

Notkun fínefna við mat á gæðum bergs til
mannvirkjagerðar

- 1. áfangaskýrsla -

Sigurveig Árnadóttir

Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins
Janúar 2007

Formáli

Skýrsla þessi er hluti MS verkefnis og var unnin á Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins og í Háskóla Íslands fyrir styrk úr Rannsóknasjóði Vegagerðarinnar. Umsjónarmaður verkefnisins á Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins er Pétur Pétursson og tengiliður á Vegagerðinni er Gunnar Bjarnason. Leiðbeinendur MS verkefnisins eru Sigurður Steinþórsson og Níels Óskarsson.

Efnisyfirlit

	Bls.
Ágrip	4
1. Inngangur	5
1.2. Rannsóknir á byggingarefnum	7
2. Ummyndun.....	8
2.1. Leir	10
2.2. Áhrif ummyndunar.....	13
2.3. Berggreining.....	14
2.4. Rannsóknir á Berggreiningarkerfi Rb	17
3. Sýni	18
3.1. Fín korn (<0,063 mm)	20
3.2. Gróf korn (8-11,2 mm).....	20
4. Aðferðir	22
4.1. Glæðitap	22
4.1.a. Glæðing fínu kornanna.....	23
4.1.b. Glæðing grófu kornanna	23
4.2. Litgreining	23
4.2.a. Litgreining fínu kornanna.....	24
4.2.b. Litgreining grófu kornanna	26
4.3. Efnagreiningar.....	26
4.3.a. Efnagreining fínu kornanna.....	26
4.3.b. Efnagreining grófu kornanna	27
5. Niðurstöður	28
5.1. Glæðitap	28
5.2. Rakaupptaka	30
5.3. Heildarvatnsinnihald	32
5.4. Litgreining	33
5.5. Efnagreiningar.....	35
6. Samantekt.....	40
7. Framhald	41
Heimildaskrá	43
Myndaskrá.....	47
Töfluskrá	49
Viðauki I:	Efnagreiningatafla
Viðauki II:	Glæðitaps- og rakadrægnotafla
Viðauki III:.....	Glæðitapsferlar
Viðauki IV:	Rakadrægiferlar

Ágrip

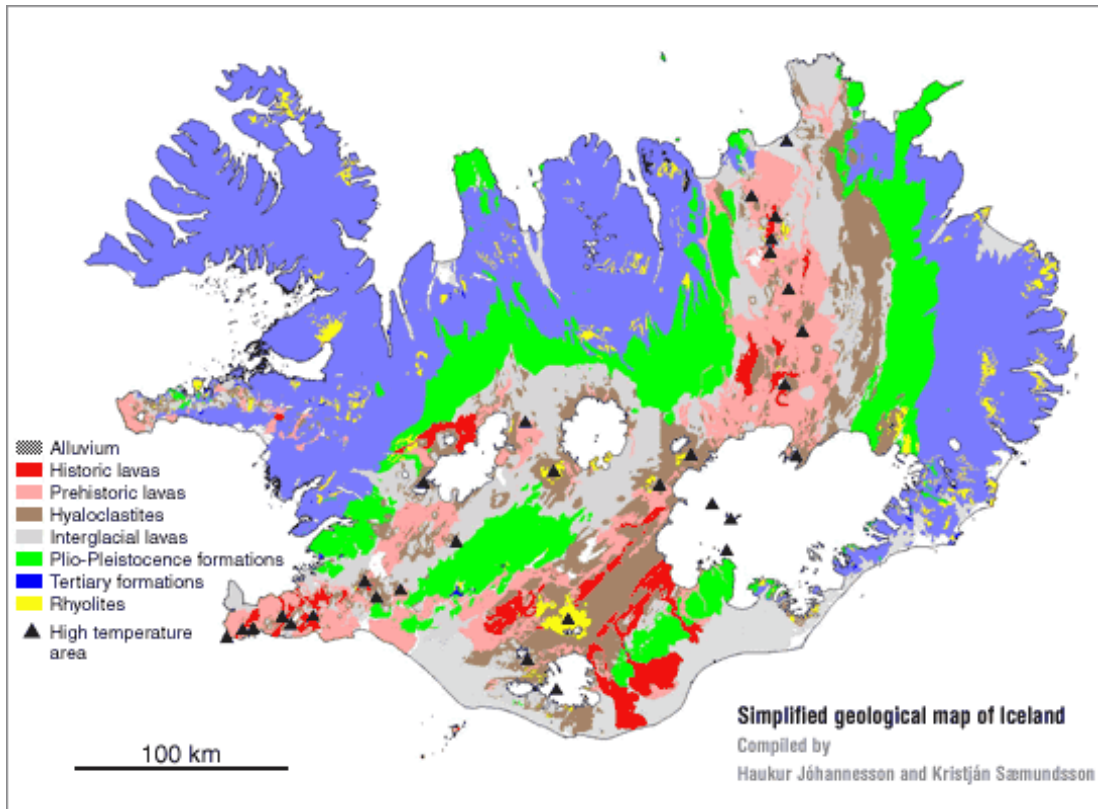
Þekkt er að ummyndun og veðrun hafa slæm áhrif á endingu steinefnis sem notað er til mannvirkjagerðar. Ummyndunar- og veðrunarstig er ákvarðað með berggreiningu sem gerð er skv. Berggreiningakerfi Rannsóknastofnunar byggingariðnaðarins. Það er fljótleg og ódýr aðferð sem veitir upplýsingar um samsetningu og eiginleika efnisins og er eina prófið sem tekur tillit til misleitni þess. Vandamál er hins vegar að mörkin milli ummyndunarflokka eru óljós auk þess sem ekki er gerður greinarmunur á gerð ummyndunarsteinda. Markmið þessa verkefnis er fyrst og fremst að setja saman skilvirkari berggreiningu sem metur notkunareiginleika á magnbundinn hátt. Áhersla verður lögð á að skerpa skilin milli 2. og 3. gæðaflokks berggreiningakerfisins. Markmiðið er enn fremur að öðlast skilning á hinum mældu breytistærðum sem rekja má til upphafssamsetningar og ummyndunarstigs efnisins, og jafnframt því að meta hvaða próf lýsa ummyndun efnisins best. Unnið verður með tvo sýnahópa; annars vegar fín korn (<0,063 mm, 21 sýni) og hins vegar gróf korn (8-11,2 mm, 6 sýni). Öll efnin nema eitt eru úr Steinefnabanka BUSL og hafa gengist undir ótalmargar prófanir og hafa því þekkta eiginleika. Í þessari skýrslu er sagt frá litgreiningu, glæðitapi, rakaupptöku og efnagreiningu fínu kornanna. Helstu niðurstöður eru þær að mjög sterk fylgni er milli glæðitaps og rakaupptöku, en það er afleiðing af því að ummyndunarsteindir eru rakadrægari en frumsteindir. Þegar heildarvatnsinnihald (glæðitap við 700°C + rakaupptaka við 10°C) er borið saman við Methylene Blue gildi, frostþol og lit fæst sterk fylgni og í öllum tilfellum eru innan við 1% líkur á að sambandið sé tilviljun. Í næsta áfanga verkefnisins verða grófu kornin flokkuð í smáa flokka eftir ummyndunarstigi, þannig að í hverjum flokki verði einungis korn sem eru „eins.“ Kornin í hverjum flokki verða síðan mulin og prófuð á svipaðan hátt og fínu kornin. Þannig fást upplýsingar um hvað lesa má í víðsjá um eiginleika þess og gæði til mannvirkjagerðar. Vonast er til að sú vitneskja komi að góðum notum við að skerpa skilin milli 2. og 3. gæðaflokks Berggreiningakerfis Rb. Þar sem nokkuð er af líparíti í flestum sýnunum (þ.e. grófu kornunum) er vonast til að rannsóknirnar gefi ágætis upplýsingar um eiginleika líparíts og nýtist ef til vill til að endurskoða gæðaflokkun þess.

1. Inngangur

1.1. Íslenskt byggingarefni

Efni, sem notað er til mannvirkjagerðar hér á landi, er ýmist malað berg eða laus jarðlög (set). Malaða bergið er notað í mun minna mæli þó það sé yfirleitt betra efni, en það er dýrara í framleiðslu. Það er einsleitt og yfirleitt ferskt eða lítið ummyndað, þétt basalt (sem er mjög ákjósanlegt) og auk þess er löggun og kýlni kornanna önnur en setkorna. Lausu jarðlögin eru hins vegar oft mjög misleit og iðulega samsett úr mörgum bergtegundum. Kornastærðadreifing þeirra er misjöfn og getur jafnvel verið mismunandi eftir því hvar í námunni efnið er tekið. Ef hlutfall fínefnis er of hátt þarf að þvo setið, og stundum þarf að mala það og harpa. Í vegagerð fer vinnslustig sets eftir því í hvaða hluta vegarins það er notað. Fyllingarefni er oft notað að mestu óunnið. Styrktarlagsefni er oftast malað að einhverju leyti og burðarlagsefni, auk slitlagsefna, er nær undantekningalaust malað og harpað.

