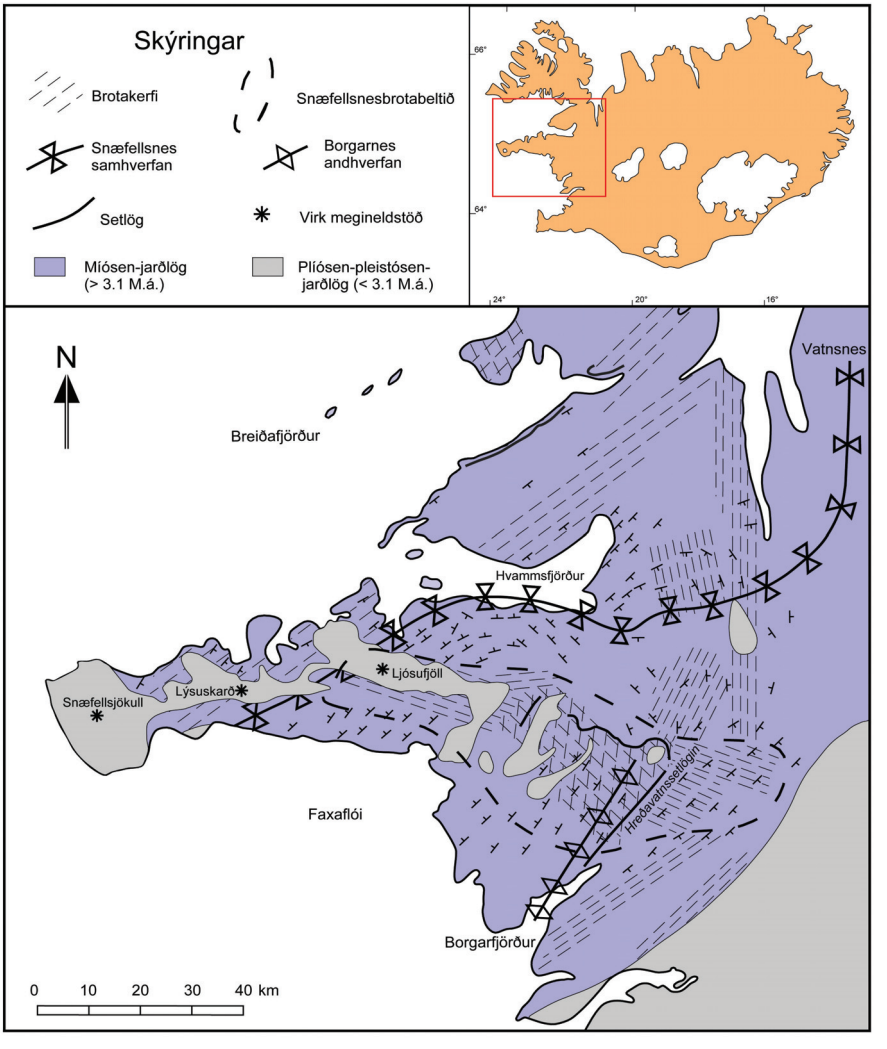
Friðgeir Grímsson

Síðmíósen setlög við Hreðavatn

Í Borgarfirði á Vesturlandi eru varðveitt víðáttumikil setlög frá síðmíósentíma, um það bil 7–6 milljón ára gömul. Þessar jarðmyndanir hafa verið nefndar Hreðavatnssetlögin eða bara Hreðavatnslögin. Setlögin eru mjög fjölbreytt að útliti og gerð vegna þess að sum hafa myndast úr rofefnum, önnur eru gosræn og loks eru setlög mynduð við starfsemi lífvera. Markmið þessa verks eru að gera grein fyrir þessum setlögum, rekja myndunarsögu þeirra og túlka helstu umhverfisþætti á setmyndunartímanum. Setlög í nágrenni núverandi Hreðavatns voru rannsökuð sérstaklega. Til þess að greinagóð mynd fengist af setlögunum við Hreðavatn var dreifing þeirra kortlögð, setlagaeiningum lýst ýtarlega og snið mæld upp í gegnum jarðlagastaflann. Upplýsingar úr einstaka jarðlagaopnum voru notaðar til að tengja saman setlagasyrpur á svæðinu og þannig fékkst heildarmynd af setlögunum umhverfis Hreðavatn. Út frá dreifingu setlagaeininga, samsetningu, þykkt, kornastærð, setformum, lit, gerð lagmóta og öðrum einkennandi þáttum var hægt að túlka uppruna setlaganna, helstu ferli sem leiddu til myndunar þeirra og hvaða aðstæður voru ráðandi í umhverfinu á þeim tíma er setlögin urðu til. Niðurstöður benda til þess að fyrir um 7–6 milljónum ára hafi verið stórt stöðuvatn í ofanverðum Borgarfirði, nálægt þeim stað þar sem nú er Hreðavatn.



1. mynd. Jarðfræðikort af Vesturlandi og Snæfellsnesi. Sjá má míósenjarðlög (blátt) og plíósen-pleistósenjarðlög (grátt), ásamt helstu höggunarfyrirbærum, samhverfu, andhverfu og dreifingu setlaga, sem móta nágrenni Hreðavatns. Strik og halli er merktur inn, svo og virkar megineldstöðvar og helstu brotakerfi. (Byggt á Kristjáni Sæmundssyni 1967; Hauki Jóhannessyni 1980 og 1982.[7,8,11]) – Geological map of western Iceland and the Snæfellsnes Peninsula, showing bedrock geology, Miocene (blue) and Pliocene-Pleistocene (grey). Tectonic features in the study area are illustrated. Strike and dip, as well as central volcanoes, anticlines and synclines are indicated.

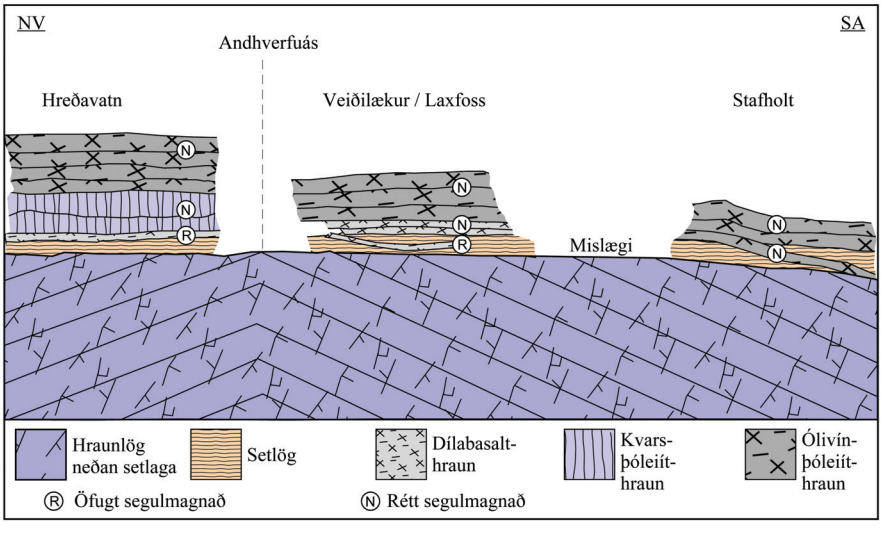
2. mynd. Efsta myndin sýnir Hreðavatn og í bakgrunninn má sjá jarðlög (hraun og setlög) austan við Norðurá. Á þessu svæði má rekja setlögin frá bænum Svartagili að Laxfossi og síðan enn lengra niður dalinn í átt að Stafholti og Hafnarfjalli. Myndin fyrir miðju og sú neðsta sýna stærsta hluta rannsóknarsvæðisins og eru helstu sjáanlegir staðir með bestu opnum merktir inn (Þrimilsdalur, Giljatunga, Hestabrekkusund, Snóksdalur, Brekkuá); sum kennileiti eru í hvarfi og því ekki merkt inn. Setlögin eru á öllu þessu svæði og má rekja þau frá nánasta umhverfi Brekkuár og í norðvesturátt að Surtarbrandsgili, sem Fanná rennur úr. Setlögin á þessu svæði hafa myndast í einu og sama stöðuvatninu. Setlögin má svo rekja enn lengra til vesturs en þau hafa ekki myndast í sömu setlagalægð. Sama má segja um setlög sem finnast lengra í suðri. – Photographic section of the research area, uppermost photo showing Lake Hreðavatn and behind it the lavas on the east side of Norðurá River. Middle and lower photo show most of the area were the sediments described in this paper are accessible. Geographical names of localities and outcrops and other places mentioned in the text are marked.

