskulaga og númer forsögulegra gjóskulaga (sbr. lykilsnið) eru hægra megin sniðs en aldur vinstra megin. Gjóskulög í röskuðum jarðvegi eru lauslega teiknuð, aðeins helstu lög eru sýnd. Sandlög eru dökkgrá.

Snið K9. Þykkasti og greinilegasti jarðvegurinn milli malarlaga austan megin í dalnum var í hjöllum gegnt Kringilsá. Honum hefur áður verið lýst í skýrslu Jórunnar Harðardóttur o.fl. (2001) en hann var aftur skoðaður sumarið 2006. Jarðvegurinn er allt að 2 m þykkur en er meira raskaður en á hinum þremur stöðunum, einkum neðri hluti hans. Sæmilegt snið fannst af efri hlutanum en hreina ármölin ofan á sniðinu var um 8 m þykk. Hægt var að mæla þykkustu gjóskulögin í efstu 50-60 cm jarðvegsins (Mynd 3-5) en þynnri gjóskulög voru illa varðveitt. Efsta þekkjanlega gjóskulag var H-z og ofan við það voru þrjú dökk gjóskulög. Leiðarlögin H-3 og H-4 eru bæði í þessum hluta sniðsins og á milli þeirra eru 11 gjóskulög. Undir H-4 í þessu sniði voru þrjú gjóskulög nokkurn veginn óhreyfð. Neðan við þau var um 30 cm þykkur lagskiptur kafla með sandi og fínmö. Skilin milli jarðvegs og sands lágu skáhallt á gjóskulögin og hægt var að rekja þessi skil eftir jarðvegslaginu þar til þau skáru gjóskulagið H-4. Þar virðist hafa verið einhvers konar skriðflötur en hreyfingin var ekki tímasett að öðru leyti en því að hún er yngri en 4250 ára. Neðan við þennan flöt var jarðvegurinn meira og minna hreyfður og engin snið mæld, en allmörg gjóskulög voru þekkjanleg, þar á meðal H-4 samankuðlað, H-Ö og fáein lög næst undir því, og líklega H-5 ásamt laginu næst ofan við og 1-2 lögum undir. Jarðvegurinn hér er því af sama aldri og í K3 og í K18 í Stórahjalla.

„Yngri“ jarðvegslagið sem Jórunn Harðardóttir o.fl. (2001) nefna að sé í kjaftinum á giliinu við K9 er ekki eiginlegur millimalajarðvegur heldur jarðvegs- eða gróðurlag sem orðið hefur til á kafla meðfram læk sem gróf sig niður í hjallann og bjó til aurkeilu neðan við hann. Aurinn hefur lagst yfir gróðurlagið á einhverjum tímapunkti en þegar lækurinn gróf sig lengra niður kom það fram aftur sem jarðvegslag sem þynntist og dó út upp með læknum. Ræksni af svörtu gjóskulagi var í jarðveginum á kafla. Aðeins ofar í sama gili var dálítill grastorfa sem möl úr hlíðum skorningsins hafði hrúnið yfir og hulið að hluta en lækurinn/leysingavatnið skorið framan af. Þessi jarðvegur sýndist í fljótu bragði koma út úr hjallanum. Jarðvegurinn var brúnleitur fokjarðvegur og því illa fallinn til geislakolsgreiningar. Tímasetning á óskilgreindu jarðvegssýni með geislakoli gaf 1810 ± 65 geislakolsár (Jórunn Harðardóttir o.fl. 2001). Sá háí aldur gæti stafað af gömlu lífrænu efni sem borist hefur með læknum úr eldri jarðvegi í hlíðinni.



Mynd 3-6. Jarðvegur milli malarlaga.

Helstu leiðarlög eru merkt. a) Efri hluti jarðvegs í Stórahjalla (K18). Ljósu gjóskulögin H-z (um 2670 ára), H-3 (um 3050 ára) og H-4 (um 4250 ára) sjást vel. Mælikvarðinn er um 50 cm langur. Litla innfellda myndin sýnir H-Ö (um 6140 ára) og lagið næst undir. b) Neðri hluti jarðvegs í hjalla við Tröllagil (K5). Mælikvarðinn er 80 cm langur. Ljós. GL.

Jarðvegur í malarnámu við Horn („náma“ á korti 1 í vasa). Á botni malarnámu norðaustan við Horn komu blettir af jarðvegi í ljós, að því er virtist undir hreinu ármölinni. Þessi jarðvegur var ekki skoðaður á staðnum en sést á myndum af námunni. Hugsanlega var þetta jarðvegur milli malarlaga og malarnáman er þá nyrsti fundarstaður hans.

Samantekt: Tímasetning jarðvegs milli malarlaga og aðstæður á myndunartíma

Á flestum stöðum sem skoðaðir voru var jarðvegurinn á milli malarlaganna að einhverju leyti hreyfður eða óreglulegur á köflum, sums staðar hafði hann haggast á myndunartíma og sums staðar síðar, e.t.v. vegna fargs af mölinni ofaná. Neðri hluti jarðvegsins var gjarnan hreyfður, e.t.v. vegna vatnsaga þegar jarðvegsmyndun hófst í námunda við lindir og bleytur.

Elsta þekkjanlega gjóskulag í þessum jarðvegi telst vera ljósa Heklulagið H-5, um 7100 ára gamalt. Undir því eru nokkur dökk lög, m.a. svart fremur þykkt gjóskulag neðarlega í syðsta sniðinu, K18 í Stórahjalla, en einhver þeirra gætu tengst útskolun úr jöklinum. Jarðvegsmyndun á eldra setinu hefur því hafist syðst í dalnum nokkru áður en gjóskulagið H-5 féll, e.t.v. fyrir um 7500 árum. Nyrst, í jarðvegi norðan Tröllagils, fannst H-5 ekki en H-Ö, um 6140 ára gamalt, og a.m.k. 6 af þeim 15 gjóskulögum sem eru á milli þeirra tveggja voru neðst í honum.

Yngsta þekkjanlega gjóskulagið í jarðveginum er ljósleitt Heklulag, H-z sem er um 2700 ára gamalt. Skömmu síðar lagðist mól yfir millijarðveginn syðst í dalnum og jarðvegsmyndun hætti. Ekki var hægt að skera úr um hvenær jarðvegsmyndun hætti á öðrum stöðum þar eð efsti hluti jarðvegsins var raskaður.

Líklegt er að jarðvegurinn spanni um 5000 ára tímabil, sem hófst fyrir um 7500 árum og lauk fyrir um 2500 árum síðan. Þetta hefur verið rólegt tímabil á vatnasviði Jökulsár, engin merki um flóð blasa við og raskið í jarðveginum virðist vera staðbundið, þ.e. verður ekki samtímis á mörgum stöðum. Grónar eyrar hafa myndast í dalnum, a.m.k. meðfram hlíðum hans.

Undir jarðveginum syðst er mól, t.d. í K9 og K18 í Stórahjalla, en norðar er skálaga sandur undir honum, t.d. í sniði K3 norðan Kringilsár. Norðan við Tröllagil er efsti hluti setsins gáraður fínsandur/silt en í þetta gáraða lágorkuset hafa rofist 1,5-1,7 m djúpir farvegir.

Neðri mörk jarðvegsins ættu að gefa nokkra hugmynd um landslag í dalnum fyrir 7500 árum. Landið var þá að mestu komið í jafnvægi eftir jöklaleysinguna. Aðeins munar 7 m í hæð frá Stórahjalla (K18) að Tröllagili (K3) um 10 km norðar. Meðalhalli landsins vestanvert í dalnum hefur samkvæmt því verið um 0,7 m/km og landið nánast marflatt. Hér er þó ekki allt sem sýnist því taka þarf tillit til fergingar landsins vegna stækkunar Vatnajökuls á síðari hluta nútíma.

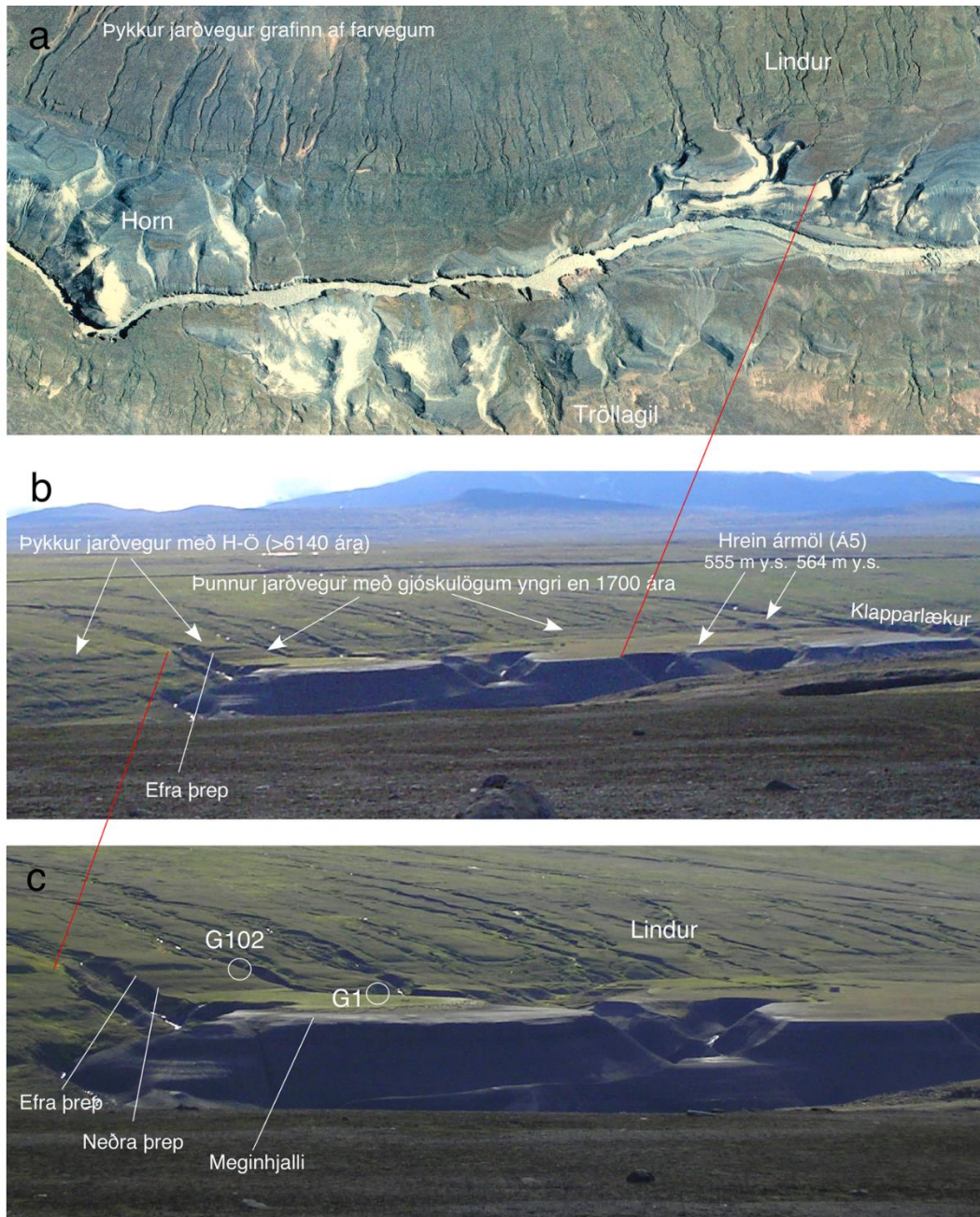
Jarðvegur milli malarlaga fannst ekki með vissu norðar en í sniði K5 við Tröllagil. Sú skýring hefur verið sett fram að stöðuvatn hafi ennþá verið í norðurhluta dalsins fyrir um 2500 árum og að suðurmörk þess hafi verið í námunda við Tröllagil (Guðrún Larsen o.fl. 2007). Vatnsborð þess var miklu lægra en jökullónsins og jarðvegurinn setur vatnborðinu skorður í <555 m y.s við Tröllagil. Jarðvegur norðan við Horn setur því enn þrengri skorður. Ekki var tekið tillit til landhæðarbreytinga vegna stækkunar Vatnajökuls í umfjöllun Guðrúnar o.fl. (2007).

3.4 Tímasetningar á jarðvegi á þrepum og hjöllum, rof setlaga

Þrep með jarðvegi yngri en 1700 ára

Jarðvegurinn í Hálsi og Sauðafelli þynnist snögglega nokkru ofan við meginhjallana þar sem þrep eða stallar hafa myndast í hlíðarnar (Mynd 3-7a-c). Ofan við er þykkur jarðvegur sem lækir hafa grafið sér farvegi í og í þessum jarðvegi er elsta þekkjanlega gjóskulagið H-Ö (6140 ára) eins og áður er getið, en undir því er 30-110 cm jarðvegur með gjóskulögum. Á þrepunum, sem sums staðar eru tvö, er miklu þynnri jarðvegur og í honum hafa ekki fundist gjóskulög sem eru eldri en um 1700 ára gömul. Fjöldi opna í lækjarfarvegum, vegaskorningum og námum var skoðaður. Undir jarðveginum á þrepunum er mól sem samkvæmt greiningu er ármöl, „hreina ármölin“.

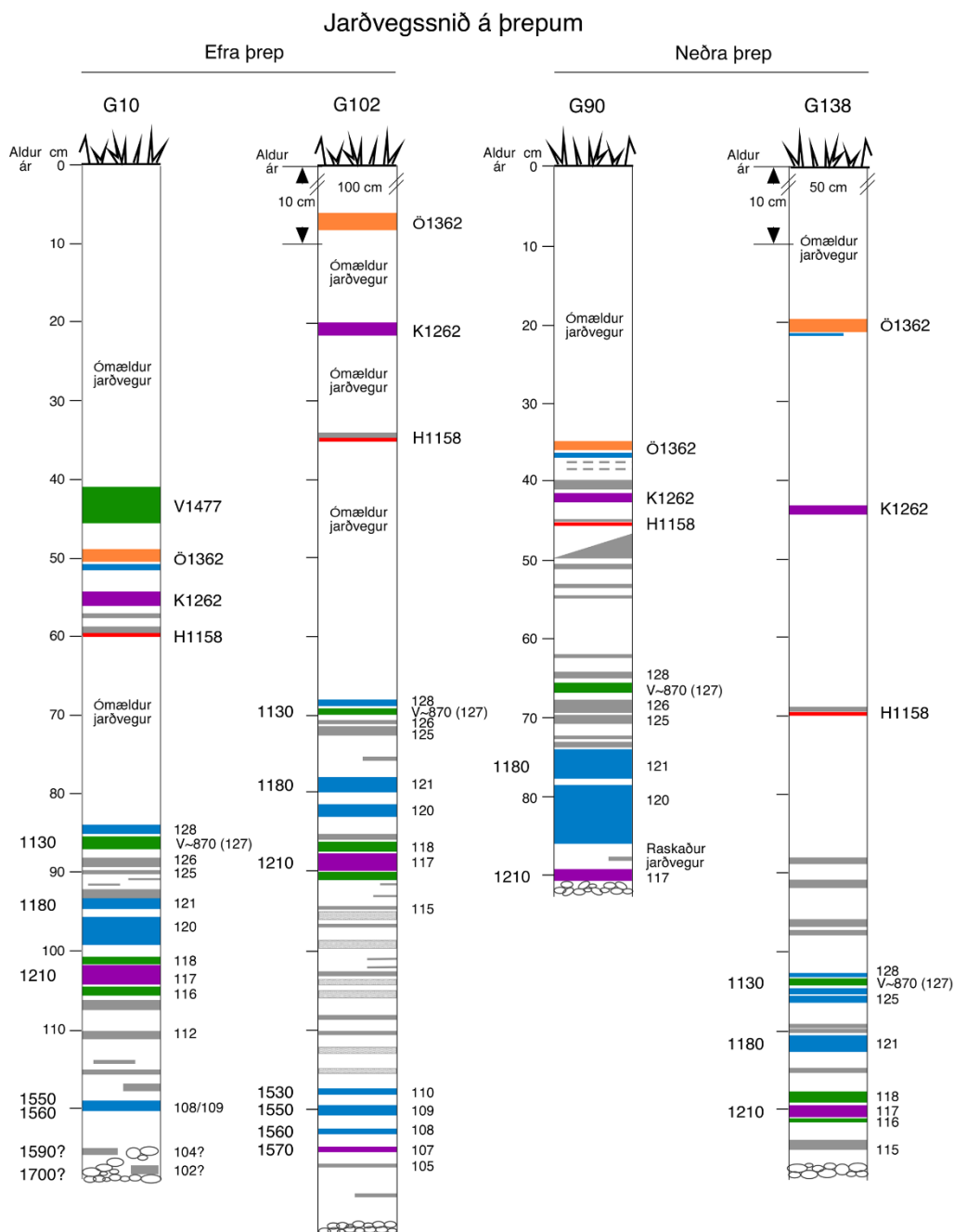
Efra þrepið er greinilegast austan Jökulsár og þar sést breytingin frá þykkum eldri jarðvegi í þynnri yngri jarðveg mjög glögg, m.a. á loftmyndum (Mynd 3-7a-c). Þrepið er yfirleitt mjótt, nokkrir metrar á breidd en þó eru undantekningar, t.d. norðan við Klapparlæk (sjá kort 1) þar sem breiddin er tugir metra.



Mynd 3-7 þrep og hjallar við Lindur.

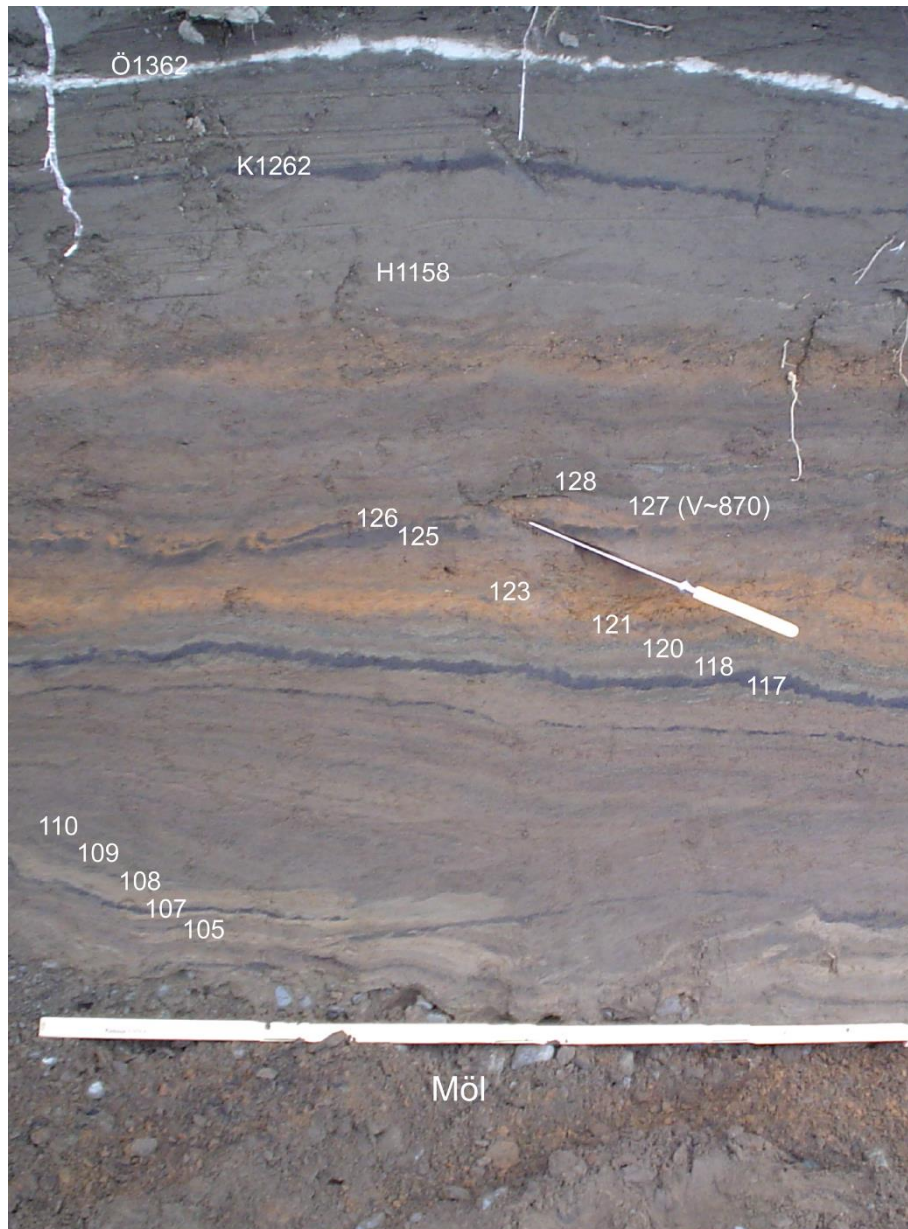
a) Yfirlitsmynd úr lofti af um 2,6 km löngu svæði frá Horni að Lindum, norður til vinstri. Munurinn á þykkum jarðvegi með greinilegum farvegum í hlíðinni ofan við þrepin og þynnri jarðvegi á þrepum og hjöllum sést vel. b) Ljósmynd af svæðinu kringum Lindur. Bæði þrepin sjást á dálitlum kafla. Rétt norðan við Klapparlæk er réttara að tala um hjalla en þrep en þar nær mölin (Á5) upp í 564 m y.s. á kafla. c) Stækkaður hluti úr b með sniðum G1 og G102 merktum með hring. Jarðvegur á meginhjöllum er rofinn burt næst brúnunum. Ljósmyndir. a) Loftmyndir ehf, b) og c) GL.

Á efra þrepinu eru elstu þekkjanlegu gjóskulög úr syrpu gjóskulaga sem hér eru nefnd 109/108/107 og féllu á um 30 ára tímabili fyrir 1550-1570 árum (G10, G102, mynd 3-8 og 3-9). Gjóskublettir/linsur í jarðveginum næst mölinni gætu verið úr lögum 104/103/102 en hið elsta þeirra er um 1700 ára. Ekkert gjóskulag frá eldstöðvum í Vatnajökli féll á Kárahnjúkasvæðinu næstu 400 árin á undan svo varla er um önnur lög að ræða (Mynd 3-1) og leiðarlagið T-G, um 2000 ára, fannst þar hvergi. Snið G102 er tekið á efra þrepi norðan við Lindur (Mynd 3-7c), Breytingin úr þykkum jarðvegi í hlíðinni í þunnan jarðveg á þrepum og hjöllum sést vel.



Mynd 3-8. Jarðvegssnið á þrepum, raðað frá suðri til norðurs.

Gjóskulög þekkt með vissu af útlitseinkennum gjóskunnar samkvæmt lykilsniði og efnagreind gjóskulög eru sýnd í viðeigandi lit en önnur gjóskulög eru höfð grá. Gosár sögulegra gjóskulaga og númer forsögulegra gjóskulaga (sbr. lykilsnið) eru hægra megin sniðs en aldur vinstra megin. „Ómældur jarðvegur“ þýðir að gjóskulög voru ekki mæld. Staðsetningu sniða má sjá á kortum.

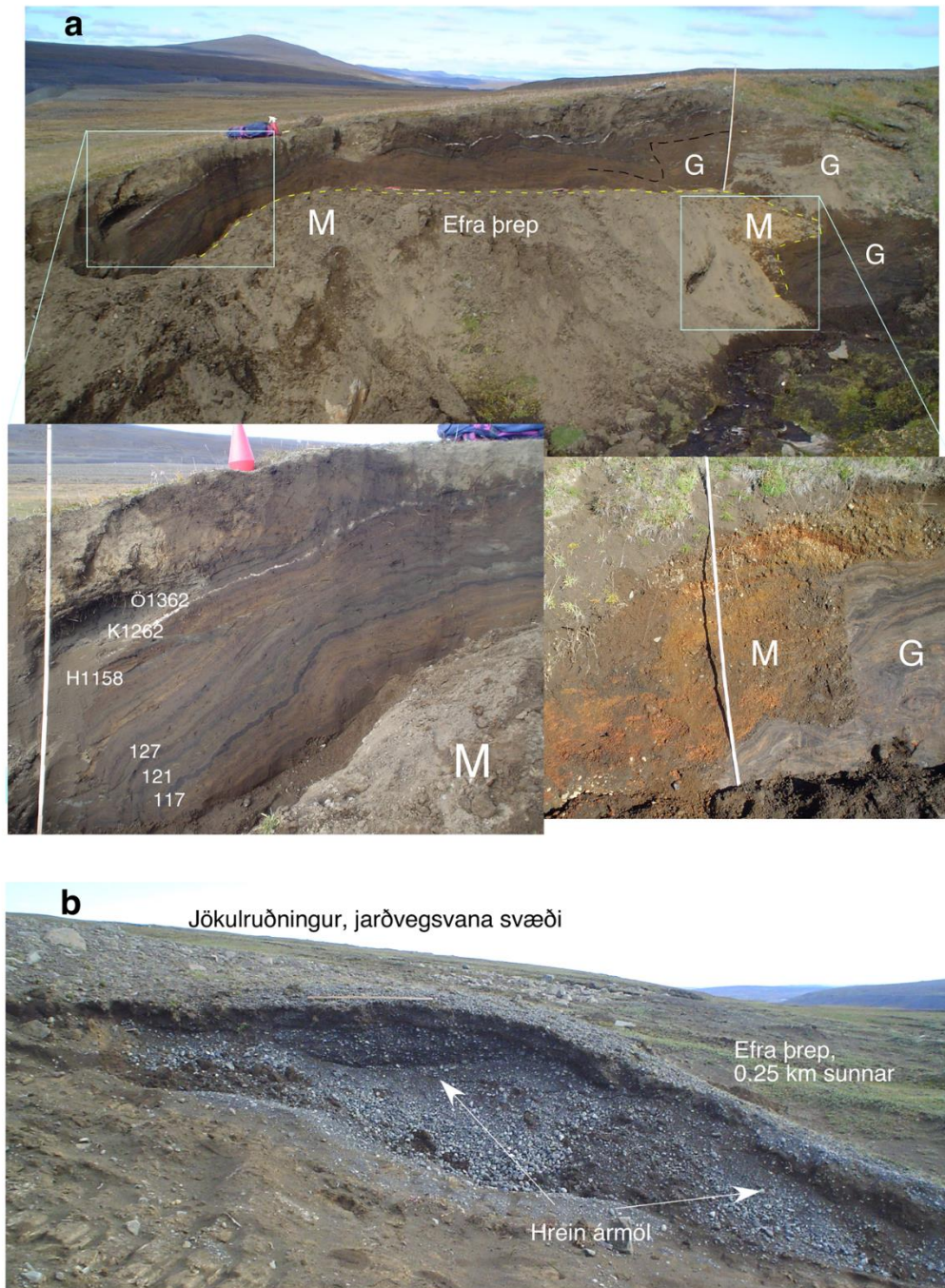


Mynd 3-9. Neðri hluti jarðvegssniðs G102 við Lindur.

Gjóskulög frá sögulegum tíma eru merkt með bókstaf og ártali, eldri gjóskulög með númeri. Hnífsoddurinn bendir á gjóskulagið V~870, einnig kallað Landnámslag. Ljósmynd GL.

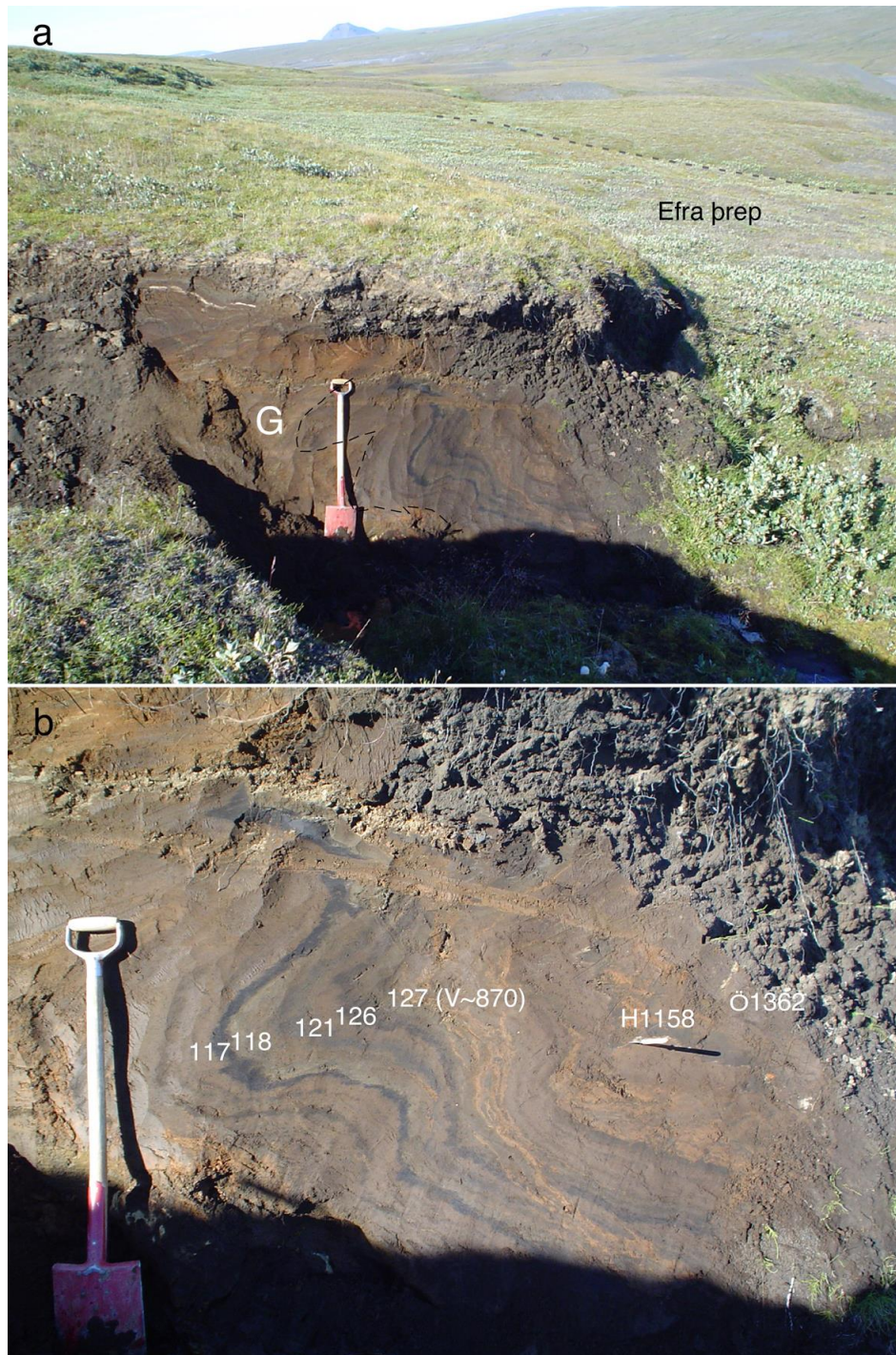
Í sniðum G10 austan ár og G19-20 vestan ár sást að eldri þykki jarðvegurinn var rofinn eða þverskorinn þannig að klif myndaðist í hann, en jarðvegur með yngri gjóskulögum lá fram af klifinu og ofan á mölina í efra þrepinu (Mynd 3-10a og Mynd 3-11). Saman mynduðu malarþrepið og klifið í jarðveginum stall sem gæti svipað til strandlínu. Í vegarskorningi gegnum efra þrepið skammt sunnan G10 sást mölin í því vel og telst vera hreina ármölin (Mynd 3-10b). Fleiri opnur í jarðveg á efra þrepinu voru í giljum og vegköntum, t.d. Kári-8 þar sem lag 107 var neðsta þekkjanlega lag. Jarðvegurinn á efra þrepi er því talinn yngri en 1600-1700 ára.

Lægra þrepið var hvergi jafngreinilegt og efra þrepið, m.a. vegna þess að engin snögg breyting varð á jarðvegsþykktum eins og við efra þrepið. Lækkun niður á neðra þrepið virtist hafa verið lítil, fáeinir metrar, t.d. um 2 m við G10 en hún var ekki mæld annars staðar. Því mætti e.t.v. deila um hvort þarna væri einhver flötur. Þar sem snið voru skoðuð á neðra þrepinu vantaði gjóskulög 102 til 109 í jarðvegin og lag 117, Hrafnkatla 1210 ára, var elsta þekkjanlega gjóskulagið þar (G90, G138, Mynd 3-8) en sums staðar voru eitt til þrjú lög undir. Jarðvegurinn var samkvæmt því yngri en 12-1300 ára. Snið G138 er í malarnámu sem náði upp í þrepið.