Uppruni allra lausra jarðlaga (nema gjósku, sem myndast við eldsumbrot) er berggrunnur landsins og eru þau yfirleitt orðin til við rof og veðrun hans. Eiginleikar þeirra eru því háðir gerð, samsetningu og ástandi íslensks bergs (Hreggviður Norðdahl 1998). Ísland er tiltölulega ung eyja á jarðfræðilegum tímaskala. Hún liggur á virkum úthafshrygg og er nær algjörlega byggð úr storkubergi. Tiltölulega fáar bergtegundir finnast hér og er basalt í yfirgnæfandi meirihluta. Jarðlagastaflanum er skipt í þrjár myndanir, tertíera (16-3 m.á.), pleistósen (ísöld, 3 m.á.-10.000 ár) og hólósen (nú tíma). Á tertíertímabilinu mynduðust elstu hlutar landsins (> 3 milljón ára). Þá hlóðust upp þykkar blágrýtishraunasyrpur í mörgum eldgosum og mynda þær undirstöðu landsins. Pleistósen-myndunin er yngri og henni tilheyrir grágrýtishraun, móberg sem myndaðist undir jökli og jökul-, ár- og sjávarset. Nú tímamyndunin fylgir gosbeltum landsins. Þar eru hraunin ung og eldvirkni enn í gangi. 1. mynd sýnir jarðfræði Íslands á einfaldaðan hátt.



1. mynd: Jarðfræðikort af Íslandi. Blátt er tertíermyndunin, grænt er pleistósen - myndunin og grátt, bleikt og rautt eru yngstu hraunin.

Lausu jarðlögin urðu einkum til á síðastliðnum 10.000-13.000 árum, þ.e.a.s. í lok síðasta jökulskeiðs. Þau hafa margbreytilega kornastærðadreifingu og byggingarlag en þessi atriði eru háð því umhverfi sem jarðlögin hlóðust upp í. Þrenns konar setmyndunarumhverfi voru mest áberandi í lok síðasta jökulskeiðs: jöklar, fallvötn og strendur og grunnsævi. Kornastærðir efna, sem settust til í fallvötnum, ströndum og grunnsævi, eru vel aðgreindar þar sem kraftur vatnsins ræður því hversu gróft efni það getur borið. Jöklar bera hins vegar með sér allt sem á vegi þeirra verður, hversu grófkorna sem það er. Lítt aðgreind efni hlóðust því upp við jöklana (Hreggviður Norðdahl 1998).

Upphleðsla lausra jarðlaga í lok síðasta jökulskeiðs var margfalt hraðari en hún er nú. Jöklar voru að bráðna og jökulár því vatnsmeiri og báru meira efni fram en nú. Strendur landsins voru um 40-100 m ofar en þær eru nú. Aðgreint set á landi frá þessum tíma er því helst að finna af svæðinu milli brúnar meginjökulsins á síðjökultíma og núverandi strandar landsins (Hreggviður Norðdahl 1998).

1.2. Rannsóknir á byggingarefnum

Þegar byggingariðnaður á Íslandi fór vaxandi fóru að koma fram kröfur um staðlað byggingarefni og bætur í byggingatækni. Í kjölfarið var Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins stofnuð árið 1965 undir Háskóla Íslands. Steinefnanefnd var sett á laggirnar árið 1983 og gerði miklar rannsóknir á eiginleikum íslenskra steinefna. Verksvið nefndarinnar tengdist einkum prófunum á steinefnum í bundin slitlög og kröfum til steinefna í því sambandi.

Ýmsir hafa spáð í bergfræði með tilliti til hagnýtingar steinefna. Til dæmis vann Haraldur Ellingsen (1961) námsritgerð við Háskóla Íslands um vinnslu jarðefna á Íslandi. Sigurður Steinþórsson (1966) lýsti efnun frá Rauðamel, Guðmundur Sigvaldason (1969) skoðaði bergfræði steypuefnis frá Búrfellssvæðinu, Helgafelli og Smárahvammi og Elsa G. Vilmundardóttir (1978, 1979) lýsti námuefni frá Núpum og Hvalfjarðareyri. Hildur Jóna Gunnarsdóttir (1991) fjallaði um steindafræði og efnafræði fimm íslenskra byggingarefna; frá Akurey, Esjubergi, Grjóteyrahæðum, Melum og Núpum.

Enn fremur hefur bergfræði steinefna verið skoðuð í þeim tilgangi að flokka og meta gæði þeirra. Stokes (1971) athugaði dreifingu klórófeits í basalti vegna gruns um að það ætti þátt í steypuskemmdum. Í Ástralíu komst Wylde (1976) að því að steindasamsetning, vefta og jarðsaga steinefnis hefur úrslitaáhrif á endingu þess. Hreinn Haraldsson (1984) gerði próf á mismunandi eiginleikum ýmissa berggerða þar sem sýnin voru einsleit. Niðurstöðurnar sýndu að eiginleikar íslenskra steinefna eru nátengdir bergfræði þeirra. T.d. minnkar styrkur, slitþol og ending með aukinni ummyndun en auk þess hafa blöðrur í steinefni áhrif á endingu slitlags. Þorgeir Helgason (1981) skrifaði um alkalívirkni íslenskra bergtegunda. Gunby (1986) skoðaði sýni úr tveimur basaltmyndunum sem notaðar voru til vegagerðar í Færeyjum og komst að því að það sýni, sem var ríkara af ummyndunarsteindum, blöðrum og sprungum, entist verr.

2. Ummyndun

Frumsteindir verða til um leið og bergið sem þær finnast í. Síðsteindir verða hins vegar til eftir að bergið myndaðist. „*Þau ferli sem leiða til myndunar síðsteinda nefnast efnahvarfaveðrun, ummyndun og myndbreyting. Efnahvarfaveðrun verður á yfirborði jarðar, ummyndun í efstu lögum jarðskorpunnar þar sem grunnvatnsstreymi á sér stað, og myndbreyting á meira dýpi.*” (Stefán Arnórsson 1997).

Við efnahvarfaveðrun eyðast frumsteindir á yfirborði jarðar vegna efnahvarfa við vatn og súrefni loftsins og síðsteindir myndast. Þetta gerist við lágan hita og þrýsting og á tiltölulega stuttum tíma. Það er einkenni á veðrunarsteindum að þær eru ókristallaðar eða illa kristallaðar og mjög smáar (Stefán Arnórsson 1997). Við ummyndun eyðast frumsteindir að hluta eða öllu leyti fyrir áhrif efnahvarfa þeirra við grunnvatn og síðsteindir myndast við útfellingu úr vatninu. Þetta gerist við meiri hita og þrýsting en efnahvarfaveðrun, og á lengri tíma. Myndbreyting verður við umkristöllun í hinu fasta efni og felst ýmist í því að síðsteindir koma í staðinn fyrir upprunalegar steindir vegna efnahvarfa og hins vegar í endurkristöllun. Þetta gerist við háan hita og þrýsting og á milljón ára tímaskala.

Þeir þættir, sem ráða hvaða ummyndunarsteindir myndast, eru: framboð efna og efnainnihald vatnsins, hiti og þrýstingur, og lekt. Bergtegund skiptir því máli þar sem frumsteindirnar í berginu leysast upp og hafa þannig áhrif á það af hvaða efnum vökvinn verður ríkur og hvaða síðsteindir falla út úr honum.

Hiti og vökvi hafa úrslitaáhrif því að vökvi og hækandi hiti hvetja efnahvörfin. Eldvirkni og jarðhiti á Íslandi hafa valdið því að bergið hér hefur ummyndast staðbundið og mismikið. Steindir eru stöðugar við mismunandi hitastig og þar af leiðandi ræður hitinn því hvaða steindir myndast. Steindir endurspeglar því ákveðinn hita og hitinn endurspeglar ákveðin jarðfræðileg ferli.

Ummyndun verður þar sem vatn getur leikið um. Vatnið smýgur eftir hvers kyns holrýmum sem eru í berginu. Því gropnara sem bergið er þeim mun betra aðgengi hefur vatnið að berginu til að leysa upp steindir. „*Þannig getur þéttur miðhluti hraunlaga verið nánast ferskur meðan gjallkarginn efst í laginu er mikið ummyndaður og holufylltur.*” (Stefán Arnórsson 1997).

Síðast en ekki síst hefur tíminn áhrif á það hvert ummyndunarstigið verður. Þannig er oft mest eftir af frumsteindum í veðruðu bergi og oftast mikið í

ummynduðu bergi, en hins vegar er það einkenni á myndbreyttu bergi að allar frumsteindir eru horfnar. Yfirleitt eru þær steindir mest áberandi sem mynduðust þegar hitinn var hæstur.