Jarðfræði í nágrenni Hreðavatns

Jarðfræði svæðisins við Hreðavatn er allvel þekkt, ekki síst aldur hraunlaga, höggunarferli, upphleðsluhraði hraunlaga og samsetning jarðlagstaflans.[1,2,3,4] Jarðlög við Hreðavatn eru mjög mörkuð af höggun og sprungur og misgengi algeng á svæðinu.[5,6] Berggangar úr basalti sjást víða skera jarðlagastaflann og fylgja þeir oftast sprungum sem fyrir eru í berginu. Afstaða jarðlaga mótast enn frekar af andhverfu sem hefur áhrif á legu þeirra, en andhverfa þessi hefur verið kennd við Borgarnes (1. mynd). Andhverfan myndaðist þegar hið forna Húnaflóarekbelti (11. mynd) varð óvirkt og gliðnun færðist yfir á núverandi stað og vesturrekbeltið varð virkt. Á austurvæng andhverfunnar er hallinn í SA-átt að vesturrekbeltinu, en á vesturvæng hennar er hallinn í norðvestur í átt að samhverfunni á Snæfellsnesi.[7] Hún er leifar hins forna Húnaflóarekbeltis og liggur skáhallt yfir Snæfellsnes og í austurátt meðfram Hvammsfirði þar sem hún sameinast samhverfunni á Vatnsnesi á Norðurlandi.[7,8] Áberandi setlög, sem hafa verið kennd við Hreðavatn (1. mynd), setja mjög mark sitt á jarðlagastaflann og sú staðreynd að þau liggja mislægt á mun eldri hraunlögum ýtir enn frekar undir þá óreglu sem einkennir jarðfræði svæðisins. Til að auka enn frekar á óregluna er eyða á milli eldri hraunlaga og ofanáliggjandi setlaga og er eyðan greinilega mismikil innan svæðisins þar sem rof á hraunlögunum var breytilegt. Jarðlög fyrir neðan setlögin tóku hallabreytingum og urðu fyrir miklu rofi áður en Hreðavatnssetlögin settust til; allnokkurt landslag var því mótað áður en setlögin komu til sögunnar. Yfirgnæfandi fjöldi misgengja sem finnast á svæðinu er eingöngu neðan Hreðavatnssetlaganna. Höggun var því að mestu afstaðin þegar setlögin og yngri hraunlög hlóðust upp.[8] Í nágrenni Hreðavatns (2. mynd) má rekja Hreðavatnssetlögin í vesturátt að Langavatnsdal og að rótum Kolbeinsstaðafjalls, einnig má rekja þau til suðaustur í átt að Laxfossi og að rótum Hafnarfjalls.[8] Hraunlögin er liggja undir Hreðavatnssetlögunum eru að mestu úr basalti og hallar þeim um 10–30° NV eða SA eftir því hvorum megin við andhverfuna þau eru. Hraunlögin ofan á setlögunum eru með minni halla, eða um 4–8° NV eða SA. Hraunlögin undir og ofan á setlögunum sýna mismunandi aldur frá einni opnu til annarrar. Á svæðinu frá Hafnarfjalli upp að Hreðavatni eru hraunlögin neðan setlaganna um 13–12 milljón ára, en þau verða sífellt yngri í átt til vesturs og eru um 8,3–8,0 milljón ára í Hítardal.[8,9] Ofan setlaganna eru yngstu hraunlögin í Hafnarfjalli um 6,0 milljón ára, en þau verða sífellt eldri í norður- og vesturátt. Kringum Hreðavatn eru hraunlögin ofan setlaganna um 7,0–6,5 milljón ára gömul.[4,8] Öll hraunlög undir setlögunum rekja uppruna sinn til hins forna Húnaflóarekbeltis, en flest eða öll hraunlög ofan setlaganna eiga uppruna sinn að rekja til vesturrekbeltisins.

Jarðlagastaflinn við Hreðavatn

Í Borgarfirði eru margar opnur í jarðlagastaflann og þar sést vel í setlagasyrpur svæðisins. Setlögin liggja mislægt ofan á eldri jarðlögum og má rekja þau eftir andhverfunni í norðvestur frá Hreðavatni inn á hálendið og í suðurátt niður dalinn í átt til hafs. Þykkur stafli af hraunlögum er neðan Hreðavatnssetlaganna. Þessi hraunlög eru allummynduð, mikið veðruð og með áberandi magni af geislasteinum. Hraunlögin reyndust öll vera öfugt segulmögnuð. Setlögin, sem eru um 20 m á þykkt, settust til ofan á þessi hraunlög (3. mynd). Dílabasalt þekur setlögin sem finnast kringum Hreðavatn vestan við Norðurá og frá Einifelli suður að Veiðilæk á svæðinu austan við ána (3. mynd). Þar sem dílabasaltið liggur ofan á setlögunum má sjá bólstra- og kubbaberg í neðri hluta þess en efri hlutinn er stórstuðlóttur. Ofan á dílabasaltinu er kvars-þóleiíthraun (Björn Harðarson, munnleg heimild) sem er reglulega stuðlað (3. mynd). Á svæðinu vestan við Norðurá er aðeins eitt dílabasaltlag ofan á setlögunum, en á svæðinu austan



3. mynd. Einfölduð teikning sem endurspeglar sambandið á milli hraunlaga neðan Hreðavatnssetlaganna, setlaganna sjálfra og ofanáliggjandi hraunlaga. Jarðlögin ofan setlaganna halla einnig en halli þeirra er mun minni en hraunlaganna neðan setlaganna (mjög ýkt á mynd). Hér er því hallamislægi. – Schematic cross-section illustrating the relation of bedrock, sediments and overlying lavas in the Borgarfjörður fjord.

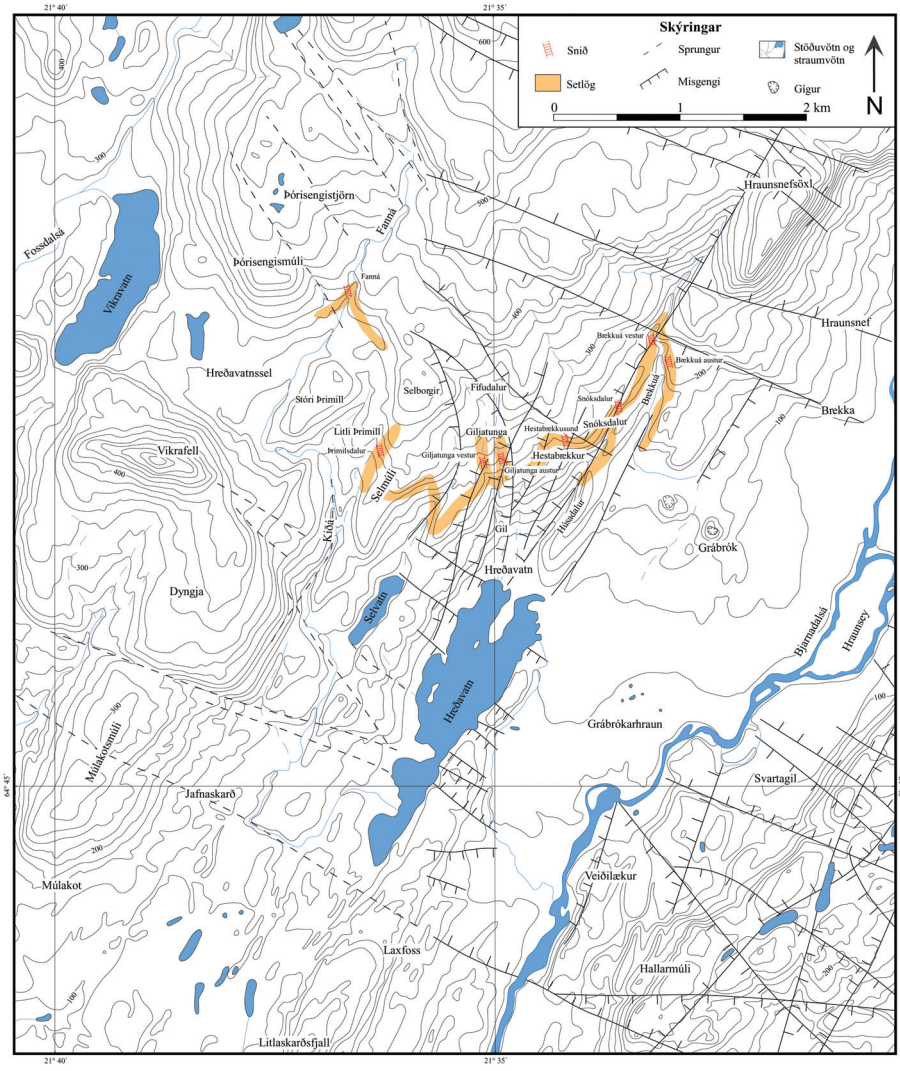
við ána (við Veiðilæk og Laxfoss) eru þau þrjú (3. mynd). Dílabasaltið á vesturhlutanum mældist alstaðar með öfuga segulstefnu og er fylgjandi setlögunum. Á austursvæðinu eru dílabasaltlögin öfugt segulmögnuð í neðri hlutanum og rétt segulmögnuð í efri hlutanum. Á austurhluta svæðisins þynnast hraunlögin út samhliða strikstefnu og í nágrenni Stafholts eru setlögin hulin rétt segulmögnuðu ólivínþóleiíti (3. mynd). Ofan á dílabasaltinu vestan við Norðurá (kringum Hreðavatn) er hið fyrrnefnda kvarsþóleiít, það er rétt segulmagnað og er mögulegt að rekja það frá Selborgum norðvestan við Hreðavatn til austurs að Svartagili, þar sem það þynnist út og hverfur. Þetta lag er áberandi kubbabergstuðlað á svæðinu frá Brekkuá og að þjóðvegi við bæinn Brekku. Ofan á kvarsþóleiítinu eru þó nokkur ólivínþóleiíthraunlög. Þessi hraunlög má rekja frá Hraunsnefsöxl að hlíðum Hallarmúla, á svæðinu vestan við Norðurá og svo áfram í suðaustur átt að Stafholti þar sem þau þekja setlögin á svæðinu (3. mynd). Þetta bendir til þess að hraunlögin sem þekja Hreðavatnssetlögin séu af breytilegum aldri, eins og greina má á vettvangi. Hraunlög sem liggja töluvert fyrir ofan Hreðavatnssetlögin í nágrenni núverandi Hreðavatns liggja beint ofan á setlögunum sjálfum, t.d. við Stafholt (3. mynd). Haukur Jóhannesson kom fram með þá hugmynd að neðstu hraunlögin ofan á setlögunum, sem eru jafnframt þau elstu, eigi uppruna sinn að rekja í norðaustur.[2,8] Hraun hafi því runnið yfir setlögin og yngri hraunlög sem ná lengra í suður sýni að eldvirkni hafi færst í suðurátt samfara opnun á nýju rekbelti.