Mynd 3-10 a) Jarðvegur á og við efra þrep í sniði G10.

Sniðið var í lækjargili sem hafði skorist niður úr mölinni en litað hana mýrarrauða. Mölin er afmörkuð með brotinni gulri línu en bakkinn var ekki hreinsaður. Á litlu innsettu myndinni sést hvernig möl (M) leggst upp að þverskornum eldri jarðvegi (G). Þar sem möl hélt ekki við eldri jarðveginn seig hann fram. Ofan á eldri jarðveginn og mölina í hjallanum lagðist yngri jarðvegur þegar Jökulsá náði ekki lengur upp á efra þrepið. Stærri innsetta myndin sýnir gjóskulögin í yngri jarðveginum. Greinilegasta svarta gjóskulagið er lag 117 en undir því eru eldri gjóskulög, sbr. snið G10. Greinilegasta ljósa lagið er Ö-1362. Tommustokkur á hverri mynd er um 1,6 m. b) Þverskurður gegnum efra þrepið í vegarskorningi á jarðvegsvana kafla sunnan við snið G10. Efnið í þrepinu er gráleit núin möl, hreina ármöl, alls ólík grjótinu ofan við. Tommustokkurinn er 1 m. Ljósmyndir GL.



Mynd 3-11 Jarðvegur við efra þrep vestan ár (G19-20).

a) Þverskorinn, gamall jarðvegur myndar bakka eða klif ofan þrepsins. Eldri, gulbrúni jarðvegurinn (G) er vinstra megin við skófluna en yngri grábrúnn jarðvegur er hægra megin, skilin eru sýnd með brotinni línu. Jarðvegurinn hefur sigið eða hrúnið fram, líklega bæði áður og eftir að yngri jarðvegur lagðist fram af bakkanum. Grá punktalína markar brún þrepsins. b) Nærmynd af yngri jarðveginum sem myndar fellingu þar sem hann liggur fram af bakkanum. Greinilegasta svarta gjóskulagið er lag 117 en undir því eru eldri gjóskulög. Gjóskulögin féllu áður en fellingin myndaðist, nema e.t.v. gjóskulög yngri en lag 127 (V~870). Neðsta heillega gjóskulagið er vinstra megin við skófluskaftið. Skóflan er um 1,1 m. Ljósmyndir GL.

Halli efra þrepsins austan Jökulsár er 2,4-2,5 m/km. Þrepið, þ.e. mölin, er í um 581-582 m y.s. í sniði G10 og í 562 m y.s. í sniði G102 ofan við Lindur, 7,7 km norðar, halli rúmlega 2,5 m/km. Í

sniði Kári-8, 10,7 km norðan við G10 var botn jarðvegs í um 556 m y.s. og halli tæplega 2,4 m/km. Hreina ármölin nær hæst í 587 m y.s. í Stórahjalla þar sem Hraukaröðin liggur yfir hann. Sú hæð fellur nokkurn veginn að halla efra þrepsins. Að teknu tilliti til landhæðarbreytinga, fergingar, vegna stækkunar Vatnajökuls (líkan Freysteins Sigmundssonar 1990, landsig um 1,1 m/km til SV á rannsóknasvæðinu) verður halli þrepsins mun meiri, hugsanlega allt að 3,6 m/km. Til samanburðar er halli á aurum Jökulsár á Efra-Jökuldal um 3,3 m/km (skv. korti í 1:100 000).

Mölin í efra þrepinu og hallinn benda til að það marki hæstu stöðu áreyrar (hreinu ármalarinnar) sem áin hlóð upp í dalnum eftir að hún varð jökulá. Annar möguleiki er að efra þrepið sýni efstu mörk flóða, t.d. vorflóða, þegar áreyrin var í hæstu stöðu. Það að þykkur jarðvegur með gömlum gjóskulögum hverfur við þessi mörk og finnst aðeins ofan þeirra skýrist best af því að áin hafi borið mól að hlíðunum og rofið úr jarðveginum við árbakkana, hvort heldur sem áin rann þar á aurum eða náði þangað í flóðum. Árbakka skorna í þykkann jarðveg má nú sjá meðfram Jökulsá á Efra-Jökuldal þar sem hún rennur á breiðum aurum (Mynd 3-12). Þriðji möguleikinn, að efra þrepið sé brimþrep gamals lóns í dalnum verður ræddur í kafla 4. Aðeins skal bent á 1) að enginn jarðvegur eldri en 1700 ára hefur náð að myndast á þrepinu þótt þykki gamli jarðvegurinn í hlíðum dalsins nái alveg niður að því og 2) að jarðvegur milli malarlaga sýnir að jarðvegsmyndun niðri á dalbotninum hófst fyrir um 7500 árum og þá var ekkert lón í dalnum. Ef efra þrepið er strandlína gamals lóns ætti þykki gamli jarðvegurinn að liggja þar einnig. Aðstæður þar eru ekki verri en ofar í hlíðinni og geta ekki skýrt tæplega 6000 ára staðbundið hlé á jarðvegsmyndun þar til fyrir 1700 árum.



Mynd 3-12 Aurar Jökulsár neðan Hafrahvamma.

Aðstæður svipaðar þessum voru í dalnum sunnan Kárahnjúka meðan hreina mölin var að hlaðast upp. Þverskornir jarðvegsbakkar eru á mótum aura og hlíða. Ljósmynd GL.

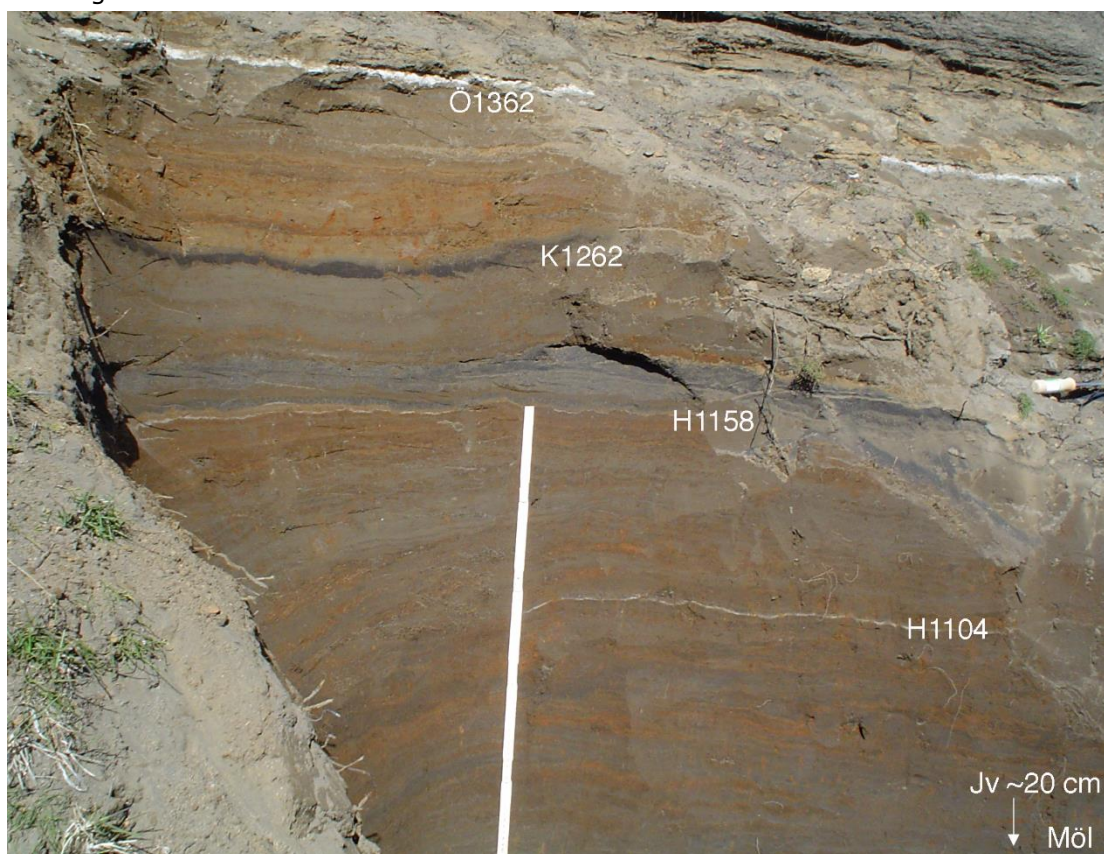
Gjóskulögin benda til að jarðvegurinn á efra þrepinu hafi byrjað að myndast fyrir um 1600-1700 árum. Þá hefur vatn ekki lengur náð þangað upp og gróður verið farinn að myndast. Líklegasta skýringin er að fyrirstaðan sem stjórnaði útrennslinu úr dalnum hafi byrjað að lækka fyrir um 1700 árum.

Langur tími, 400-500 ár, leið þar til vatn hætti að ná upp á móts við lægra þrepið. Gjóskulögin benda til að jarðvegurinn þar hafi byrjað að myndast fyrir um 1200-1300 árum. Skýringin hlýtur að vera lækkun á fyrirstöðu við útrennsli úr dalnum en ekkert verður sagt um hvort það gerðist smátt og smátt eða skyndilega.

Meginhjallar, með jarðvegi mynduðum fyrir 1100-800 árum (800-1200 e.Kr.)

Meginhjallarnir sem settu mestan svip á dalinn, t.d. Sandskeið, eru 100-400 m breiðir hjallar sem hallar í átt að Jökulsá. Hæðarmunur frá kverk (t.d. við þrepin sem lýst er hér að ofan) að brúnum þeirra getur verið allt að 20 metrar (sbr. kort í 1:10.000). Á þeim voru helstu malarnámur á svæðinu meðan framkvæmdir stóðu yfir. Þeir liggja hæst syðst í dalnum, í rúmlega 560 m y.s. í lægri hluta Stórahjalla (K18), og lækka til norðurs í rúmlega 540 m y.s. á Sandskeiði, um 13 km norðar.

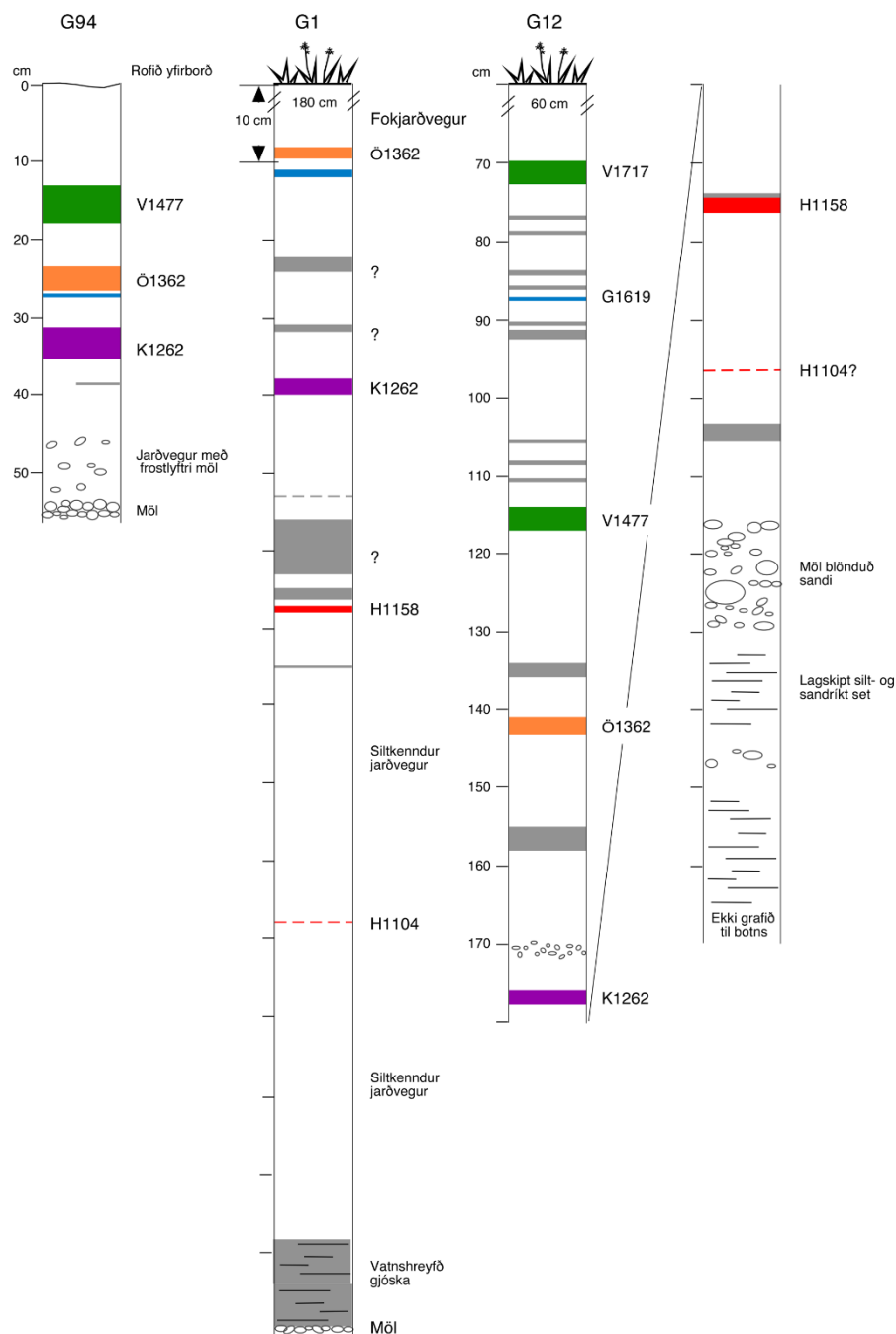
Jarðvegur var á mörgum þessara hjalla, þykkastur í kverkinni en þynntist í átt að eða hvarf á hjallabrúnunum. Næst kverkunum var neðsti hlutinn silt- og/eða sandkenndur (G1, Mynd 3-13), jafnvel með linsum af finni möl. Landnámslagið, V~870, sem einkennist af tærum kristöllum, fannst ekki á meginhjöllunum. Í utanverðum dalnum (G12, Mynd 3-14) var neðsta þekktanlega gjóskulag yfirleitt H-1158 (stöku sinnum var vottur af öðru ljósu lagi, H-1104, neðar) en undir því voru mismörg dökk lög eftir aðstæðum, t.d. hve nærri kverkinni gryfjurnar voru - en aldrei Landnámslagið.



Mynd 3-13 Jarðvegur á meginhjöllum var yfirleitt siltkenndur ofan til og oft með ryðlitum röndum og blettum, en vegna hraðrar uppsöfnunar varðveittust gjóskulög vel, einkum í kverkum næst þrepunum.
Í neðri hluta „jarðvegs“ voru gjarnan malarlinsur, sand- og siltlög og oft óljóst hvar mörk sets og jarðvegs voru. Sjá einnig snið G1. Ljósmynd GL.

Dökku gjóskulögin milli landnámslags og H-1104 hafa ekki glögg útlitseinkenni og eru 7 talsins í lykilsniðinu, flest frá Grímsvötnum. Á meginhjöllunum voru gjóskulögin 1-4, yfirleitt í silt- og/eða sandkenndum jarðvegi. Elstu gjóskulögin gætu verið frá 10. öld (130/131/132, 1050-1000 ára gömul) öll frá Grímsvötnum. Um miðbik dalsins, t.d. við Lindur (G1, Mynd 3-13 og Mynd 3-14) voru H-1158 og H-1104 neðstu þekktanlegu lög næst kverk og einungis dökk, vatnsskuluð gjóska blönduð smámöl undir. Í innanverðum dalnum fannst H-1158 aðeins næst kverkinni, annars var K-1262 neðsta þekktanlega gjóskulag (t.d. G94, Mynd 3-14).

Jarðvegssnið á meginhjöllum - nokkur dæmi



Mynd 3-14 Jarðvegssnið á meginhjöllum.

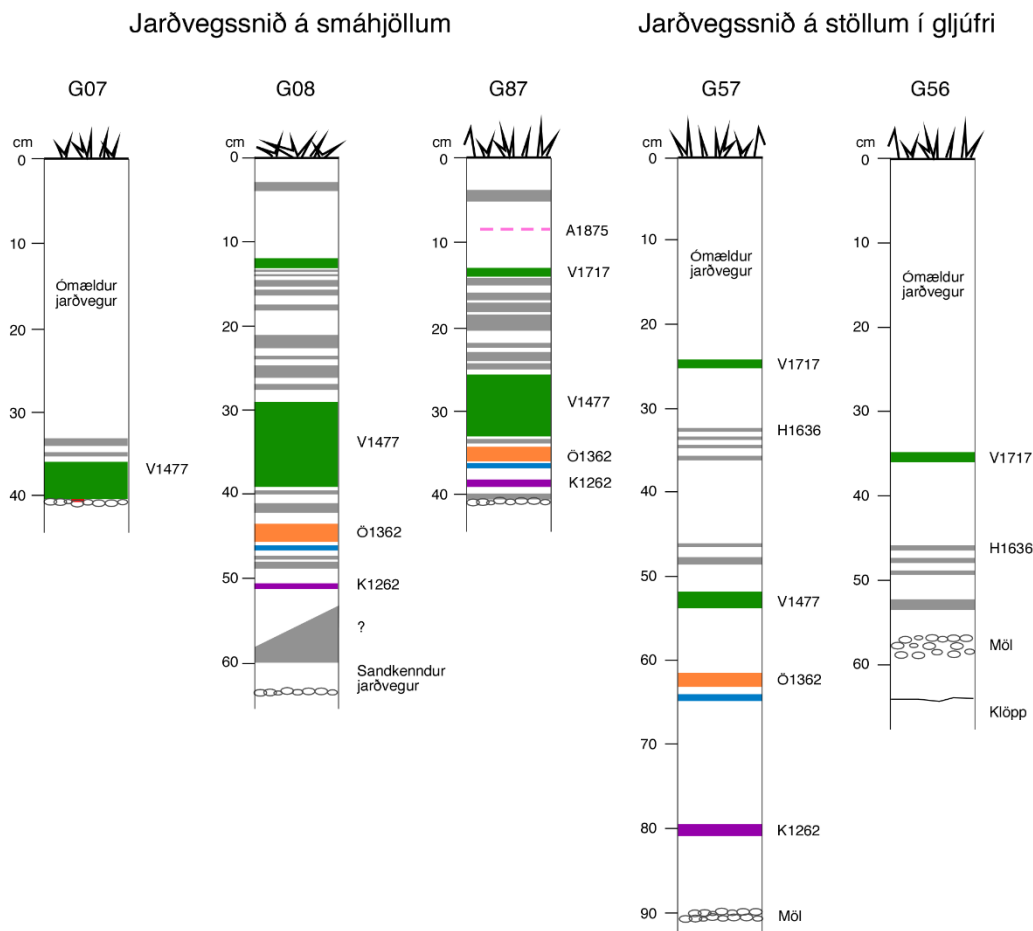
Gjóskulög þekkt með vissu af útlitseinkennum gjóskunnar samkvæmt lykilsniði og efnagreind gjóskulög eru sýnd í viðeigandi lit en önnur gjóskulög eru höfð grá að lit. Gosár sögulegra gjóskulaga (sbr. lykilsnið) eru hægra megin sniðs. Efsti hluti jarðvegs, þar sem hann var varðveittur, var fremur grófur fokjarðvegur sem erfitt var að vinna í. Mælingu var því oft hætt við eitthvert leiðarlaganna.

Jökulsá hefur samkvæmt framansögðu runnið um og verið að móta meginhjallana eftir norrænt landnám á Íslandi (870 e.Kr.). Hún hefur fært sig smátt og smátt frá kverkunum en silt og sandur hefur borist uppundir þær í leysingafloðum og/eða með foki sem gjóskulög gátu varðveist í. Mótun hjallanna hefur að mestu verið lokið um miðja 12. öld eða fyrir um 850 árum, þegar Heklugjóskan 1158 féll. Áin færði sig fyrst af meginhjöllunum í utanverðum dalnum, fyrir 1158 (sbr. einnig Jórunn

Harðardóttir o.fl. 2001, snið 8), en innst einhvern tímann eftir 1158. Þá var Jökulsá búin að rása um dalbotninn í 300-400 ár og lækka dalfyllinguna á breiðu svæði.

Lægri smáhjallar, yngri en ~ 800 ára (~1200 e. Kr.)

Eftir 1150-1200 e.Kr. var gröftur dalfyllingarinnar hraðari en var jafnframt á mun þrengra svæði. Sunnan við snið K9-G10 eru 4-5 hjallar neðan við meginhjallann, sem er í 578-579 m y.s. Á smáhjalla næst fyrir neðan hann, ~574 m y.s., er K-1262 neðsta þekkjanlega lag og ræksni af einu gjóskulagi sást neðar (G87, mynd 3-15). Ekki var grafið á 4. hjalla, ~568 m y.s. Á 5. hjalla, ~560 m y.s., voru sömu gjóskulög (G08). Á 6. hjalla, 552 m y.s., var V1477 neðst í jarðvegi (G07) og var raskað, líklega af vatni en ljósleitt efni niðri í mölinn gæti hafa verið úr Ö-1362. Á 7. hjalla, í ~546 m y.s., vantaði V~1477 en þar var eitt dökkt lag í jarðvegi, meint V-1717. Á neðsta „hjallanum“ var ber mól enda var hann eyri sem lá að ánni.



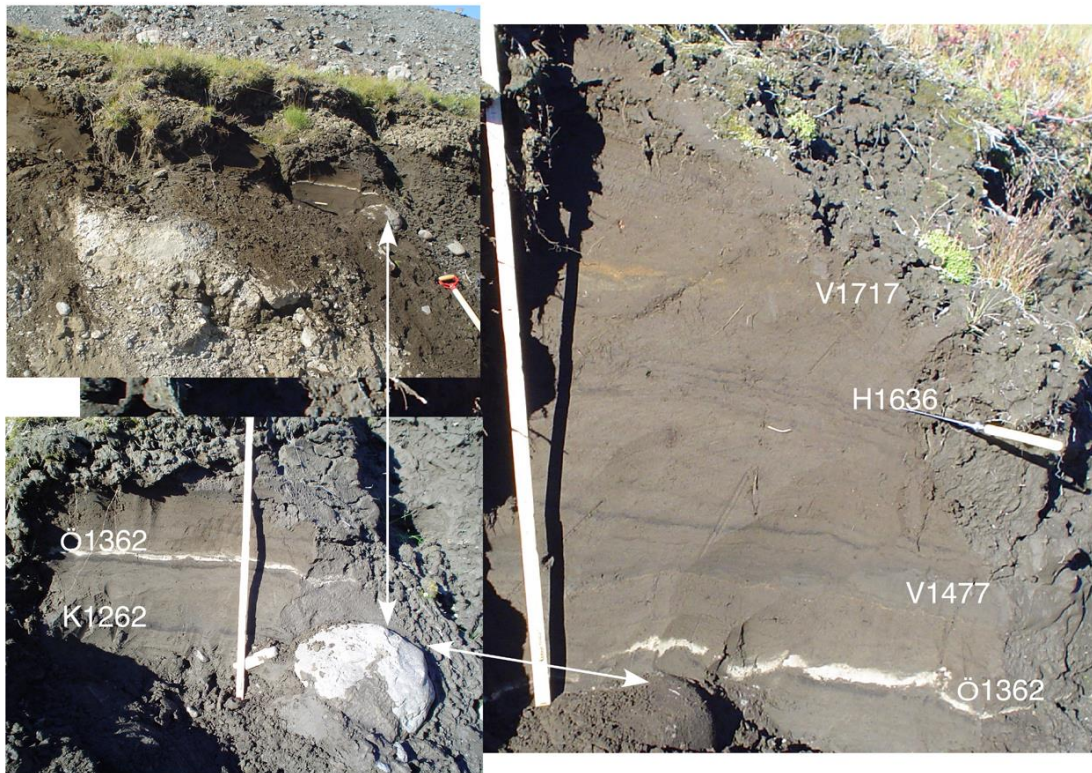
Mynd 3-15 Snið á smáhjöllum neðan meginhjalla og á stöllum í gljúfri sunnan Kárahnjúkastíflu.

Hraðasti gröfturinn sunnan við snið K9-G10 varð á tiltölulega stuttu tímabili. Frá því að vatn hætti að renna á meginhjallunum einhvern tímann eftir 1158 og þar til gjóskulagið K-1262 féll gróf Jökulsá sig niður um a.m.k. 20 m, líklega á um 100 árum.

Skammt sunnan lykilsniðanna (Kári 1 & 8, Mynd 3-1) voru opnur í skurði neðan meginhjallans (G129, ~542 m y.s.) þar sem gjóskulagið K-1262 var neðsta þekkjanlega lag í siltkenndum jarðvegi. Neðsti fundarstaður K-1262 á þessu svæði var á smáhjalla í 508 m y.s. (G88). Á þaðum stöðum var Ö-1362 vel varðveitt. Þarna virðist hafa verið hraður gröftur á tímabili fyrir 1262 eins og sunnar í dalnum.

Niðri í gljúfrinu, um 3 km norðar, eru tveir stallar. Efri stallurinn (G57, mynd 3-15 og mynd 3-16) er í um 496 m y.s. og þar var K-1262 neðsta þekkjanlega gjóskulagið en bæði Ö-1362 og V~1477 vel varðveitt og greinileg. Ofan við þau voru nokkur þunn svört gjóskulög. Vatn var því komið niður fyrir 496 m y.s. hæð í gljúfrinu um miðja 13. öld. Neðri stallurinn er í um 488 m y.s. og þar vantar gjóskulagið V~1477 en 4 þunn svört gjóskulög, líklega frá árunum 1603-1636, voru þar auk

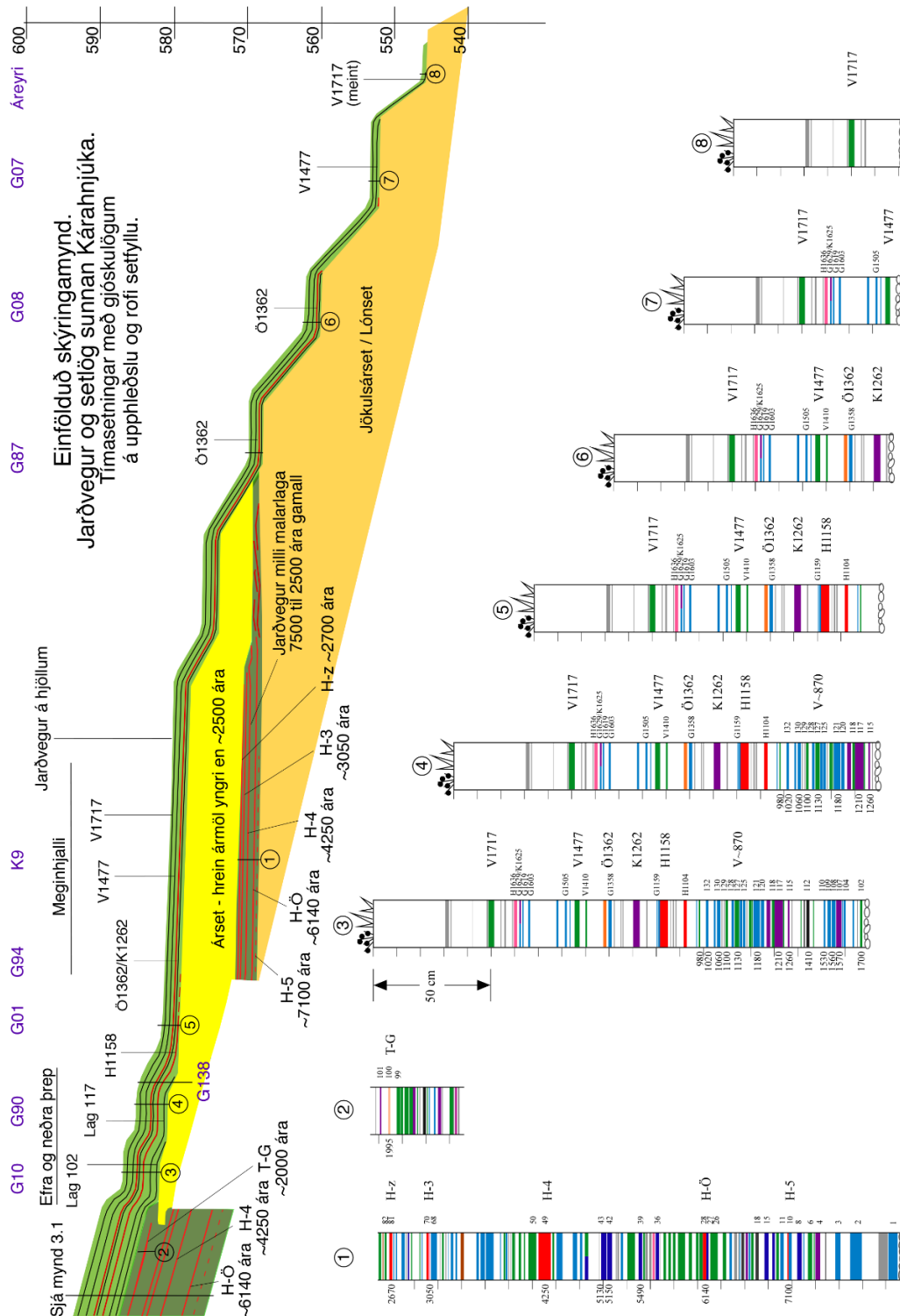
grænleita gjóskulagsins V-1717 (G56, mynd 3-15). Samkvæmt því vatnaði enn upp í 489 m y.s. í gljúfrinu fram undir 1600.



Mynd 3-16 Jarðvegur á stalli í gljúfrinu sunnan Kárahnjúkastíflu (G57). Stóra myndin sýnir jarðvegssniðið (kvarðinn er 80 cm) að undanskildu neðsta gjóskulaginu, K-1262, sem sýnt er á innfældri mynd til hliðar. Efri innféllda myndin sýnir undirlagið, klöpp með malardreif. Ljós. GL.

Samantekt og skýringar

Rofið á setlögnum í dalnum sunnan við Kárahnjúka byrjaði líklega fyrir um 1700 árum, samkvæmt gjóskulögum í jarðvegi á þrepum og hjöllum. Fyrirstaðan eða farvegurinn sem réði hámarkshæð dalfyllingarinnar hefur samkvæmt því byrjað að lækka fyrir um 1700 árum. Um landnám, ~870 e.Kr., rann Jökulsá enn á eyrum sem meginhjallarnir eru leifarnar af og gerði það líklega fram til 1150-1200 e.Kr. Fyrirstaðan og dalfyllingin grófust hratt niður á tímabili fyrir 1262 en síðan hægar. Hjallaraðir urðu þá til beggja vegna Jökulsár suður undir Hrauka. Rofi dalfyllingarinnar lauk e.t.v. að mestu fyrir um 400 árum og hafði þá staðið í um 1300 ár.



Mynd 3-17 Einfölduð skýringarmynd af upphleðslu sets, myndun jarðvegs og rofi setfyllu.

Fyrirmyndir eru sníð austan Jökulsár gegnt Kringilsárrana. Hæð þrepa og hjalla er skv. korti 1:10.000. Jarðvegssnið á sex hjöllum sýndu hvaða gjóskulög voru neðst í jarðvegi á hverjum stað og í jarðvegi milli malarlaga sást hvaða gjóskulög voru elst og yngst þar. Sníðanúmer (G og K númer) vísa til jarðvegssniða á korti 1:10.000. Aðeins gjóskulög sem máli skipta fyrir tímasetningar eru sýnd í jarðvegi (rauð - súr, svört - basísk). Jarðvegur yngri en 1700 ára er ljósgrænn og þykkt hans ýkt. Þar eð áhersla var lögð á elstu gjóskulögin á hjöllum voru yngri gjóskulög ekki alltaf mæld og stundum var efsti hluti jarðvegs rofinn burt. Til að sýna „heillegt jarðvegssnið“ á hverjum stað eru því notaðir bútar úr lykilsniðinu (sníð 1-8 neðst á mynd, tölur vísa á viðeigandi staði í jarðveginum).