Nánast allt berg á Íslandi er storkuberg að uppruna. Um 90% bergsins er basalt. Frumsteindir basalts eru ólivín, plagíóklas, pýroxen og járnóxíð. Aðstæður við kólnun kviku ráða því hversu vel steindirnar ná að kristallast. Við hraða kólnun storknar kvikan án þess að kristallast og verður að gleri en við hægari kólnun nær hún að kristallast betur.

Frumsteindir basalts og basaltglers ummyndast og veðrast mishratt. Steindirnar mynduðust við hátt hitastig (900-1100°C) og sumar þeirra djúpt í jörðu við mikinn þrýsting. Á yfirborði jarðar eru aðstæðurnar (hitastig, þrýstingur, lofttegundir) allt aðrar. Steindirnar eru því ekki lengur í jafnvægi og eru óstöðugar. Um leið og vatn kemst í snertingu við þær byrja þær að leysast upp. Almenna reglan virðist vera sú að þær steindir, sem kristallast við hæst hitastig, eru óstöðugar á yfirborði jarðar og eyðast því hraðast. Glerið leysist þó hraðast upp, þá ólivín, síðan pýroxen og loks plagíóklas. „*Stundum virðist járnóxíð ekki ummyndast en í öðrum tilfellum eyðist það með ólivíni og pyroxeni.*” (Stefán Arnórsson 1997).

Basaltmoli leysist þannig upp í vatni: H^+ jónir ganga úr vatninu og inn í bergið en katjónir og kísill í berginu leysast upp og ganga út í vatnið. Slík efnaskipti fela í sér myndun veðrunarsteinda samfara útskolun ýmissa efna og upptöku vatns. „*Fyrir hverja jákvæða hleðslu sem fer úr bergi í lausn, verður ein jákvæð hleðsla að fara úr vatni í berg ... H^+ jónirnar koma frá klofnun kolsýru (H_2CO_3) og kísilsýru (H_4SiO_4) er þær brotna niður.*” (Sigurður R. Gíslason og Stefán Arnórsson 1988).

Steind byrjar að ummyndast þar sem vatn kemst í snertingu við hana, meðfram jöðrum hennar og veikleikafötum og þaðan inn að miðju. Vatnið leysir upp frumefni steindarinnar þannig að rásir eða holur myndast í hana. Í þær setjast ummyndunarfasar (Þorbjörg Hólmgeirsdóttir 1998).

Helstu ummyndunarsteindir í íslensku bergi eru: kvars, kalsedón, kalsít, leirsteindir, zeólítar, klórít, epidót, prehnít, pýrít og önnur súlfíð, anhýdrít, járnóxíð og hýdroxíð. Helstu leirsteindir eru kaolinít, smektít, klórít og seladonít.

Iddingsít eða bowlingít er ummyndunarfasi ólivíns og er samsafn fínkorna steinda, s.s. goethíts, smektíts, klóríts, kísils, kalsíts, talks og períklas (Phillips &

Griffen 1981). Þegar gler ummyndast myndast í það hringlaga holur sem smektít sest í. Helstu ummyndunarfasar plagíóklass eru serisít, kalsít og kaólín leirsteindir. Ef bergið ummyndast nálægt yfirborði og vatnið er magnesíumríkt ummyndast plagíóklas yfir í smektít leirsteindir (Þorbjörg Hólmgeirsdóttir 1998). „Pýroxen ummyndast við svipaðar aðstæður og feldspöt, en hefur samt heldur minni tilhneigingu til ummyndunar en þau.” (Þorbjörg Hólmgeirsdóttir 1998). Helstu ummyndunarsteindir pýroxens eru leirsteindir og þá aðallega smektít en auk þess klórít og límonít (brúnjárnsteinn) (Þorbjörg Hólmgeirsdóttir 1998). Klórít er ummyndunarafurð klínópýroxens.

Ummyndunarsteindir basalts eru nær allar eðlisléttari en frumsteindir þess. Ummyndun leiðir því til þess að holrými bergsins minnkar og bergið verður meira eða minna holufyllt. Þessi rúmmálsaukning vegna myndunar síðsteinda getur síðan kvarnað bergið og gert það laust í sér (Stefán Arnórsson 1997). Leirsteindir eru rúmmálsfrekustu ummyndunarsteindirnar (Hrefna Kristmannsdóttir 1978).

2.1. Leir

Í hugum jarðfræðinga hefur orðið leir tvær merkingar. Annars vegar kallast efni leir ef korn þess eru minni en 0,002 mm, og skiptir þar engu hver steindasamsetningin er. Hins vegar er talað um leir sem hóp steinda sem hafa samsetningu á ákveðnu bili og sérstaka kristalbyggingu. Merkingarnar tvær skarast gjarnan því að fínkorna hluti jarðvegs eða sets er oftast en ekki að miklu leyti úr leirsteindum.

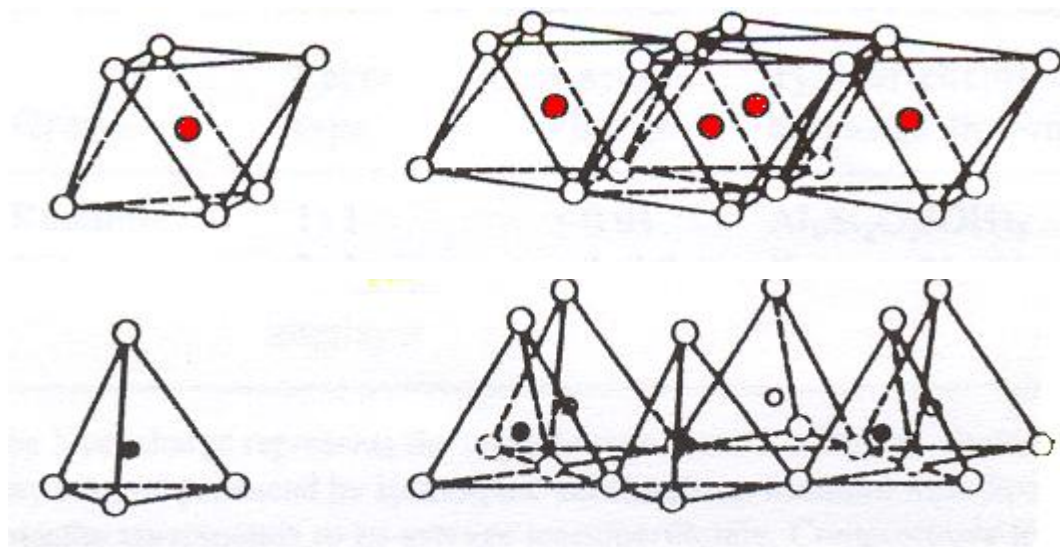
Leirsteindir geta myndast á öllum tímabilum í sögu bergs, allt frá því kvika storknar og þar til bergið er komið í návígi við súrefni andrúmsloftsins sem veldur veðrun þess (Kühnel & van der Gaast 1996). Samkvæmt Bain og Russell (1980, 1981), Bain o. fl. (1980), Cole og Sandy (1980), Eggleton o. fl. (1987) og mörgum fleirum finnast leirsteindir í öllu svokölluðu „fersku” basalti. Myndun steindanna er alltaf samspil bergtegundar og umhverfisaðstæðna. Sama berg getur því innihaldið mismunandi leirsteindir á meðan samskonar leirsteindir geta fundist í mismunandi bergi.

Leirsteindir almennt eru vötnuð álsilífköt og koma í stað basaltglers og ólivíns, pýroxens og plagioklass að hluta. Auk þess falla þær út í þorum og sprungum. Leirsteindir eru yfirleitt fínkorna og illa kristallaðar.

Leirsteindir eru lagsilífköt og grunneiningar þeirra eru tvenns konar lög (2. mynd).

Annað lagið er úr Al^{3+} , O^{2-} og OH^- jónum. Mg^{2+} og aðrar jónir geta þó komið í stað Al^{3+} að hluta. Neikvæðu jónirnar mynda áttflötung um jákvæðu jónirnar og fylla síðan upp í afgangssætin (fjöldi þeirra ræðst af því hve mikið pláss er eftir). Samliggjandi áttflötungar deila með sér O^{2-} og OH^- jónum þannig að byggingin er óslitin. Þetta mynstur er nákvæm eftirmynd af byggingu gibbsíts og er lagið því oft kallað gibbsítlagið.