Fornt stöðuvatn í ofanverðum Borgarfirði

Setlög og tengingar á milli jarðlagaopna í nánasta nágrenni núverandi Hreðavatns (4. mynd) sýndu fram á að þar hefði verið stórt stöðuvatn á síðmíósen sem náði frá Surtarbrandsgili sem Fanná rennur úr (í vestri) og að Brekkuá (í austri). Þeir staðir sem voru rannsakaðir vestanmegin Norðurár og liggja NA, N eða NV við Hreðavatn, eru við Brekkuá (tvö snið), í Snóksdal, í Hestabrekkusundi, við Giljatungu (tvö snið), í Þrimilsdal og við Fanná (4. mynd). Jarðlagasniðin voru nefnd eftir nálægasta eða mest áberandi kennileiti í kring (2. mynd). Hreðavatnssetlögin á þessu svæði settust til í lægð þar sem stöðuvatn var um tíma. Út frá greiningu og túlkun setlaga (samsetningu, byggingu og steingervingum) varð ljóst að mögulegt var að gera grein fyrir þeim ferlum og þáttum sem réðu dreifingu setefna, flutningsleiðum þeirra og hvernig setlagamyndun var háttað.

Setlagaásýndir og ásýndarhópar

Setbergsgerðir endurtóku sig í setlagastaflanum og greinilegt var að



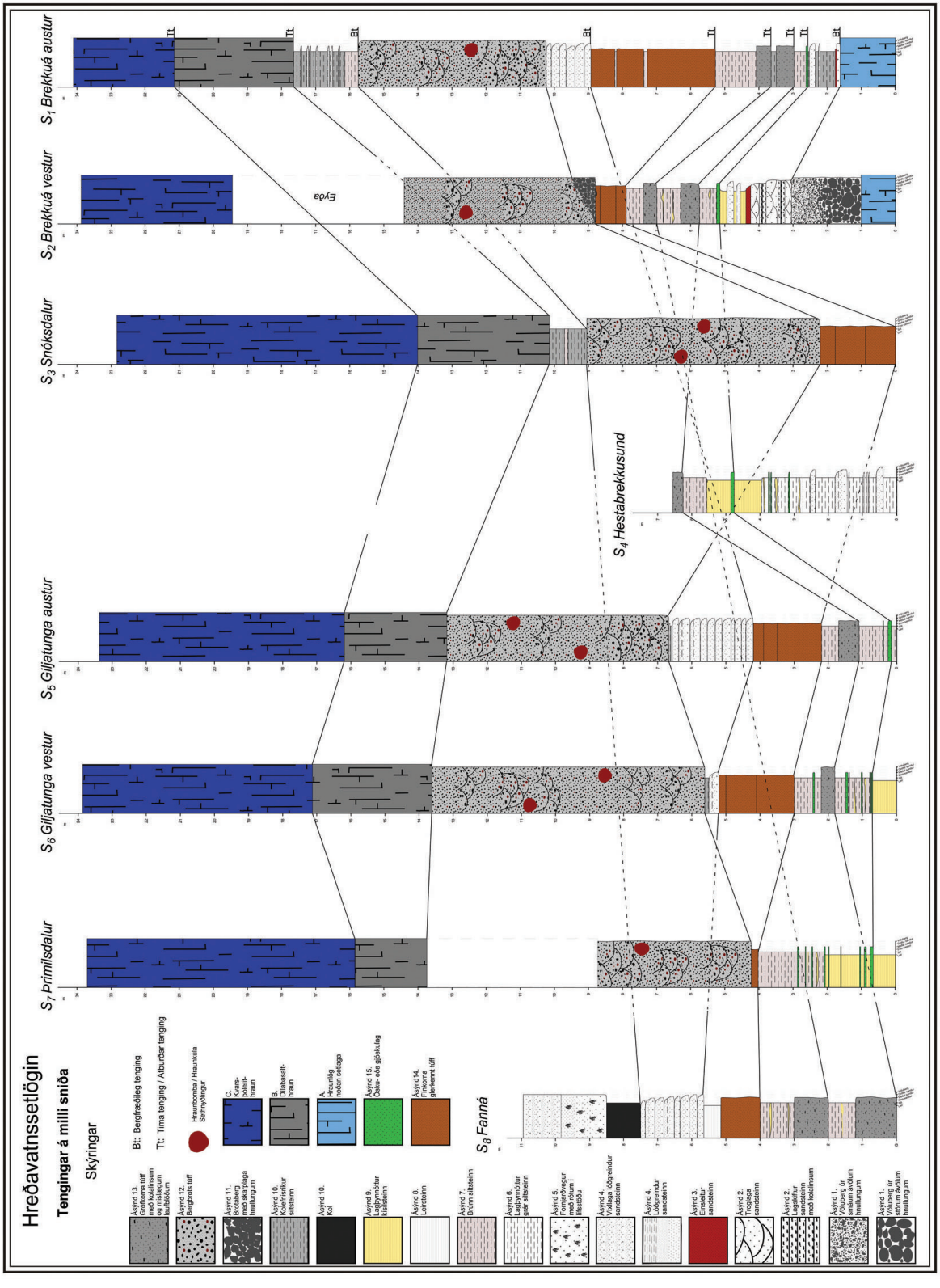
4. mynd. Kort sem sýnir rannsóknarsvæðið. Sjá má dreifingu setlaga í nágrenni Hreðavatns og hvar jarðlagasnið voru mæld. Eingöngu eru merkt inn þau setlög sem talin eru hafa myndast í einni og sömu lægðinni. (Byggt á Army Map Service 1949; Hauki Jóhannessyni & Einari Gunnlaugssyni 1979.[12,13]) – Geographical map showing the study area. Distribution of sediments around Lake Hreðavatn is marked and the relative position of profiles. Only sediments that accumulated in one and the same basin are marked on the map.