Á Mynd 3-17 er einfölduð skýringarmynd af upphleðslu sets, myndun jarðvegs og rofi setfyllu. Gert er ráð fyrir að jarðvegsmyndun hefjist á svipuðum tíma í hlíðinni ofan við jökulársetið/lónsetið í dalbotninum og ofan á því, líklega fyrir um 7500 árum. Aðeins ljósu leiðarlögin eru sýnd í þessum jarðvegi, einnig H-5 þótt hvergi hafi tekist að grafa til botns ofan við setfylluna nema í lykilsniði (Mynd 3-1). Hreina ármölin fór að leggjast ofan á jarðveginn á setinu og upp að hlíðinni fyrir um 2500 árum, yngsta þekkt gjóskulag var H-z. Jarðvegur hélt áfram að myndast ofar í hlíðinni en aðstæður á mörkum malar og jarðvegs eru ekki þekktar fyrr en mölin náði hæstu stöðu í hlíðinni, þ.e. efra þrepinu. Þar verða skörp skipti, í hlíðinni ofan við þrepið er þykkur jarðvegur með H-Ö, rofinn næst þrepinu og sums staðar siginn fram. Í jarðvegi yngri en 1700 ára eru bæði ljós og dökk leiðarlög (jarðvegurinn er hafður hlutfallslega of þykkur) til þess að sýna hvernig þeim fækkar frá efra þrepi fram hjallana eftir því sem rofi setfyllunnar vindur fram.

Atburðarás og tímasetningar frá því að jarðvegsmyndun í dalnum hófst þar til gjóskutímatál veitti ekki lengur upplýsingar um framvinduna sunnan Kárahnjúka eru dregnar saman og sýndar hliðstætt lykilsniði á Mynd 3-18.

3.5 Tímasetning „strandlína“ með þykkum eldri jarðvegi

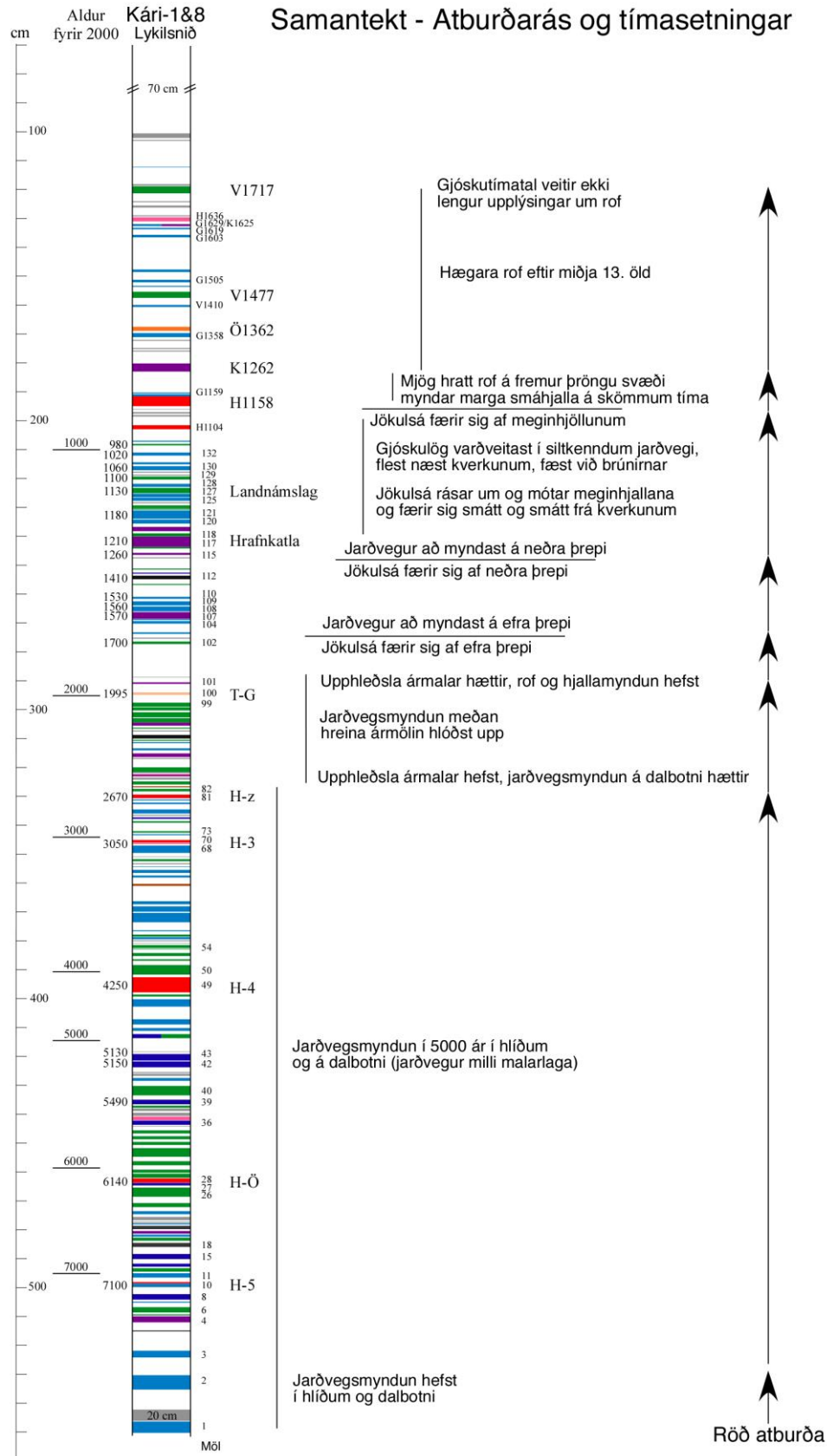
Jarðvegur myndaður áður en Jökulsá tók að bera mól í dalinn fyrir um 2500 árum hefur annan litblæ (gulbrúnn, rauðbrúnn) og er yfirleitt lífrænni en sá yngri (dökkbrúnn, dökkgrábrúnn), sem er siltkenndari. Þessi litarmunur sést sums staðar í skorningum þar sem opnur eru í eldri jarðveginn og einnig á litloftmyndum (Mynd 3-7a). Einnig sést munur á þykkt og áferð þar sem eldri jarðvegurinn liggur í hlíðunum og þar sem eingöngu er þynnri og yngri jarðvegur á þrepum og hjöllum.

Í þykka jarðveginum uppi í hlíðum beggja vegna Jökulsár, t.d. norðan Kringilsár, eru línur í 585-590 m y.s. merktar á kortin í 1:10.000. Jarðvegur í eða við slíkar línur var skoðaður á nokkrum stöðum í niðurgrofnum lækjarfarvegum. Aðstæður til mælinga voru erfiðar, stórgrýti í botni farvega og erfitt að komast að neðsta hluta jarðvegsins. Tvö snið, G6 og G35, sitt hvoru megin Jökulsár voru grafin út að hluta. Hvorugt náði til botns en í báðum sniðum tókst að komast niður fyrir gjóskulagið H-Ö.

Strandlínur í Sauðafelli

Í hlíð Sauðafells norðan Kringilsár er strandlína sýnd í um 590 m y.s. (G36 og G37, kort í 1:10.000). Í lækjargiljum sem skera strandlínuna tæpa 2 km norðan ármótanna eru opnur í þykkum jarðveg rétt neðan hennar. Hann var skoðaður í nokkrum sköruðum sniðum (G35, G36 og G37). Jarðvegur frá sögulegum tíma niður að lagi 127, landnámslagi, var að mestu fokjarðvegur með sæmilega varðveittum gjóskulögum. Forsögulegi jarðvegurinn varð lífrænni eftir því sem neðar dró, gjóskulögin T-G, H-z og H-3 voru greinileg í honum en neðar tók við illgræfur mór niður að H-Ö. Undir gjóskulaginu H-Ö var ógræfur, ólseigur mór af óvissri þykkt svo ekki er ljóst hvort H-5 var í jarðvegi þarna. Heildarþykkt jarðvegsins er ekki þekkt en er a.m.k. 4 m.

Jarðvegsmyndun á þessum stað hófst löngu áður en H-Ö féll fyrir um 6140 árum og hlýtur að hafa byrjað heldur fyrr hér en í Stórahjalla (K18) þar sem talið er að H-5 og eldri dökk gjóskulög séu í jarðvegi milli malarlaga. Telja verður að línun, ef hún er raunveruleg strandlína, sé eldri en jarðvegsmyndun í dalnum. Hún gæti því hafa markað vatnsborð meðan jökull var að hörfa úr dalnum í ísaldarlok. Um 15 m neðan þessarar efstu strandlínu er stallur í þykka jarðveginn og þrep með hreinni mól (G19-21).



Mynd 3-18 Samantekt á atburðarás tengd við lykilsnið og tímasetningar með gjóskulögum. Lesist frá neðstu línu og upp.

Strandlínur í Hálsi

Ógreinilegar línur eru í hlíðinni austan Jökulsár, ofan efra þrepsins og klífsins í gamla jarðveginum. Hlíðarnar voru gengnar á nokkrum köflum frá sniði G10 norður undir Klapparlæk í leit að góðum opnum í eða við þessar háttsettu línur. Erfitt var að fylgja þeim og þær voru ekki punktaðar. Á einum stað (G6) var reynt að grafa snið í botn í lækjarfarvegi í um 590 m y.s. Eins og vestan ár var neðsti hluti jarðvegsins seigur og illgræfur mór. Undir neðsta þekkjanlega gjóskulaginu, H-Ö, var meira en 1 m af slíkum mó. Ekki tókst að grafa í botn vegna vatnsrennslis og gjóskulagið H-5 fannst ekki. Svipaðar aðstæður voru víðar.

3.6 Tilraun til að tímasetja Þorláksmýrastig

Að lokum var reynt að tímasetja jökulgarðinn sem kenndur hefur verið við Þorláksmýrastig. Aðeins var farið að garðinum uppi á hálsinum norðan Sauðár eystri og aðstæður skoðaðar. Ekki tókst að finna nothæf jarðvegssnið í það sinn. Þar sem var mór með gjóskulögum var stutt í grunnvatn en þurrari jarðvegur var mjög rofinn. Jökulgarðurinn er eldri, sennilega talsvert eldri, en jarðvegurinn milli malarlaga niðri í dalnum, sem byrjaði að myndast fyrir um 7500 árum. Lítil sem engin merki eru um jökulgarðinn niðri í dalnum sem gæti bent til að hann væri frá þeim tíma þegar þar var enn var lón og hefði skriðið út í vatn.

3.7 Tímasetning jarðhitaummerkja og sprunguhreyfinga

Fjallað er um sprunguhreyfingar og jarðhitaummerki í skýrslu Kristjáns Sæmundssonar og Hauks Jóhannessonar (2005) og tímasetningar á þeim, m.a. með gjóskulögum. Þar er síðasta hreyfing á misgengi við Sauðárfoss talin hafa verið nokkru áður en gjóskulagið H-4, um 4250 ára, féll og bent á að hugsanlega tengist hreyfingin gosum í Kverkfjallakerfi um svipað leyti. Enn fremur eru jarðhitaummerki við Sauðárfoss talin eldri en ljóst gjóskulag sem talið er vera H-5, um 7100 ára (snið SS-1 í skýrslu frá 2005). Þetta ljósa gjóskulag er reyndar fyrrnefnt H-Ö, um 6140 ára gamalt, en H-5 fannst á stöku stað neðar í jarðvegi með kísilútfellingum og niðurstöðurnar breytast ekki. Hér er þó nokkru við að bæta sbr. umfjöllun hér fyrir aftan.

Misgengi vestan Sauðárfoss.

Misgengi við Sauðárfoss er lýst í skýrslu Kristjáns Sæmundssonar og Hauks Jóhannessonar (2005). Við nánari athugun á jarðvegi, sem rifnaði upp og myndaði fellingu í sjálfu misgenginu, kom í ljós að H-4 og a.m.k. 4 yngri gjóskulög voru í jarðveginum sem hreyfðist með misgenginu. Yngri jarðvegur var rofinn burt, sbr. snið SS-1 í skýrslu frá 2005. Yngsta gjóskulagið samsvarar lagi 54 í lykilsniðinu, og er um 3900 ára (Mynd 3-1). Yngsta tímasetta hreyfingin á þessu misgengi er því yngri en 3900 ára. Ekki var að sjá í sniðinu sem skoðað var að annar atburður hefði orðið nokkru fyrir H-4 og engin merki um jarðhita voru í jarðveginum á milli H-Ö og H-4 á þessum stað. Enn neðar var rask sem sleit sundur H-Ö og gjóskulögin ofan þess, auk þess sem yngri gjóskulög (lög 39 og 40 í lykilsniði) um 5400–5500 ára gömul, voru í bútum í jarðveginum. Ekki er ljóst af aðstæðum hvort þetta rask varð í sama atburði. Greinileg ummerki um jarðhita voru í neðri hluta jarðvegsins upp fyrir H-5 en náðu ekki upp að H-Ö, sbr. snið SS-1 (Ath: Í SS-1 er H-Ö merkt sem H-5).

Af 10 gjóskulögum með efnafræðileg einkenni Kverkfjalla í lykilsniðinu eru fimm frá tímabili fyrir 4700–5600 árum síðan. Tvö þeirra (lög 39 og 42 í lykilsniði) eru áberandi grófari í korninu en önnur gjóskulög á svæðinu og samkvæmt skýrslunni frá 2005 náðu kísilútfellingar rétt upp fyrir þessi lög í sniði SS-2 sem er austan Sauðár. Ekkert Kverkfjallalag er þekkt frá næstu 2000 árum á eftir. Yngsta hreyfingin á Sauðár-misgenginu verður því ekki tengd neinu þekktu gosi í Kverkfjöllum, a.m.k. ekki að sinni.

Jarðhitahrúður í Sauðárhálsi (K1)

Reynt var að tímasetja jarðhitaskellur austan í Sauðárhálsi með gjóskulögum. Snið var grafið undir stærstu hrúðurskellunni í mókenndan jarðveg sem lá mislægt á >40 cm þykku svörtu gjóskulagi. Fimmtán dökk gjóskulög fundust en ekkert ljósu gjóskulaganna. Gjóskulögin hafa ekki verið efnagreind en talið er að þau séu eldri en H-Ö. Hugsanlegt er að jarðhiti þarna hafi byrjað eða breyst/færst til þegar úr honum dró við Sauðármisgengið, sbr. snið SS-1.

Jarðhitahrúður í Sauðafelli (K4)

Lítill hrúðurskella austan í Sauðafelli var tímasett með gjóskulögum í jarðvegi undir hrúðrinu. Hóla var grafin niður úr hrúðrinu og í jarðveg án kísilútfellinga niður fyrir gjóskulagið H-Ö. Efsta vel varðveitta gjóskulagið þar var H-4. Ofan á því voru leifar af a.m.k. 3 gjóskulögum í röskuðum jarðvegi, blönduðum kísilhrúðri, en ekki varð séð hvort kísilhrúðrið hefði fallið út þar eða blandast í jarðveginn eftir á, t.d. vegna frostlyftingar. Samkvæmt útlitseinkennum samsvara yngstu gjóskulögin lagi 55 og 56 í lykilsniðinu, um 3800 ára. Hér virðist jarðhiti því hafa tekið sig upp um sama eða svipað leyti og hreyfingin varð á misgenginu við Sauðá. Ekki var hægt að tímasetja hvenær jarðhitinn dó út.

Jarðhiti við Tröllagil (K3)

Norðan við Tröllagil eru ummerki um jarðhita á dálitlu svæði. Undir þeim er jarðvegur, á kafla mór, og opna í hann í lækjarskorningi. Meðal gjóskulaga í mótum eru H-Ö og lögin undir því en H-5 fannst þó ekki. Ofan við H-Ö var sérstaklega leitað að grófu lögunum tveim (lögum 39 og 42 í lykilsniðinu) og H-4 en ekkert þeirra fannst. Ef gert er ráð fyrir að upphleðsla jarðvegs hafi hætt þegar jarðhiti tók sig upp á þessum stað gerðist það áður en H-4 féll og e.t.v. á svipuðum tíma og Kverkfjallalögin 39 og 42 féllu fyrir um 5100-5500 árum. Í jarðvegi milli setlaga í hjöllunum neðan við (sbr. kafla 3.3). byrja kísilútfellingar neðan H-Ö og ná upp að lagi 42. Jarðhiti hefur því verið í nágrenninu löngu fyrr en líklega færst til fyrir um 5100-5500 árum.

Rauðlitaðar jarðvegsskellur sunnan Sandfells

Í niðurröfnum jarðvegssleifum sunnan Sandfells voru víða skellur úr hörðnuðum „jarðvegi“ sem myndaði hrúgur úr rauðleitum mulningi. Þær stærstu voru nokkrir metrar á lengd og breidd en flestar voru innan við metri í þvermál. Með góðum vilja mátti sjá að sumar þeirra mynduðu línur með stefnu nálægt norðri. Hægt var að tímasetja nokkrar skellur í grófum dráttum með gjóskulögum. Þessi litun á jarðvegi virtist ekki byrja fyrr en eftir H-Ö (6140 ára) og var langmest áberandi rétt ofan við það gjóskulag. Hún náði a.m.k. upp að lagi 39 en var alveg horfin þegar H-4 féll. Samkvæmt því virtist litunin bundin við tímabil fyrir um 6100-5500 árum síðan en hverfa um sama leyti og breyting varð á jarðhita í Tröllagili. Ekki er ljóst hvers konar fyrirbæri þetta eru en þau minna nokkuð á gamlan, harðan mýrarrauða eða járnútfellingar.

4 Rof – Farvegir og gljúfur SPS

4.1 Aðstæður í ísaldarlok

Þegar jökull hörfaði í lok ísaldar suður með Kárahnjúkum voru grunnir, jökulsorfnir dalir beggja vegna hnjúkanna. Dimmugljúfur voru ekki til og Hafrahvammur höfðu heldur ekki fengið núverandi mynd. Farvegir frá þessum tíma sjást enn við Dimmugljúfur og einnig gamlir farvegir Jökulsár frá því áður en gljúfrin grófust. Við Ytri-Kárahnjúk er lítil hæð á vesturbarmi gljúfursins. Norðan við hæðina má sjá kerfi af fornum farvegum og hallar mörgum þeirra talsvert til norðurs frá hæðinni. Sunnan og innan við hæðina eru hjallar af árseti og eru þeir nú í 550 m hæð yfir sjó. Af þessu er dregin sú ályktun að hæðin hafi verið hluti fyrirstöðu eða stíflu í lægð vestan við Kárahnjúka þar sem Dimmugljúfur grófust síðar. Til hagræðingar verður hæð þessi hér eftir nefnd „Haftið“. Annað haft má nefna til sögunnar. Um 700 m norðan við Kárahnjúkastíflu nær basalt í norðurbakka gljúfranna upp í 560 m hæð og þar innan við er hjalli merktur V3 á meðfylgjandi jarðfræðikorti. Í hjallanum er fíngert lónset neðra en sandur og mól á yfirborði.

4.2 Berggrunnur við Dimmugljúfur

Jarðlög sem sjást í veggjum Hafrahvamma- og Dimmugljúfra einkennast af móbergsmýndunum frá jökulskeiðum ísaldar og hraunlögum frá hlýskeiðum. Samkvæmt rannsóknum Ágústs Guðmundssonar (1996) er elst og neðst syrpa af dyngjubasalti, Dimmugljúfradyngja, og ofan á hana leggst móberg, Dimmugljúframóberg. Farvegir grófust í móbergið og fylltust síðar af basalthraunlögum sem Ágúst kallar Farvegabasalt og er nafngiftum hans haldið hér. Yngst er svo Kárahnjúkamóberg sem liggur mislægt ofan á Dimmugljúframóberginu og farvegabasaltnu.

Hafrahvammur hafa rofist niður á mótum Kárahnjúkamóbergs, sem kemur fram að austanverðu, og Dimmugljúframóbergs sem kemur fram neðst í Skógarhálsi, vestan og norðan í hvömmunum (Ágúst Guðmundsson 1996). Dimmugljúfur hafa hins vegar rofist í gegnum allar fjórar einingarnar. Í nyrðri hluta gljúfranna er Dimmugljúframóbergið um 120 m þykkt og nær upp í 535 m y.s. í austurvegg gljúfranna gegnt Haftinu en rétt fyrir norðan það er yfirborð móbergsins komið í 540-545 m hæð. Skammt fyrir sunnan Haftið lækkar yfirborð móbergsins um á að giska 10 m og heldur myndunin þeirri hæð nokkurn veginn 400-500 m til suðurs. Dimmugljúframóbergið er að mestu vel samlímd túffbreksía. Ofan á það leggjast tvö basaltlög sem virðast vera samanlagt 20-25 m þykk. Setlag er á milli basaltlaganna. Þessi basaltlög eru óreglulega stuðluð og bregður fyrir reglulegri stuðlun og kubbabergi á víxl. Þau virðast standast rof verr en móbergið og sést það af því að sums staðar er dálítill stallur á skilum móbergsins og basaltsins þar sem móbergið teygir sig út undan basaltinu. Basaltið þykknar til suðurs og þynnist síðan aftur nærri Drangahvömmum en svo nefnast fornir farvegir innan við Niðurgöngugil (sjá farvegakort í vasa). Á austurbarminum leggst bólstraberg frá Kárahnjúkum ofan á basaltið og nær það sums staðar fram á gljúfurbarminn, en þó ekki lengra en svo að það myndar ekki sjálfan barminn nema á stuttum kafla gegnt Haftinu og e.t.v. hundrað metra til suðurs þaðan. Haftið og svæðið norðvestan við það er úr vel samlímdri móbergsbreksíu. Þessi breksía er ekki hluti Dimmugljúframóbergsins en gæti verið hluti Kárahnjúkamóbergsins. Hún virðist þó vera betur samlímd en Kárahnjúkamóbergið er austan ár.

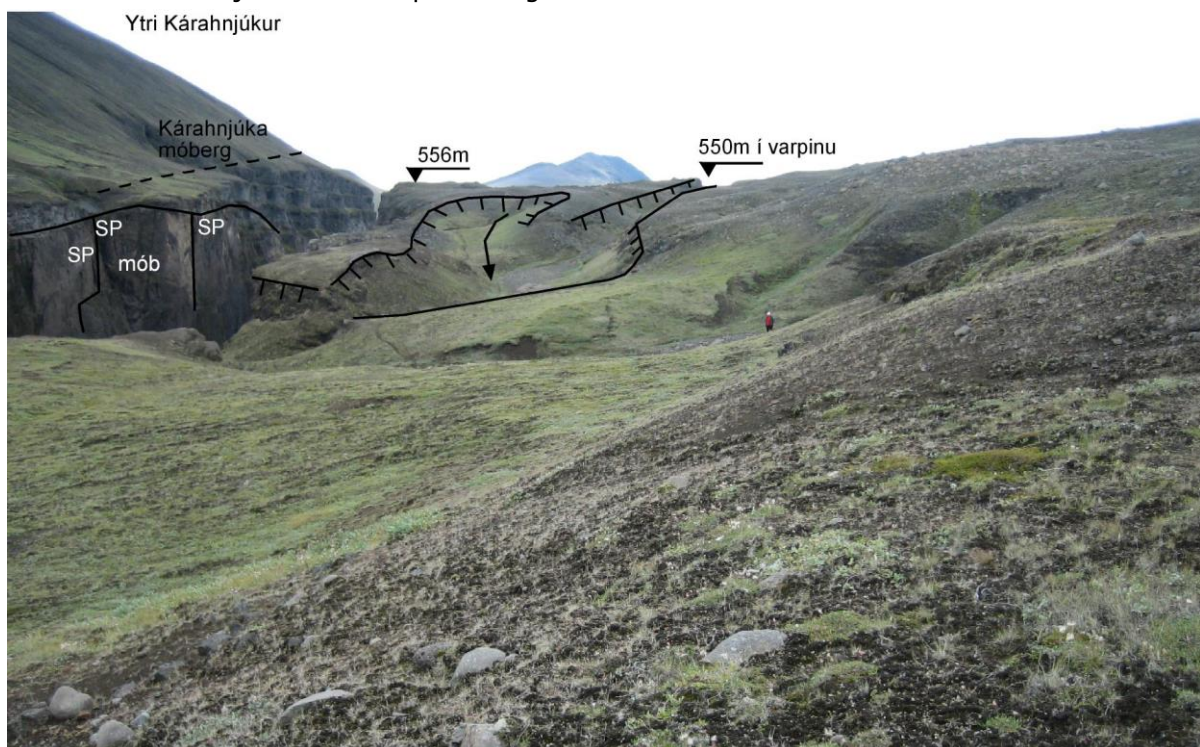
Dimmugljúfur eru að talsverðu leyti rofin eftir sprungum. Tvö sprungufylki eru auðsæ. Annað hefur stefnu nálægt N10°A og er áberandi í nyrðri hluta gljúfranna, ekki síst í gljúfurkjaftinum við Ytri-Kárahnjúk og suður að Niðurgöngugili. Á kafla þar á milli stefna gljúfrin í hánorður. Áðurnefndar sprungur teygja sig til suðurs í átt að stíflustæði í Desjarárdal þar sem áberandi sprungur sáust í grunni stíflunnar en þær eru ekki augljósar annars staðar. Hitt sprungukerfið hefur stefnu nálægt N45°A og mótast það stefnu gljúfranna frá Niðurgöngugili og rétt suður fyrir Drangahvamma. Lögum Kárahnjúka sjálfra hefur einnig áhrif á legu og lögun Dimmugljúfra. Syðsti hluti gljúfranna er bogadreginn og með svipaða lögun og brekkufótur Fremri-Kárahnjúks. Þar hafa gljúfrin grafið næstum þvert á sprungur með suðvestlæga stefnu sem liggja undir Kárahnjúkastíflu og yfir að Sauðá vestari þar sem þær voru áberandi í farvegi árinna, ekki síst þar sem Sauðárfoss var og hét.

4.3 Hafrahvammur, eldri farvegir

Eins og áður sagði eru Hafrahvammur rofnir í Kárahnjúkamóbergið að austanverðu en að vestanverðu í Dimmugljúframóberg neðanvert í Skógarhálsi (Ágúst Guðmundsson 1996). Kárahnjúkamóbergið er að miklu leyti bólstraberg og lítt samlímdar móbergsbreksiur. Tveir stórir kórar eða skálar hafa rofist í móbergið norðan við Hafrahvamma. Annar er í farvegi Jöklu og hinn í farvegi Desjarár. Á milli þeirra er móbergsraninn Hnitasporður. Ekki sjást nein merki um vatnsrof í móberginu sunnan við þessa kóra, önnur en farvegir áður nefndra vatnsfalla. Það bendir til þess að þeir séu myndaðir af viðkomandi ám eða öllu heldur forverum þeirra en síður af flóðum eða hlaupum af öðrum orsökum t.d. jökulhlaupum.

Rofsaga Hafrahvamma er enn ekki þekkt nema að hluta en víst má telja að hún hefjist þegar Ísaldarjökullinn hörfaði suður með Ytri-Kárahnjúk. Gjóskulög í jarðvegi í dalbotninum ofan hvammanna og í jarðvegi á efsta rofbrepinu virðast vera þau sömu og í jarðvegssniðinu Kári-1 (Mynd 3-1). Elsti hluti jarðvegsins er ríflega 7000 ára gamall og hefur gróftur hvammanna þá þegar verið hafinn. Hafrahvammur eru nokkuð víðir og líkleg ástæða þess er að sú að áin hefur átt auðvelt með að grafa sig niður á mótum Dimmugljúframóbergs og Kárahnjúkamóbergs og rjúfa burtu auðgræft Kárahnjúkamóbergið.

Elstu farvegina við gljúfrin er að finna norðan í Haftinu (Mynd 4-1 og farvegakort). Þessir farvegir hafa líklega myndast við jaðar Ísaldarjökulsins þegar hann hörfaði af svæðinu enda liggja upptök þeirra ofar en yngri farvegir fast við hlið þeirra. Líklega hefur nyrsti hluti gljúfranna þ.e. Hafrahvammur tekið að rjúfast strax á þessu stigi.



Mynd 4-1 Elstu farvegir til norðurs frá Hafti (556 m á myndinni).

Yngri farvegirnir til hægri á myndinni eru hins vegar í 550 m hæð. Dimmugljúframóberg er merkt með hvítu lettri sem og sprungur í móberginu. Myndin er tekin til suðurs og Fremri-Kárahnjúkur sést í bakgrunni. Ljósmynd SPS.

Í farvegi Desjarár við Hnitasporð eru aðstæður um margt líkar aðstæðum í Jöklu hinum megin við Sporðinn. Talsvert hefur rofist úr farvegi Desjarár við Hnitasporð en þar fyrir sunnan er aðeins farvegur núverandi Desjarár sem virðist í ágætu jafnvægi. Hér er gert ráð fyrir því að rofið í farvegi Desjarár við Hnitasporð sé frá þeim tíma er Ísaldarjökullinn var að hverfa af svæðinu og að vatnagangi í farveginum hafi linnt þegar jökulsporðurinn var kominn suður fyrir Fremri-Kárahnjúk. Í þessu samhengi er rétt að benda á að ekki hafa fundist merki þess að mikið vatn hafi runnið um Desjarárdal þegar jökull lá í dalnum við Fremri-Kárahnjúk á Búrfellsstigi.

Rofbrúnir sjást í Hafrahvömmum nokkru norðan við Haftið. Líklega eru þær frá svipuðum tíma og farvegur Desjarár en hugsanlega eru þær yngri en elstu farvegir við Haftið, að hluta til a.m.k. Engar aldursákvæðanir liggja þó því til grundvallar. Þessar rofbrúnir eru greinilega eldri en

núverandi gljúfur og Skessugjá nær niður fyrir þær (sjá kafla 4.4). Elstu farvegir sunnan við Haftið eru líklega af svipuðum aldri og þessi ummerki (sjá umfjöllun um 1. rofstig).

4.4 Hafrahvamar, yngri farvegir

Yngstu farvegina í Hafrahvömmum, að gljúfrinu sjálfu frátöldu, er að finna syðst í hvömmunum. Þar innst er farvegur sem nefnist Skessugjá (Mynd 4-2). Gjáin er fremur mjó og er greinilega rofin um sprungur sem liggja í framhaldi af sprungunum sem gljúfrið fylgir. Jökla hefur á þeirri tíð grafið sér farveg eftir sprungunum þar til þær tengdust eldri farvegi í Hafrahvömmum. Ekkert er vitað um aldur Skessugjár en hún er greinilega yngri en rásin norðan við Haftið því hún liggur mun lægra í landinu. Skessugjá er 20-25 m breið. Ólíklegt er að svo mjór farvegur hafi rúmað Jöklu þannig að Skessugjá hlýtur að hafa verið eins konar hliðarfarvegur við aðalfarveg árinna sem hefur vafalaust verið forstíg þeirra gljúfra sem við nú þekkjum.



Mynd 4-2. Skessugjá, horft til suðvesturs í sprungustefnu.
Haftið og barmar Dimmugljúfra sjást í bakgrunni. Ljósmynd SPS.

4.5 Fossar

Fossar hljóta að hafa verið í Dimmugljúfrum langtímum saman. Því veldur hæðarmunurinn frá efstu farvegamörkum við Ytri-Kárahnjúk og láglendinu fyrir norðan Hafrahvamma. Furðu vekur hve lítil merki sjást um það hvar fossar hafa verið á myndunartíma gljúfranna. Niðurgöngugil er myndað af fossum að einhverju leyti, sennilega fleiri en einum og misháum og þar eru fossbrúnir úr basalti. Í þrengsta hluta Dimmugljúfra við Haftið eru aðstæður til fossmyndunar góðar. Dimmugljúfradyngjan við botn gljúfursins er þunnlögot og auðrofin en Dimmugljúframóbergið er seigt og rofnar seint og getur þannig myndað fossbrúnarlag. Áin gat því hugsanlega grafið undan móberginu og fellt það í gljúfrin með aðstoð sprunganna í gljúfurveggjunum. Líklegt er því að fossar hafi lengi verið við lýði eða þar til gljúfrin náðu að rjúfast suður fyrir móbergið og í farvegabasalitið.