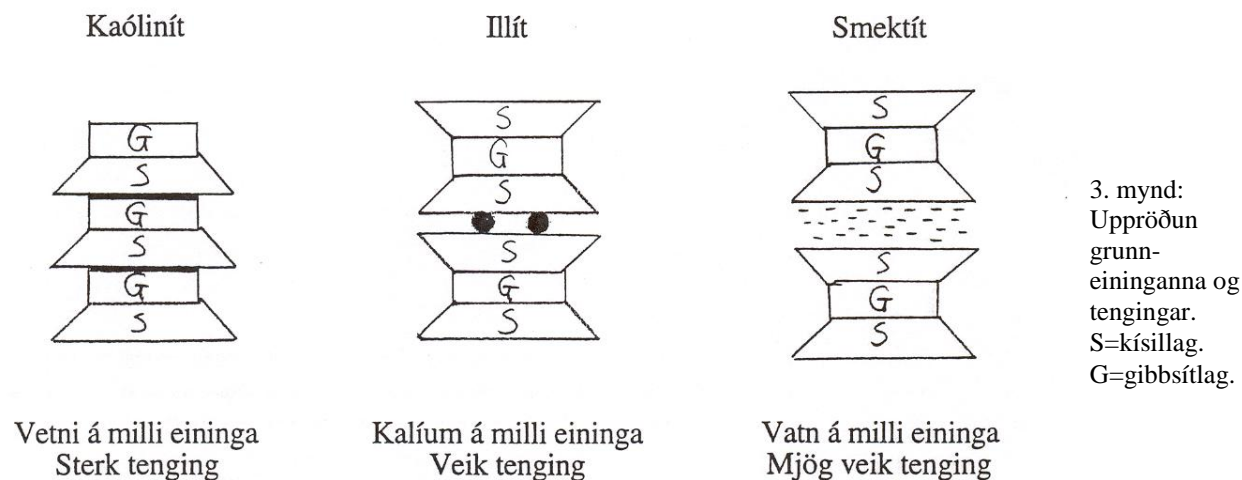
Hitt lagið er byggt úr Si^{4+} , O^{2-} og OH^- jónum. Súrefnisjónirnar mynda ferflötunga um kísiljónirnar. Ferflötungarnir snúa allir eins þannig að súrefnin á botnum þeirra tengja þá saman og mynda sexhyrninga. Þetta lag er oft kallað kísillagið.



2. mynd:
Grunneiningar leirsteinda.
Ofar: gibbsítlag (ál/magnesíum-jónir eru rauðar).
Neðar: kísillag (kísiljónir eru svartar).

Gibbsít- og kísillögin eru eins og áður segir grunneiningar leirsteinda. Þau geta raðast á mismunandi vegu og ræðst heildarsamsetning leirsins af þeirri röðun. Leirsteindum má síðan skipta í þrjá flokka eftir röð laga: smektít, illít og kaólinít

Kaólinít hefur einföldustu röðunina (sjá 3. mynd). Þar deila gibbsít- og kísillögin súrefnisjónum og tengjast þannig. Í smektíti er gibbsítlagið á milli tveggja kísillaga. Talað er um að kaólinít sé 1:1 lagsilíkat en að smektít sé 2:1 lagsilíkat. Leirsteindir, sem hafa byggingu smektíts og gnótt K^+ jóna, kallast illít.



Í öllum flokkum er tilhneiging til breytilegrar efnasamsetningar (Þorbjörg Hólmgeirsdóttir 2000) og vanalega finnast leirsteindir ekki í hreinu formi heldur sem blöndur þar sem aðalþættirnir eru háðir berggerð, hitastigi, raka og tíma. Þetta felst einkum í breytilegri samsetningu jákvæðra jóna (yfirleitt Al^{3+} , Mg^{++} , Fe^{++} , Fe^{3+} , K^+ , Na^+ og Ca^{2+}). Efnasamsetning kaóliníts nálgast alltaf kjör-efnaformúluna en samsetning smektíts getur verið á breiðu bili.

Kaólinít hefur sterka tengingu milli laga, illít veika tengingu og smektít mjög veika. Lög smektíts klopna því auðveldlega í sundur og ýmsar jónir geta komið sér fyrir milli laganna. Vatn kemst líka auðveldlega milli laga, og sambland vatns og katjóna getur þvingað lögina í sundur þannig að leirinn þenst út (Krauskopf og Bird 1995). En vatnið er laust bundið og því skila steindirnar því þegar umhverfið þornar.

Nokkrar aðrar steindir, sem myndast við veðrun eða ummyndun nálægt yfirborði, má flokka sem leirsteindir. Sem dæmi má nefna vermikulít, glákonít, serpentín og klórít. Serpentín og klórít myndast við lághita jarðhitaummyndun basíssks og útbasíssks bergs en geta auk þess hugsanlega myndast, a.m.k. í litlu magni, við langtíma veðrun við yfirborðs hitastig (Krauskopf og Bird 1995). Í klóríti eru það málmjónir (Mg og Al) sem tengja saman kísil- og gibbsítlögin. Þær eru bundnar OH^- jónum og tengjast lögnum vel. Klórít getur ekki skipt jónum við umhverfið og þenst þar af leiðandi ekki út.

Rannsóknir á ummyndun bergs hafa leitt í ljós að dreifing leirsteinda er beltaskipt eftir dýpi og jarðhita. Þannig myndast smektít efst við lægstan hita, þá blandlagsleir og neðst er klórít (m.a. Hrefna Kristmannsdóttir 1979).

2.2. Áhrif ummyndunar

Það er vel þekkt að ummyndað og veðrað basalt reynist oft illa sem steinefni í mannvirkjagerð. Því til stuðnings má nefna að ummyndað steinefni brotnar mikið niður í frostþolsprófum en ferskt efni lítið (Pétur Pétursson 1998). Lélegt frostþol lýsir sér meðal annars í auknu niðurbroti efnisins. Rannsóknir hafa tengt hina slæmu endingu við smektítsteindir í basaltinu (Scott 1955, Van Atta & Ludowise 1976, Wylde 1976, Van Rooy 1991, Lagerblad & Jacobsson 1997). Endurteknar rakasveiflur valda því að smektítið þenst út og dregst saman á víxl. Þetta veldur þrýstingi sem með tímanum leiðir til sprungumyndunar í steinefni og veikir það. Jafnframt auðvelda sprungurnar vatni aðgengi að efninu (Þorbjörg Hólmgeirsdóttir 1998).

Ýmsir hafa rannsakað tengsl ummyndunar og slæmrar endingar steinefnis. Hjá Hreini Haraldssyni (1986) kemur fram að ferskt, þétt basalt er best af þeim efnum sem þar voru prófuð. Ferskt, blöðrótt basalt kom einnig mjög vel út þó að slit- og höggstyrkur væri nokkru lægri en í þetta basaltinu. Enn fremur kom fram að því ummyndaðra sem bergið er þeim mun lélegra er það. Mjög ummyndað berg hefur mjög lítið veðrunarþol, lítinn slit- og höggstyrk og litla viðloðun við vegolú.

Kühnel o.fl. (1994) sýndu fram á að leirsteindir valda oft miklum skemmdum á mannvirkjum og bentu m.a. á mikilvægi þess að nota viðeigandi rannsóknaraðferð við að meta hlutfall og gerð leirsins í hverju tilviki fyrir sig.

Edda Lilja Sveinsdóttir og Gísli Guðmundsson (1995) könnuðu áhrif berggerðar á styrk steinsteypu og rannsökuðu hvort mismunandi berggerðir hafi mismunandi frostþol og hver áhrif yfirborðsáferðar steinefnis og lögunar þess séu. Niðurstöðurnar bentu til þess að hrjúf og köntótt korn bindast betur við sementsefjuna en ávöl og slétt korn. Steinefnin voru prófuð með frostþolsprófi Steinefnanefndar, og þau sem höfðu mest af efni í 3. gæðaflokki brotnuðu mest niður. Niðurstöðurnar voru að magn efnis í 3. flokki gefur frekar upplýsingar um væntanlegt frostþol efnisins en magn efnis í 1. gæðaflokki. Þau benda þó á að aðaláhrifavaldurinn um frostþol steypunnar sé ástand sementsefjunnar því að litlu máli skipti hver gæði fylliefnisins eru ef frostþol hennar er lítið.

Atli Karl Ingimarsson (1997) notaði Methylene blue prófunaraðferðina til þess að rannsaka hlutfall leirsteinda í steinefnum. Hann bar samanlagða ummyndunarprósentu skv. berggreiningu við Methylene blue prófanirnar og fékk

ekki góða fylgni á milli gildanna. Betri fylgni fékkst milli frostþols og Methylene blue gildis.

Í umfangsmiklu samvinnuverkefni um niðurbrot steinefna (Pétur Pétursson 1996) var sýnt fram á að öfug fylgni er á milli ummyndaðs og mjög ummyndaðs basalts og frostþolsstuðuls. Ályktað var að niðurstöður úr styrkleikaprófum ráðist að mestu af blöðrum í efninu en veðrunarþol ráðist að mestu af ummyndunarstigi efnisins.

Niðurstöður Þorbjargar Hólmgeirsdóttur (1999) sýna að blálitun þunnisneiða (Methylene blue) og glæðing steinefna geti verið hentugar aðferðir við að greina ummyndunarsteindir og meta magn þeirra og dreifingu í basísku steinefni.