Ásýnd	Kornastærð/ Setgerð	Lýsandi heiti	Þykkt	Setumhverfi	Samtvinnað ásýndum	Fundin í ásýndarhóp	Mynd
1	Völuberg	Berggrunns völuberg	0,5–1,5 ---> 3m	Árfarvegir Strandlínur	2,3,6,9,10	A	X
2	Sandsteinn	Skálögóttur sandsteinn	1–3m	Árfarvegir	1,3,6,9,10	A	X
3	Sandsteinn	Yfirborðs sandsteinn	---> 0,5m	Árslétta Árfarvegir	1,2,6,9,10	A	6.A
4	Sandsteinn	Lóðgreindur iðustrauma sandsteinn	5–40cm ---> 3m	Vatnsbotnshlíðar Stöðuvatnsbotn	5,6,7,8,9,10,12,13	B,E,G	6.A,B
5	Sandsteinn	Siltríkur jarðvegssandur með rótum í lífsstöðu	---> 1,3m	Árslétta Árfarvegir	4,10	G	6.E
6	Siltsteinn	Grár siltsteinn	1–2,5m	Stöðuvatnsbotn	4,9,15	B	6.B
7	Siltsteinn	Brúnn siltsteinn	2–3m	Stöðuvatnsbotn	4,7,9,10,13,14,15	C	6.C
8	Leir	Leirsteinn	---> 0,5m	Stöðuvatnsbotn	4,10	G	X
9	Lífrænt set	Kísilsteinn	10–50cm ---> 2m	Stöðuvatnsbotn Vatnsbotnshlíðar	2,3,4,6,7,15	B	6.D
10	Lífrænt set	Kol og kolefnisríkur siltsteinn	5–120cm	Árslétta Mýri Bjúgvötn	2,3,4,5,7,11,12,13,14,15	B,C,E,G	7.B
11	Gosrænt set	Brotaberg	---> 1,5m	Strandlínur	12,14	F	7.A
12	Gosrænt set	Bergbrotstúff	5,5–6,5m	Öll	4,7,10,11,14	F	7.C
13	Gosrænt set	Grófkorna túff með mislægum laufblöðum	0,3–1m	Öll	4,7,10	C	7.D
14	Gosrænt set	Glerkennt túff með kísil-runnum og koluðum trjádrumbum	0,3–2,5m	Öll	4,7,11,12	D	7.E
15	Gosrænt set	Ösku-/gjóskulög	0,5–4cm ---> 10cm	Stöðuvatnsbotn Vatnsbotnshlíðar	6,7,9,10	B,C	7.F

1. tafla. Ásýndir 1–15 greinast í sundur eftir kornastærð, frá því að vera völuberg niður í fínkorna leirstein af rofrænum uppruna eða lífrænt set og svo hinsvegar gosrænt set sem stjórnað er af utanaðkomandi ferlum. Sjá má af lýsandi heitum helstu einkenni ásýndanna. Algengasta setþykkt er gefin upp svo og hámarksþykkt á afmörkuðum svæðum sem gefin er til kynna með ör. Ásýndir eru á ýmsan hátt samtvinnaðar þar sem þær liggja ofan á eða undir hverri annarri eða víxlast. Mörkin á milli ásýnda eru breytileg, frá því að vera mjög skörp yfir í óregluleg og óljós. Flestar ásýndir eru aðeins í einum ásýndarhóp, fyrir utan ásýndir 4, 10 og 15. Ásýnd 4 er iðustrauma-sandsteinn og sest til þar sem setefni færist úr einu setumhverfi í annað niður vatnsbotnshlíðar stöðuvatnsins. Ásýnd 10 er lífrænt set, kol eða kolefnisríkur siltsteinn sem getur myndast umhverfis stöðuvatn í mýrum og bjúgvötnum en einnig úti í stöðuvatninu við mikinn burð straumvatna af plöntuleifum, þ.e. í mismunandi setumhverfi. Ásýnd 15 er aska/gjóska sem berst fyrir vindi yfir stöðu-vatnið og getur myndað lag á vatnsbotninum þar sem orka er í lágmarki og lítið rót er á setefni (varðveitist ekki í strandumhverfi þar sem askan/gjóskan blandast öðru setefni). Bent er á að myndir af flestum ásýndum er að finna á 5. og 6. mynd. – Facies 1–15 and their distinguishing characteristics.

Ásýndarhópur	Lýsandi heiti	Samsett úr ásýndum	Þykkt	Setumhverfi
A	Straumvatnasetmyndun	1,2,3	1,5–2,5 ---> 4m	Árfarvegir Árósar Strandlínur
B	Lífræn vatnsbotnssetmyndun	4,6,9, 10,15	0,5–6,5m	Vatnsbotnshlíðar Stöðuvatnsbotn
C	Rofræn vatnsbotnssetmyndun	7,10,13,15	2–3m	Stöðuvatnsbotn Vatnsbotnshlíðar
D	Fínkorna gosræn setmyndun	7,8,14	0,3–3,6m	Óháð setmyndunarferlum stöðuvatns. Öll umhverfi.
E	Rofræn árósasetmyndun	4,10	---> 3m	Vatnsbotnshlíðar Strandlínur Árósar
F	Grófkorna gosræn setmyndun	11,12	5,5–8m	Óháð setmyndunarferlum stöðuvatns. Öll umhverfi.
G	Lífræn árósasetmyndun	4,5,7,8,10	1–3m	Strandlínur Árósar Bjúgvötn Mýrar

2. tafla. Ásýndarhópar A–G þar sem lýsandi heiti gefa til kynna uppruna setsins og helstu einkenni. Bent er á hvaða ásýndir eru í ásýndarhópnum, ásamt algengustu þykkt og hámarksþykkt eininga. – Facies association A–G and their distinguishing characteristics.



5. mynd. Tengingar á milli sniða eru tvenns konar, þ.e. bergfræðilegar og tímalegar. Setlög sem safnast fyrir í lægðinni fyrir tilstuðlan rofs eru tengd saman með bergfræðilegri tengingu þar sem setefni geta sest til á mismunandi tíma eftir setumhverfi og þróunarstigi lægðarinnar. Hraunlög og setlög mynduð við eldsumbrot (ösku-/gjóskulög eða túfflög) túlkast sem atburðarlög og eru tengd saman með tímatengingu, þar sem þau hafa örugglega myndast á sama tíma. Brotnar línur sína tengingu framhjá ákveðnum opnum þar sem viðkomandi jarðlög var ekki að finna m.a. vegna eyðu í staflanum. – Correlation between profiles S1 to S8; Bt = lithological correlation; Tt = time correlation.

ákveðnar ásýndir voru tengdar á einhvern hátt þar sem þær komu fyrir í pörum, í röðum eða á víxl. Setlögum var þess vegna skipt niður í ásýndir eftir kornastærð og uppruna. Fimmtán mismunandi ásýndum voru gerð skil og þeim gefin númer frá 1 upp í 15 (5. mynd). Tíu ásýndir eru háðar eða stjórnast af innrænum stöðuvatnaþáttum og fimm ásýndir stjórnast af utanaðkomandi þáttum af gosrænum toga (1. tafla; 6. og 7. mynd). Hraunlögin undir og ofan setlaganna voru mikilvæg þegar kom að tengingu milli opna; í allt voru skilgreindar fjórar hraunlagagerðir og þeim gefnir bókstafirnir A–D: A-hraunlög neðan setlaga, B-dílabasalt, C-kvars-þóleiít, D-ólivínþóleiít (3. og 5. mynd).

Þar sem greina mátti náið samband milli ákveðinna setlagaásýnda var þeim skipt niður í ásýndarhópa. Setlagaásýndirnar voru flokkaðar niður í ásýndarhópa A–G með hliðsjón af uppruna þeirra, bergjarðlagafræðilegum einkennum og hvaða ferli voru ráðandi við myndun þeirra (2. tafla). Sumar ásýndir eru í fleiri en einum ásýndarhópi; þetta eru atburðarlög sem rekja má til eldvirkni eða annarra hamfara í umhverfinu. Atburðarlög eru jarðlög sem myndast hafa á stuttum tíma og hafa mikla útbreiðslu. Þessi jarðlög eru oft góð leiðarlög og hægt er að nota þau til að tengja á milli jarðlagasniða og ákvarða afstæðan aldur setlaga. Ásýndarhóparnir (8. mynd) voru settir fram út frá tengingum á milli setlagaopna (4. og 5. mynd) og innbyrðis afstöðu aðgreindra ásýnda.