Í austurvegg gljúfranna við Ytri-Kárahnjúk er dálítill hvos eða skál gegnt Haftinu og raunar eilítið fyrir sunnan það. Tilvist skálarinnar stingur dálítið í stúf við umhverfið því ekkert í hlíðinni fyrir ofan skálina gefur vísbendingu um myndun hennar. T.d. eru gamlir farvegir í hlíðum Ytri-Kárahnjúks ofan við skálina ekkert frábrugðnir þeim sem eru til hliðar við hana. Í austurvegg gljúfursins, rétt við skálina, eru merki um lóðrétt slit í móberginu (Mynd 4-3) sem líkist sambærilegu sliti í farvegum vatnsfalla á móbergssvæðum, t.d. í farvegi Lónakvíslar við Kattarhryggi á Tungnaáröræfum.



Mynd 4-3 Lóðrétt slit í gljúfurvegg við Ytri-Kárahnjúk gegnt Haftinu.
Slitið er líklega eftir foss sem einhvern tíma hefur verið á þessum stað. Ljósmynd SPS.

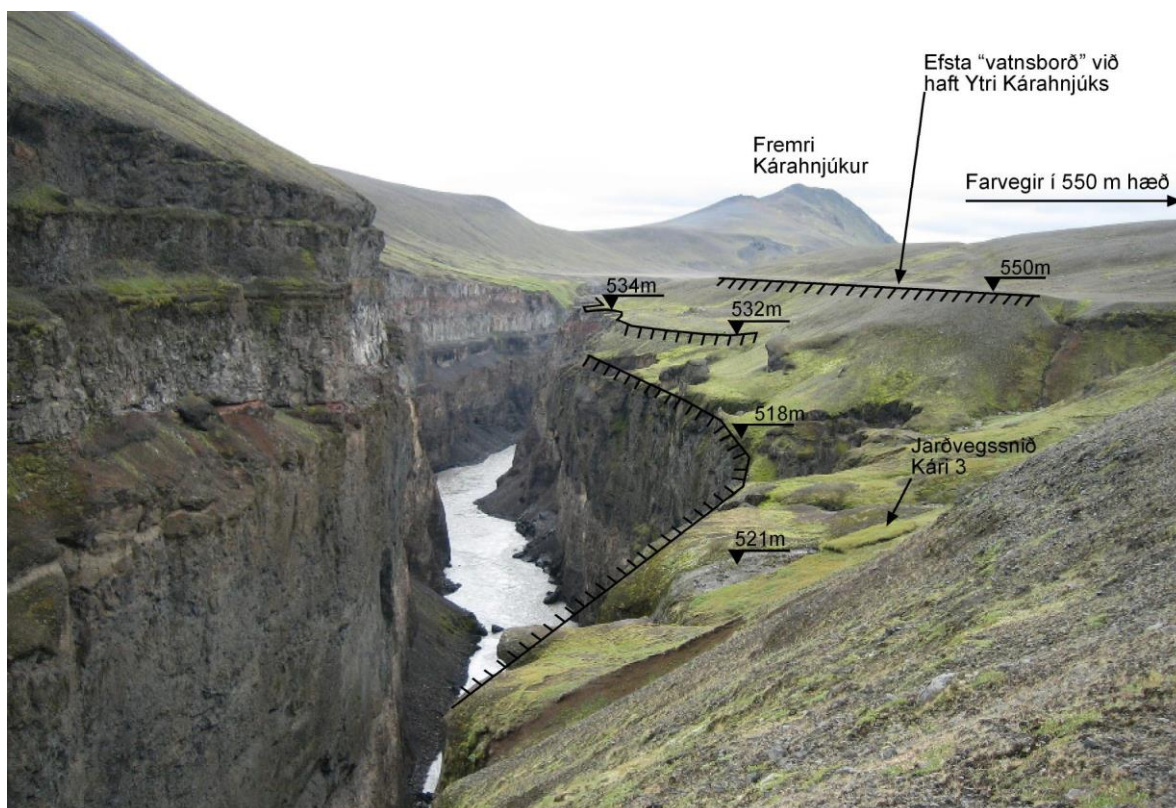
Ummerki þessi ná nokkra tugi metra lóðrétt niður. Hér er bent á þann möguleika að um vatnsrof frá fossi sé að ræða. Ummerki um slíkt vatnsrof hafa ekki fundist annars staðar í gljúfurveggjunum. Hér eru leiddar að því líkur að um langvarandi vatnsrof sé að ræða og að foss hafi verið lengi á þessum stað. Velta má fyrir sér hvort tilvist skálarinnar standi í sambandi við fossinn, t.d. með því móti að úði frá fossinum hafi stuðlað að aukinni frostveðrun og/eða losað um laust efni sem hafi á löngum tíma getað stuðlað að rofi þeirrar skálar sem sjá má í dag. Um þetta skal þó ekki fullyrt.

4.6 Farvegir við Dimmugljúfur

Greina má leifar margra fornra farvega við Dimmugljúfur, allt frá Haftinu suður að Fremri-Kárahnjúk og Kárahnjúkastíflu. Farvegirnir hafa verið virkir í mislangan tíma.

Rofstig 1 – elstu farvegir

Eftir að ísaldarjökullinn hörfaði suður fyrir Haftið myndaðist þar lón eða eyrar sem leysingavatn frá jöklinum fyllti jafnharðan af framburði, sandi og möl. Segja má að þetta lón eða eyrar hafi verið fyrstu merki lónsins sem síðar fyllti dalinn sunnan við Kárahnjúka. Leifar af framburðinum má nú sjá sunnan við Haftið þar sem þær mynda samfelldan malarhjalla suður fyrir Niðurgöngugil. Hæð malarhjallans er 550 m y.s. við Haftið og liggur hann í sömu hæð og farvegirnir norðan þess, en hjallinn fyrir sunnan Niðurgöngugilið er um þremur metrum hærri og einum fimm metrum hærri syðst. Þessi hæðarmunurinn er líklega vegna halla áreyranna. Leysingavatnið átti sér sýnilega framrás um farveg í 550 m y.s. rétt norðan við Haftið og þaðan niður til Hafrahvamma.



Mynd 4-4. Þrjár kynslóðir farvega sunnan við Haftið.

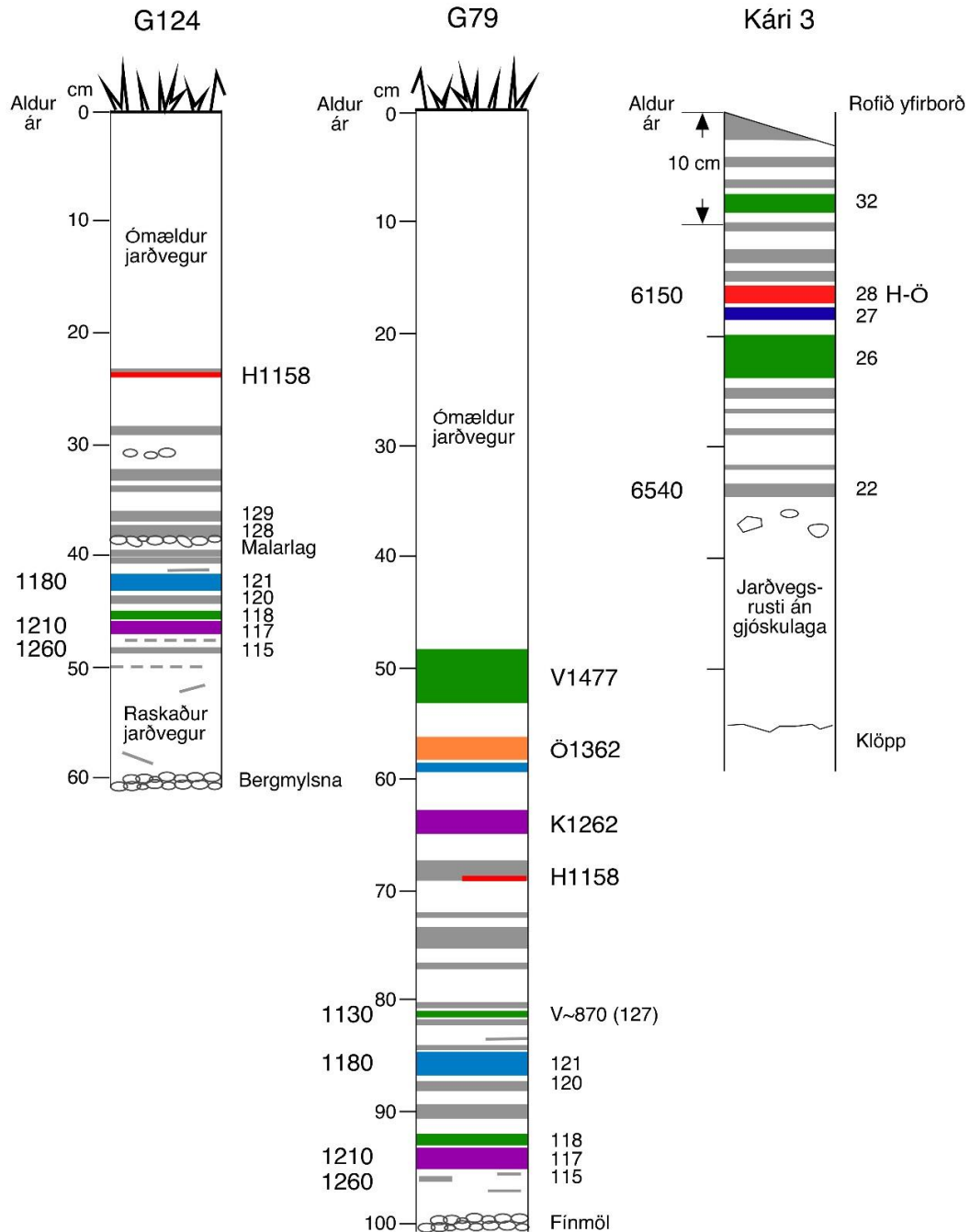
Rofstig 1 er í efsta vatnsborði og tengist það farvegum utan myndar í 550 m y.s. Rofstig 2 er í malarhjallanum í 534 og 532 m y.s. og rofstig 3 á þvegna móberginu við jarðvegssniðið Kári 3. Ljósmynd SPS.

Farvegurinn norðan við Haftið sem áður er nefndur er frekar grunnur og mjór (~35 m) miðað við gljúfrin. Honum hallar nokkuð bratt niður til norðurs og síðan beygir hann niður í gljúfrið sunnarlega í Hafrahvömmum. Breidd farvegarins bendir til þess að áin hafi jafnframt fallið um annan farveg á sama tíma. Þessi farvegur hefur sennilega aðeins verið virkur í tiltölulega skamman tíma og vatnið síðan flust í meginfarveginn þar sem gljúfrin liggja nú. Líklega hefur þetta rofstig verið við lýði á hörfunarstigi jökulsins frá Ytri-Kárahnjúk og suður fyrir Fremri-Kárahnjúk og á því skeiði hafa verið malareyrar yfir gljúfurstaðinu sunnan við Haftið.

Rofstig 2

Sjá má rofbrúnir frá þessu stigi víða við Dimmugljúfur. Greinilegt er að rofhraðinn hefur minnkað um hríð þegar áin náði að rjúfa sér leið niður úr breksíunni við Haftið og basaltlögunum þar fyrir neðan. Botn þess farvegar hefur verið í 532-534 m hæð sunnan við Haftið eins og sjá má af malarhjalla sem þar er (Mynd 4-4). Skammt sunnan við Niðurgöngugil er rofhjalli í u.þ.b. 549 m hæð (Mynd 4-7) og er hann talinn tilheyra þessu rofstigi. Stórir steinar (>50 cm) eru á þessum hjalla og sker hann sig nokkuð úr öðrum hjöllum við gljúfrin að þessu leyti. Steinarnir eru þó ekki nógu margir til að draga ályktanir af þeim um straumhraða vatns sem rann um hjallann. Jarðvegur fannst ekki á hjöllum sem tengjast þessu rofstigi þannig að ekki er hægt að segja til um aldur þeirra. Eina beina vísbendingin er jarðvegssnið (Kári 3, Mynd 4-5) í farvegi rofstigs 3 rétt fyrir innan Haftið. Það snið er greinilega yngra en rofstig 2 og elsti jarðvegur í sniðinu er um 6600 ára gamall. Hæð þessa grófa hjalla við Niðurgöngugil virðist vera í góðum tengslum við hæðir á hjöllum eldri en Þorláksmýrarstig í staði Háslóns. (Mynd 4-12) Líkur eru þannig á að rofstig 2 sé frá fyrsta árpúsundi eftir að ísa leysti á svæðinu, sennilega á fyrri hluta þess tímabils eða jafnvel í byrjun þess. Efsti hluti Haftins hefur verið úr basalti a.m.k. næst Ytri-Kárahnjúk og það virðist hafa verið fremur stutt eða þunnt ef litið er til malarhjallanna frá rofstigi 1, þannig að gera verður ráð fyrir að það hafi veitt rofi skammvinnu við nám þar til rofið náði niður á móbergið undir áður nefndu basalti. Rennsli árinna hefur verið mikið á þessu skeiði vegna bráðnunar jökla og líkast til ómiðlað. Það gæti hafa verið áþekkt rennsli Jöklu undanfarna áratugi.

Jarðvegssnið á stöllum í Dimmugljúfrum



Mynd 4-5 Jarðvegssnið í farvegum við Dimmugljúfur.

Rofstig 3

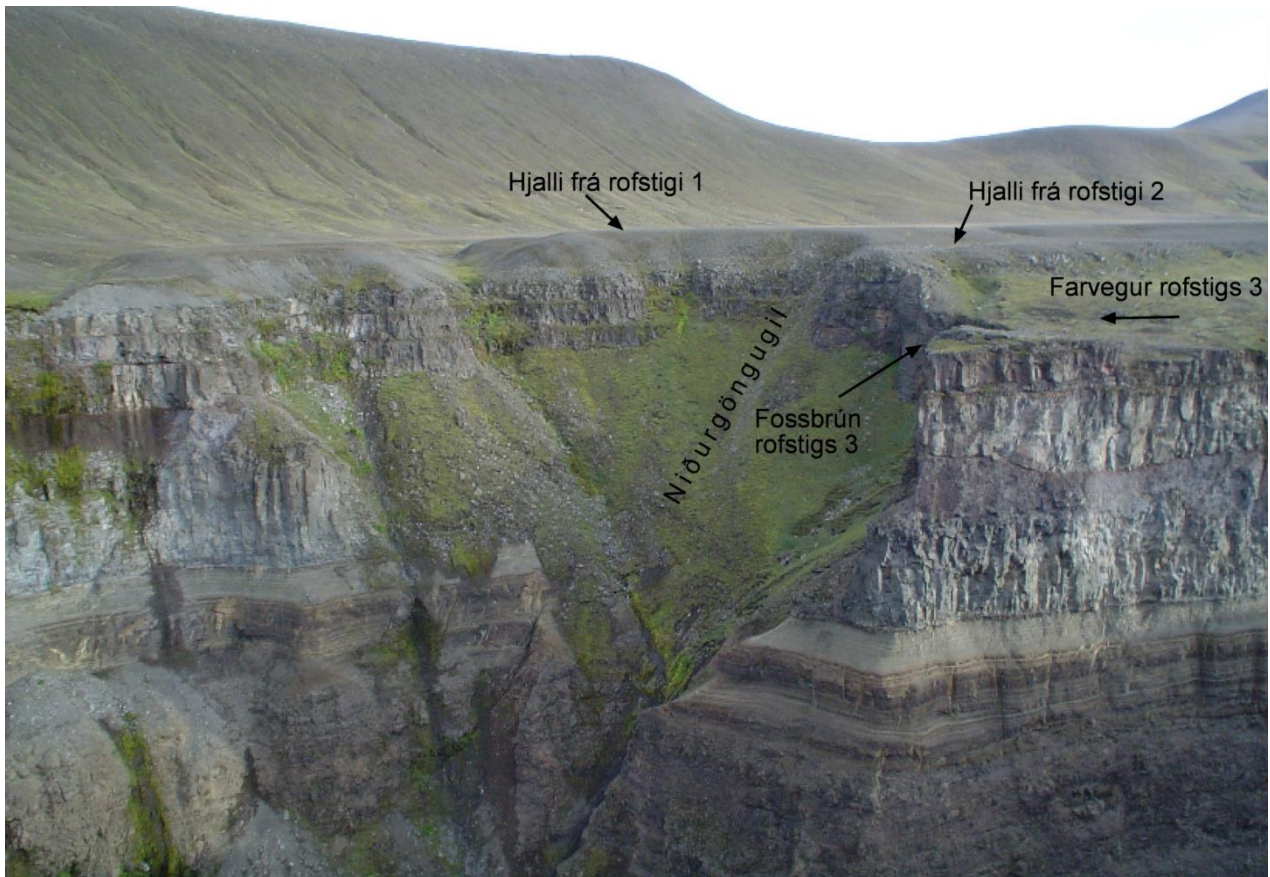
Þetta rofstig nær yfir lengstan tíma þeirra rofstiga sem hér er fjallað um. Rekja má farveg tengdan rofstigi 3 frá Haftinu og suður að Kárahnjúkastíflu. Farvegurinn einkennist af þvegnu og slitnu móbergi (Dimmugljúframóbergi) næst Haftinu og spölkorn þar suður fyrir og rofnu basalti

(Farvegabasalti) þaðan og suður undir Drangahvamma. Hvergi verður vart við árset frá þessu stigi eða yngri stigum við Dimmugljúfur milli Kárahnjúkanna. Dimmugljúframóbergið hefur greinilega verið sú myndun sem áin átti erfiðast með að rjúfa. Kemur þar margt til. Móbergið er að vísu ekki hart berg en í því eru ekki kerfisbundnir veikleikar á borð við lóðréttar kólnunarsprungur sem eru í basalhraunlögum. Þvert á móti eru öll rofform móbergisins í farveginum ávöl og bera fremur vott um hægfara slit fremur en holun af völdum straumvatns. Dimmugljúfur eru á löngum kafla grafin niður úr farvegi þessa rofstigs. Þau eru grafin á allt annan hátt og eru greinilega rofin langs eftir virkum sprungum eins og sjá má víða í veggjum gljúfranna.

Jarðvegssniðið Kári 3 (Mynd 4-5), rétt sunnan við Haftið, sýnir að þar var farvegur rofstigs 3 nærri fullmótaður fyrir um 6600 árum. Jarðvegssniðið er í dálitlum halla og neðstu jarðvegslögin í sniðinu hvíla ekki á botni farvegarins (Mynd 4-4). Vatn gæti því hugsanlega hafa runnið um skeið eftir farveginum eftir að jarðvegur var farinn að myndast þar sem sniðið er. Ólíklegt er þó að það hafi verið lengi. Í Niðurgöngugili er fossbrún frá þessu rofstigi, (Mynd 4-7). Sunnan við Niðurgöngugil er farvegurinn fyrst grafinn í basalhraun (Farvegabasalt) á um 600 m kafla og sést aðeins austan gljúfursins. Þar sunnan við er móberg á um 900 m kafla. Í það hefur rofist fremur grunnur og víður farvegur eða gljúfur, 20-30 m djúpt og 150-200 m breitt, sem nú sést sem nokkuð samfelldir stallar eða hvammar meðfram núverandi gljúfri. Lögun hvammanna og samfellan bendir til að þeir hafi myndast við sömu aðstæður hvað varðar rennsli og rofmátt árinna. Beinast liggur við að telja að þeir hafi að mestu orðið til á rofstigi 3. Tvö jarðvegssnið, G79 og G124, sem eru í hvömmunum, sitt hvoru megin núverandi gljúfurs sýna að jarðvegur var farinn að myndast þar fyrir um 1300 árum og e.t.v. nokkru fyrr, en neðstu þekkjanlegu gjóskulög (Mynd 4-5) eru um 1260 ára gömul. Rofstig 3, þannig skilgreint, hefur því staðið í meira en 5000 ár. Í hvömmunum eru að sjálfsögðu ummerki um áframhaldandi rof frá yngri rofstigum sem fjallað er um hér á eftir. Farvegir við Fremri-Kárahnjúk eru í um 540 m hæð og dýpsti hluti þeirra er frá yngstu rofstigum (sjá síðar) en þau eru öll mjög grunn og meginhluti farvegarins þarna er frá rofstigi 3. Fossbrúnnin við Niðurgöngugil er í 539 m hæð. Hæðir þessara farvega eru í góðum tengslum við hreinu mölina (meginhjallana) í stæði Háslóns.



Mynd 4-6 Drangahvammur. Horft er til suðurs af eystri barmi farveganna. Ljósmynd SVIK



Mynd 4-7 Niðurgöngugil séð frá vestari bakka gljúfursins. Á myndinni sjást þrjú rofstig. Ljósmynd GL.



Mynd 4-8 Leifar farvega rofstiga 4-7 á austurbakka gljúfursins rétt norðan við Kárahnjúkastíflu. Ljósmynd SPS.

Yngstu rofstig

Við gljúfrin sjást nokkur rofprep eða rofstig sem eru yngri en rofstig 3. Þau eru auðkennd á farvegakorti og þeim gefin tilsvareandi númer, frá fjögur að sjö. Þau eru öll mjög áþekkt og hvert þeirra er mjög lágt (e.t.v. 2 m). Þau hafa grafið niður úr farvegi rofstigs 3 og dýpkað hann lítillega nærri núverandi gljúfrum. Þau eru yngri en elsti jarðvegur í jarðvegssniðum G79 og G124 (Mynd 4-5), líklega grafin um og eftir landnám eða þar um bil. Þau sýna að aukinn rofhraða í syðsta hluta farveganna við gljúfrin, líklega vegna aukinna öfga í rennsli árinna sem fylgja kaldari veðráttu og auknu sumarrennsli. Meginhjallarnir við Fremri-Kárahnjúk hafa verið farnir að rofna þegar á þessum rofstigum og það hefur einnig aukið á rofmátt árinna. Aldur yngsta rofstigs er ekki þekktur en að líkum hefur þróunin eftir landnám verið hröð og gljúfrin grafið hratt.

4.7 Sprunguhreyfingar og jarðhiti

Hverahrúður er á allmörgum stöðum við Hálslón og í nálægum dölum. Nefna má hverahrúður við Sauðá vestari og hverahrúður fannst dálítinn spöl suður frá Sauðá í hæð efsta þreps (Mynd 4-9). Miklar dyngjur af hverahrúðri eru í Laugavalladal vestan við gljúfrin. Greinilegt er af ummerkjum að jarðhiti hefur verið talsverður á þessum stöðum og hann er enn virkur í Laugavalladal. Jarðhitinn tengist sprungum sem hafa verið opnar og vatn streymt um þær á nútíma. Það bendir aftur til þess að sprungurnar gætu átt þátt í greftri gljúfranna.



Mynd 4-9 Myndin er tekin í hæð efsta rofþreps/strandlínu skammt sunnan Sauðár vestari og horft er til suðurs.

Malarhjallar við Lindur eru í fjarska fyrir miðri mynd. Ljósi flekkurinn neðarlega á myndinni til vinstri er hverahrúður frá laugum sem hafa verið við fætur ljósmyndarans eða þar um bil. Ekki tókst að ákvarða aldur hverahrúðursins. Ljósmynd SPS.

Við jarðvegsathuganir og sprunguleit vegna byggingar Kárahnjúkastíflu fundust merki um sprunguhreyfingar (Kristján Sæmundsson og Haukur Jóhannesson 2005). Þar sést að jarðvegur með gjóskulaginu H4 ber merki um hreyfingar. Af því má álykta að umrædd sprunga hafi hreyfst eftir að gjóskulagið H4 féll fyrir um 4250 árum, sjá umfjöllun í kafla 3.7. Samkvæmt þessum athugunum liggur allmikið sprungufylki um Sauðárdal, þvert yfir Sauðá nærri Jöklu og norður í gljúfrin undir Kárahnjúkastíflu, sjá kafla 4.2. Sprungur úr þessu sama fylki liggja austan í Fremri-Kárahnjúk þar sem nú er Desjarástífla og liggja á ská undir Kárahnjúkamyndun og koma fram í Dimmugljúfrum á móts við Ytri-Kárahnjúk. Þar má augljóslega sjá sprungufleti þeirra í gljúfurveggjunum (Mynd 4-10) og er greinilegt að gljúfrin hafa grafið eftir sprungunum. Skessugjá (Mynd 4-2) hefur og grafið í þessa stefnu í beinu framhaldi af sprungum sem sjást í gljúfurveggjunum.



Mynd 4-10. Sprungur og sprungufletir í gljúfurveggjum Dimmugljúfra.
Horft er til suðurs frá vesturbakkanum. Haftið ber hæst á gljúfurbarminum. Ljósmynd SPS.

4.8 Gröftur gljúfranna

Skammt sunnan við Haftið er jarðvegstorfa sem liggur utan í hlíðinni. Jarðvegssniðið Kári 3 er tekið þar (Mynd 4-4 og Mynd 4-5). Nokkur hæðarmunur er á þeim hluta torfunnar sem liggur upp í hlíðina (á farvegi rofstigs 3) og þeim sem neðst liggur. Sá munur gæti verið á bilinu 1-2 m. Jarðvegurinn í sniðinu er dálítið truflaður í neðri hluta sniðsins þannig að ekki reyndist unnt að

rekja saman gjóskulög í allri torfunni. Þetta leiðir til þeirrar túlkunar að þó að elsti jarðvegur í efri hluta torfunnar sýni aldur um 6600 ár, þá er ekki loku fyrir það skotið að vatn hafi nokkru eftir það runnið þar sem neðri hluti torfunnar er nú.

Allir farvegir sunnan við Haftið eru hallalitlir. Þetta á ekki síst við um farvegi rofstigs 3 sem lengst var við lýði. Farvegum utan og norðan við Haftið hallar talsvert meira, einkum þeim sem liggja nærri Skessugjá. Þetta bendir til þess að fossar hafi gegnt miklu hlutverki við gróft gljúfranna. Ekki er hægt að segja til um það hve djúp gljúfrin voru meðan þau grófust en líkast til hafa fossar verið tuga metra háir ef tekið er mið af ummerkjum við Haftið. Benda má á að Dimmugljúframóbergið sem myndar fossbrúnarlagið er líklega ríflega 50 m þykkt við Ytri-Kárahnjúk en móbergið þynnist til suðurs. Líklega hefur hæð fossa numið u.þ.b. þykkt móbergslagsins og hugsanlega eitthvað ríflega það.

Hægt er að hugsa sér tvo meginfasa í greftri gljúfranna frá Haftinu til suðurs. Sá eldri er gróftur frá Hafti suður að Niðurgöngugili. Á þessum kafla fylgja gljúfrin nær alveg stefnu sprungukerfis sem rekja má frá gljúfurkjaftinum rétt norðan við Haftið (Mynd 4-10) austur fyrir Fremri-Kárahnjúk og yfir í Desjarárdal. Gleggst er vitað um þessar sprungur í stæði Desjarárstíflu og í gljúfurkjaftinum. Farvegum fyrir sunnan Haftið hallar minna en farvegum utar eins og sjá má af töflu hér að neðan. Nokkurt álitamál er hvernig velja skal slíka mælipunkta en þessi tafla er fyrst og fremst hugsuð til hliðsjónar. Hæð lands hefur breyst nokkuð og bæði hækkað og lækkað síðan farvegirnir mynduðust, en þar sem vegalengdir eru stuttar er ekki tekið tillit til slíks.

Staður	Δh m	Vegalengd m	Halli %
Skessugjá milli enda	10	112	8,9
Haftið að efri enda Skessugjár	28	980	2,9
Núverandi gljúfur frá Hafti að Skessugjá	6	980	0,7
Rofstíg 3 frá Hafti og rétt suður fyrir Niðurgöngugil	16	1330	1,2
Rofstíg 3 frá Drangahvömmum að Niðurgöngugili	3	730	0,4
Meðalhalli frá Drangahvömmum að Hafti	19	2060	0,9
Rofstíg 1 frá Niðurgöngugili að Hafti	1	1490	0,1

Tafla 4-1 Halli farvega við Haftið. Hæðir eru teknar af hæðargrunni Loftmynda ehf..

Glöggst sést á töflunni að farvegum sunnan við Haftið hallar mun minna en þeim sem sjást norðan við það. Halli Skessugjár er hins vegar miklu meiri en meðalhallinn frá Haftinu. Þessi munur bendir frekar til þess að Skessugjain sé eldri en farvegir rofstigs 3 og sé þar með í hópi elstu farvega. Ekki er þó hægt að fullyrða um þetta atriði. Þessar hallatölur segja þó lítið um gróft sjálfrá gljúfranna annað en það að þau hafa grafist á miklu ákveðnari hátt en farvegirnir sem vísað er til. Núverandi gljúfurbotn við Haftið er í nálægt 415 m hæð samkvæmt hæðarlíkani, en líkanið er ekki nákvæmt í gljúfrunum sjálfum. Botn Dimmugljúfra á móts við efri enda Skessugjár er í 409 m hæð en botn gjárinnar er þar í um 483 m hæð. Þar munar um 74 m. Af því má ráða að gróftur Dimmugljúfra sé í litlum tengslum við farvegakerfin sem sjást við gljúfrin. Neðst í gljúfrunum er dyngjubasalt, sem Ágúst Guðmundsson (1996) kallar Dimmugljúfradyngju og leggst Dimmugljúframóberg ofan á það við Haftið (Mynd 4-11). Móbergið hefur ekki neina „meðfædda“, kerfisbundna veikleika og það stenst rof býsna vel ef frá eru talin áhrif tektónískra sprungna. Dimmugljúfradyngjan er hins vegar mjög þunnlöggott og stenst rof ekki vel eins og raunar mátti sjá við Kárahnjúkastíflu, ekki síst við botnrásargöngin. Höfundur telur líklegast að gljúfrin hafi grafist þannig að vatn hafi rofið dyngjubasaltið undan móberginu þar til það féll í gljúfrin og gljúfrin grafist þannig afturábak eins og gljúfra er háttur. Ekki er hægt að sjá í hvaða hæð gljúfurbotninn hefur verið þegar gljúfrin grófust en líklega hefur hann verið ofarlega í Dimmugljúfradyngjunni sem er undir móberginu við Haftið. Áin hefur líklega dýpkað farveginn talsvert eftir það. Gljúfrin hafa grafist nær beint eftir sprungum við Haftið og sjást sprungufletir þar víða. Gljúfurveggirnir taka mið af þessu og eru lóðréttir eða því sem næst og nær alveg beinir suður að Niðurgöngugili. Þar beygja gljúfrin og fylgja að líkindum öðrum virkum sprungum sem liggja inn undir Kárahnjúkastíflu, sjá kafla 4.2 og 4.7.



Mynd 4-11 Horft inn gljúfrin frá stalli neðan við Haftið.

Neðst sést í Dimmugljúfradyngjuna. Gljúfrin eru líklega um 100 m djúp frá ávala stallinum hægra megin á myndinni (líklega mótað af flúð eða fossi). Þykkt móbergsins er ríflega helmingur þess. Nöfn jarðlagaeininga eru frá Ágúst Guðmundssyni (1996). Ljósmynd SPS.

Þessar sprungur urðu nokkurt umfjöllunarefni í fjölmiðlum í tengslum við stöðugleika stíflunar á sínum tíma. Kristján Sæmundsson og Haukur Jóhannesson (2005) rannsökuðu sprungurnar og komust að þeirri niðurstöðu að þær hefðu hreyfst á nútíma eða nánar tiltekið nokkru eftir að gjóskulagið H4 féll fyrir um 4250 árum.

4.9 Breidd gljúfra og flóð

Nyrsti hluti Hafrahvammagljúfra meðfram Hnitasporði er 200-250 breiður. Þessi tala er þó nokkuð óviss og segir ekki mikið til um hámarksrennsli sem um þau hefur farið. Gljúfrin hafa grafist á þessum kafla á skilum tveggja jarðmyndana. Kárahnjúkamóbergið sem er að miklu leyti bólstraberg sést í austurbakka gljúfranna en Dimmugljúframóberg er syðst í vesturbakkanum og basalt norðar. Kárahnjúkamóbergið er auðrofið en myndanirnar í vesturbakkanum mun síður. Þessi munur veldur því að rofið leitar alltaf á Kárahnjúkabólstrabergið og meginþungi vatnagangs liggur jafnan við austurbakkann og leitast við að breikka gljúfrin. Með tímanum verða efstu gljúfurbarmarnir misgamlir, ef svo má að orði komast (jarðmyndanir í gljúfurbörmunum eru misgamlar). Við þessar aðstæður gefur breidd gljúfranna síður vísbendingu um hámarksrennsli sem þar hefur farið um.