Þorbjörg Hólmgeirsdóttir (2000) útfærði aðferðirnar tvær (blálitun og glæðingu) nánar og bar niðurstöðurnar saman við frostþol. Hún komst að því að samband er milli blágildis og glæðitaps en það sýnir að bæði prófin mæla hlutfall þenjanlegra leirsteinda og eru samkvæmt fyrri rannsóknum mælikvarði á slíkt hlutfall. Niðurstöðurnar sýndu enn fremur að fylgni er á milli frostþols og blágildis og að vísbendingar eru um tengsl frostþols og glæðitaps.

2.3. Berggreining

Ummyndunarstig steinefnis er ákvarðað með berggreiningu. Hún byggist á því að efnið er skoðað í víðsjá og flokkað eftir ytra útliti, þ.e.a.s. eftir berggerð, þéttleika og ummyndun (ummyndun er notuð sem samheiti bæði yfir veðrun og ummyndun). Við flokkunina er stuðst við berggreiningarkerfi Rannsóknastofnunar byggingariðnaðarins en það kerfi á sér langa sögu sem hófst með lauslegum berggreiningum sem voru hluti af námukönnun Atvinnudeildar Háskólans, forvera Rannsóknastofnana atvinnuveganna. Lýsing á berggreiningu sem prófunaraðferð var samin árið 1979 eftir að ákveðið hafði verið að vinna að betra samræmi í berggreiningu. Kerfið var gefið út árið 1981 eftir nokkrar breytingar en þar var meðal annars tekin upp gæðaflokkun kornanna. Farið var að setja niðurstöður berggreininga í tölvuskra um áramótin 1982 og 1983 en til að það væri hægt hafði þurft að breyta kerfinu. Kerfið var aftur gefið út árið 1989 og lýsir sú útgáfa í meginatriðum þeim aðferðum sem notaðar höfðu verið frá 1983 (Þorgeir S. Helgason og Guðmundur H. Guðfinnsson 1989). Árið 1996 voru

gerðar endurbætur á kerfinu og það lagað að evrópskum staðli með það að markmiði að auka áreiðanleika berggreiningar sem prófunaraðferðar (Þorgeir S. Helgason 1996). Árið 2000 voru gefnar út leiðbeiningar Efnisgæðanefndar við staðalinn ÍST EN 932-3:1996 (Þorgeir S. Helgason o.fl. 2000).

„Tilgangur berggreiningar er fyrst og fremst að ákvarða berggerð og kornalögun steinefnis, en það er fyrsti áfangi að mati á gæðum þess til mannvirkjagerðar.“ (Þorgeir Helgason og Guðmundur Guðfinnsson 1989). Berggreining fer þannig fram að eftir þvott og sigtun efnisins eru u.þ.b. 200 korn af ákveðinni stærð skoðuð í víðsjá. Fyrst er lögun kornanna greind og síðan eru þau brotin með hamri, til að hægt sé að skoða fersk brotsár þeirra, og flokkuð eftir bergtegund, ummyndun, þéttleika og öðrum einkennum. Við slíka greiningu er hægt að nota korn sem eru stærri en 4 mm en þægilegast er að kornin séu á bilinu 5,6-11,2 mm. Ef efnið er mjög fíngert eru kornin (< 4 mm) steipt í þunnsneiðar og skoðuð í bergfræðismásjá.

Þau korn, sem flokkast fersk eða lítið ummynduð, fara í fyrsta gæðaflokk. Þetta eru korn sem virðast laus við ummyndun á frumsteindum og glerfasa eða hafa ummyndast það lítið að það er ekki talið hafa áhrif á eiginleika efnisins. Ólivíndílar geta verið dökkir og rauðleitir en ekki orðnir að leirsteindum. Ummynduð korn fara hins vegar í annan flokk. Þau eru farin að breyta um lit og ólivíndílar orðnir að leirsteindum. Algengt er að allar blöðrur séu fylltar af zeolítum, leirsteindum, kvasi o.s.frv. Mjög ummynduð korn fara í þriðja gæðaflokk. Þau einkennast af því að hiti hefur verið nógu hár til að bæði plagioklas og pýroxen hafa ummyndast. Ef mjög mikill leir er í korni er það yfirleitt grautlint og hnoðast undir hamri. Tafla 1 sýnir gæðaflokka algengustu bergbrigða til mismunandi nota.

Heiti	Gæðaflokkar		
	Steypa	Slitlag	Burðarlag
Basalt-ferskt-þétt	1	1	1
Basalt-ferskt-blöðrótt	1	2	1
Basalt-ferskt-mjög blöðrótt	2	3	3
Basalt-ummyndað-þétt	2	2	2
Basalt-ummyndað-blöðrótt	2	2	2
Basalt-mjög ummyndað-þétt	3	3	3
Andesít-ferskt-þétt	2	1	1
Andesít-ummyndað-þétt	2	2	2
Líparít-ferskt-þétt	2	2	2
Líparít-ummyndað-þétt	2	2	2
Móberg	3	3	3
Setberg	3	3	3

Tafla 1: Algengustu bergbrigði flokkuð skv. Berggreiningakerfi Rb.

Holufyllingar	3	3	3
Skeljabrot	2	2	2
Basaltgler-ferskt-þétt	3	3	2
Gjall	3	3	3
Vikur	3	3	3
Díabas-ferskt-þétt	1	1	1
Díabas-ummyndað-þétt	2	2	2
Granófýr-ferskt-þétt	2	1	1
Granófýt-ummyndað-þétt	2	2	2
Gabbró-ferskt-þétt	2	1	1
Gabbró-ummyndað-þétt	2	2	2
Ýmis korn (góð og meðal)	2	2	2

Tafla 1, frh.

Gæðaflokkunin er byggð á áralangri reynslu. Skýrt er tekið fram að aðeins sé um að ræða leiðbeinandi mörk en ekki nákvæma skilgreiningu á gæðum efnisins.

Berggreining er fljótleg og ódýr og veitir upplýsingar um samsetningu steinefnis. Hlutfall lélegra bergtegunda samkvæmt berggreiningu gefur vísbendingu um hvort ástæða sé til að varast efnið eða hvaða prófanir eru nauðsynlegar í framhaldinu til að staðfesta gæði þess. Greiningin lýsir misleitni efnisins og stendur að því leyti hefðbundnum prófunaraðferðum frammar (Ásbjörn Jóhannesson og Pétur Pétursson 2001). Vandamál er hins vegar að ósamkvæmni hefur gætt bæði við endurteknar greiningar og á milli manna. „Þessi ósamkvæmni er að miklu leyti vegna þess að lýsingar á berggerðum hafa verið ófullnægjandi.” (Hildur Jóna Gunnarsdóttir 1988). Steinefnanefnd (1988) kannaði áreiðanleika berggreininga sama manns. Í ljós kom að mesta staðalfrávik milli manna er 15% en 6% þegar um endurteknar greiningar sama manns er að ræða. Þorgeir S. Helgason o.fl. (2000) segja afar ólíklegt að ef tveir eða fleiri berggreini samskonar eða sama sýni fái þeir algerlega samhljóða niðurstöður. Þar hefur m.a. áhrif misjöfn leikni berggreinenda og einnig sú staðreynd að tilviljun ræður hvaða korn eru tekin til skoðunar. Þannig eru því meiri líkur á að berggreining gefi rétta mynd af sýninu sem kornin eru fleiri. Árið 2001 var gerð athugun á nákvæmni berggreininga gerðum í samræmi við ÍST EN 932-3:1996 og leiðbeiningar Efnisgæðanefndar (Ásbjörn Jóhannesson og Pétur Pétursson 2001). Þar kemur fram að nákvæmni greininga í undirflokkum er ófullnægjandi og núverandi gæðaflokkum því byggð á veikum grunni.

Þar sem ummyndun ræður miklu um endingu steinefnis og berggreining er ódýr og fljótleg væri eftirsóknarvert að geta greint ummyndað berg nákvæmar en nú er gert. Vandamálið liggur ekki eingöngu í ósamkvæmni milli manna heldur eru mörkin milli ummyndunarflokka óljós auk þess sem ekki er gerður

greinarmunur á gerð ummyndunarsteinda. Við venjulega skoðun á bergi í handsýni er oft ekki mikill útlitsmunur á lítið ummynduðu bergi eftir því hvort það inniheldur smektít eða klórít. (Edda Lilja Sveinsdóttir o.fl. 1999). Enn fremur, að slepptri ósamkvæmni milli manna, er oft gæðamunur á efni frá námum sem greindar hafa verið í svipaða ummyndunarflokkum (Hildur Jóna Gunnarsdóttir 1988). Ekki er heldur sannfærandi samband milli gæðaflokkunar samkvæmt berggreiningu annars vegar og tæknilegra eiginleika (s.s. mælinga á slitþoli, þoli gegn höggáraun og styrk) hins vegar. „Þessi reynsla er túlkuð á þann veg að áhrif ýmissa bergfræðilegra eiginleika, s.s. einstakra ummyndunarsteinda, á gæði efnisins séu óþekkt og að greiningarhæfni víðsjárinnar sé ekki nægjanleg.” (Þorbjörg Hólmgeirsdóttir 1999).