Setmyndunarferli stöðuvatnsins

Setefni fluttust í lægðina með straumvatni og vindum (9. og 10. mynd). Árnar fluttu með sér efni í völuberg og annað grófkornótt straumvatnaset á strandsvæðum og við árósa (ásýndarhópur A). Fínni setefni fluttust lengra frá ströndu og mynduðu sandsteinslög á mörkum árósasvæða (ásýndarhópur A) og fínlega lagþynnóttan siltstein sem settist til á stöðuvatnsbotninum (ásýndarhópur B og C). Kísilþörungar voru oft og tíðum ráðandi í vatninu og mynduðu leifar þeirra sviflausnarset (9. og 10. mynd). Setlögin gefa til kynna að eldvirkni hafi að öllum líkindum gefið af sér setefni innan lægðarinnar sjálfrar (ásýndarhópur F), sem og utan hennar (ásýndarhópur D), stundum í mjög miklum mæli og mjög líklega á frekar stuttum tíma. Loftborin korn eru stór hluti setlaganna, að mestum hluta gosræn korn. Gjóskan dreifðist sem gusthlaup eða í gjóskufalli (9. og 10. mynd) og myndaði þykk lög (ásýndarhópur F) eða í öskufalli (öskulög sem finnast í ásýndarhóp B og C) er settist til sem þunn öskulög. Eldvirknin á svæðinu olli hamförum sem víkja frá venjulegum „reglum“ er stjórna ferlum sem leiða til setlagamyndunar í lægðinni. Hamfarir eiga sér stað mjög snögglega og ráða yfir orku sem er margfalt meiri en við „venjubundna“ setmyndun. Þeir atburðir verða vegna jarðskjálfta, eldgosa, stormviðris og mikilla rigninga. Atburðir sem þessir geta meðal annars valdið iðustraumum og eðlisþyngdarflóðum sem skilja eftir sig setlög með skörp neðri lagmót. Lögin eru oft lóðgreind (kornastærð breytist upp í gegnum lagið). Þau er m.a. að finna í ásýndarhópi E, þar sem iðustraumar fluttu setefni frá vatnsbotnshlíðum út á dýpri svæði setmyndunar (9. og 10. mynd).

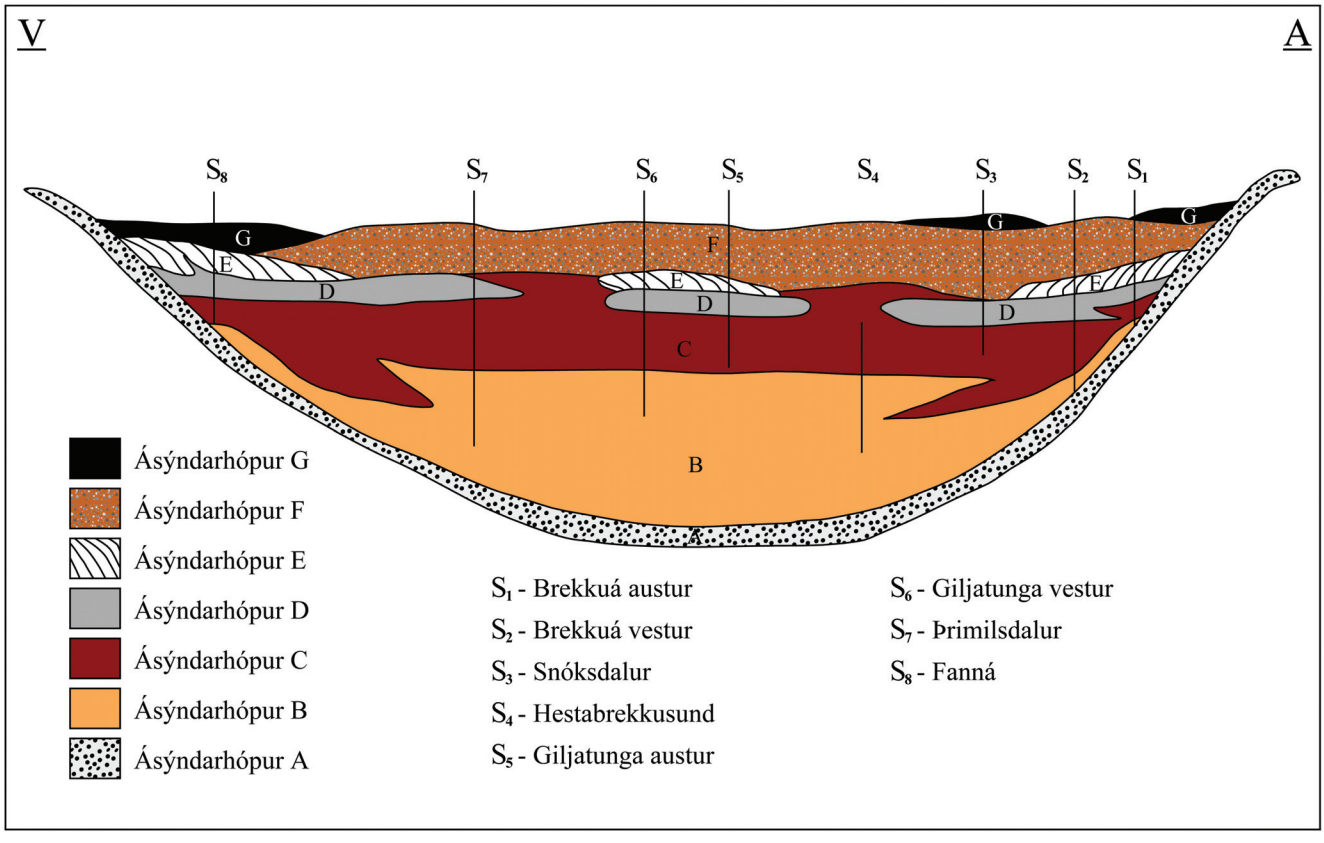
Stöðuvatnsbotninn var mikilvægur staður fyrir samansöfnun á lífrænu efni, svo sem sjá má af myndun á þykkra kísilgúrlaga (að finna í ásýndarhóp B) og kolalaga (að finna í ásýndarhóp G). Plöntusteingervingar, stór- og smágervingar, eru einnig dreifðir um öll setlögin og finnast í mismunandi ásýndarhópum. Ætla má að þau ferli sem stjórnuðu varðveislu lífræns efnis hafi verið hagstæð, eins og endurspeglast í lífrænum leifum í setlögunum. Líklegt er að innkoma landrænna rofefna hafi á stundum verið frekar lítil í samanburði við lífræn efni og að samansöfnun lífræns efnis hafi verið hraðari en niðurbrot þeirra vegna ólífrænnar og lífrænnar oxunar.

Myndun lægðar og þróun stöðuvatnsins

Setlögin í nágrenni Hreðavatns sýna fram á áflæðis-afflæðishringferli sem endurspeglar myndun lægðar, upphaf stöðuvatns, þróun þess og endalok. Lægðin varð til í tengslum við færslu rekbelta þegar Húnaflóarekbeltið dó út og nýtt rekbelti um Reykjanes, vesturrekbeltið, tók við stig af stigi austan við það gamla. Þetta varð til þess að jarðlagastaflinn á milli rekbeltanna brotnaði upp og miklar tilfærslur með hallabreytingum áttu sér stað. Jarðlagastaflinn reis á sumum svæðum en seig niður á öðrum. Þetta olli skyndilegu og áhrifamiklu rofi á rissvæðum og samsöfnun rofefna á sigsvæðum. Öll setlög á svæðinu sem mynduðust í tengslum við þennan ákveðna atburð tilheyra Hreðavatnssetlögunum (7–6 millj. ára). Setlögin sem söfnuðust fyrir í lægðinni sem hér er fjallað um eru bara lítill hluti af hinum svonefndu Hreðavatnssetlögum. Það er augljóst að umhverfisþættir voru sífellt að breytast á meðan setið safnaðist fyrir. Þeir þættir sem stjórnuðu setlagaferlum breyttust gífurlega frá myndun neðstu setlaganna til þeirra efstu (11. mynd). Eftir að útræn öfl höfðu sorfið, rofið og formað hraunlagastaflann varð til stöðuvatn. Eldvirkni endurspeglast í gjóskulögum og fjölbreytilegum setlögum af gosrænum uppruna sem finna má í jarðlagastaflanum. Neðstu setlögin endurspegla frumstigið í þróun stöðuvatnsins. Völubergs- og grófkornóttar sandsteinsásýndir (ásýndarhópur A) eru ráðandi og einkenna setlögin. Þessi eining myndaðist þegar rof