Breidd gljúfranna frá syðri enda Hnitasporðs er víða 150-300 m að Skessugjá þar sem gljúfrið beygir. Aðstæður á þessum kafla eru áþekkar þeim sem lýst er hér að framan um misrjúfanlega gljúfurbarma.

Breidd gljúfranna frá Skessugjá að Haftinu er 80-120 m. Á þessum kafla eru sömu jarðmyndanir að mestu í báðum börmum gljúfranna, gljúfurbarmar skarpir og líklega jafnaldra. Sama gildir um gljúfrin frá Haftinu að Niðurgöngugili. Þar virðast þau vera á móta breið eða 80-120 m, þó oftast nær 120 m. Fossbrúnnin við Niðurgöngugil er ríflega 65 m breið.

Gljúfrin þrengjast nokkuð fyrir sunnan Niðurgöngugil. Þau eru raunar um 130 m breið rétt fyrir sunnan gilið en þegar komið er suður að Drangahvömmum er breidd þeirra komin niður í 70-80 m. Þau halda þeirri breidd suður að Kárahnjúkastíflu en þar eru gljúfrin ríflega 50 m breið.

Farvegir rofstigs 3 eru breiðari. Þeir eru oft á bilinu 150-200 m. Jökla rann eftir farvegum rofstigs 3 frá því fyrir um 6600 árum (eða jafnvel fyrr) þar til fyrir um 1300 árum, sbr. hér að framan.

Ekki verður séð að mikil flóð hafi farið um gljúfrin. Þau eru talsvert þrengri en t.d. Markarfljótsgljúfur en þrengsti hluti þeirra er 150-200 m breiður mælt á kortgrunni Landmælinga IS 50V. Flóðfarvegir við Jökulsá á Fjöllum eru gjarnan 300-500 m breiðir og aðeins í undantekningartilvikum þrengri en 200 m. Hér er vakin athygli á því að loftmyndir og myndkort henta ekki sérstaklega vel til að mæla breidd gljúfra nákvæmlega því hæðarlíkön sem myndirnar eru unnar eftir hafa tilhneigingu til að vera nokkuð ónákvæm þar sem gljúfur eru djúp og kröpp og sú óvissa bætist við þá óvissu sem alltaf fylgir vali á mælistöðum.

4.10 Rennslismynstur Jöklu fyrir og nú

Niðurstöður þessarar skýrslu benda til að í um 5000 ár (sjá kafla 3) hafi Jökla verið bergvatnsá og líklega að mestu dragá. Sú ályktun er dregin af því að áreyrar hennar í dalnum hafa náð að gróa upp og mynda jarðveg og Jökla hefur því ekki verið það jökulvatn sem hún er nú að sumri. Vatnasvið árinna undir jökli er tiltölulega jafnbreitt langt inn undir jökulinn (Helgi Björnsson 2007) og land undir jöklinum hækkar jafnt allt suður undir Esjufjöll. Ætla má að vatnasvið árinna á jökullausu landi sé áþekkt að stærð og nú og að ársmeðalrennsli dragárinna Jöklu og jökulárinna Jöklu hafi verið áþekkt.

Á það skal þó bent að meiri úrkoma gæti hafa fallið á vatnasviðið þegar jökullinn var minni/lægri en nú þar sem úrkoma hefur átt greiðari leið inn á vatnasviðið úr austri. Við það ástand ætti þó úrkoma á jökulinn sjálfan að hafa verið nokkru minni en nú og það vegur upp mismuninn að nokkru. Gengið er út frá svipuðum úrkomuáttum og nú eru. Rennslishættir jökulárinna og dragárinna hafa verið gjörólíkir. Ársrennsli jökulárinna kemur fram á nokkrum mánuðum yfir sumarið en rennsli dragár dreifist mun meira yfir árið. Gera verður ráð fyrir að flóð í jökulánni hafi verið tíðari og stærri en í dragánni. Þannig má færa rök fyrir því að rennsli Jöklu á nútíma hafi verið í hámarki á sumrin undanfarna áratugi ef tekið er mið af hraðri jökulleysingu undanfarinna áratuga og ekki síst nú síðasta áratuginn. Á móti því vegur að nokkru leyti að tímabil leysingar lengist við hlýrra loftslag. Ef litið er til Dimmugljúfra og farvega við þau, verður ekki annað sagt en að gróftur gljúfranna virðist vera í ágætu samræmi við rennslið árinna sem að framan er rakið.

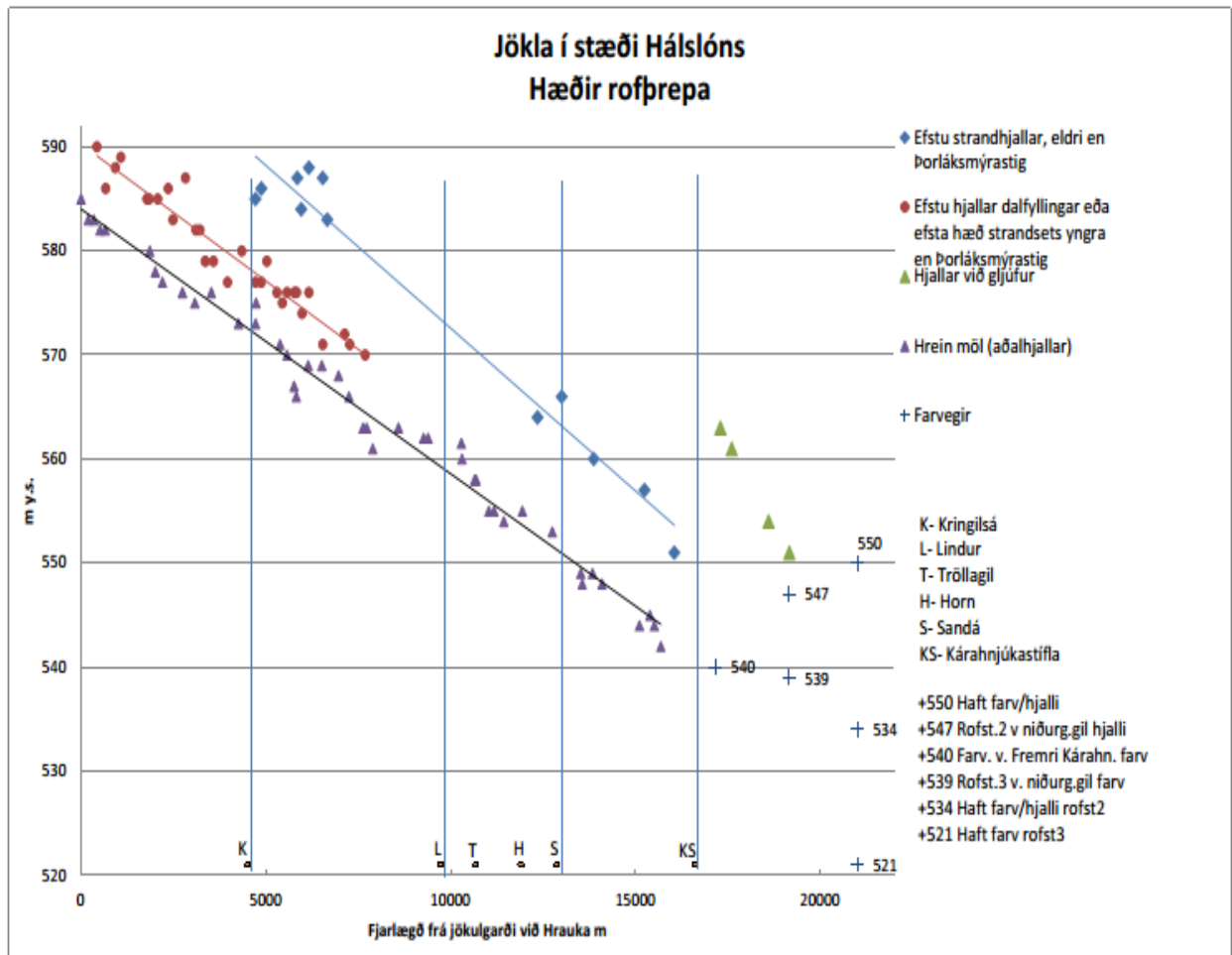
Til samanburðar er rétt að benda á að við foss nokkurn í Skaftá, sem grafinn er í Eldhraun gegnt svonefndum Kömbum, hafa Skaftárhlaup frá því um miðja síðustu öld grafið nýtt og víðara gljúfur en áður var á þessum stað. Breidd þessa nýja hluta gljúfurs Skaftár á þessum stað er tæpir 100-m og stærstu þekktu flóð eru um 1500 m³/s eða þar um bil (Snorri Zóphóníasson & Svanur Pálsson 1996). Líklegt hámarksrennsli um gljúfrin er nokkru minna því að hluti Skaftárhlaupa leitar út á hraunið og framhjá fossinum í stærstu hlaupum. Dimmugljúfur eru af svipaðri breidd frá Haftinu og drjúgan hluta leiðarinnar suður að Kárahnjúkastíflu en þrengjast skammt norðan við stífluna. Sá hluti gljúfranna er grafinn á þeim tíma sem líkur benda til að sumarrennsli hafi farið vaxandi. Það gæti bent til þess að sprungur eigi drjúgan þátt í mótun gljúfranna.

Að framansögðu má ljóst vera að höfundar telja að Dimmugljúfur beri ekki augljós merki um mikil flóð heldur séu þau grafin af Jöklu í öllum þeim myndum sem hún hefur tekið á sig á umliðnum öldum. Ekki er að sjá að hamfarahlaup eða aðrir stórir flóðaviðburðir hafi komið við sögu.

4.11 Lón í Ísaldarlok

Kortlagning og rannsókn atburða í lok Ísaldar á svæði Háslóns byggir að miklu á legu sethjalla og rofhjalla, ekki síst hæð þeirra. Allmargir þættir hafa haft áhrif á hæðarlegu. Rannsóknarsvæðið frá Hafti allt suður að jaðri Vatnajökuls er meira en 20 km langt og á þessu svæði hefur land risið þegar jökulfargi Ísaldar létti og sigið aftur við vöxt Vatnajökuls á síðari öldum. Líklega er þeim hreyfingum síður en svo lokið í ljósi örrar jökulleysingar á síðustu árum. Erfitt er hins vegar að henda reiður á því nákvæmlega hve miklar þessar hreyfingar hafa verið síðustu tvö þúsund árin eða svo.

Ætla verður að sprunguhreyfingum þeim sem áður hefur verið lýst hafi fylgt lóðréttar jarðskorpuhreyfingar. Ógerlegt er að meta umfang slíkra hreyfinga en líklegast verður að telja að þær hafi verið snöggum minni en hreyfingar af völdum jöklabreytinga.



Mynd 4-12 Hæðir rofprepa og fleiri myndana í stæði Háslóns og við Dimmugljúfur.

Grænir þríhyrningar sýna hæð malarhjalla við gljúfrin. Tveir efri punktarnir eru á hjalla utan við Kárahnjúkastíflu merktum V3 á jarðfræðikorti. Hjallarnir eru elstu hjallar á svæðinu og frá hörfunarskeiði jökulsins. Á hjöllum næst Kárahnjúkastíflu er gamall jarðvegur og elsta þekkt gjóskulag er HÖ um 6140 ára sjá kafla 5.2. Bláir tíglar sýna legu efsta rofpreps sem talið er sýna efstu strandlínu lóns fyrir Þorláksmýrastig. Rauðir punktar sýna efstu hæð dalfyllingar eða, samkvæmt annarri túlkun, efstu hæð strandsets eftir Þorláksmýrastig. Krossar sýna hæðir farvega við gljúfrin sem oftast eru grafnir í klöpp. Vegalengdir eru mældar frá jökulgarðinum frá 1890 sem kenndur er við Hrauka í Kringilsárrana.

Hæðir eru fengnar úr hæðarlíkani Loftmynda ehf. af svæðinu vestan ár. Stuðst var við hæðarpunkta líkansins beint því þar er nákvæmstu hæðina að finna í líkaninu. Hæðarlínur, sérstaklega 1 m línurnar eru allt of ónákvæmar til slíks, því þær eru reiknaðar út frá þessum hæðarpunktum án þess að taka tillit til landsins á milli. Hæðarákvörðun samkvæmt 1 m hæðarlínum getur þannig gefið villandi niðurstöður. Mjög erfitt var að fá sömu hæð á jafnaldra myndanir beggja megin ár með viðunandi nákvæmni og hér er ónákvæmni hæðarlíkansins kennt um að nokkru. Brugðið var á það ráð að styðjast einvörðungu við hæðarpunkta vestan ár og óregla í gögnunum varð þannig viðráðanlegri.

Þegar ísaldarjökullinn hörfaði suður eftir dalnum varð til lón sem þygg setlög settust til í, sjá kafla 2. Lónið fylgdi jökulröndinni og lengdist smátt og smátt jafnframt því að land reis. Fergingin var mest syðst og þar reis land því meira og ívið seinna en norðar. Líklega hefur fyrirstaðan utan við Kárahnjúkastíflu komið við sögu fyrst í stað en sáralítill munur er á hæð hennar og Haftsins ef tekið er mið af halla hjallanna, eins og sjá má á Mynd 4-12 því hjallarnir við gljúfrin falla á nokkuð beina línu (grænir þríhyrningar). Hjallarnir við gljúfrin eru sennilega myndaðir fyrir framan

hörfandi jökul en síður af lóni í dalnum innan við Fremri-Kárahnjúk því þeir falla allir á sömu bröttu línuna en hjallar fyrir innan Kárahnjúkastíflu falla allir á línu með mun minni halla, sjá Mynd 4-12. Höfundar eru allir sammála um að hjallinn utan við Kárahnjúkastíflu sé frá ísaldarlokum. Jarðvegur byrjaði seint að myndast á hjallanum og elsta þekkjanlega gjóskulag var HÖ sem er um 6140 ára gamalt (sjá kafla 5.2). Neðan við HÖ voru mörg dökk gjóskulög en aldur þeirra er ekki vel þekktur.

Gerð var tilraun til að rekja hæðir einstakra þrepa í stæði Háslóns og tengja þau við rofstigin við gljúfrin sem rakin hafa verið hér að framan, sjá Mynd 4-12. Hæðarákvörðun einstakra punkta getur verið snúin og hæðarlíkanið stendur ekki undir nákvæmari hæðarákvörðun en sem nemur tveggja metra óvissu og jafnvel varla það, sjá inngang. Áberandi eru stórir malarhjallar með hreinni mól efst, sjá umfjöllun hér að neðan. Þessir hjallar eru hér eftir nefndir „meginhjallar“. Hæð þeirra er merkt með fjólubláum þríhyrningum á Mynd 4-12. Malarhjallarnir voru efnismiklir og mikið af mól var tekið úr þeim við virkjunarframkvæmdirnar. Tvö nokkuð skýr þrep eru ofan við hjallana. Nokkuð var leitað að ummerkjum um hjalla eða strandlínur ofan við þessi þrep, einkum frá Kringilsá og norður undir Tröllagil. Þar má sjá mjög óglöggar línur huldar þykkum jarðvegi og einnig mótar fyrir talsvert hallandi línu á stuttum kafla. En þessar línur eru svo óglöggar að hugsanlegt er að hér sé aðeins um misfellur í berggrunni að ræða. Benda má á að strík basaltlaganna í berggrunninum er mjög norðlægt og hefur nánast sömu stefnu og fyrrnefndar línur. Þær sjást í hæðarlíkaninu og á loftmyndum t.d. hátt í hlíðum Sauðafells.

Efstu strandlínur og hjallar eldri en Þorláksmýrastig

Strandlínur og hjallar efsta þrepsins eru (bláir punktar á Mynd 4-12) greinilegar frá Kárahnjúkastíflu og suður fyrir Sauða vestari og sjást aftur suður við Kringilsá en þar eru þær í 554-588 m hæð. Strandlínurnar eru í góðum tengslum við rofstig 2 sem sést við Niðurgöngugil sem grófur malarhjalli í 547 m hæð. Ekki reyndist unnt að rekja þetta stig suður fyrir Kringilsá. Strandlínar myndar lengst af samfelldan, mjóan og frekar efnislítinn hjalla frá Kárahnjúkastíflu og suður fyrir Sauða eða þar um bil.

Aldur þessa stigs er nokkuð óljós. Einfaldast er að álykta að strandlínurnar séu nokkrum yngri en efstu og elstu hjallar við gljúfrin (grænir þríhyrningar á Mynd 4-12) og séu strandlínur lóns sem óhjákvæmilega hlýtur að hafa myndast í dalnum í ísaldarlok. Jarðveg með greinanlegum gjóskulögum var ekki að finna á þessu þrepi svo óyggjandi væri.

Ef litið er til myndar 4-12 sést að þegar efsta þrepið var í myndun þá er líklegast að afrennsli dalsins hafi legið í hæð malarhjalla rofstigs 2 við Niðurgöngugil, þótt hæð þrepsins útiloki ekki að afrennsli hafi verið við Haftið. Farvegir rofstigs 3 við Niðurgöngugil og við Haftið liggja mun lægra en þar að auki er gamall jarðvegur (~6600 ára) í farvegi rofstigs 3 við Haftið, sjá Mynd 4-4 og Mynd 4-5.

Neðri þrep - Efsta hæð dalfyllingar eða efsta hæð strandsets eftir Þorláksmýrastig

Þegar skoðaðar voru hæðir á neðra þrepi norðan við Kringilsá og þær bornar saman við hæðir efstu þrepa sunnan við ána þá kom í ljós að þær falla á nánast sömu línuna (sjá rauða punkta á Mynd 4-12. Einföld skýring á þessu er sú að jökull hafi verið í dalnum og lón fyrir framan hann þegar efsta þrepið myndaðist og síðan þegar jökullinn hörfaði þá hafi lónið náð inn eftir dalnum en vegna rofs við Haftið þá hafi lónið ekki náð sömu hæð og fyrr. Um jarðveg á þessu þrepi eða þrepum er það að segja að gjóskulög í jarðvegi á neðra þrepinu eru ung, aðeins um 1200 ára gömul, sjá Mynd 3-8.

Lágur aldur jarðvegs ofan á þrepinu fellur ef til vill ekki sérlega vel að ályktun um að þrepið sé strandmyndun lóns eftir Þorláksmýrastig. Á því gæti verið sú skýring að jarðvegsmyndun hefði hafist seint á þrepinu eins og dæmi eru um á hjallanum (merktan V3 á jarðfræðikorti) utan við Kárahnjúkastíflu. Afrennsli lónsins á þessu stigi virðist hafa verið í svipaðri hæð og farvegir rofstigs 3. Gamall jarðvegur finnst í farvegi rofstigs 3 (sjá kafla 4.6). Það er er í beinni mótsögn við hugmyndir um lágan aldur þrepsins.

Jarðvegur milli malarlaga

Jarðvegur finnst á allmörgum stöðum í sethjölum í stæði Háslóns. Hann er gjarnan 1-2 m þykkur en sumstaðar þykkari. Jarðvegurinn hefur myndast á um 5000 ára tímabili, elsti hlutinn fyrir um 7500 árum og yngsti hlutinn fyrir um 2500 árum, sjá Mynd 3-3 og kafla 3.2.

Jarðvegurinn hefur augljóslega myndast á malareyrum „óhreinu“ malarinnar en hún er svo kölluð vegna þess að hún er siltrík og siltið bendir til nándar við jökul (sjá kafla 2.3). Óhreina mölin er því líklegast frá hörfun ísaldarjökulsins. Eyrarnar eru um margt áþekkar eyrum hreinu malarinnar

sem ofan á þeim liggur að frátöldu siltinnihaldinu. Þeim hefur líklega hallað á móta mikið þegar þær mynduðust og eyrum hreinu malarinnar í meginhjöllunum. Halli jarðvegsins er greinilega minni en halli þrepanna eða meginhjallana með hreinu mölinni.

Afrennsli dalsins á myndunartíma jarðvegsins hefur líklegast verið um farveg rofstigs 3 í mótun eða í um 540 m við Fremri-Kárahnjúk. Hafi afrennslið verið hærra þá ætti að sjást lagskipt vatnaset yst í dalnum, en svo er ekki. Þetta er í ágætu samræmi við háan aldur jarðvegs í farvegi rofstigs 3 við Haftið, sjá jarðvegssnið Kári 3 á Mynd 4-5.

Hreina mölin - meginhjallar

Stærstu malarhjallar við Jöklu í stæði Háslóns hafa allir hreina möl efst. Þessi möl leggst ofan á jarðveginn sem liggur inn á milli malarlaga og getið er um hér að framan og samkvæmt aldri jarðvegsins þá er elsti hluti hennar líklega um 2500 ára gamall. Mölina er hægt að rekja samfellt frá syðstu hjöllum við jökulgarðinn við Hrauka í Kringilsárrana þar sem hún er um 15-20 m þykk og norður að Kárahnjúkastíflu en þar er hún aðeins 2-3 m að þykkt. Mölin er dæmigerð eyramöl og skálögun ekki að sjá í henni. Yfirborð malarinnar við Kárahnjúk er í um 542 m y.s. hefur útrennsli í dalnum verið í þeirri hæð eða ögninni lægri þegar hún myndaðist. Hæð malarinnar í dalnum má sjá á Mynd 4-12 (dökkfjólubláir þríhyrningar). Hæð og halli malarinnar eru í góðu samræmi við hæð yngstu farvega við Fremri-Kárahnjúk og raunar einnig við farveg rofstigs 3 enda er lítil munur þar á. Elsti jarðvegur á meginhjöllunum er um 1200 ára gamall, sjá kafla 3, t.d. Mynd 3-9.

5 Túlkun á atburðarrás

5.1 Atburðaröð samkvæmt líkani 1 – IK, SV og SPS

Hörfun ísaldarjökulsins

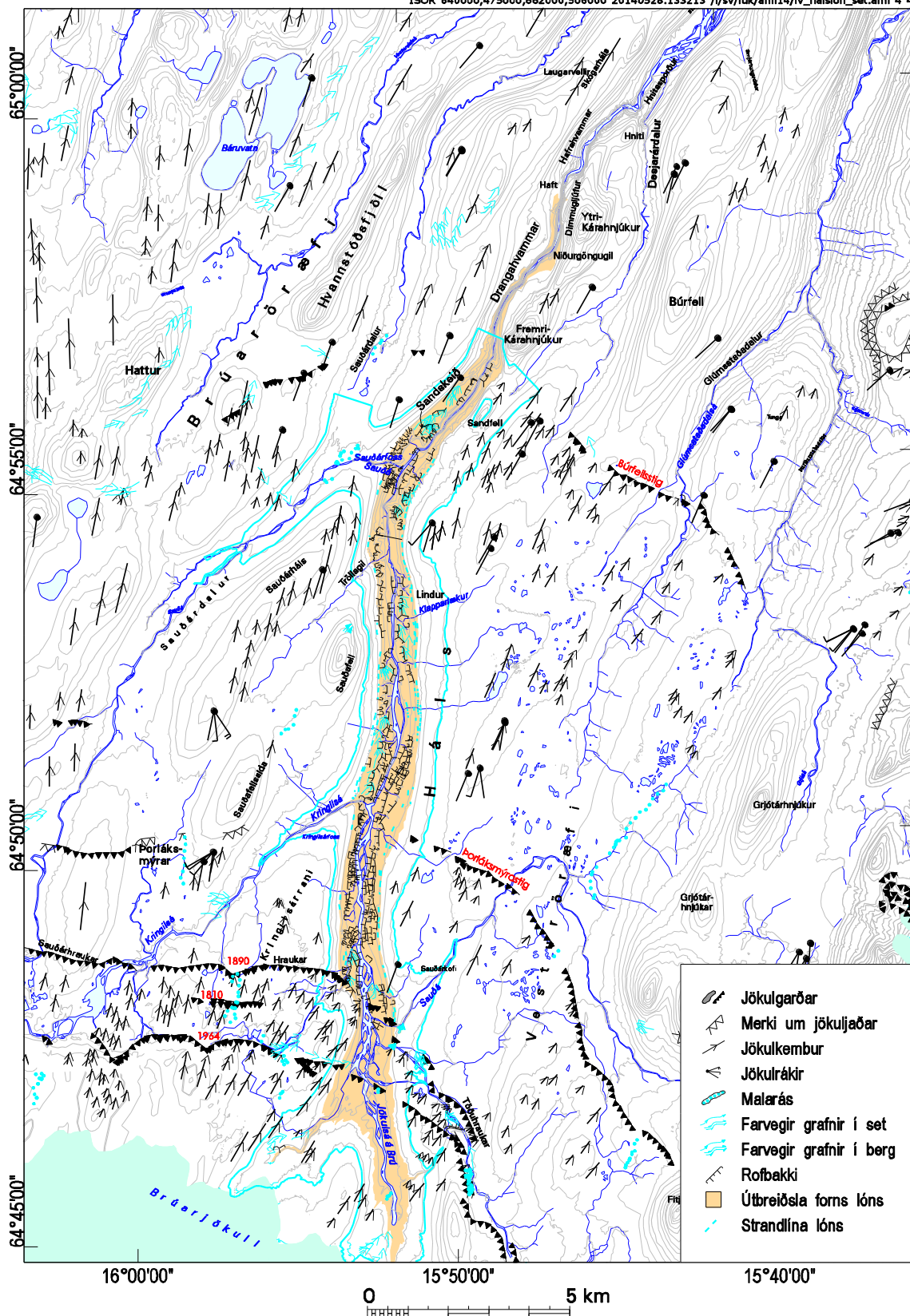
Saga hörfunar hins forna „Brúarjökuls“ er allvel þekkt (Bessi Aðalsteinsson & Helgi Torfason 1992, Ingibjörg Kaldal 1992 og 1993, óbirt gögn, Óskar Knudsen 1995, 2000, Ingibjörg Kaldal & Skúli Víkingsson 2000, 2001, Ívar Örn Benediktsson 2005). Brúarjökull er þekktur framhlaupsjökull. Síðast hljóp hann fram 1964 og þar áður 1890, en auk þess eru frásagnir og ummerki um eldri framhlaup á sögulegum tíma, sjá yfirlit í Ingibjörg Kaldal o.fl. 2001. Um þessi framhlaup vitna jökulgarðar og aðrar jaðarmyndanir, sem rekja má samfelld langar leiðir. Ekkert bendir til annars en að Ísaldarjökullinn hafi hegðað sér á svipaðan hátt við hörfunina og Brúarjökull hefur gert á undanförunum öldum, þ.e. með framhlaupum, enda eru jökulgarðar sem lýst er hér á eftir dæmigerðir framhlaupsгарðar. Hér á eftir er jökulgörðum þeim sem koma við sögu hins forna jökullóns lýst hverjum fyrir sig, sjá Mynd 5-1.

Búrfellsstig

Nyrstu og elstu ummerki á rannsóknarsvæðinu um viðstöðu eða framrás hörfandi meginjökuls er jökulgarður sem kenndur er við Búrfell austan við Kárahnjúka. Rekja má þennan garð meira eða minna samfelld frá Grjótá, norðvestur yfir Desjarárdal þar sem hann verður mjög óljós. Sunnan í Fremri-Kárahnjúk má þó sjá daufar jaðarrásir, hverja upp af annarri, sem mynduðust af leysingarvatni milli jökuls og hlíðar þegar jaðarinn var á þessum slóðum. Desjarárstífla var reist á þessum stað og hylur hún myndanirnar að hluta. Jökultungan virðist hafa náð ofan í grunnan dal milli Kárahnjúka og Skógarháls. Í dalnum eru engin skýr ummerki um hversu langt jökultungan náði á þessu stigi en um 1,5 km norðan við Kárahnjúkastíflu er stórgrýtisurð sem hugsanlega má túlka sem ummerki jökultungunnar og farvegir eftir jökulvatn sem undan henni rann (ummerkin eru svo óljós að þau voru ekki sett á kortið). Vestan Jöklu eru ummerki eftir þetta stig í Sauðárdal þar sem eru malarásar og jökulárset myndað við jökuljaðarinn og austan dalsins er stuttur jökulgarður. Sunnan undir Hvannstöðsfjöllum klifrar mjög stórgrýttur jökulgarður upp hlíðina. Hann má rekja slitrótt til suðvesturs í átt að Hatti. Ástæðan fyrir því hve jökulgarðurinn er stórgrýttur sunnan Hvannstöðsfjalla er, að þar fyrir sunnan eru basaltlög, sem jökullinn hefur náð að plokka stór björg úr og rogast með þau upp hlíðina. Um aldur þessa stigs er lítið hægt að segja, annað en að það er frá því að meginjökullinn hörfaði inn til landsins í upphafi nútíma. Líklega hefur ysti hluti gljúfranna þ.e. Hafrahvamar rofist að hluta á þessu stigi (sjá kafla 4.8). Gjóskulagarannsóknir benda til þess að aldur rofbrúna í Hafrahvömmum sé meiri en 7500 ár (Guðrún Larsen o.fl. 2007) en líklegast eru þær eldri.

Þegar jökullinn hörfaði suður dalinn frá berghafti við Kárahnjúka í um 556 m hæð (hæð efstu farvega við haftið er 550 m), þar sem Dimmugljúfur eru nú, tók nokkuð gróft jökulárset að safnast fyrir í lægðinni innan við Haftið. Leifar þess má nú sjá í malarhjöllum sem sjást á nokkur hundruð metra kafla vestan megin í dalnum norðan við stífluna og einnig frá Hafti suður fyrir Niðurgöngugil. Það var ekki fyrr en jökuljaðarinn var kominn inn undir eða jafnvel inn fyrir Fremri-Kárahnjúk að lón tók að myndast framan við jaðarinn. Jökullinn hörfaði viðstöðulaust suður dalinn og lónið varð lengra og lengra. Grófasta setið settist til undir og framan við jökulinn, en það finna barst lengra út í lónið. Lónið hafði afrennsli niður dalinn og barst fínasta setið (leirinn) sem svifaur með jökulvatninu til hafs. Stöðugt brotnuðu jökulflykki úr jaðrinum, hlaðin aur, sandi og hnellingum. Ísjakar flutu á lóninu uns þeir bráðnuðu og bergmylsnan úr þeim sökk til botns. Meðan jökullinn var að hörfa suður að Sauða á Brúaröræfum kom mest allt vatnið í lónið einungis undan jöklinum og lítið frá hliðum, a.m.k. eru engir farvegir sem heitið geta í aðliggjandi hlíðum. Þegar jökullinn hafði hörfað suður fyrir Sauða (vestari) fór vatn einnig að berast inn í lónið frá Sauðárdal. Er hann hafði hörfað enn sunnar bættist við vatn frá norðanverðum Vesturöræfum (Búrfellsflóa). Rof hefur verið allmikið undir jöklinum á meðan hann hörfaði því mikill meginhluti vatns á svæðinu hefur átt sér framrás undir jöklinum og þaðan til sjávar.

Við myndun lónsins dró mjög úr rennissveiflum í ánni og þar með rofhæfni Jöklu, sem skýrir það að nokkru hversu hægt gekk að rjúfa Haftið við Ytri-Kárahnjúk.



Mynd 5-1. Yfirlitskort sem sýnir jökulhörfun á Brúaröræfum og Vesturöræfum. Efsta borð Háslóns sýnt með ljósblárrí línu.

Ummerki um stig milli Búrfellsstigs og Þorláksmýrastigs

Vestan rannsóknarsvæðisins, nánar til tekið rétt vestan draga Sauðárdals, eru nokkrir jökulgarðsbútar um 1,5 km norðan við Þorláksmýrastig, og er það eini staðurinn þar sem fundist hafa jökulgarðar milli Búrfellsstigs og Þorláksmýrastigs (sjá Mynd 5-1). Rétt sunnan við Kringilsá hverfa hæstu strandlínur hins forna lóns báðum megin dalsins og á sömu slóðum hverfur hið þykka lónset (> 20 m) nær alveg. Ekkert sést til þess á yfirborði þar fyrir sunnan, ef frá er skilinn stuttur kafli vestan Jöklu um 1 km sunnan við Kringilsá en þar er lónsetið þunnt (sjá snið 338, Mynd 2-34).