2.4. Rannsóknir á Berggreiningarkerfi Rb

„Við gæðamat steinefna telja sumir (m.a. Hartley, 1974) að nota beri vel skilgreinda berglýsingu korns í stað þess að byggja á tæknilegum eiginleikum kornsins.” (Hildur Jóna Gunnarsdóttir 1988).

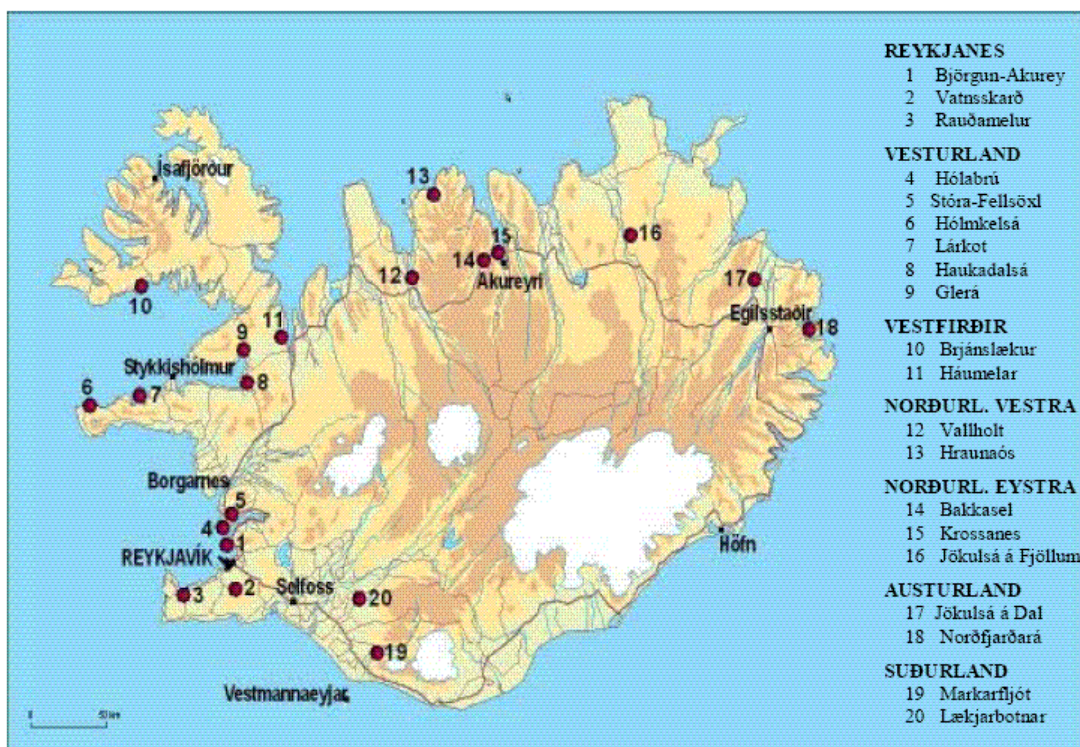
Hreinn Haraldsson (1986) komst að því að léleg efni samkvæmt berggreiningu koma illa út úr flestum prófum og dró þá ályktun að mjög náíð samband væri milli bergtegundar og tæknilegra eiginleika.

Hildur Jóna Gunnarsdóttir (1988) kannaði hvort hægt væri að berggreina nákvæmar og gera þannig berggreiningu áreiðanlegri prófunaraðferð en hún er nú. Hún komst að því að núverandi flokkun endurspeglar hlutfall ummyndunarsteinda en finna þurfi prófunaraðferð sem geti sagt til um gerð ummyndunarsteinda og hægt sé að nota jafnhliða hefðbundnum berggreiningum.

Edda Lilja Sveinsdóttir o.fl. (1999) könnuðu hvort hægt sé að greina þenjanlegar leirsteindir í ummynduðu basalti á einfaldan hátt og flokka þannig ummyndað basalt í „gott” og „slæmt” berg til mannvirkjagerðar. Þau komust að því að hefðbundin berggreining náí að aðgreina efni sem valda rýrnun í múrskýnum. Jafnframt töldu þau trúlegt að berggreining á ummyndun fylliefnis samhliða XRD-tegundagreiningu á leir gæfi bestu greiningu á ummyndun.

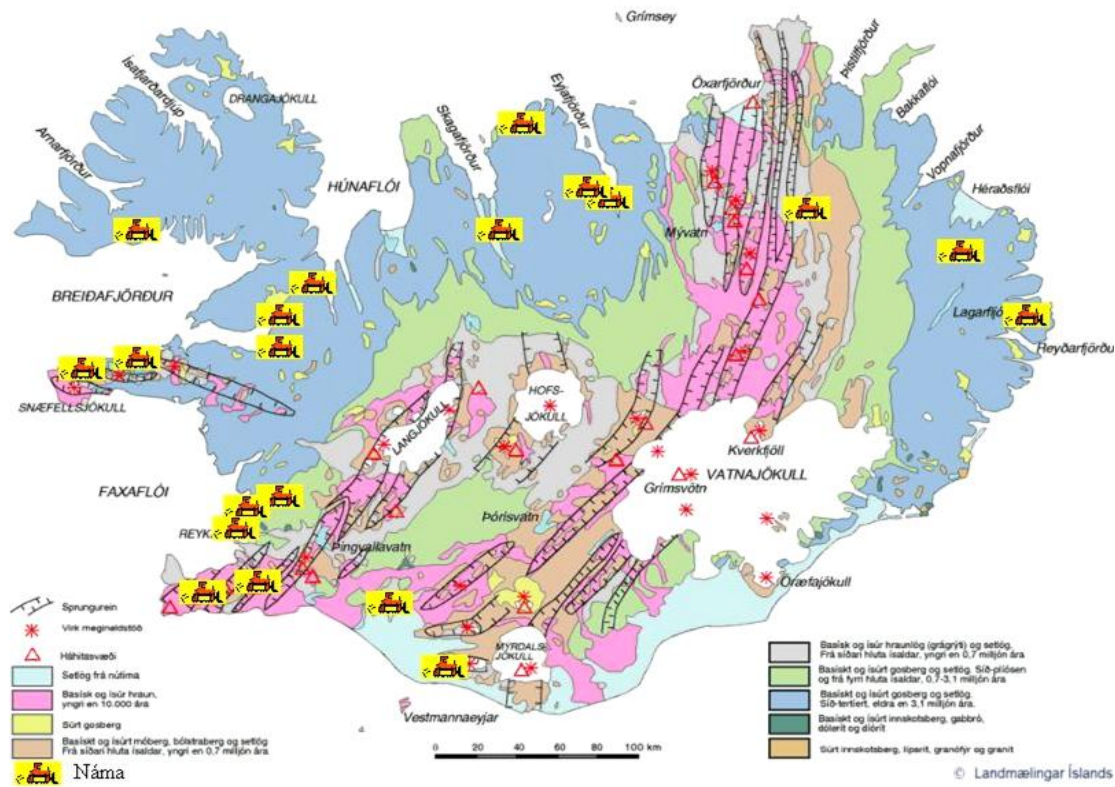
3. Sýni

BUSL (BURðarlög og SLitlög) er samstarf Vegagerðarinnar, Borgarverkfræðings, Rannsóknastofnunar byggingariðnaðarins og verkfræðideildar Háskóla Íslands og sér um fjölmörg rannsókn- og þróunarverkefni á sviði vega- og gatnagerðar. Samstarfið hófst árið 1994 og er verkefnum skipt í þrjá flokka: burðarlög, slitlög og efnisgæði. Efnisgæðanefnd hefur komið sér upp steinefnabanka sem í eru stór sýni af efra burðarlagsefni (0-25 mm) úr steinefnanámum víðs vegar að af landinu. Efnin voru valin með það að leiðarljósi að bergsamsetning (ferskleiki og groppa) væri sem fjölbreytilegust en uppistaða allra efnanna er basalt (Pétur Pétursson 1995). 4. mynd sýnir staðsetningu náma Steinefnabankans.