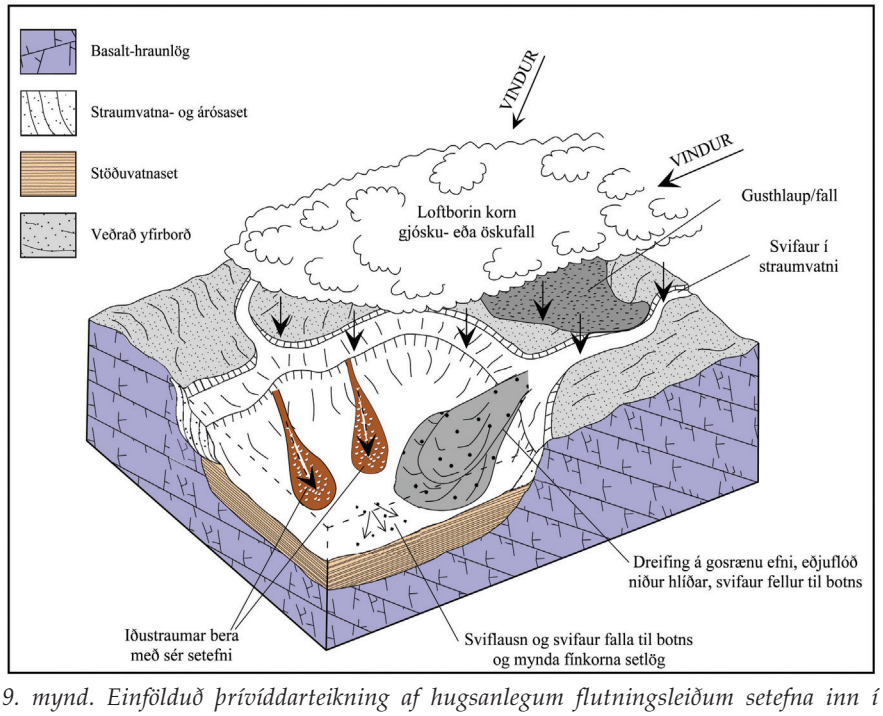
6. mynd. A) Hluti af vestari opnunni við Brekkuá, efsti hluti rauða sandsteinsins með ásýnd 3 er sjáanlegur, ofan hans má sjá ásýndarhóp B með kísilstein með ásýnd 9 og lóðgreindur sandstein með ásýnd 4. Ofan á þessu er ásýndarhópur C með brúnu siltsteinslögin með ásýnd 7 og grófkorna túff með ásýnd 13. Setlögin endurspegla setsöfnun á grunnvatnssvæði. B) Hluti af opnunni í Hestabrekkusundi; sandsteinslög með ásýnd 4 sjást skera gráa siltsteininn með ásýnd 6. Sandsteinslögin eru frekar laus í sér og mynduðust við jaðar djúpvatnsumhverfis vegna iðustrauma niður vatnsbotnshlíðar. C) Nærmynd af setlagi í vestari opnunni í Giljatungu; brúnn siltsteinn með ásýnd 7 endurspeglast af lit og einsleitni. Á sumum svæðum er þessi siltsteinn blandaður mismiklum kísilþörungaleifum og er þá ljósari að lit eins og greina má neðan við blýantinn. D) Kísilsteinslag í vestari Brekkuáropnunni; hvíti til gulleiti kísilsteinninn inniheldur vel varðveittar plöntuleifar, bæði stór- og smásteingervinga. Þetta má sjá fyrir miðri mynd þar sem nýlega klofin ljósleit kísilsteinsstykki eru með svörtum koluðum plöntuleifum. E) Setsýni frá Fanná; siltríkur sandsteinn með koluðum rótarleifum í lífsstöðu. Ræturnar eru mjög fjölbreytilegar og frá því að vera tæpur millimetri upp í fleiri sentimetra að lengd. Setlagið er talið hafa myndast á árslétta nálægt vatnsborðinu og er með í ásýndarhóp G. – A–D close-ups of sediments from different profiles showing many of the facies identified.

7. mynd. A) Nærmynd af brotabergi með ásýnd 11 í vestari opnunni við Brekkuá. Greina má stærð og lögun kantaðra hnullunga. Brotabergið tilheyrir ásýndarhópi F og er talið hafa sest til í strandumhverfi. B) Hluti af austari Giljatunguopnunni; nærmynd sem sýnir kolefnisríkan siltstein með ásýnd 10 er tilheyrir ásýndarhóp E. Neðan siltsteinsins er lóðgreindur sandsteinn með ásýnd 4 og ofan hans er þunnt sandsteinslag af sömu gerð og svo harða bergbrotstúffið með ásýnd 12. C) Nærmynd af túffi með brotabergi með ásýnd 12 frá Giljatungu (austuropna); greina má vikur- og gjallmola sem dreifast óreglulega um setið og við nákvæma skoðun má greina ljósleita díla. D) Hluti af vestari opnunni við Brekkuá, hér má sjá grófkorna túff með mislægum laufblöðum sem stendur út þar sem það er harðgerðara og veðrast hægar en ofaná- og undirliggjandi siltsteinn. Þetta túfflag er að finna bæði í strandseti og djúpvatnsseti lægðarinnar og er vel rekjanlegt á milli opna. E) Ösku-/gjóskulag með ásýnd 15, lagið er mjög þunnt, nokkrir millímetrar og mest um 1,5 cm á þykkt. Kornin sem mynda ösku-/gjóskulagið eru grófari en siltsteinninn í kring og áberandi er hvað þau eru ummynduð. F) Glerkennt túff með ásýnd 14 frá Giljatungu (vesturopna). Túffið er mjög glansandi, hefur glerjaða áferð og brotnar með hvössum hornum og glerhljóði. Í túffi þessu eru víða kolaðir og kísilrunnir trjádrumbar. – A–F close-ups of sediments from different profiles showing many of the facies identified.



8. mynd. Þverskurðarmynd í gegnum setlagadældina sem sýnir dreifingu ásýndarhópa (A–G), sambandið á milli þeirra, mörk þeirra og staðsetningu þar sem snið (S1–S8) voru mæld upp. – Schematic cross-section through the sedimentary basin, illustrating distribution of facies associations, their relationship and boundaries, and relative position of profiles.

jarðlagastaflans átti sér stað og útræn öfl voru að forma lægðina (11. mynd A). Setlögin settust að í árfarvegum, aurkeilum og við árósa og bárust út í nýmyndaða lægðina frá nærliggjandi fjalllendi. Grófari völubergs- og sandsteinslög koma fyrir sem víxllögóttar einingar er endurspegla framburð straumvatna á strandlægum svæðum og náið samband við árósa og vatnsbotnshlíðar. Í fyrstu var ekkert stöðuvatn en mikið rof átti sér stað og fínefni fluttust langar leiðir; þetta leiddi síðan til aðgreiningar og aðeins grófari setefni settust til í lægðinni. Eftir töluvert rof og mótun landslags hefur lægðin stíflast og vatn byrjað að safnast fyrir uns stöðuvatn myndaðist. Eftir að stöðuvatnið myndaðist reis vatnsborðið og djúpvatnsumhverfi tók við (11. mynd B). Straumvötn fluttu með sér fínefni, svifaur, eins og silt og leir sem settist til á botni stöðuvatnsins.

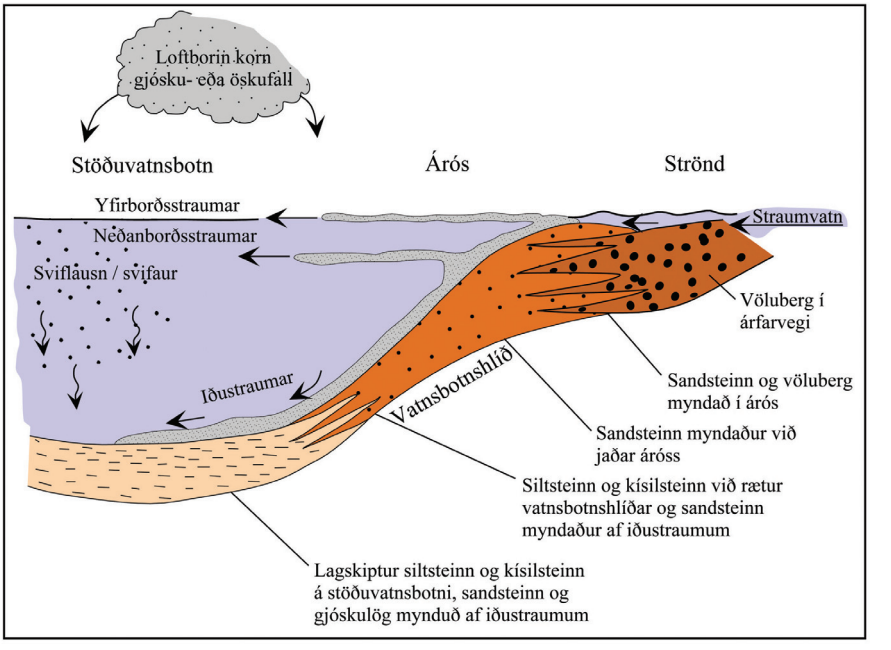


9. mynd. Einfölduð þrívíddarteikning af hugsanlegum flutningsleiðum setefna inn í stöðuvatnið, svo og helstu setmyndunarferlum. (Byggt á S. Königer & H. Stollhofen.[14]) – Schematic block diagram illustrating potential transporting ways and sedimentation into the lake environment.