Þorláksmýrastig

Næstu ummerki um viðstöðu eða framrás hins hörfandi meginjökuls er að finna um 10-11 km sunnan við Búrfellsgarðinn. Þar eru jaðarmyndanir sem kenndar hafa verið við Þorláksmýrar suðvestan við Sauðafellsöldu vestan Kringilsár. Fyrst til að átta sig á þessu stigi og gefa því nafn var þýski jarðfræðingurinn Emmy Mercedes Todtmann árið 1954, í einni af mörgum ferðum sínum til Íslands. Hún rakti jaðarmyndanir í formi jökulgarða og sanda sem myndaðir voru framan við jökuljaðarinn milli Sauðár og Kringilsár (Todtmann 1960). Taldi hún þetta stig vera samaldrá jökulgörðum framan við suma suðurjökla Vatnajökuls, en þeir eru taldir vera frá Mýraskeiðinu síðara (Sub-Atlanticum), sem hófst fyrir um 2500 árum, þegar loftlag kólnaði skyndilega og úrkoma jókst til muna. Þá gengu margir brattir háfjallajöklar fram, eins og Kvíarjökull frá Öræfajökli og Hálsajökull í Snæfelli (Sigurður Þórarinnsson 1964). Rannsóknir Sigurðar Þórarinssonar í ferðum 1962 og 1964 (Sigurður Þórarinnsson 1964a) sýna hins vegar svo ekki verður um villst, að Þorláksmýragarðurinn er miklu eldri eða frá hörfun meginjökulsins og því líklega ekki mikið yngri en Búrfellsstig. Sigurður mældi gjóskulagasnið á nokkrum stöðum milli Þorláksmýrastigs og garðsins frá 1890, í Kringilsárrana og rétt vestan Sauðár vestari. Hann fann þar fjölda gjóskulaga, en mest áberandi voru súru, ljósu gjóskulögin frá Öræfajökulsgosinu 1362, H-3 (Hekla ~3050 ára) og H-4 (Hekla um 4250 ára). Undir H-4 er svo jarðvegur með fjölda gjóskulaga álíka þykkur og fyrir ofan lagið, þannig að ljóst er að þarna hefur jarðvegsmyndun verið óslitin og ótrufluð af framgangi jökla síðan hún hófst eftir að ísaldarjökullinn hvarf af svæðinu. Athuganir okkar rétt innan við Þorláksmýragarðinn á Hálsi benda eindregið til þess að Sigurður hafi haft rétt fyrir sér.

Seinna rakti Bessi Aðalsteinsson ummerki þessarar framrásar til beggja átta eða a.m.k. vestur að Kverká til vesturs og yfir Vesturöræfi til suðausturs (Kort frá BA í Árbók FÍ eftir Hjörleif Guttormsson 1987, Bessi Aðalsteinsson & Helgi Torfason 1992). Jaðarmyndanir sunnan Snæfells, á áhrifasvæði Eyjabakkajökuls eru hugsanlega samaldrá þessu stigi (Skúli Víkingsson 2000). Brúarjökull og Eyjabakkajökull hlupu samtímis árið 1890, svo það getur allt eins hafa gerst á hörfunartíma ísaldarjökulsins.

Á jarðgrunnskortinu frá 2000 (Mynd 5-1) sést, að garðinn má rekja nær samfelld frá dalbrún við Jöklu í stórum sveig suðaustur yfir Vesturöræfi. Frammi á brún dalsins austanverðum er lítill jökulgarðsbútur en engin örugg ummerki um jökuljaðar frá þessu stigi eru niðri í sjálfum dalnum. Vestan Jöklu er framhald jaðarmyndana fremur óljóst þar til vestan Kringilsár þar sem ummerki jaðars eru sunnan í Sauðafellsöldu. Yst í Kringilsárrana eru mikil stórgrýtt jökulruðningshrúgöld, og um hálfum kílómetra sunnan ármóta Kringilsár og Jöklu eru óljósir grýttir kollar sem stingast upp úr eyramölinni og stórgrýtisdreif þar í brekkunni suður af sem kunna að vera frá Þorláksmýrastigi.

Um aldur Þorláksmýrastigs er ekkert meira að segja en um Búrfellsstig annað en að þau hafa bæði orðið við upphaf nútíma og ekki er víst að mjög langt hafi verið milli þeirra í tíma. Ef miðað er við sama hörfunarhraða og á þessari öld, milli 1890 og 1937 (meðaltal 88 m/ár) og 1964 og 1998 (meðaltal 70 m/ár), en á þeim tímabilum var stöðug hörfun, má gera ráð fyrir að jökullinn hafi hörfað frá Búrfellsgarðinum inn að núverandi stöðu jaðars á 250-300 árum. Það er þó sennilega lágmarkstími, því að Þorláksmýraframhlaupið tafði eitthvað fyrir hörfuninni. Eins má gera ráð fyrir að hörfunin hafi gerst í rykkjum allt eftir veðurfari á hverjum tíma.

En hvernig gætir svo þessa framhlaups í lónsetinu? Rúmlega 1 km norðan við ármót Kringilsár og Jöklu tekur setið í hjöllum að breyta um svip. Þar fyrir sunnan gætir lónsets aðeins í litlum mæli og er nær eingöngu um sandlög og gróft jökulárset að ræða, alla leið suður að framhlaupsgarðinum frá 1890. Þetta grófa set er augljóslega sett af nær jökuljaðri, en fína lónsetið utar í dalnum. Dalbotninn fer stöðugt hækkandi suður og vatnsdýpi var þar af leiðandi minna. Aðstæður hafa verið þannig við jökuljaðarinn, að framan við hann hefur verið að myndast óseyri út í lónið, bæði frá Jöklu og Kringilsá. Ekki er ólíklegt að hugsa sér að framhlaupið hafi valdið auknu vatnsmagni

og framburði í Sauðá og að sandurinn sem barst út í lónið með Sauðá (sjá Mynd 2-15) og er áður lýst í kafla 2.3 hafi að mestu borist út í lónið við þann atburð.

Jökullinn virðist hafa hagað sér svipað á hörfunarskeiðinu og hann gerir í dag, þ.e. að „hlaupa“ eða ryðjast skyndilega fram svo kílómetrum skiptir, og eru jökulgarðarnir sem lýst var hér að framan ótvírætt merki um það. Eins og kemur fram hér fyrir framan er saga Brúarjökuls á síðari öldum mörkuð slíkum atburðum svo það kemur e.t.v. ekki á óvart.

Loftslag fór stöðugt hlýnandi og ísaldarjökullinn hélt áfram að hörfa inn til landsins langt inn fyrir núverandi jaðar Brúarjökuls, en enginn veit hvort hann hvarf alveg eða hvort jökull hjarði á hæstu tindum. Talið er að á þessu hlýviðrisskeiði hafi jöklar nær alveg horfið af landinu. Einungis hafi verið smájöklar á hæstu fjöllum eins og t.d. Snæfelli. Þegar ísaldarjökullinn hörfaði fylltist lónið smám saman af seti uns aðstæður voru orðnar þannig að lítið sem ekkert lón var eftir í dalnum. Jarðvegur milli malarlaga finnst ekki norðan Linda og „óhreina mölin“ (G7) undir honum nær enn skemmra norður dalinn. Líklegt má telja að nyrsti hluti lónsins hafi ekki fyllst fyrr en eyramölin („hreina mölin“, Á5) breiddist yfir dalbotninn.

Þróun lóns

Efstu hjallar lóns í dalnum eru við Sauðá vestari og við Kringilsá. Ekki er hægt að rekja þessa hjalla inn fyrir Kringilsá svo neinu nemi og er sú ályktun dregin af því að jökull hafi enn verið í dalnum er þessir hjallar mynduðust. Lítil jarðvegur var á þessum hjöllum og ekki fundust þar greinanleg gjóskulög. Engu að síður teljast hjallarnir vera frá hörfunarskeiði ísaldarjökulsins.

Nokkrum metrum neðan við áðurnefnda hjalla er brimþrep sem rekja má víða í dalnum. Skýrast er það þó í norðurhlutanum, sjá Mynd 5-2. Líklegast er að þrepið tákni töf í rofi fyrirstöðunnar nyrst í dalnum og rof hafi gengið nokkuð hratt fyrir sig því silríkt og lagskipt lónsetið ber aðeins einkenni jökullóns en ekki bergvatns. Malarlag sem leggst beint ofan á lónsetið sunnan við Tröllagil er jökulárset með siltklíningi („óhreina mölin“). Það bendir til þess að stutt sé í jökul á myndunartíma þess. Hæðarlega „óhreinu“ malarinnar og lónsetsins bendir til þess að afrennsli dalsins hafi verið komið niður í 540 m y.s. við Fremri-Kárahnjúk eða jafnvel neðar þegar upphleðslu óhreinu malarinnar lauk. Líklega hefur lónið horfið úr dalnum á þessum tíma því ekki fannst neitt annað lónset en það sem tengist jökullóninu og mölin er ekki skálaga. Þó er ekki hægt að útiloka örgrunnt lón eða leirur nyrst í dalnum frá þeim tíma er „óhreina“ mölin hlóðst upp. Jarðvegur með gjóskulögum sem liggur ofan á „óhreinu“ mölinni er um 7500 ára gamall. Siltklíningurinn í mölinni bendir til nálægðar við jökul eins og áður hefur komið fram. Mölin er því líklega talsvert eldri en jarðvegurinn gefur til kynna.

Öðru máli gegnir um brimþrepið. Það er a.m.k. sumstaðar úr skolaðri mól, án fínefna og líkist að því leyti „hreinu“ mölinni. Hrein mól án fínefna á einum stað er ekki sama jarðmyndun og hrein mól á öðrum stað nema ótvíræð tenging sé á milli staðanna. Elsti jarðvegur sem fannst ofan á brimþrepinu var aðeins um 1700 ára. Sú niðurstaða stingur óneitanlega í stúf við þá niðurstöðu að myndunin sé frá hörfun ísaldarjökuls, en hér þarf að líta til fleiri þátta og líta til allra athugana á seti og rofi ásamt aldursgreiningum til að átta sig á aldursröð myndana.

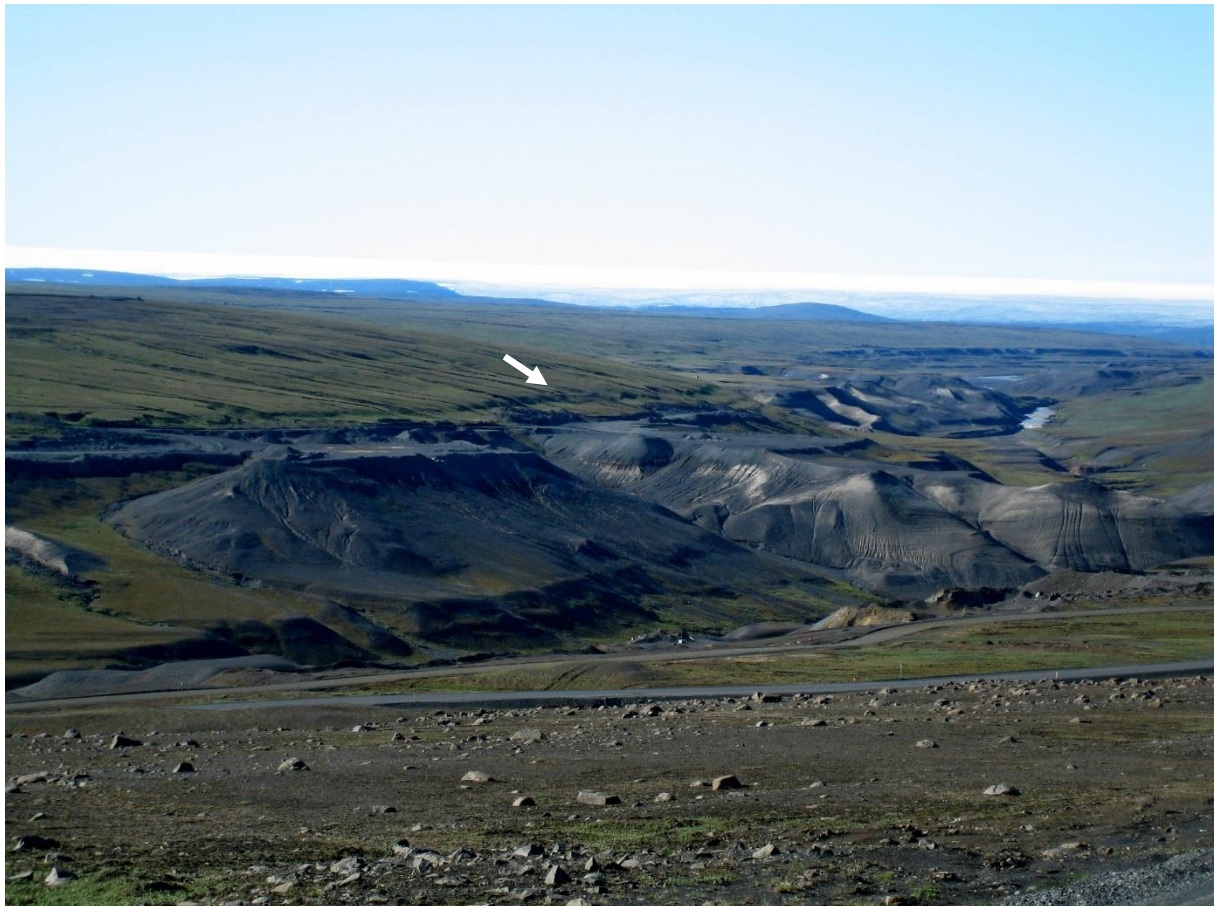
Þar sem dalir hafa fyllst af vatni af einhverjum ástæðum þá er það jafnan svo að elstu ummerkin um það vatn er að finna efst í hlíðum dalsins og síðan taka yngri ummerki við neðar og í takt við hvernig afrennsli dalsins rýfst og lækkar með tímanum. Svo er einnig í þessu tilviki þrátt fyrir aldursgreiningu jarðvegsins. Ástæðan er hæð afrennslis dalsins á myndunartíma „óhreinu“ malarinnar sjá hér að ofan. Ef mölin sem finnst í brimþrepinu væri árset þá yrði afrennsli úr dalnum að vera mun hærra en þeir 540 m y.s. sem hér eru nefndir og að sú fyrirstaða yrði að vera lítt skert þar í mörg þúsund ár þ.e. frá því fyrir um 7500 árum og til myndunar hreinu malarinnar fyrir 2500 árum.

Lítum nánar á þann kost. Hafi afrennsli dalsins verið í 550 m y.s. fyrir 2500 árum þegar „hreina“ mölin byrjaði að myndast þá hefði verið alldjúpt lón (~10 m) nyrst í dalnum. Í lónið hefði safnast fínkorna lagskipt set. Engin merki fundust um það. Hreina mölin er heldur ekki skálaga eins og vera ætti ef lón hefði verið í dalnum á myndunartíma hennar.

„Hreina“ mölin getur ekki sjálf hækkað afrennsli dalsins. Hún er að sönnu þykk syðst í dalnum en við útfallið getur hún ekki orðið nema 2-3 m eða svo því áin myndi rjúfa hana og brottflytja jafnóðum við útfallið. Engin ummerki sáust í setinu í dalnum sem gætu útskýrt hækkun fyrirstöðunnar í dalnum frá hæð „óhreinu“ malarinnar (við Fremri-Kárahnjúk) upp í hæð þrepanna á sama stað.

Elsti jarðvegur sem fannst í farvegi rofstigs 3, sem er stærsti farvegurinn við gljúfrin, er samkvæmt aldursákvörðun með gjóskulögum eldri en 6600 ára (Kári 3), sjá kafla 4. Jarðvegurinn fannst í rofabarði við Haftið og ber vitni um að farvegurinn var þá fullmótaður. Útlit hans ber þess vitni að aðal rofið í farvegakerfinu við gljúfrin hafi orðið fyrir 7500 árum eða jafnvel fyrr. Höfundar líkans 1 telja því að ármöl hafi ekki getað myndast í hæð brimprepsins eða að minnsta kosti er ekkert í uppbyggingu setlagaseríunnar í dalnum sem styður ályktun af því tagi.

Höfundar líkans 1 telja líklegt að jarðvegsmyndun á mölinni í þrepinu hafi einfaldlega hafist seint. Mölin er langt ofan grunnvatns og vatn hripar í gegnum hana, gróður þar á því erfitt uppdráttar. Vísbendingar eru um síðbúna jarðvegsmyndun á hjalla rétt utan við Kárahnjúkastíflu (V3). Sá hjalli er af öllum höfundum þessarar skýrslu talinn hafa myndast við hörfun jökulsins. Elsta þekkjanlega gjóskulag í jarðvegi á þessum hjalla er 6140 ára gamalt (HÖ) þannig að jarðvegsmyndun á þeim hjalla byrjaði nokkrum þúsundum ára eftir myndun hans. Þessu til viðbótar má benda á að talsverður hluti malarhjallana í dalnum var ógróinn í byrjun 21. aldar.



Mynd 5-2 Brimprepar við Horn. Örin bendir á þrepið. Ljósmynd SPS.

Rólegt tímabil í dalnum fyrir 7.500-2.500 árum

Þegar jökullinn var horfinn úr dalnum virðist hafa verið þar lítill vatnagangur og áin sem rann um dalinn var að mestu bergvatnsá. Áreyrarnar greru upp að einhverju leyti og jarðvegur myndaðist víða í dalnum frá Tröllagili (sjá nánar í kafla 2.3) og þar suður af. Jarðvegurinn er nokkuð misþykkur og ósamfelldur en tilvist hans bendir eindregið til þess að áin í dalnum hafi haft tiltölulega jafnt rennsli. Í jarðveginum sem myndaðist ofan á jökuláreyrnum í dalnum á þessu tímabili er fjöldi gjóskulaga sem segja aldur jarðvegsins og tímasetja upphaf og lok þessa tímabils (sjá nánar í kafla 3). Neðstu gjóskulögin eru talin vera um 7500 ára og þau yngstu um 2500 ára gömul. Þó að jökull hafi horfið til háfjalla er ekki ástæða til að ætla að minna vatn hafi runnið eftir dalnum en meðan jökullinn var að hörfa. Úrkoma hefur verið þá eins og nú á vatnasviðið og afrennslið liggur um dalinn. Hálendið hefur væntanlega tekið á sig minni úrkomu en jökullinn gerir núna, en á móti má ætla að regnskuggi hafi verið minni norðan vatnaskilanna en nú, með þeim afleiðingum að meira af þeirri úrkomu sem barst að sunnan hafi komist alla leið inn á vatnasvið Jöklu í stað þess að falla

sunnan vatnaskila. Það er þó ljóst að jarðvegur hefði ekki haft neitt næði til að myndast í þessum dal við þær afrennslisaðstæður sem ríktu fyrir virkjun.



Mynd 5-3 Brimþrep í Kringilsárrana.

Myndin er tekin til vesturs yfir Jöklu. Efsta brimþrepið er í 585 m y.s. en neðri örin bendir á sethjalla með hreinni mól í 570 m hæð. Þar á milli má greina nokkur þrep. Sethjalli með hreinni mól er í 578 m y.s. (hluti meginhjalla) fyrir aftan ljósmyndarann. Hægt var að rekja þrepin óslitið talsvert langa leið í Kringilsárrana. Ljósmynd SPS.

Ysti hluti Dimmugljúfra hefur verið byrjaður að grafast fyrir um 7000 árum, en það má ráða af gjóskulögum í jarðvegstorfu á stalli í vesturbarmi gljúfranna (Kári 3), við Haftið. Elstu lögin þar eru um 6600 ára gömul.

Núverandi gögn þegja um hvernig þessi hluti Dimmugljúfra þróaðist næstu 4000 árin, en gera má ráð fyrir að áin hafi verið aðgerðalítil þar eins og hún var inni í dalnum. Líklegast er að fossar hafi verið nærri Haftinu í upphafi þessa skeiðs og þeir grafið gljúfrin hægt og hægt í átt að Niðurgöngugili. Sprungur nærri Dimmugljúfrum höggðust nokkru eftir að gjóskulagið H4 féll fyrir um 4250 árum. Nærtækt er að álykta að þær hreyfingar hafi flýtt fyrir greftri gljúfranna.

Mýraskeiðið síðara hófst fyrir 2.500 árum

Þegar hlýviðrisskeiðinu lauk fyrir um 2500 árum (um 500 f. Kr.) fór loftslag aftur kólnandi og úrkoma jókst. Hófst þá kuldaskið sem kennt hefur verið við upphaf jarnaldar á Norðurlöndum og í gróðurfari við breytinguna úr birkiskeiðinu síðara yfir í mýraskeiðið síðara. Stóru jöklarnir eins og Vatnajökull tóku þá að myndast aftur og stækkuðu þar til þeir náðu hámarki sínu um síðustu aldamót. Þegar jökullinn hafði náð einhverri lágmarksstærð fór hann aftur að haga sér á sama hátt og áður, með framhlaupum af og til. Framhlaupssaga Brúarjökuls er allvel þekkt aftur til 1625 (Ingibjörg Kaldal & Skúli Víkingsson 2001). Eftir því sem jökullinn stækkaði varð áin aftur eindregnari jökulá og stöðugt meiri hluti afrennslis ársins rann fram fáar vikur á sumri hverju. Að því kom að eyrar huldu dalbotninn hlíða á milli og tók þar með fyrir frekari jarðvegsmyndun og mól hlóðst ofan á jarðvegin. Þessi malarlög breiddust smám saman yfir allan dalbotninn. Þessi ungu malarlög eru áberandi betur skoluð en öll önnur mól í hjöllunum og gekk því undir vinnuheitinu „hreina mölin“. Nærtækasta skýring þess er að hún myndaðist langt frá jökuljaðri en

eldri malarlög neðar í hjöllumum mynduðust mun nær jökuljaðri og sum hver í og við jökulinn sjálfan og hefur því skolest miklu minna.

Líklegt má telja að gröftur gljúfranna hafi aukist til muna á þessu tímabili með auknu vatnsmagni, og framhlaupum jökulsins, en við framhlaupin eykst vatnsmagn og aurburður gífurlega. Til þess að gljúfur eins og Dimmugljúfur geti grafið þarf fyrst og fremst vatn og þá helst í flóðtoppum af völdum, jökulleysingar og/eða vaxtar í dragám. Í öðru lagi þarf fall, og í þriðja lagi graftól, þ.e. botnskrið með vatninu, en þau skipta þó minna máli en vatnsmagnið og rennissveiflur. Farvegir við Dimmugljúfur bera hins vegar ekki þess merki að þar hafi runnið meira vatnsmagn fram en gerist í flóðum í Jöklu af völdum jökulleysingar eða annarra sambærilegra atburða.

Í farvegi rofstigs 3 í Hafrahvömmum er jarðvegur þar sem elstu gjóskulögin eru 1600-1700 ára gömul. Þriðji stallurinn í farvegum við Dimmugljúfur er í hæð við meginhjállana í dalnum með hreinni möl. Þekktasti staðurinn þar heitir Sandskeið og var rétt innan við stífluna. Mölin úr honum var notuð við virkjunarframkvæmdirnar. Hæðin á Sandskeiði er í góðu jafnvægi við rofstig 3 í farvegum við gljúfrin. Sandskeið er þó aðeins neðan við efstu malarhjalla í dalnum, en þeir eru að líkindum leifar jökullóns frá hörfunarskeiði jökulsins í lok ísaldar sjá hér að framan. Mölin á Sandskeiði sýnir að þegar vatnagangur jókst í dalnum og mölin tók að leggjast ofan á jarðveg á áreynrunum í dalnum þá var farvegur rofstigs 3 virkur að minnsta kosti næst útfallinu við Fremri-Kárahnjúk. Setfyllan í dalnum rofnaði ekki að gagni fyrr en gröftur gljúfranna náði inn undir Fremri-Kárahnjúk. Þar lækkar hæð bergbröskuldans og síðustu rofþrepinn (rofstig 4-7) eru talin hafa myndast á tiltölulega skömmum tíma eftir landnám. Erfitt er að segja til um það nákvæmlega hvenær setfyllan raufst en þó má segja að fyllan hafi ekki náð fullri hæð við Fremri-Kárahnjúk fyrr en fyrir um 2000 árum og að langmestur hluti setfyllunnar hafi rofist eftir landnám. Fjöldinn allur af rofhjólum er í dalnum. Tilraun var gerð til að skoða þá nánar en þeir virðast ekki bæta neinu við þá sögu sem hér hefur verið rakin.

Gröftur gljúfursins frá um landnám til vorra daga

Nokkru fyrir landnám var jarðvegur farin að myndast í Drangahvömmum (snið G124) og gröftur gljúfranna sennilega kominn inn að Fremri-Kárahnjúk. Nokkrir bakkar yngri rofstiga sjást í farvegum við gljúfrin (rofstig 4-7) en þau eru öll þannig að þau mynda lága rofbakka en ekki tókst að tímasetja þá atburði nákvæmlega. Líklegast hefur það tekið áratugi eða jafnvel árhundruð fyrir Jöklu að grafa sig frá sunnanverðum Drangahvömmum, þar sem hún var fyrir 1300 árum og gegnum síðasta berghaftið við Fremri-Kárahnjúk. Eftir það hefur rof setfyllunnar sem þar var fyrir innan hafist fyrir alvöru. Jökla hélt áfram að sverfa gljúfrin og dýpka þar til botnlökum Kárahnjúkastíflu var rennt niður að morgni 28. september 2006.

Ágreiningur um niðurstöðu og samanburður líkana eitt og tvö

Helsta ástæða þess að til ágreinings kom í rannsóknarhópnum er sú að höfundar líkans 2 horfa aðallega til aldursgreininga með gjóskulögum en líta að mati höfunda líkans 1 ekki nóg til þeirra afla sem stýra rofi og efnisflutningum með vatni.

Ágreiningurinn snýst um uppruna og aldur brimþreps (skv. líkani 1) eða „efra þreps“ (skv. líkani 2). Ágreiningurinn kom ekki í ljós fyrr en vatni hafði verið hleypt á Hálslón og kaffært rannsóknarefnið og því óhægt um vik að rannsaka ágreiningsefnin nánar í mörkinni. Höfundar líkans 1 telja að brimþrepið marki efstu strandlínu lónsins í dalnum, en höfundar líkans 2 gera ráð fyrir að „hreina mölin“ byggist upp í hæð „efra þrepsins“ á nokkur hundruð árum eftir að mýraskeiðið síðara hófst fyrir 2.500 árum (sjá kafla 5.2 Upphleðsla og rof síðustu 2500 ár). Gera þeir samt ráð fyrir því að dalurinn hafi átt útrás mun neðar í landinu fyrr, eða á meðan jarðvegur myndaðist á tímabilinu frá 7.500-2.500 árum, sjá kafla 5.2 (Hvarf jökullóns í dalnum). Hér er lítið á hæðarlegu þessara myndana (útfalls og þreps) við norðurenda dalsins þar sem sjálft útrennslið var og breytingar vegna jökulfargs koma ekki við sögu. Eins og kemur fram síðar í sama kafla er jafnframt gert ráð fyrir að Jökulsá hafi rofið sig niður a.m.k. 2 m „á breiðu svæði“ og lækkað þar með yfirborð meginhjállanna um 2 m.

Einnig er gert ráð fyrir að hrein möl (skoluð og fínefnalaus) í meginhjöllumum sé sú sama og hrein möl í efra þrepi. Höfundar líkans 1 telja að sú ályktun sé byggð á mjög veikum grunni og leyfi ekki þá framsetningu sem kemur fram í mynd 3-17. Ofangreind niðurstaða er fyrst og fremst fengin með aldursgreiningum á gjóskulögum.

- Höfundar líkans 1 sjá ekki hvernig hreina mölin á að hafa getað byggst allnokkra metra (e.t.v. 10-20 m) upp fyrir útrennsli dalsins (nálægt útrennslinu). Útilokað er að þetta gerist

án utanaðkomandi stíflugerðar á borð við skriðuföll, áin myndi bera mölina jafnóðum fram um útrennslið. Engin merki eru um slíka stíflu.

- Þegar á grefur sig niður í malarefni myndast hjallar með hlíðunum. Þeir verða ávalt misbreiðir og sums staðar skilur áin ekkert eftir í hlíðarótunum. Höfundar líkans 1 er ekki kunnugt um roföfl sem fjarlægi nokkurra metra jafnþykkt lag ofan af malareyrum eins og með réttsskeið svo eftir verði mjótt, meira eða minna samfellt þrep meðfram hlíðum dalsins svo kílómetrum skiptir (jafnvel í báðum hlíðum dalsins). Þess myndi gæta í yfirborði meginhjallanna með einhverju móti, með hjöllum eða djúpum farvegum. Yfirborð meginhjallanna er hins vegar tiltölulega slétt með grunnum farvegum (að frátöldum seinni tíma farvegum mynduðum við núverandi rennslismynstur).
- Hugsa mætti sér að útrennsli dalsins hefði verið hærra í landinu (þrátt fyrir hæð útrennslis í kafla 5.2, sem vísað er til hér að ofan), en þá myndi mölin hafa hlaðist upp í vatni en þess sjást engin merki (t.d. skálögun). Sú skýring er því útilokuð líka.

Varðandi aldursgreiningar með gjóskulögum bera höfundar líkans 1 ekki brigður á gjóskulagagreiningarnar sjálfar en hafa sett spurningamerki við jarðvegsmyndun á einstökum jarðmyndunum og hvort jarðvegsmyndun gæti ekki hafa tafist vegna sérstakra aðstæðna t.d. gljúp mól sem ekki heldur vatni vel. Í kafla 5.2 segja höfundar líkans 2 eftirfarandi:

„Séu þessar skýringar teknar gildar, þ.e. 5-6000 ára taftími áður en jarðvegsmyndun byrjar á mölinni, eru allar tímasetningar sem byggja á gjóskulögum í jarðvegi á malarhjöllunum marklausar. Það er ekki hægt að hafna tímasetningaraðferðinni á einum stað en taka hana gilda annars staðar t.d. á stærstu hjöllum.“

Að nokkru má taka undir þetta en í sama kafla (5.2, Jökulhörfun, lónmyndun og setmyndun þar til fyrir 9000-8000 árum) segir um sethjalla (V3 á jarðfræðikortum).

„Sethjalli V3 (gamall jarðvegur er ofan á setinu en undir því eru fjölmörg dökk gjóskulög, neðsta þekkta lag HÖ um 6140 ára).“

Í þessu tilviki verður ekki betur séð en höfundar Líkans 2 geri sjálfir ráð fyrir talsverðum taftíma í myndun jarðvegs á malarhjalla, jafnvel þó allmörg dökk gjóskulög finnist undir HÖ laginu. Jarðvegurinn sem fannst var 30-110 cm og það væri allbrött ályktun að segja að hann spanni allan tímann frá ísaldarlokum og fram til aldurs HÖ.