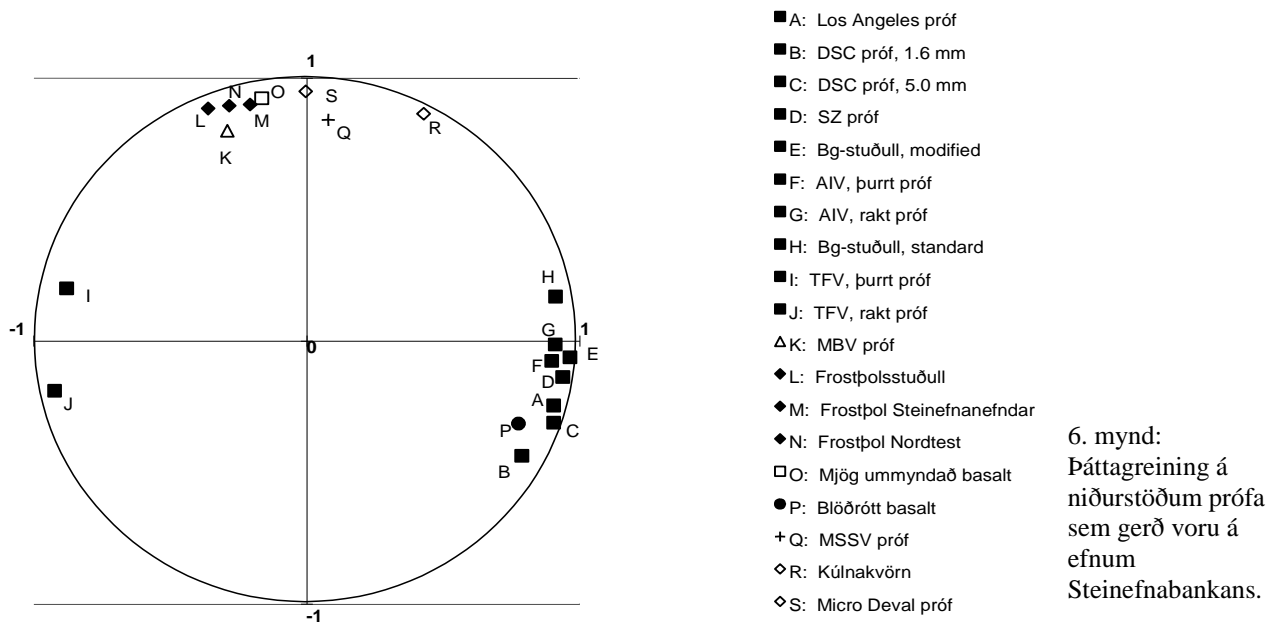


4. mynd: Staðsetning og nöfn náma Steinefnabankans.

5. mynd sýnir staðsetningu náma Steinefnabankans með tilliti til jarðfræðilegra aðstæðna.



Í BUSL-verkefninu „Niðurbrot steinefna” voru gerðar ýmsar prófanir á styrkleika, veðrunarþoli og slitþoli efnanna, nánar tiltekið: kornadreifing, kornarúþpyngd, berggreining, Los Angeles próf, „standard” Bg-stuðull, „modified” Bg-stuðull, hollenskt álagspróf, þýskur fallhamar, áhrif kornadreifingar á Bg-stuðul og frostpólsstuðull (lýsing á aðferðum er m.a. í Pétur Pétursson 1996). Gerð var þáttagreining á niðurstöðum prófanna og gefur hún á myndrænan hátt nokkuð góða mynd af því hvaða þættir eru tengdir og hvaða þættir eru óháðir. Í ljós kom að góð fylgni er milli gropu steinefnis og styrkleika annars vegar og ummyndunar og veðrunarþols hins vegar (Pétur Pétursson 1998). 6. mynd sýnir þáttagreiningu á niðurstöðum prófanna.



6. mynd:
Þáttgreining á
niðurstöðum prófa
sem gerð voru á
efnum
Steinefnabankans.

Efni úr steinefnabankanum eru notuð til rannsókna í þessu verkefni. Efnunum er skipt í tvo sýnahópa: Gróf korn og fín korn.

3.1. Fín korn (<0,063 mm)

Fínefni allra efna Steinefnabankans höfðu verið geymd og voru þau nýtt í þessu verkefni. Með fínefni er hér átt við efni sem smýgur 0,063 mm sigti. Korn af þessari stærð eru brot úr efninu sjálfu og hafa meðal annars brotnað þegar korn núast saman. Fínu kornin eru því brot úr yfirborði þeirra grófu. Vera má að fínasta kornastærðin sé sjaldnast einkennandi fyrir allt sýnið, en er þó án efa einkennandi fyrir yfirborð stærri korna. Hún gefur því mikilvægar upplýsingar um yfirborð korna og veðrunarkápu en yfirborðseiginleikar ráða einmitt miklu um rakadrægni.

3.2. Gróf korn (8-11,2 mm)

Átta efni Steinefnabankans eru nú upp urin og úr þeim sem eftir eru voru valin sex efni til rannsókna: Glerá, Háumelar, Lárkot, Haukadalsá, Markarfljót og Stóra-Fellsöxl. Efnin hafa verið sigtuð og kornastærðin 8-11,2 mm tekin frá til rannsókna. Við val efnanna var stuðst við berggreiningar á efnunum sem gerðar voru á árunum 1995-1996 (Pétur Pétursson 1996). Flest efnin, sem valin voru,

flokkast að stórum hluta í 2. gæðaflokk (þ.e. ummyndað basalt) en Markarfljót er ferskt. Tafla 2 sýnir helstu niðurstöður berggreininganna.

NÁMA	Gæðaflokkar*			ATHUGASEMDIR (m.v. burðarlágsefni)	NÁMA	Gæðaflokkar*			ATHUGASEMDIR (m.v. burðarlágsefni)
	1. fl	2. fl	3. fl			1. fl	2. fl	3. fl	
Bakkasel	46	53	1	1. fl. efnið er lítillega ummyndað, þétt basalt 2. fl. efnið er ummyndað, þétt basalt	Háumelar	27	64	10	2. fl. efnið er ummyndað, þétt basalt 3. fl. efnið er mjög umm., þétt basalt
Brjánslækur	50	48	2	1. fl. efnið er ferskt og lítill. umm. þétt basalt 2. fl. efnið er ummyndað, þétt basalt	Jökulsá á Fjöllum	62	25	13	2. fl. efnið er ferskt, blöðrótt basalt 3. fl. efnið er fínbl., ferskt bas. og setb. (2%)
Vallholt	69	30	2	1. fl. efnið er ferskt og lítill. umm., þétt basalt 2. fl. efnið er ferskt, blö. og umm., þétt bas.	Markarfljót	71	18	11	1. fl. efnið er f., þétt bas., gler (4%), líp. (3%) 3. fl. efnið er fínbl. bas., gjall og móberg
Krossanes	27	69	3	1. fl. efnið er lítillega ummyndað, þétt basalt 2. fl. efnið er ummyndað, þétt basalt	Lárkot	20	63	17	2. fl. efnið er ummyndað, þétt basalt 3. fl. efnið er mjög ummyndað basalt og setb.
Jökulsá á Dal	83	11	5	1. fl. efnið er ferskt og lítill. umm. bas. (15 %) 3. fl. efnið er að mestu ferskt, fínbl. basalt	Glerá	41	40	19	1. fl. efnið er ferskt, þétt bas. og líparít (6 %) 3. fl. efnið er mjög ummyndað basalt of setb.
Stóra-Fellsöxl	37	56	7	2. fl. efnið er ummyndað, þétt basalt 3. fl. efnið er mjög ummyndað, þétt basalt	Norðfjarðará	15	63	22	2. fl. efnið er ummyndað, þétt basalt 3. fl. efnið er mjög umm. bas. og setb. (2%)
Hraunaós	51	43	7	2. fl. efnið er ummyndað, þétt basalt 3. fl. efnið er mjög ummyndað, þétt basalt	Björgun-Akurey	87	11	2	1. fl. efnið er ferskt, þétt basalt og gler (25 %) 2. fl. efnið er aðall. ferskt, blöðrótt basalt
Hólalbrú	44	48	8	2. fl. efnið er ummyndað, þétt basalt 3. fl. efnið er mjög ummyndað, þétt basalt	Vatnsskarð	31	43	26	2. fl. efnið er ferskt, blöðr. basalt og gler 3. fl. efnið er fínbl. ferskt bas. (opin kristalb.)
Haukadalsá	49	43	8	2. fl. efnið er ummyndað, þétt basalt 3. fl. efnið er mjög ummyndað, þétt basalt	Lækjarbotnar	29	38	33	2. fl. efnið er ferskt, blöðrótt basalt (dílótt) 3. fl. efnið er fínbl. ferskt bas. (nánast gjall)
Hólmkelsá	82	12	6	1. fl. efnið er ferskt, þétt basalt og gler (4 %) 3. fl. efnið er vikur og ferskt, fínbl. Basalt	Raudamelur	36	30	34	2. fl. efnið er ferskt, blöðrótt basalt 3. fl. efnið er fínbl. ferskt bas. (opin kristalb.)