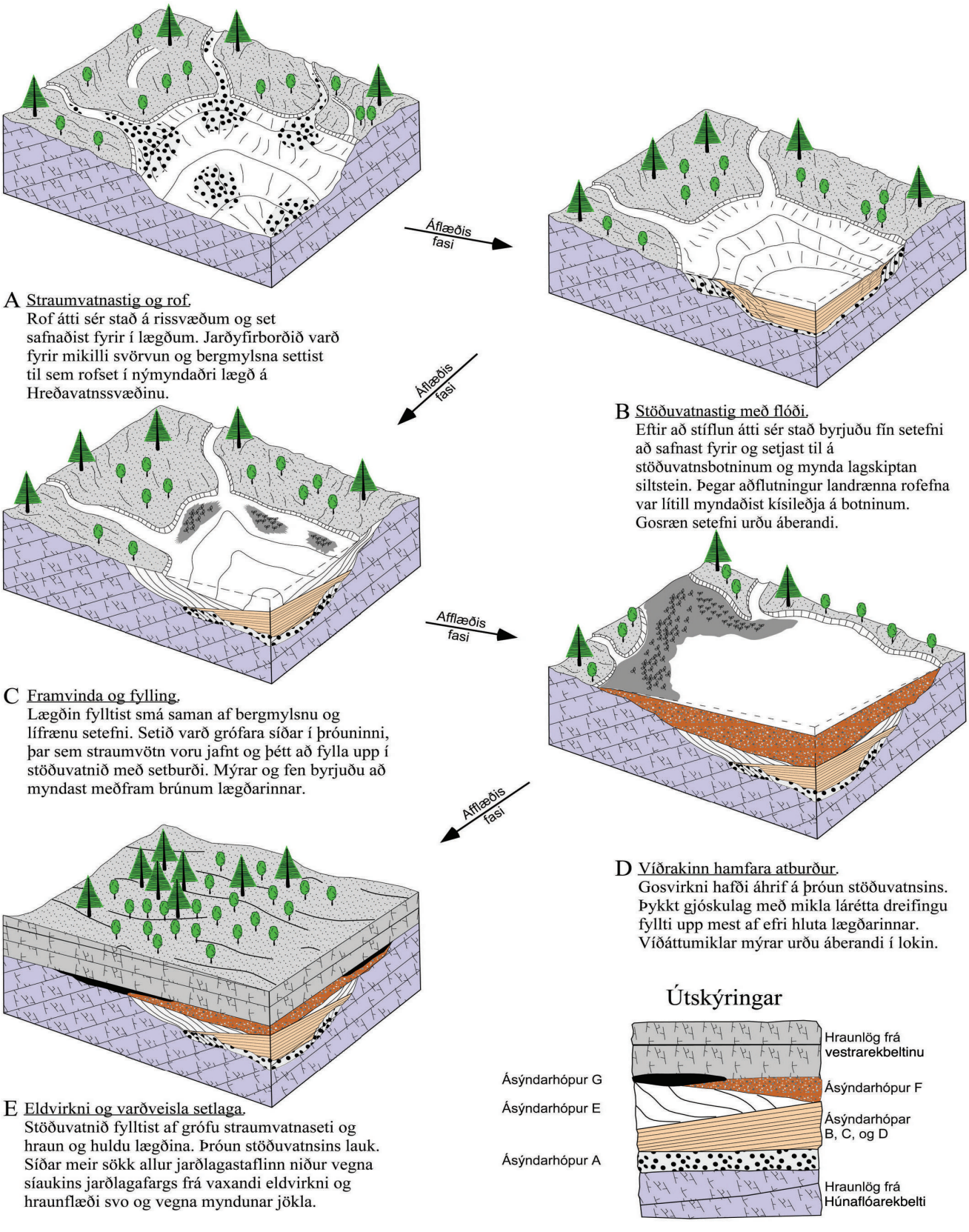
Fínkornótt setefnin bárust því út í djúpvatnsumhverfi og mynduðu þykkan stafla af fínlega lagskiptum siltsteinslögum. Gráleitur siltsteinn er ráðandi setgerð á vatnsbotninum, en þegar aðflutningur landrænna rofefna var í lágmarki náðu lífræn ferli yfirhöndinni og lífverur í sviflausn tóku að setja mark sitt á setmyndunina. Þegar þetta átti sér stað voru kísilþörungar ráðandi lífverur og við dauða þeirra myndaðist þykk kísileðja á stöðuvatnsbotninum (ásýndarhópur B). Veðrun jarðlaga í kring leysti kísil úr hraunlögum og vatnsflaumur flutti efnin út í stöðuvatnið. Kísilþörungar sem lifðu í vatninu notfærðu sér þennan kísil til að byggja upp skeljar sínar. Þegar kísilþörungarnir dóu sukku skeljar þeirra til botns og mynduðu hvíta, létta setgerð, svonefndan kísilgúr. Eftir langt goshlé urðu setefnin fínkornótt og kísilgúr varð ráðandi setgerð. Inn á milli siltsteinslaga og kísilgúrlaga eru lóðgreind sandsteinslög með skörp neðri lagmót. Grunnur einstakra laga er oft markaður af rofmörkum. Þessi roflög eru hugsanlega afleiðing iðustrauma, þar sem eðlisþyngdarstraumar (iðustraumar) bera setefni frá strandlægum svæðum til djúpvatnssvæða. Iðustraumasetið getur hafa myndast vegna þess að vatnsborðið lækkaði tímabundið og árósar sóttu inn yfir fínni setefni, eða vegna flóða og/eða jarðskjálfta. Sum grófkornóttu lögin eru ösku- eða gjóskulög er endurspegla eldvirkni á svæðinu.

Loks hætti kísileðja að safnast fyrir og aðflutt landræn rofefni urðu ráðandi á ný. Straumvötn fluttu silt út í stöðuvatnið og þykk brúnleit siltsteinslög (ásýndarhópur C) mynduðust. Siltið settist til í dýpri hluta lægðarinnar þar sem árósar höfðu lítil sem engin áhrif á setmyndunina (11. mynd B). Brúnu siltsteinslögin eru stundum lagskipt og lagþynnótt. Lagskiptingin myndast samfara auknu magni kísilþörunga, en oftast er siltsteinninn frekar einsleitur. Breytingin á lagskiptum og ólagskiptum seteiningum gæti bent til breytilegra súrefnissnauðra og súrefnisríkra botnaðstæðna. Í stöðuvötnum þar sem nóg er af súrefni á botninum er mikið um smáar lífverur sem lifa í setinu og færa til setkorn og veldur lífstarfsemi þeirra því að öll lagskipting hverfur. Þykku og einsleitu siltsteinslögin eru líklega komin til vegna hraðrar setsöfnunar þar sem setið inniheldur mikið af niðurrifnum plöntuleifum (smágervingar). Tiltölulega þykk sandsteinslög skera brúna siltsteininn. Þessi sandsteinslög eru gosræn að uppruna (túff) og endurspegla vaxandi eldvirkni á svæðinu. Þykk fínkornótt lög (túfflögin í ásýndarhópi D) sem liggja ofan á brúna siltsteininum endurspegla enn meiri eldvirkni. Seinni stig í þróun stöðuvatnsins einkennast af því að setefni verða grófari. Sandsteinslög verða ráðandi og set flutt af iðustraumum frá árósum verður áberandi. Lægðin hefur tekið við miklu gosrænu setefni á stuttum tíma og vatnsborðið hefur lækkað töluvert. Straumvötn sem renna í vatnið eru smám saman að fylla upp í stöðuvatnið og mýra- og fenjasvæði að ná meiri útbreiðslu meðfram ströndum þess. Straumvötnin sækja inn yfir stöðuvatnssetlögin og rjúfa sér leið niður í áðurmynduð setlög, sem eru fínkorna og einkennandi fyrir dýpra umhverfi. Setefni verða sífellt grófkornóttari upp á við og setumhverfið mótað af straumvatnaferlum (11. mynd C).