5.2 Túlkun á atburðarás frá því að jökull hörfar frá Hafti - Líkan 2. GL, BAÓ

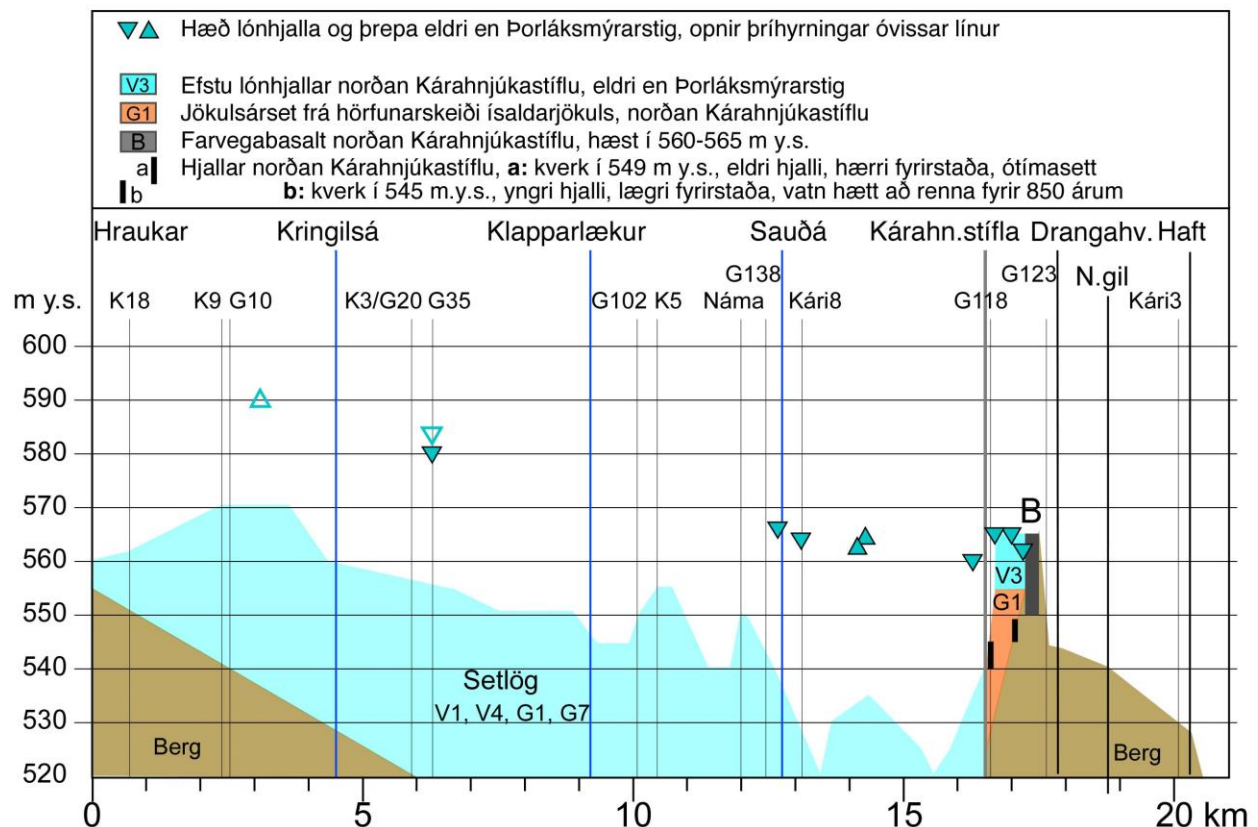
Fyrir um 12.000 árum (10.300 geislakolsárum) náðu jöklar út að þáverandi strönd Íslands (Hreggviður Norðdahl o. fl. 2008, Mynd 6). Eftir skammvinna framrás eða kyrrstöðu fyrir um 11.300 árum hörfuðu jöklar hratt inn til landsins og fyrir um 8900 árum voru jöklar orðnir álíka stórir eða minni en í dag (Hreggviður Norðdahl o.fl. 2008) en ísaskil voru önnur en nú.

Engar tímasetningar á legu jökuljaðra á Kárahnjúkasvæðinu eru til. Þykk svört gjóska (20-80 cm) er varðveitt undir hverahrúðri neðst í jarðvegi ofan efstu marka jökullónsins og er talin vera svonefnd Saksunarvatnsgjóska, um 10.200 ára gömul (Kristján Sæmundsson og Haukur Jóhannesson 2005). Ekkert sambærilegt gjóskulag fannst í setlögum Háslóns sem bendir til að jökull hafi legið yfir dalnum á þeim tíma.

Allar hæðir miðast við núverandi landhæð og aldur er í venjulegum árum.

Jökulhörfun, lónmyndun og setmyndun þar til fyrir 9000-8000 árum

Meðan jökull hörfaði frá Haftinu við Ytri-Kárahnjúk inn að Fremri-Kárahnjúk flutti jökulvatnið sem rann frá jöklinum með sér jökulárset. Gera verður ráð fyrir að farvegir hafi grafið á þessu tímabili og líklegt er að grunnur farvegur hafi grafið inn að suðurenda Drangahvamma meðan jökullinn var að hörfa inn að Fremri-Kárahnjúk (rofstig 3). Sunnan við Drangahvamma nær farvegabasaltilt í 560-565 m y.s. á kafla vestan ár (Mynd 5-4), hæðartölur skv. kortum í 1:10 000 með 1 m hæðarlínunum). Austan ár náði farvegabasaltilt upp í 560 m y.s. í Fremri-Kárahnjúk (sbr. þversnið undir Kárahnjúkastíflu). Ekki er þó víst að farvegabasaltilt hafi verið samfelld í 560 m y.s. milli þessara staða.



Mynd 5-4 Einfölduð skýringamynd af aðstæðum í dalnum sunnan Fremri-Kárahnjúks.

B sýnir hvar farvegabasaltilt nær hæst sunnan Drangahvamma. Þríhyrningar marka efstu lónhæð, hæð skv. kortum IK og SV í 1:10 000, Háslón set í lónstæði. Setlög V1, V4, G1, G7 frá hörfunarskeiði jökulsins eru sýnd ósundurgreind í lónstæðinu. Í langsniði af yfirborði setsins eru hæðarpunktar beggja vegna Jökulsár.

Jökull hörfaði inn með og inn fyrir Fremri-Kárahnjúk og lón myndaðist í dalnum sem stöðvaði/minnkaði setflutning norður fyrir hnjúkinn. Sethjalli V3 (gamall jarðvegur er ofan á

setinu, neðsta þekkta lag er HÖ um 6140 ára en undir því eru fjölmörg dökk gjóskulög) myndaðist vestan megin í dalnum norður að hæsta hluta farvegabasalts við Drangahvamma og endar þar í um 560 m y.s. Austan ár hefur síðari tíma rof fjarlæggt sambærilegar myndanir (sjá síðar) en ruðningur/skriða með gömlum jarðvegi (neðsta þekkta lag HÖ) nær niður í um 560 m y.s.

Fyrirstaða sem réði vatnshæð í lóninu á þessum tíma gæti hafa verið farvegabasaltilið, sem finnst í 560 m y.s. við Drangahvamma og í sömu hæð í Fremri-Kárahnjúk, eða jökulurð/jökulárset ofan á berginu. Fyrirstaða vísar hér eftir til svæðis frá Drangahvömmum að vestanverðu suður undir núverandi Kárahnjúkastíflu að austanverðu. Dæld var í berggrunninum undir sethjalla V3, niður í a.m.k. 525 m y.s., fyllt upp í 560 m y.s. af jökulárseti G1 (Mynd 5-4).

Jökull hörfaði síðan inn dalnum, setlög settust til í lóninu sem var haldið uppi af fyrirstöðu í u.þ.b. 560 m y. s., a.m.k. í fyrstu, með afrennsli í þeirri hæð. Framburður frá hörfandi jökli fyllti lónið að hluta, syðst með framburði úr jökulám. Áin sem rann úr lóninu flutti ekkert gróft efni með sér svo rofmáttur var lítill. Hugsanlegt er þó að fyrirstaðan við Fremri-Kárahnjúk hafi lækkað vegna vatnsrennslis úr lóninu, t.d. vegna rofs á jökulurð/jökulárseti (G1) eða sethjöllum (V3), e.t.v. í framhlaupum jökuls. Land var að lyftast vegna minnkandi fargs, mest syðst.

Hvarf jökullóns úr dalnum

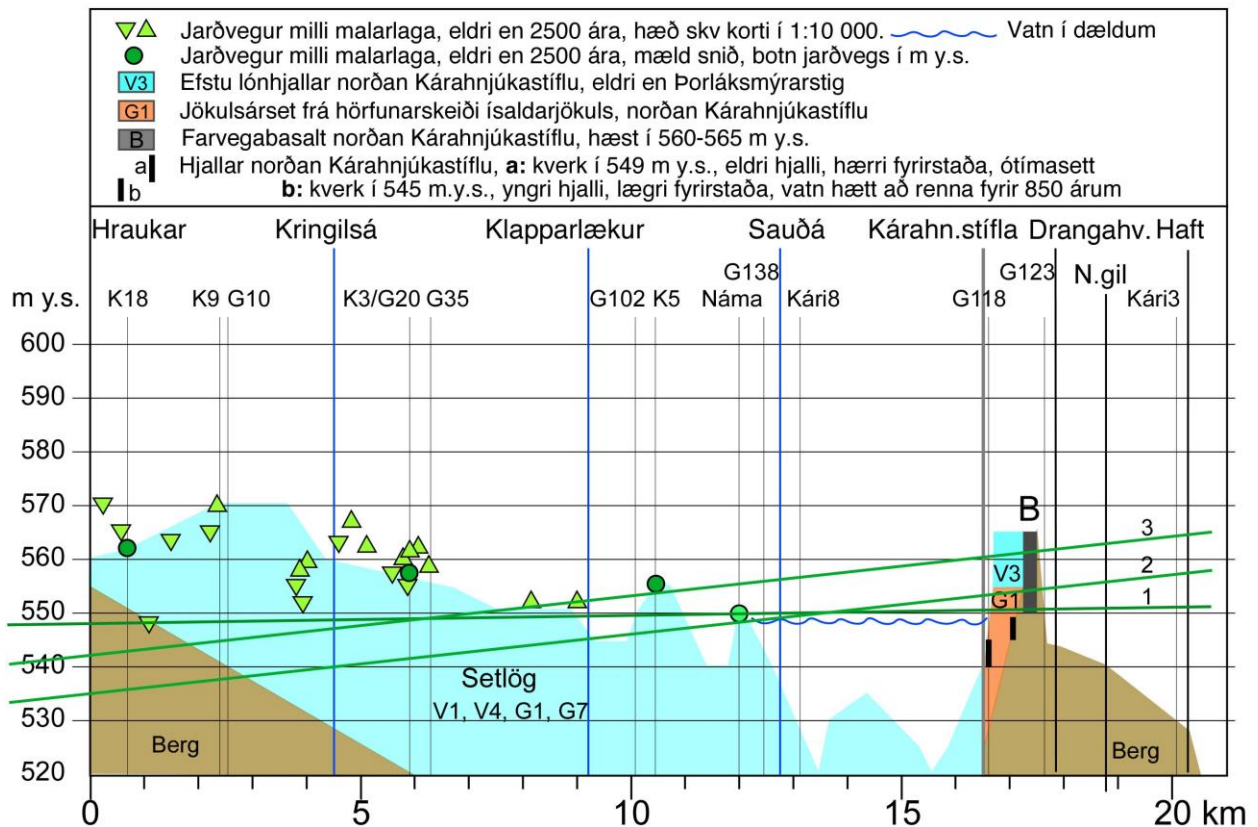
Jökull hörfaði langt inn til landsins, hugsanlega suður undir vatnaskil við Snæhettu sunnan til í Vatnajökli, og framburður jökuláa hætti. Land reis að fullu og landrasi lauk. Mismunur á landhækkun syðst og nyrst í dalnum (Stórhjalli-Kárahnjúkastífla) er 20-27 m samkvæmt líkani Freysteins Sigmundssonar (1990) eftir því hvar þungamiðja jökulsins er sett (Tungnafellsjökull, Hofsjökull, Vatnajökull). Hafi landrasið klárast á 1000 til 2000 árum er munurinn á landhækkun syðst og nyrst um 2 til 1 m/ári. Hugsanlegt er að yfirborð lónsins hafi aldrei verið stöðugt vegna þessa, síst syðst.

Þegar landrasi lauk var lónbotninn sunnan Tröllagils-Horns víðast kominn upp fyrir hæð fyrirstöðunnar í 560 m y.s. við Kárahnjúk. Hún gæti þó hafa lækkað eitthvað, sbr. að ofan. Nyrst í dalnum eru mörkin milli lónsets og yngri ármalar („hreina mölin“) í ~520 m y. s. þar sem þau liggja dýpst (mynd 5-4). Þau sýna að þar hefur verið stöðuvatn og botn þess í allt að 520 m y.s. Ef ekki var stöðuvatn þar þarf að gera ráð fyrir gljúfri niður í 520 m y. s. út úr dalnum á þessum tíma.

Aðstæður í dalnum fyrir ~7500 til ~2500 árum

Jarðvegsmyndun hófst í hlíðum dalsins fyrir meira en 7600 árum (Kafli 3, myndir 3.1, 3.2, 3.4). Syðst í dalnum hófst jarðvegsmyndun á eyrum fyrir a.m.k. 7500 árum. Bergvatnsá rann um dalinn og í stöðuvatn norðanvert í dalnum. Næstu 5000 ár voru aðstæður í dalnum stöðugar. Bergvatnsáin hafði lítinn rofmátt og framburðargetu. Jarðvegur myndaðist á dalbotninum frá Stórahjalla að Tröllagili og e.t.v. allt að 1,5 km norðar (Mynd 5-5, Mynd 3-5 og Mynd 3-6). Elstu gjóskulög í þessum jarðvegi benda til að hann hafi byrjað að myndast fyrir um 7500 árum en þau yngstu sýna að jarðvegsmyndun hætti fyrir um 2600 árum eða skömmu síðar. Enginn jarðvegur hefur fundist norðar. Stöðuvatn var í norðanverðum dalnum, a.m.k. í dýpstu skálunum, en umfang þess er ekki þekkt. Það að jarðvegur finnst ekki norðar en við Tröllagil/Námu (Mynd 5-4) bendir til að stöðuvatnið hafi e.t.v. náð suður undir Sauðá á þessum tíma.

Neðri mörk jarðvegsins eru þekkt á nokkrum stöðum. Ef stöðuvatn var í dalnum þarf að taka tillit til hallabreytinga (halla vatnsborðs til suðurs) vegna stækkunar Vatnajökuls á síðustu árbúsundum við ákvörðun á hæð fyrirstöðu. Mismunur á landlækkun syðst og nyrst í dalnum (Stórhjalli-Kárahnjúkastífla) er allt að 20 m samkvæmt líkani Freysteins Sigmundssonar (1990). Að því gefnu benda neðri mörk jarðvegs við Tröllagil og Námu til fyrirstöðu í 553-560 m y.s. við Kárahnjúkastíflu og 554-562 m y.s. við berghaftið sunnan Drangahvamma. Jafnvel þótt ekki sé tekið tillit til hallabreytinga getur fyrirstaðan ekki hafa verið lægri en í um 550 m y.s. (Mynd 5-5). Bent skal á að vatn hætti ekki að ná upp í ~544 m y.s. (staðir G123 og 124 án jarðvegs) í Drangahvömmum fyrr en fyrir 1200-1400 árum.



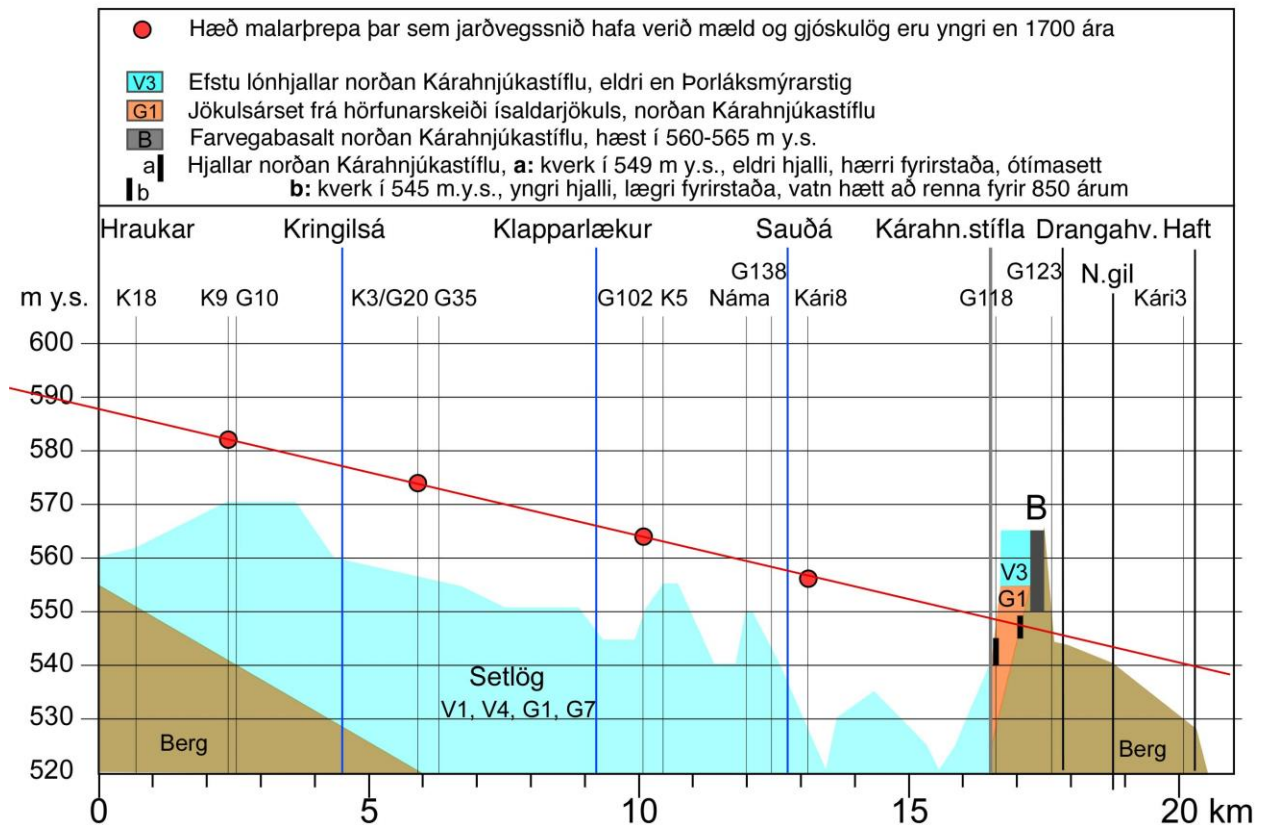
Mynd 5-5. Jarðvegur ofan á setlögum frá hörfunarskeiði jökulsins eftir kortum IK og SV er sýndur með grænum þríhyrningum (hæð ekki nákvæm).

Jarðvegur til hliðar við langsniðið lendir bæði ofan og neðan yfirborðs þess. Jarðvegur í mældum sniðum í langsniðinu er táknaður með dökkgrænum hringjum. Hæð jarðvegs í námu er sett á mörkin milli eldri setlaga og hreinu malarinnar Á5 á þeim hjalla. Hæð hvers tákns er 3 metrar (miðja $\pm 1,5$ m). Grænar línur: hugsanleg neðri mörk jarðvegs/efri mörk vatnsborð. 1: ekki er gert ráð fyrir landsígi vegna Vatnajökuls; 2 og 3: tillit tekið til landsígs.

Upphleðsla og rof síðustu 2500 ár

Fyrir um 2500 árum höfðu aðstæður breyst svo að áin í dalnum var orðin jökulá sem bar mól og sand í dalinn ofan á jarðveg og setlög. Þetta set er kallað hreina mölin (Á5). Grófasta efnið settist fyrst til syðst í dalnum en finna efni, sandur og silt hefur borist lengra - en ekki lengra en í stöðuvatnið nyrst. Hugsanlega sjást merki um þennan framburð í stöðuvatnið í sniðum Jórunnar Harðardóttur o.fl. (2001). Að lokum fyllti framburðurinn dalbotninn og stöðuvatnið og gróft efni fór að berast yfir fyrirstöðuna milli Kárahnjúks og Drangahvamma og naga hana niður. Þar með hófst rof sem lækkaði dalfylluna í áföngum og skildi eftir hjalla í mismunandi hæð eftir endilöngum dalnum.

Mynd 5-6 sýnir hæstu stöðu hreinu malarinnar í mældum og tímasettum sniðum (staðsetningar á korti í 1:10 000), sjá einnig Mynd 3-7 og Mynd 3-10. Setfyllan í dalnum náði hæstu stöðu fyrir meira en 1600-1700 árum samkvæmt elstu gjóskulögum sem þar finnast. Líkar aðstæður má nú sjá á Efra-Jökuldal (Mynd 3-12). Stallur úr hreinni mól sem kallaður er „efra þrep“ (Kafli 3, Mynd 3-7 og Mynd 3-10) gæti annað hvort markað efstu stöðu setfyllunnar eða efstu flóðmörk Jökulsár þegar fyllan var í efstu stöðu. Á svæðum þar sem þykkur jarðvegur (elstu gjóskulög meira en 6500 ára) er í hlíðunum ofan stallsins er sá jarðvegur þverskorinn þar sem mölin leggst að honum (hefur sums staðar sigið fram með tímanum, sbr. Mynd 3-10a). Það kemur heim við að rennandi vatn hafi rofið jarðveginn, annað hvort með stöðugum ágangi eða í flóði. Vegna rofsins myndast „klif“ í þykka jarðveginn ofan stallsins og saman mynda þau þrep sem er greinilegast og samfelldast austan megin í dalnum (Mynd 3-7).



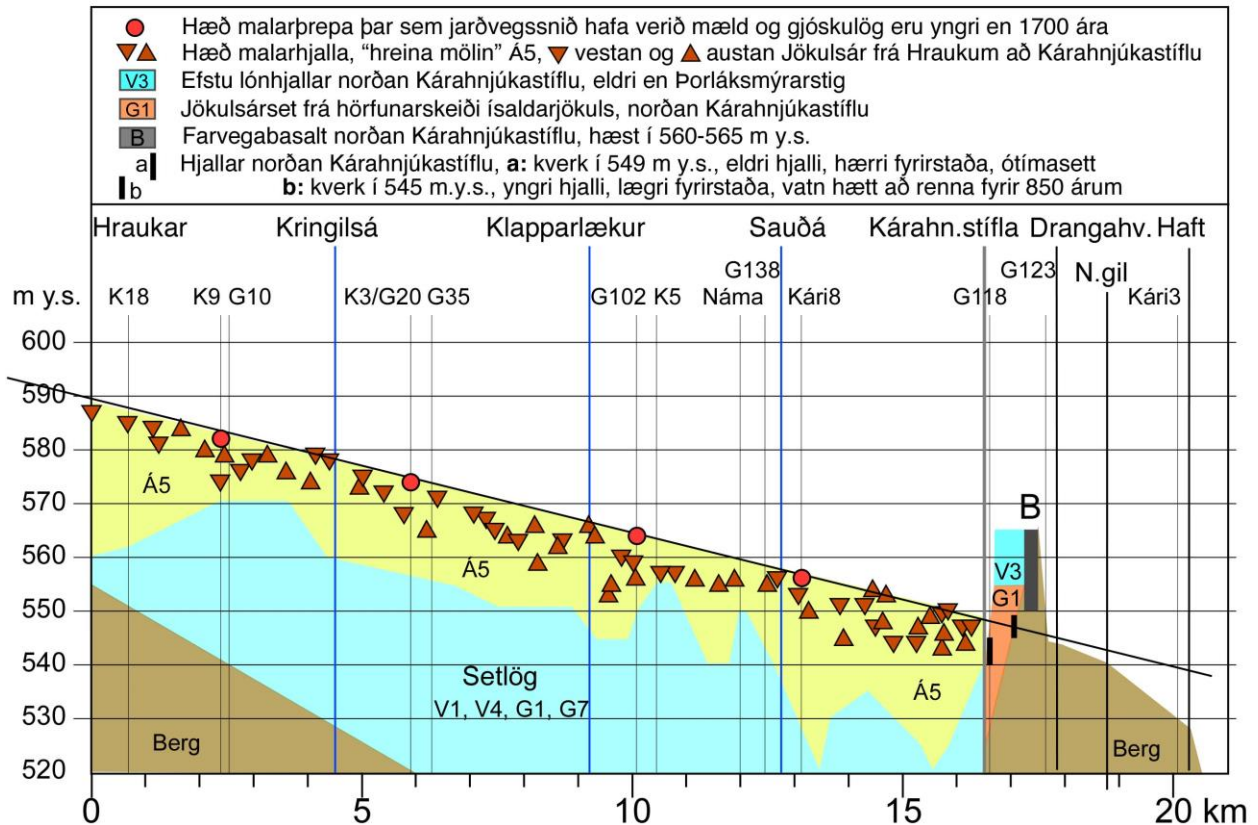
Mynd 5-6. Rauðir hringir marka hæð malar á „efra þrepi“ í fjórum sniðum þar sem jarðvegur með gjóskulögum var mældur niður á mól.

Elstu gjóskulögin sem fundust voru 1600 til 1700 ára gömul, sjá einnig mynd 3.8. Framlengd lína til suðurs sker mól á Stórahjalla við Hrauka í 587-588 m y.s. Framlengd til norðurs sker hún hjalla norðan Kárahnjúkastíflu 547-549 m y.s. Kverk hjallans er í um 549 m y.s. en hann hefur ekki verið tímasett.

Fyrir 1600-1700 árum, þegar jarðvegur fór að myndast á „efra þrepinu“ (í hlíðinni ofan þess hélt jarðvegsmýndun samfelld áfram), hefur vatn ekki lengur náð upp á þrepið. Lína gegnum mæld snið á „efra þrepi“ sker Stórahjalla við Hrauka í 587-588 m y.s. Þegar línan er framlengd að Kárahnjúkastíflu og Drangahvömmum bendir hallinn til að fyrirstaða hafi þá verið í 547-549 m y.s. (Mynd 5-6). Á Mynd 5-7 hefur hæð á hreina mól (Á5) frá 64 stöðum á hjöllum og efstu malarleifum verið bætt við, eftir korti Ingibjargar Kaldal og Skúla Víkingssonar í 1: 10 000, Háslón - set í lónstæði. Á Mynd 5-7 sést að efsta staða hreinu malarinnar eins og hún er sýnd á kortinu fellur vel að hæð malar í mældu sniðunum á „efra þrepinu“. Reyndar rennur „efra þrepið“ sums staðar saman við malarhjalla, t.d. við Klapparlæk, sjá Mynd 3-7b.

Fáeinum metrum neðan við „efra þrepið“ er annað þrep eða stallur úr mól, ekki eins greinilegt og með þynnri jarðvegi. Jarðvegurinn þar byrjaði að myndast fyrir um 1200-1300 árum og þá náði vatn ekki lengur þangað upp, hvorki venjulegt rennsli árinna né flóð. Á um 400 árum (frá 1600-1700 til 1200-1300) hafði Jökulsá rofið sig niður um nokkra metra (a.m.k. 2 m) á breiðu svæði. Það bendir til að fyrirstaðan við Fremri-Kárahnjúk hafi rofist hægt niður og að áin hafi lengi flæmst um breiða aura. Lækkun um 2 metra á 15 km² svæði samsvarar ~30 milljón rúmmetrum eða ~60 milljón tonn, sem eru um 0,15 milljón tonn/ári.

Sums staðar má sjá fleiri þrep en þau hafa ekki verið tímasett.



Mynd 5-7. Rauðir hringir marka hæð malar í mældum sniðum.

Rauðir þríhyrningar marka hæð hreinnar malar (Á5) austan og vestan Jökulsár, hæð skv. kortum IK og SV í 1:10 000, Háslón set í lónstæði. Efstu mörk hreinu malarinnar falla vel að hæð malar á „efra þrepi“.

Meginhjallarnir voru í mótun frá því fyrir 1200-1300 árum þar til fyrir um 800 árum, þegar vatn hætti að renna um þá. Þeim hallar yfirleitt að Jökulsá/miðju dalsins. Jarðvegur byrjaði að myndast næst hlíðunum/kverkunum fyrir um 1100 árum, þ.e.a.s. eftir norrænt landnám. Gjóskulag frá um 870 e.K. sem nefnt er Landnámslag fannst hvergi á meginhjöllunum en yngri gjóskulög fundust þar, þ.a m. Heklugjóska frá árinu 1104. Næst hjallabrúnum er Heklugjóska frá árinu 1158 elsta gjóskulag norðan til í dalnum en Kötlugjóska frá 1262 sunnan til í dalnum. Vatn hætti samkvæmt þessu að renna um meginhjallana á árabílinu 1150-1250.

Fjöldmargir smáhjallar mynduðust eftir að vatn hörfaði af meginhjöllunum. Yngsta gjóskulag á hjöllum syðst í dalnum er líklega frá 1717. Eftir það komu gjóskulög ekki að notum til tímasetninga á rofi. Jarðvegur á stöllum í gljúfrinu sýnir að enn vatnaði upp í 489 m y.s. fram undir 1600.

1700 ára gamall árbakki eða varðveitt >8000 ára gömul „strandlína“?

Línur sem „efra þrepið“ og klifið mynda hafa verið taldar strandlínur lónsins sem var í dalnum fyrir meira en 8000 árum (Ingibjörg Kaldal & Skúli Víkingsson 2000, sbr. kafla 4.) og mölin í þrepinu skýrð sem strandmöl. Ungur jarðvegur á malarþrepinu hefur verið skýrður með því að að mölin þar hafi verið grofnari en jökulruðningurinn í hlíðinni ofan við og jarðvegsmyndun því hafist 5-6000 árum seinna á mölinni - vegna óhagstæðari skilyrða. Til stuðnings hefur verið bent á að sums staðar séu stór svæði í dalnum jarðvegsvana, þar á meðal sumir hjallar, og alls óvíst að þar hafi nokkurn tímann myndast jarðvegur.

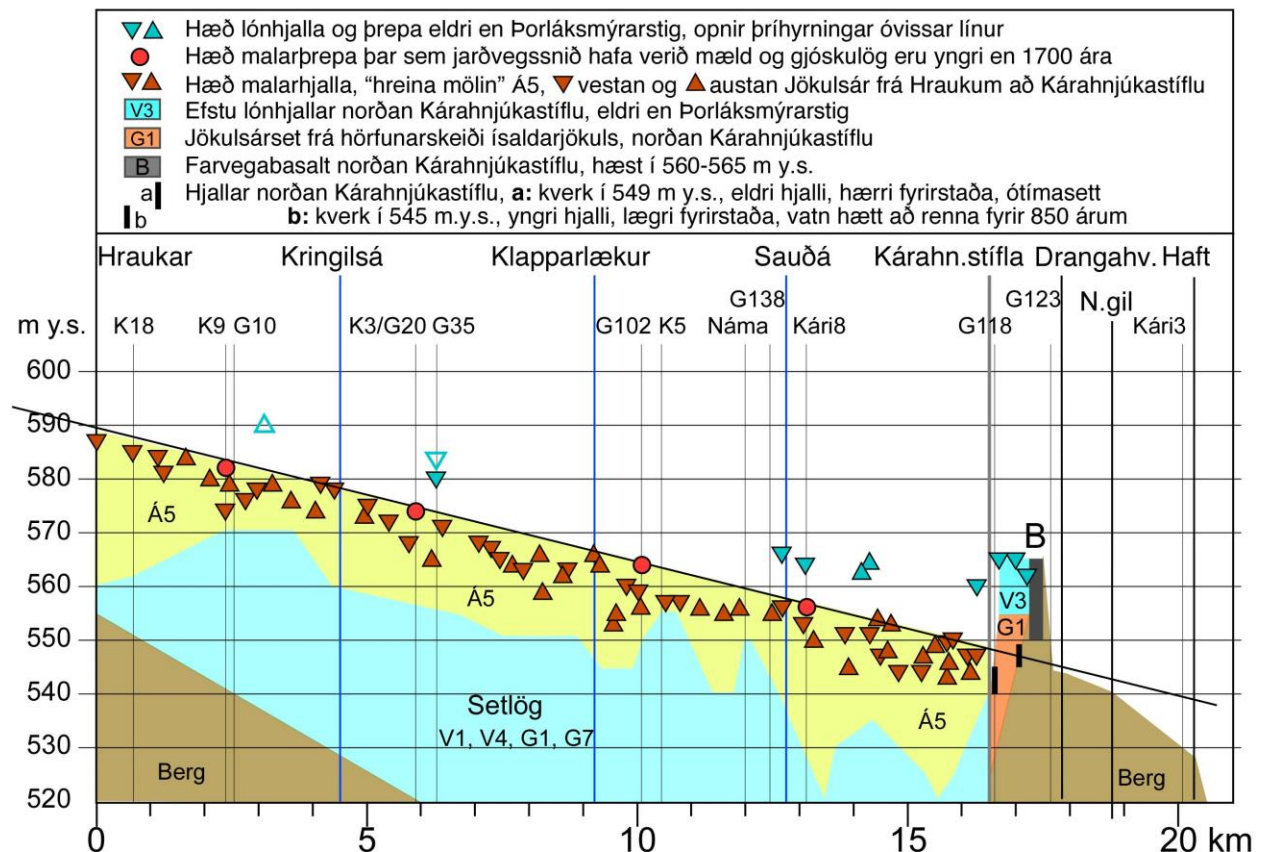
Skýrar „strandlínur“ af þessu tagi má sjá ofan við hjalla úr „hreinu mölinni“ (Á5) sem 2600-7500 ára gamall jarðvegur finnst undir möl og liggur, a.m.k. 5 m lægra í landinu en „strandlína“ á hverjum stað. Jarðvegur gat því myndast bæði í hlíðinni ofan við og á dalbotninum neðan við „strandlínuna“ í 5-6000 ár - en ekki á „strandlínunni“.

Séu þessar skýringar teknar gildar, þ.e. 5-6000 ára taftími áður en jarðvegsmyndun byrjar á mölinni, eru allar tímasetningar sem byggja á gjóskulögum í jarðvegi á malarhjöllunum

marklausar. Það er ekki hægt að hafna tímasetningaraðferðinni á einum stað en taka hana gilda annars staðar t.d. á stærstu hjöllum.