Stöðuvatnið varð fyrir enn meiri áhrifum frá eldvirkni þegar gríðarlegt gjóskugos (eldgos í stöðuvatni) átti sér stað og mikið af grófkorna gjósku (bergbrots-túff) safnaðist fyrir í vatninu og myndaði víðáttumikið, þykkt lag (ásýndarhópur F). Gosrænu setlögin sem mynduðust voru þykk og fylltu nánast upp í lægðina sem geymdi stöðuvatnið (11. mynd D). Eldgosið dreifði miklu setefni yfir allt svæðið og má sjá þessa gjósku ofan á hraunlögum við strendur stöðuvatnsins. Eftir gosið héldu straumvötn áfram að bera set út í stöðuvatnið og aflöng árósasvæði urðu áberandi. Víðáttumiklar mýrar náðu yfirhöndinni á milli árósa og mór tók að myndast. Stöðuvatnið fylltist af grófu straumvatnaseti og mýrar sóttu inn að



10. mynd. Einfölduð þverskurðarmynd af þáttum sem stjórna dreifingu setefna og þeim setgerðum sem myndast í kjölfarið. (Byggt á G.H. Reading.[15]) – Cross-section illustrating the distributional mechanisms and resulting sediment types.



11. mynd. Þrívíddarmyndir sem endurspegla myndun lægðarinnar, þróun hennar og endalok. Lægðin þróast frá straumvatnastigi með rofi (A) yfir í stöðuvatn (B) þar sem setmyndun á sér stað. Síðar verður mikil eldvirkni og hraun renna yfir setlögin (E). Setlögin gefa til kynna áflæðisfasa sem fylgt er eftir af afflæðisfasa (áflæðis-afflæðishringferli). – Schematic block diagram sequence illustrating the evolution of the sedimentary basin, from its initial formation to closure. The basin evolves from an erosional fluvial stage (A) to sealing of sediments (E). The sediments reflect a transgressive phase followed by a regressive phase (transgressive-regressive cycle).

miðju lægðarinnar. Að lokum runnu hraun yfir lægðina og jöfnuðu hana út og stöðuvatnið hvarf með öllu (11. mynd E).

Summary

Late Miocene sediments at Lake Hreðavatn

There are several sedimentary formations present in the northwestern and western part of Iceland. These sedimentary formations are separated by thick lava formations. The sediments around Lake Hreðavatn were found to be part of an extensive sedimentary formation traceable over considerable distance in western Iceland. The sediments described here composing the formation were found to vary between geographical areas. The sediments around Lake Hreðavatn accumulated in a lake basin. The basin is believed to have formed in relation to rift relocation when the Snæfellsnes rift zone gradually "jumped" to its present location. This caused the stratum to break up and severe tilting took place. This resulted in sudden erosion in elevated areas and accumulation in areas of subsidence.

The sediment types of the basin investigated were found to reappear and some were clearly associated with each other. On that basis the sediments were classified into several facies (15), dependent on their characteristic appearance, composition and origin. The facies were controlled by intrabasinal factors as well as external basinal factors, often associated with catastrophic events like volcanic eruptions or earthquakes. The facies were defined into facies associations dependent on their intrarelation and deposit type. The associations reflect river channel deposits, organic lacustrine basin plain deposits, clastic basin plain deposits, pyroclastic event deposits, clastic delta deposits and organic delta area deposits. The facies associations were often found to interfinger with each other where the environment changed from deep water to shallower and the volcanic-dominated associations were found to interfinger with several other associations due to their relative wide distribution caused by aerial dispersal before entering the lake.

The sediments reflect the opening phase of a small lake, its development and final closure. The sedimentary fill of this ancient lake basin can be divided into three main categories: clastic-dominated, volcanic-dominated and organic-dominated.

Þakkir

Leiðbeinendum mínum við kandídatsritgerðina, þeim Leifi A. Símonarsyni við Háskóla Íslands og Eckart Håkansson við Kaupmannahafnarháskóla, þakka ég kærlega fyrir alla ráðgjöf og hjálp meðan rannsókn stóð yfir.[10] Snorri Gíslason á mikið inni hjá mér og þakka ég honum kærlega fyrir þá hjálp sem hann veitti mér við vettvangsvinnu sumrin 2000 og 2001 og fyrir alla þá miklu vinnu sem hann lagði í að koma teikningum mínum yfir á tölvutækt form. Jón Eiríksson og Björn S. Harðarson fá þakkir fyrir uppbyggjandi samræður um rannsóknarsvæðið. Birgir Hauksson fær þakkir fyrir veittar upplýsingar um staðhætti við Hreðavatn og gistingu. Grímur Rúnar Friðgeirsson, Halldóra Björnsdóttir, Þorbjörg Kristín Jónsdóttir og Jón Már Halldórsson fá þakkir fyrir þá miklu vinnu og tíma sem þau lögðu í að aðstoða mig þegar mest lá við.

Heimildir

1. Schwarzbach, M. 1956. Das Vulkangebiet von Hredavatn (West-Island). Neues Jb. Geol. U. Paläontol., Abh. 104, 1. Bls. 1–29.
2. Haukur Jóhannesson 1972. Tertíeri jarðlagastaflinn frá Norðurárdal inn Hvítársíðu í Borgarfirði. Óbirt BS-ritgerð. Háskóli Íslands, Reykjavík. 57 bls.
3. Haukur Jóhannesson 1975. Structure and petrochemistry of the Reykjadalur central volcano and the surrounding areas, Midwest Iceland. Doktorsritgerð. Háskólinn í Durham.
4. McDougall, I., Kristján Sæmundsson, Haukur Jóhannesson, Watkins, N.D. & Leó Kristjánsson 1977. Extension of the geomagnetic polarity time scale to 6.5 m.y.: K-Ar dating, geological and paleomagnetic study of a 3,500-m lava succession in western Iceland. Geological Society of America Bulletin 88. 1–15.
5. Khodayar, M. 1999. On the pattern of faults and dykes in Borgarfjörður, W-Iceland. Jökull 47. 21–44.
6. Khodayar, M. og Páll Einarsson 2004. Reverse-slip structures at oceanic diverging plate boundaries and their kinematic origin: data from Tertiary crust of west and south Iceland. Journal of Structural Geology 26. 1945–1960.
7. Kristján Sæmundsson 1967. An outline of the structure of SW-Iceland. Iceland and Mid-Ocean Ridges 38. 151–161.
8. Haukur Jóhannesson 1980. Jarðlagaskipan og þróun rekbelta á Vesturlandi. Náttúrufræðingurinn 50. 13–31
9. Moorbath, S., Haraldur Sigurðsson & Goodwin, R. 1968. K-Ar ages of the oldest exposed rocks in Iceland. Earth and Planetary Science Letters 4. 197–205.
10. Friðgeir Grímsson 2002. The Hreðavatn Member of the Hreðavatn-Stafholt Formation and its fossil flora. Óbirt kandídatsritgerð. Háskólinn í Kaupmannahöfn. 219 bls.
11. Haukur Jóhannesson 1982. Yfirlit um jarðfræði Snæfellsness. Árbók Ferðafélags Íslands 1982. 151–174.
12. Army Map Service 1949. A.M.S. series C762. Sheet 5521 III. Hjarðarholt, Iceland, Mýrasýsla, 1:50,000. Washington, D.C.
13. Haukur Jóhannesson & Einar Gunnlaugsson 1979. Jarðhitakönnun fyrir Bifröst í Norðurárdal, Mýrasýslu. Jarðfræðikort af utanverðum Norðurárdal, Mýrasýslu. Orkustofnun Reykjavík. OS79027/JHD11.
14. Königer, S. & Stollhofen, H. 2001. Environmental and tectonic controls on preservation potential of distal fallout ashes in fluvio-lacustrine settings: the Carboniferous-Permian Saar-Nahe Basin, south-west Germany. Í: Volcanoclastic sedimentation in lacustrine settings. White, J.D.I & Riggs, N.R. (ritstj.). Bls. 263–284.
15. Reading, G.H. (ritstj.) 1996. Sedimentary Environments: Process, Facies and Stratigraphy. Blackwell Science. 3 útgáfa. 688. bls.

Um höfundinn

Friðgeir Grímsson (f. 1976) lauk BS-prófi í jarðfræði frá Háskóla Íslands vorið 1999, kandídatsprófi frá Kaupmannahafnarháskóla sumarið 2002 og doktorsprófi frá Háskóla Íslands í febrúar 2007. Friðgeir hefur aðallega fengist við rannsóknir á míósensetlögum og steingerðum plöntum frá Vestfjörðum og Vesturlandi, einkum með tilliti til þróunar flóru og loftslagsbreytinga.

Póstfang höfundar/Authors' addresses

Friðgeir Grímsson
fossil@hi.is
Raunvísindastofnun Háskólans
Öskju, Sturlugötu 7
IS-101 Reykjavík