Varðandi jarðvegsvana svæði má hafa í huga að eftir landnám hefur dalurinn alla tíð verið afréttur og um tíma seljaland. Jarðvegseyðing vegna beitar og kaldara loftslags síðustu aldir er nærtækari skýring en að jarðvegur hafi aldrei myndast af óútskýrðum orsökum.

Sethjallar sem sannanlega tengjast jökullóninu í dalnum eru þekktir á nokkrum stöðum, þar á meðal er sethjallinn (V3) sem nær norður að fyrirstöðunni/farvegabasalínu sunnan við Drangahvamma. Á þessum sethjalla var jarðvegsmýndun með svipuðum hætti og í hlíðum dalsins. Á mynd 5-8 er hæð þessara hjalla sýnd ásamt hæð á allgreinilega strandlínu eða þrep undir gömlum jarðvegi til að undirstrika mismuninn á lónhæðinni og efstu stöðu hreinu malarinnar.



Mynd 5-8. Hæð sethjalla og þrepa vestan og austan Jökulsár, sem sannanlega eru með jarðvegi með gömlum gjóskulögum eða skilgreind sem V3 set á kortum, er sýnd með grænum þríhyrningum.

Þeir liggja mun hærri en hreina mölin Á5. Ef „efra þrepið“ hefði verið raunveruleg strandlína gamals lóns í dalnum hefði fyrirstaðan sunnan við Drangahvamma sem hélt því vatnsborði uppi þurft að vera í 547-549 m y.s. og hafa lækkað um eina 15 metra (frá í 560-565 m y.s.) meðan lón var í dalnum. Hæð sethjallans sem nær að berginu (B) sunnan við Drangahvamma sýnir að hæð jökullónsins stjórnaðist af því.

Hæð hreinu malarinnar (Á5) á 64 stöðum frá Hraukum á Stórahjalla að Kárahnjúkastíflu á meginhjöllum og á efstu hjöllum/malarleifum, samkvæmt korti af setlögum í 1:10000 með 1 m hæðarlínu, sýnir að efstu mörk hreinu malarinnar - eins og hún er sýnd á kortinu - falla á sömu línu og mölin í sniðunum fjórum sem mæld voru á efra þrepinu (Mynd 5-7). Þetta sýnir að efra þrepið markar efstu stöðu hreinu malarinnar í dalfyllunni. Þar með er efra þrepið ótvírætt tengt við dalfylluna og útilokað að það geti verið brimþrep eftir lón frá öðrum tíma.

Túlkunin sem hér er sett fram skýrir þróunina í dalnum sunnan Fremri-Kárahnjúks á heildstæðan máta, tímalínan er samfelld frá því að jarðvegsmýndun hófst fyrir um 7600 árum þar til hreina mölin í dalfyllunni náði efstu stöðu fyrir meira en 1700 árum og Jökulsá gat farið að nota mölina

til að lækka fyrirstöðuna við Drangahvamma/Fremri-Kárahnjúk. Tímalínan frá upphafi rofs á dalfyllunni er líka samfelld þar til fyrir um 300 árum (sjá einnig mynd 3.18) - ef gjóskulagatímatal er tekið gilt sem tímasetningaraðferð og óútskýrðum 5-6000 ára taftíma á jarðvegsmyndun á völdum stöðum hafnað.

Rof fyrirstöðunnar

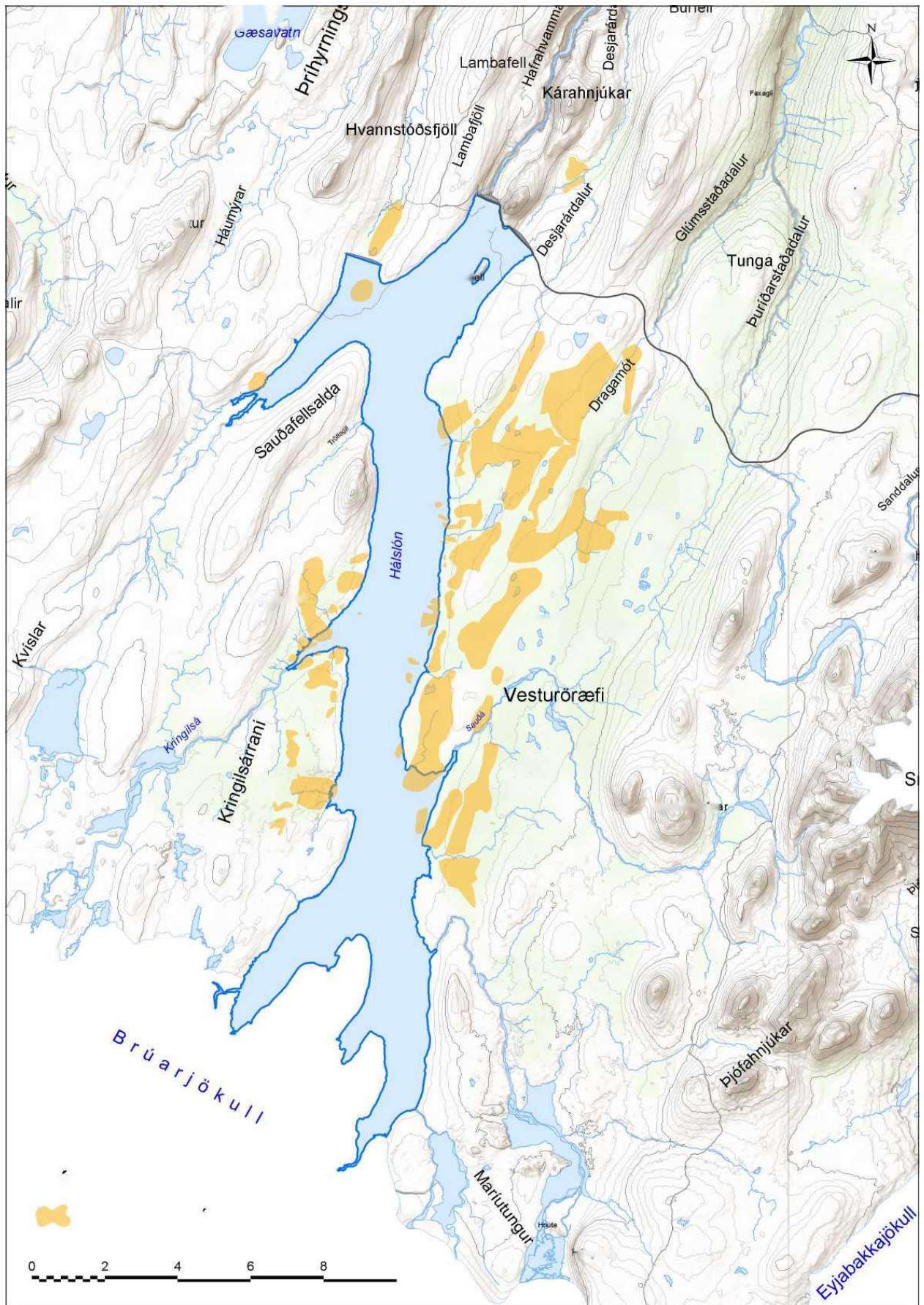
Efra þrepið tímasetur upphaf rofsins á dalfyllunni fyrir 1600-1700 árum. Fyrir meira en 1700 árum fór Jökulsá að bera mól fram yfir fyrirstöðuna við Fremri-Kárahnjúk og naga hana niður með malarburði. Þegar vatn hætti að ná upp á efra þrepið og jarðvegur fór að myndast hafði fyrirstaðan þegar lækkað. Hægt er að rekja þá sögu þar til vatn hætti að ná upp á gljúfurbarma við Kárahnjúkastíflu en það er gert á öðrum stað (kafla 3.4). Aðeins skal nefnt vegna hjalla sem vísað er til á myndum í þessum kafla að norðan Kárahnjúkastíflu, austan Jökulsár, var vatn hætt að ná upp í 540 m y.s. fyrir árið 1158 (snið G118). Fremst á gljúfurbarminum, í 526 m y.s. (snið G72/119), var siltkenndur jarðvegur og Kötlulag frá 1262 elsta varðveitta gjóskulagið.

6 Sífreri SPS, SE

Í skýrslu Helga Torfasonar o.fl. (2005) kemur fram að ástæða sé til að kanna og kortleggja ummerki sífrera í Kringilsárrana sem hverfi undir vatn eða verði sandblæstri að bráð. Við rannsóknir (skoðun loftmynda) reyndist útbreiðsla ummerkja um sífrera umtalsvert meiri en gert hafði verið ráð fyrir, þ.e. ekki aðeins í Kringilsárrana, heldur einnig á stóru svæði austan við Sauðafell, á mjög stórum svæðum á Vesturöræfum og víðar. Útbreiðsla sífreramyndana er sýnd á Mynd 6-2. Hvergi varð vart við virkan sífrera. Af mynd 6-2 má sjá að allur þorri sífreramyndana liggur ofan við efsta vatnsborð Háslóns. Vegna þessarar miklu útbreiðslu og þess hve lítill hluti sífreramyndana hverfur undir Háslón var ekki talin ástæða til að kanna sérstaklega sögu og þróun rústa á svæðinu við Háslón, auk þess sem umfangið hafði reynst allt annað og meira en lagt var upp með í byrjun.



Mynd 6-1 Þiðnuð rúst á svæði sem var sífrerasvæði fyrir fáeinum árum eða áratugum. Ljósmynd Helgi Torfason



Mynd 6-2 Ummerki sífrera við Háslón. Kortið er byggt á skoðun loftmynda frá Loftmyndum ehf. Gulbrúnir flekkir sýna ummerki sífrera. Virkur sífreri fannst ekki.

7 Heimildir og ítarefni

1. Austurglugginn 26. okt. 2006: mun yngri en áður var talið. Viðtal Sigurðar Aðalsteinssonar við Guðrúnu Larsen.
2. Ágúst Guðmundsson 1992: Austurlandsvirkjanir. Jarðgangaleiðir frá Jökulsá á Dal til Fljótsdals. Jarðfræðirannsóknir árið 1992. Áfangaskýrsla, Jarðtæknistofan hf. Reykjavík.
3. Ágúst Guðmundsson 1995: Austurlandsvirkjanir. Jökulsá á Brú eða Jökulsá á Dal við Kárahnjúka. Jarðfræðirannsóknir árið 1994. Framvinduskýrsla. Jarðtæknistofan, Reykjavík. 14 s. + kort og snið.
4. Ágúst Guðmundsson 1996: Hafrahvamma- og Dimmugljúfur. *Glettingur* 6 (1). 19-26.
5. Ágúst Guðmundsson & Bessi Aðalsteinsson 1978: Austurlandsvirkjanir. Eyjabakkar. Jarðfræðiskýrsla. OS-ROD-7830, 71s.
6. Ágúst Guðmundsson, G. Winkler & G. Hallsteinsson 1999: Geology of the Fljótsdalur and Jökuldalur area East Iceland. ÁGVST Geological services Report to Landsvirkjun. JFS-2-1999.
7. Ármann Höskuldsson 2003: Túfflag á fyrirhuguðu lónstæði Háslóns. Flikruberg eða móberg við Lindur. Náttúrurfræðistofnun Íslands NI-03008, 36 s.
8. Árni Hjartarson & Elsa G. Vilmundardóttir 1998: Vesturöræfi - Hraun. Samræming jarðfræðikorta á Austurlandi. OS-98027. 32 s. + kort.
9. Benn, D.I. & D.J.A. Evans 1998: *Glaciers and Glaciation*. Arnold, London, 734 s.
10. Bergrún A. Óladóttir 2009: Holocene eruption history and magmatic evolution of the subglacial Vatnajökull volcanoes, Grímsvötn, Bárðarbunga and Kverkfjöll, Iceland. PhD thesis, University of Blaise-Pascal and University of Iceland, 142 s. + Append.
11. Bergrún A. Óladóttir, Guðrún Larsen & Olgeir Sigmarsson 2011: Holocene volcanic activity at Grímsvötn, Bárðarbunga and Kverkfjöll subglacial centres beneath Vatnajökull, Iceland. *Bulletin of Volcanology* 73 (9). 1187-1208. DOI 10.1007/s00445-011-0461-4.
12. Bergrún Arna Óladóttir, Guðrún Larsen & Olgeir Sigmarsson 2013: Skyggst í fortíð Grímsvatna, Bárðarbunga og Kverkfjalla. Náttúrufræðingurinn 83. 113-126.
13. Bergrún A. Óladóttir, Olgeir Sigmarsson, Guðrún Larsen & Jean-Luc Devidal 2011: Provenance of basaltic tephra from Vatnajökull subglacial volcanoes, Iceland, as determined by major- and trace element analyses. *The Holocene* 21 (7). 1037-1048.
14. Bessi Aðalsteinsson 1974: Jökulsá á Dal. Jarðfræðiskýrsla. BSc-ritgerð frá Verkfræði og Raunvísindadeild HÍ. 39 s. + kort og snið.
15. Bessi Aðalsteinsson 1987: Jökulhörfun á Brúaröræfum.. Í: Íslandarlok á Íslandi. Jarðfræðafélag Íslands, Reykjavík. 18-19.
16. Bessi Aðalsteinsson 1991: Jökulsá á Dal Jarðfræðaskýrsla Orkustofnun OS-88999/99B.
17. Bessi Aðalsteinsson & Helgi Torfason 1992: Jökulsá á Dal. Jarðfræðiskýrsla. Orkustofnun. (óbirt gögn).
18. Bruun, D. 1902: Ved Vatna Jökulls Nordrand: Undersøgelser foretagne i Sommeren 1901 paa Islands Østland. *Geografisk Tidsskrift* 16. 155-173.
19. Croot, D.G. 1987: Glacio-tectonic structures: a mesoscale model of thin skinned thrust sheets? *Journal of Structural Geology* 9 (7). 797-808.
20. Croot, D.G. 1988: *Glaciotectonics, Forms and processes*. Balkema, Rotterdam
21. Dugmore, A.J., J.S. Shore, G.T. Cook, A.J. Newton, K.J. Edwards & Guðrún Larsen 1995: The radiocarbon dating of Icelandic tephra layers in Britain and Iceland. *Radiocarbon* 37(2). 379-388.
22. Eggert Ólafsson & Bjarni Pálsson 1943: Ferðabók Eggert Ólafssonar og Bjarna Pálssonar um ferðir þeirra á Íslandi árin 1752-1757. Ritsj. Haraldur Sigurðsson og Helgi Hálfðánarson, Reykjavík, 2 bindi.
23. Elsa G. Vilmundardóttir 1997: Bergrunnskort af Fjallgörðum. Áfangaskýrsla. OS-97-97066. Orkustofnun, 35 s. + kort.

24. Elsa G. Vilmundardóttir & Ingibjörg Kaldal 2001: Forn lón að Fjallabaki. Orkustofnun ROS, OS-2001/072, 44 s.
25. 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 (4). 629-639. DOI: 10.1177/0959683610391313.
26. Freysteinn Sigmundsson 1990: Seigja jarðar undir Íslandi, samanburður líkanreikninga við jarðfræðileg gögn. M.S. ritgerð, Háskóli Íslands, Háskólaútgáfan, Reykjavík, 121 s.
27. GA Zielinski, Mayewski PA, Meeker LD, Grönvold K, Germani MS, Whitlow S, Twickler MS & Taylor K. 1998: Volcanic aerosol records and tephrochronology of the Summit, Greenland, ice cores. *Journal of Geophysical Research* 102, C12: 26625-26640.
28. Guðrún Larsen 1982: Gjósutímatal Jökuldals og nágrennis. Í: Helga Þórarinsdóttir o.fl. (ritstj.), *Eldur er í norðri*, 51-65. Sögufélag, Reykjavík.
29. Guðrún Larsen 1984: Recent volcanic history of the Veidivötn fissure swarm, Southern Iceland. An approach to volcanic risk assessment. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 22. 33-58.
30. Guðrún Larsen, Bergrún A. Óladóttir, Sigmundur Einarsson & Snorri P. Snorrason 2007: Tímasetningar á rofi Dimmugljúfra og sethjalla í dalnum sunnan Fremri-Kárahnjúks með gjósutímatali. *Glettingur* 45-46. 39-44.
31. Guðrún Larsen, Magnús T. Guðmundsson & Helgi Björnsson 1997: Eight centuries of periodic volcanism at the center of the Iceland hotspot revealed by glacier tephrostratigraphy *Geology*. 26. 943-946
32. Guðrún Larsen, Magnús T. Guðmundsson, Páll Einarsson og Þorvaldur Þórðarson 2013. Bárðarbunga. Í: Júlíus Sólmes, Freysteinn Sigmundsson og Bjarni Bessason (ritstj.): *Náttúruvá á Íslandi - Eldgos og jarðskjálftar*, 253-261. Viðlagatrygging Íslands/Háskólaútgáfan, Reykjavík.
33. Haukur Jóhannesson, Steinunn Hauksdóttir & Kristján Sæmundsson 2008: Jarðhiti við Kárahnjúka og í nágrenni þeirra. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2008/002. Unnið fyrir Landsvirkjun, LV-2008/050. 91 s. + kort
34. Helgi Björnsson 2007: Brúarjökull. *Glettingur* 17. 79-83.
35. Helgi Torfason 1989: Jarðhitarannsóknir í Hrafnkelsdal og innanverðum Jökuldal. Sérverkefni í fiskeldi 1989. OS-89057/JHD-29B 37s.
36. Helgi Torfason, Lovísa Ásbjörnsdóttir & Halldór G. Pétursson 2005: Staða rannsókna á setlögum í fyrrum Háslóni. Náttúrufræðistofnun, maí 2005. Unnið fyrir Landsvirkjun. NÍ-05006. 21 s.
37. Hjörleifur Guttormsson 1987: Norð-Austurland hálendi og eyðibygðir. Ferðafélag Íslands. Árbók 1987, 1-242.
38. Hoppe, G. 1953: Brúarjökull Ymer 4, 241-265. Sjá einnig ísl.þýðingu í Glettingi 5 (2).
39. Hreggviður Norðdahl 1983: Late Quaternary stratigraphy of Fnjóskadalur, central north Iceland. LUNDQUA Theses 12, Department of Quaternary Geology, University of Lund, 78 s.
40. Hreggviður Norðdahl 1991: Late weichselian and early Holocene deglaciation history of Iceland. *Jökull* 40. 27-50.
41. Hreggviður Norðdahl, Ólafur Ingólfsson & Halldór G. Pétursson 2012: Ísaldarlok á Íslandi. *Náttúrufræðingurinn* 82, 73-86.
42. Ingibjörg Kaldal, Skúli Víkingsson & Freysteinn Sigurðsson 1984: Tillögur um staðal fyrir jarðgrunnskort OS-VOD í mælikvarða 1:50.000. OS-84047/VOD-17B. 12 s.
43. Ingibjörg Kaldal 1992: Austurlandsvirkjun - Arnardalsmiðlun. Jarðgrunnur og byggingarefnisleit. Orkustofnun, greinargerð. IK-92/01. 1992-08-03.
44. Ingibjörg Kaldal 1993: Austurlandsvirkjun- Arnardalsmiðlun. Jarðgrunnur og byggingarefnisleit 1993. Orkustofnun, greinargerð. IK-93/01. 1993-11-25.
45. Ingibjörg Kaldal & Elsa G. Vilmundardóttir 2002: Jökulmenjar á Emstrum, norðvestan Mýrdalsjökuls. Unnið fyrir Auðlindadeild Orkustofnunar og Landsvirkjun. OS-2002/080. 29 s. + kort.

46. Ingibjörg Kaldal, Oddur Sigurðsson & Skúli Víkingsson 2001: Framhlaup Brúarjökuls á sögulegum tíma. *Glettingur* 11. 26-30.
47. Ingibjörg Kaldal, Skúli Víkingsson & Freysteinn Sigurðsson 1984: Tillögur um staðal fyrir jarðgrunnskort OS-VOD í mælikvarða 1:50.000. Orkustofnun, OS-84047/VOD-17.
48. Ingibjörg Kaldal & Skúli Víkingsson 1990: Early Holocene deglaciation in central Iceland. *Jökull* 40. 51-66
49. Ingibjörg Kaldal & Skúli Víkingsson 2000: Jarðgrunnskort af umhverfi Háslóns. Orkustofnun, OS-2000/065.
50. Ingibjörg Kaldal & Skúli Víkingsson 2001: Saga jökulhörfunar og forns jökullóns sunnan Kárahnjúka. *Glettingur* 11. 31-36.
51. Ívar Örn Benediktsson 2005: The 1890 and 1964 push moraines at Brúarjökull, a surge-type glacier in Iceland: Morphology, sediments and structural geology. Cand. Scient. Thesis, Institute of Geography, University of Copenhagen.
52. Jóhann Helgason 1990: Brúardalir - Fiskidalsháls (Jarðfræðikort). Landsvirkjun
53. Jóhann Helgason 1999: Fljótsdalsvirkjun. Sauðár- og Hraunaveitur: Jarðlagaskipan á veitusvæði austan Jökulsár. Áfangaskýrsla. Jarðfræðistofan Ekra, Reykjavík.
54. Jóhann Helgason, Robert A. Duncan & Ágúst Guðmundsson 2003: Aldur bergmyndana við Kárahnjúka og síðustu eldgos þar. Ágrip erinda og vegspjalda, Jarðfræðafélag Íslands, 40-41.
55. Jóhann Helgason & R.A. Duncan 2003: Ar-Ar dating of the Kárahnjúkar volcanic formation Landsvirkjun, LV-2003/090. Ekra Geologic Consulting. 38 s.
56. Jón Benjamínsson 1982: Gjóskulag "a" á Norð - Austurland. Í: Eldur er í Norðri (ritstj. Helga Þórarinsdóttir, Ólafur H. Óskarsson, Sigurður Steinþórsson og Þorleifur Einarsson). Reykjavík, Sögufélag. 181-185.
57. Jórunn Harðardóttir, Áslaug Geirsdóttir & Hafdís Eygló Jónsdóttir 2001: Sethjallar sunnan Kárahnjúka. Orkustofnun OS-2001/006.
58. Jórunn Harðardóttir, Hafdís Eygló Jónsdóttir & Áslaug Geirsdóttir 2001b: Sethjallar sunnan Kárahnjúka. *Glettingur* 11. 37-40.
59. Karl Grönvold, Níels Óskarsson, Sigfús J. Johnsen, H.B. Clausen, C.U. Hammer, G. Bond & E. Bard 1995: Ash layers from Iceland in the Greenland GRIP ice core correlated with oceanic and land based sediments. *Earth and Planetary Science Letters* 135. 149-155.
60. Kristinn Haukur Skarphéðinsson, Sigmundur Einarsson, Sigurður H. Magnússon, Ævar Petersen & Jón Gunnar Ottósson 2000: Náttúrufar á virkjanaslóðum á Austurlandi. Náttúrufræðistofnun Íslands, NÍ-00008.
61. Kristján Sæmundsson & Haukur Jóhannesson 2005: Inspection of faults at Kárahnjúkar carried out in July and August 2005. Prepared by Iceland Geosurvey for Landsvirkjun. ÍSOR-2005/035, LV-2005/071. 35 s.
62. Magnús Tumi Guðmundsson, Þórdís Högnadóttir & Helgi Björnsson 1996: Brúarjökull; Framhlaupið 1963-1964 og áhrif þess á rennsli Jökulsár á Brú. Raunvísindastofnun Háskólans, 34 s.
63. Morgunblaðið 4. apríl 2007: Jökla fékk tæki og fór að grafa. Viðtal Kristjáns Jónssonar við Guðrúnu Larsen.
64. Óskar Knudsen 1995: Concertina eskers, Brúarjökull, Iceland. An indicator of surge-type glacier behaviour. *Quaternary Science Reviews*, 14. 487-493.
65. Óskar Knudsen 2000: Jökulmenjar við Brúarjökul, jökulgarðar, jökulurðir og jökulvatnaset Landsvirkjun, maí 2000. 24 s.
66. Óskar Knudsen & P.M. Marren 2000: Sedimentation into a volcanically dammed glacial tunnel valley south of Kárahnjúkar, Jökulsá á Dal. Landsvirkjun, des. 2000. 53 s.
67. Óskar Knudsen & P.M. Marren 2002: Sedimentation in a volcanically dammed valley, Brúarjökull, northeast Iceland. *Quaternary Science Reviews* 21. 1677-1692.
68. Pálmi Hannesson 1958: *Frá Óbyggðum*. Ferðasögur og landlýsingar. Bókaútgáfa Menningarsjóðs, Reykjavík. 327 s.
69. Pálmi R. Pálmason & Sveinn Þorgrímsson 1978: Austurlandsvirkjun. Niðurstöður vettvangsfarar og forrannsóknar byggingarefna. Orkustofnun, OSROD7807.

70. Reimer, P.J., M.G.L. Baillie, E. Bard, A. Bayliss, J.W. Beck, C.J.H. Bertrand, P.G. Blackwell, C.E. Buck, G.S. Burr, K.B. Cutler, P.E. Damon, R. Lawrence Edwards, R.G. Fairbanks, M. Friedrich, T.P. Guilderson, A.G. Hogg, K.A. Hughen, B. Kromer, G. McCormac, S. Manning, C. Bronk Ramsey, R.W. Reimer, S. Remmele, J.R. Southon, M. Stuiver, S. Talamo, F.W. Taylor, J. van der Plicht & C.E. Weyhenmeyer 2004: IntCal04 terrestrial radiocarbon age calibration, 0-26 cal kyr BP. *Radiocarbon* 46. 1029-1058.
71. Sharp, M. 1985: Sedimentation and Stratigraphy at Eyjabakkajökull. An Icelandic surging Glacier. *Quaternary Research*, 24. 269-284.
72. Sharp, M. & Dugmore, A.J. 1985: Holocene glacier fluctuation in eastern Iceland. *Zeitschrift für Gletcherkunde und Glazialgeologi*. Band 21. 341-349.
73. Sigmundur Einarsson, Sigurður H. Magnússon, Erling Ólafsson, Kristinn Haukur Skarphéðinsson, Guðmundur Guðjónsson, Kristbjörn Egilsson & Jón Gunnar Ottósson. 2000: Náttúruverndargildi á virkjunarsvæðum norðan jökla. Náttúrufræðistofnun Íslands, NÍ-00009.
74. Sigurður Þórarinnsson 1938: Über anomale Gletscherschwankungen mit besonderer Berücksichtigung des Vatnajökullgebietes. *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar*. Bd. 60 H. 3. 1938.
75. Sigurður Þórarinnsson 1956: On the variations of Svínafellsjökull, Skaftafellsjökull and Kvíárjökull in Öraefi. *Jökull*, 6. 1-15.
76. Sigurður Þórarinnsson 1958. The Öraefajökull eruption of 1362. *Acta Naturalia Islandica* II, 2: 1-100.
77. Sigurður Þórarinnsson 1964a: On the age of the terminal moraines of Brúarjökull and Hálsajökull. A tephrochronological study. *Jökull*. 14. 67-75.
78. Sigurður Þórarinnsson 1964b: Sudden advances of Vatnajökull outlet glaciers 1930-1964. *Jökull*, 14. 76-89.
79. Sigurður Þórarinnsson 1968: Heklueldar. Sögufélag, Reykjavík. 187 s.
80. Sigurður Þórarinnsson 1969: Glacier surges in Iceland, with special reference to the surges of Brúarjökull. *Canadian Journal of Earth Sciences* 6. 875-882.
81. Sigurður Þórarinnsson 1971: Aldur ljósu gjóskulaganna úr Heklu samkvæmt leiðréttu geislakolstímatali. *Náttúrufræðingurinn* 41. 99-105.
82. Sigurður Þórarinnsson 1976: Gjóskulög og gamlar rústir. Árbók Hins íslenska fornleifafélags 1976: s. 5-38. Reykjavík.
83. Skúli Víkingsson 1989: Fljótsdalsvirkjun. Könnun lausra jarðlaga, yfirlitskort. Orkustofnun, OS-89026/VOD-05-B.
84. Skúli Víkingsson 1991: Jökulsá á Dal. Jarðgrunnskortlagning í júlí 1991. Orkustofnun, greinargerð. SV-91/04.
85. Skúli Víkingsson 2000: Umhverfi og orkuöflun - jöklalandslag. Austurland. Stöðuyfirlit í ársbyrjun 2000. Orkustofnun, greinargerð. SV-00/01. 2000-06-05.
86. Skúli Víkingsson & Þórólfur H. Hafstað 1992a: Austurlandsvirkjun - Dimmugljúfur. Byggingarefnisleit. Orkustofnun, SV-PHH-92/05. 6 s. + kort
87. Skúli Víkingsson & Þórólfur H. Hafstað 1992b: Austurlandsvirkjun - Dimmugljúfur. Byggingarefnisleit - viðbót. Orkustofnun, SV-PHH-92/06. 2 s.
88. Skúli Víkingsson & Þórólfur H. Hafstað 1993: Austurlandsvirkjun - Dimmugljúfur. Byggingarefniskönnun 1993. Orkustofnun, SV-PHH-93/05. 8 s.
89. Snorri P. Snorrason, Ingibjörg Kaldal, Skúli Víkingsson & Guðrún Larsen 2006: Háslón. Kortlagning sethjalla. Áfangaskýrsla. Landsvirkjun, Mars 2006, LV-2006/047.
90. Snorri Zóphóníasson & Svanur Pálsson 1996: Rennsli í Skaftárhlaupum og aur- og efnastyrkur í hlaupum 1994, 1995 og 1996. Orkustofnun OS-96066/VOD-07 79.
91. Stuiver, M. & P.J. Reimer 1993: Extended data base and revised CALIB 3.0 ¹⁴C age calibration program. *Radiocarbon*, 35. 215-230
92. Svanur Pálsson & Guðmundur H. Vigfússon 1996: Gagnasafn aurburðarmælinga 1963-1995. Orkustofnun OS-96032/VOD-05 B.
93. Sveinn Pálsson 1945: Ferðabók Sveins Pálssonar. Dagbækur og ritgerðir 1791-1797. Sælandsútgáfan, Reykjavík.

94. Todtmann, E.M. 1955: *Übersicht über* die Eisrandlagen in Kringilsárrani von 1890-1955. Jökull, 5. 8-10.
95. Todtmann, E.M. 1957: Am östlichen Rand des Brúarjökull, Nordrand des Vatnajökull (Island). Neues Jb. Geol. Paläontol., Montash. 316-327.
96. Todtmann, E.M. 1960: Gletscherforschungen auf Island (Vatnajökull). *Abhandlungen aus dem Gebiet der Auslandskunde*. Band 65 – Reihe C (Naturwissenschaften). Band 19. Cram De Gruyter & co, Hamburg. 95 s.
97. Umhverfisráðuneytið 2001. Úrskurður. http://www.umhverfisraduneyti.is/media/PDF_skrar/urskurdurkarahnjukar2001.pdf Skoðað 26. mars 2015.
98. Woldstedt, P. 1939: Vergleichende Untersuchungen an *isländischen* Gletchern. Jahrbuch der *Preußischen* Geologischen Landesanstalt zu Berlin *für* das Jahr 1938, Band 59.
99. Zielinski, G.A., P.A. Mayewski, D.L. Meeker, Karl Grönvold, M.S. Germani, S. Whitlow, M.S. Twickler & K. Taylor 1997: Volcanic aerosol records and tephrochronology of the Summit, Greenland, ice cores. J. Geophys. Res., Vol. 102, No. C12, 26625–26640.
100. Þorleifur Einarsson 1991: Myndun og mótun lands. Jarðfræði. Mál og menning, Reykjavík, 299 s.
101. Þorvarður Kjerúlf 1962: Vatnajökull hlaupinn. Frásögn Þorvarðar læknis Kjerúlfs 1890. Jökull 12. 47-48.
102. Þorvarður Kjerúlf 1890: Vatnajökull hlaupinn. Ísafold 8. okt.
103. Þorvaldur Thoroddsen 1914: Ferðabók. Skýrslur um rannsóknir á Íslandi 1882-1898. Þriðja bindi. Hið íslenska fræðafélag, Kaupmannahöfn.



Landsvirkjun

Háaleitisbraut 68
103 Reykjavík
landsvirkjun.is

landsvirkjun@lv.is
Sími: 515 90 00