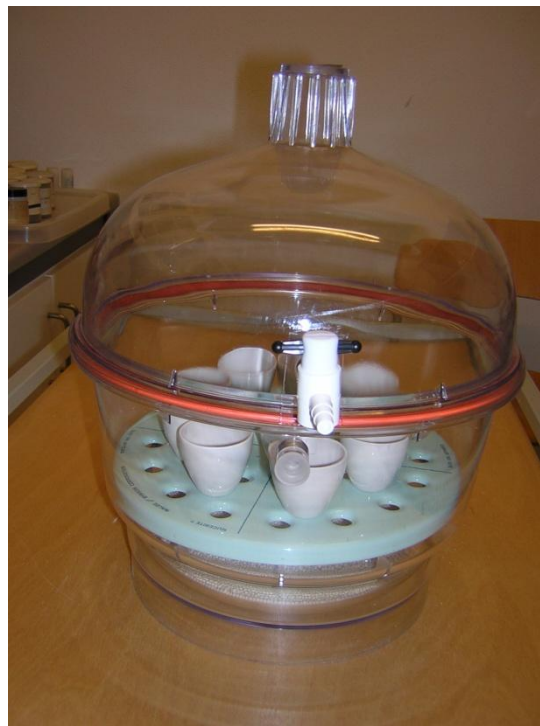
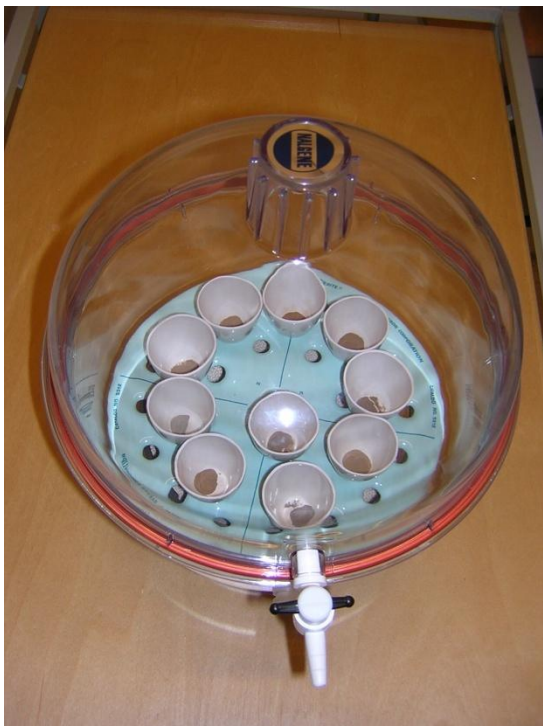
*Gæðaflokkun miðast við steinefni ætluð til nota í burðarlög.

Tafla 2: Helstu niðurstöður berggreininga sem gerðar voru á 6 efnum Steinefnabankans á árunum 1995-1996.

4. Aðferðir

4.1. Glæðitap

Efnið er glætt í ofni og létting þess mæld. Kornastærðin $< 0,063$ mm er gjarnan notuð. Til verksins þarf háhitaofn, postulínsdeiglu sem þola háan hita, nákvæma vog og þurrkbox (desiccator, sjá 7. mynd).



7. mynd:
Þurrkbox
(desiccator)
með
zeolítum.

Ummyndun brýtur hin þurru silíköt niður í oxíð (sem oft eru vötnuð) og vatnaðar steindir. Þetta myndar nýtt yfirborð á efninu og það dregur frekar í sig raka gamla yfirborðið. Við hitun losnar þessi raki. Því er gert ráð fyrir að létting sýnanna við glæðingu endurspegli magn vatnaðra ummyndunarsteinda og í hvaða steindum vatnið situr. Óbundið vatn smektíts tapast upp að 300°C en við herra hitastig fer OH^- að losna úr kristalgrindinni. Smektít telst að fullu afvatnað við 800°C (Grim 1968). Ef efnið léttist við $400\text{-}600^{\circ}\text{C}$ er það vísbending um að klórít sé í efninu.

Helsti galli þessarar aðferðar er að hætta er á að járn oxist (þ.e. að FeO verði Fe_2O_3) sem þýðir að sýnið þyngist. Meiri hætta er á því í röku lofti, en loftið í ofnunum, sem notaðir voru, er mjög þurrt.

4.1.a Glæðing fínu kornanna

Hér voru notuð um 200 mg af hverju sýni og vog með nákvæmni upp á 5 aukastafi af grammi. Byrjað var á að glæða postulínsdeiglurnar í 1 klst við 700°C. Því næst voru deiglurnar vegnar tómar og svo með efninu (við herbergishita(25°C)- og -rakastig). Því næst var efnið látið ná jafnvægi í 1 klst við rakt „útiloft“ (10°C) og síðan vegið til að athuga hversu mikinn raka það drekkur í sig. Síðan voru sýnin hituð, fyrst upp í 110°C, svo 150°C, 200°C, 250°C, 300°C, 400°C, 500°C, 600°C og 700°C. Eftir að sýnin voru tekin út úr ofninum, eftir 1 klst við hvert hitastig, voru þau látin kólna niður í herbergishitastig í þurrkboxi til að þau drægju ekki í sig raka úr umhverfinu áður en þau voru vegin. Ekki má vigta sýnin meðan þau eru heit því að vegin er núllstillt við herbergishitastig, og ef sýni er sett heitt inn í hana hitar það upp loftið í kringum sig og er þar af leiðandi vegið í léttara lofti en vegin var núllstillt við. Að mælingunum loknum var glæðitapið reiknað sem létting efnis við tiltekið hitastig miðað við massa eftir hitun við 110°C. Rakaupptaka var reiknuð sem þynging efnis miðað við massa eftir hitun við 110°C. Línurit og tafla með léttingu og þyngingu efnanna miðað við massa þeirra við 110°C eru sýnd í viðauka.

4.1.b. Glæðing grófu kornanna

Þessi hluti verkefnisins hefur ekki enn verið unninn, en er hluti af þessu rannsóknaverkefni, sjá 7. kafla um framhald.

4.2. Litgreining

Við skoðun á basalti í handsýni er litur einn gagnlegasti þátturinn við mat á ummyndun þess. Ýmsir hafa rannsakað lit basalts og tengsl hans við ummyndun. Hildur Jóna Gunnarsdóttir (1988) berggreindi efni frá Glerá og Esjubergi og malaði síðan kornin úr hverjum ummyndunarflokki (ferskt, ummyndað og mjög ummyndað) fyrir sig. Hún bar duftið saman við litaspjöld frá Munsell Color (1975) og komst að því að efnin tvö féllu hvort undir sinn litinn. Það sagði hún vera í samræmi við að efnin tvö innihalda ekki sömu leirgerðirnar. Auk þess var blæbrigðamunur innan hvors efnis þar sem ferskt efni var dekkst á lit en mjög ummyndað ljósast, en það telur hún að geti verið vísbending um mismunandi magn leirs. Tafla 3 sýnir niðurstöður litgreiningar Hildar Jónu.

	ferskt	ummyndað	mjög ummyndað
Esjuberg	2,5Y 5/2 „grábrúnn“	2,5Y 5/4 „ljós ólífubrónn“	2,5Y 5/6 „ljós ólífubrónn“
Glerá	10YR 6/1 „grár“	10YR 6/2 „ljósbrúngrár“	10YR 6/4 „ljósgulbrúnn“

Shayan o.fl. (1990) skoðuðu grátt, tiltölulega ferskt basalt og meira ummyndað, grænleitt basalt og komust að því að í gráa basaltinu var vottur af leir en ólivín og gler voru tiltölulega fersk en ólivín og gler í græna basaltinu var ummyndað yfir í smektít, klórít og blandleir. Edda Lilja Sveinsdóttir o.fl. (1999) skoðuðu steinefni í bergfræðismásjá til að kanna hvernig sú aðferð hentar til að greina ummyndunarsteindir í íslensku efni og hvaða aðferðafræði hentar best til þess. Þunnsneiðagreiningin fólst ekki síst í mati á lit bergsins og út frá henni ályktuðu þau að með aukinni ummyndun roðna korn og dökkna og grænleitar ummyndunarfasar verða meira áberandi.

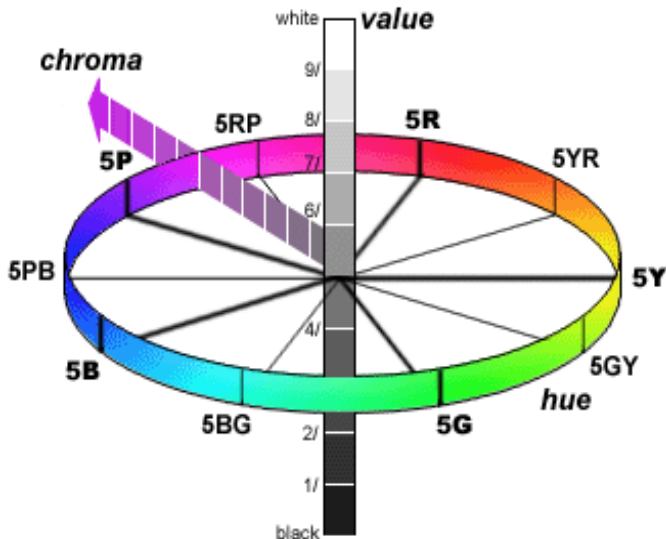
4.2.a. Litgreining fínu kornanna

Þar sem litur fínefna er afar mismunandi eftir efnum er ekki úr vegi að athuga hvort greining á þeim lit geti komið að gagni við mat á gæðum steinefnasýna til viðbótar við hefðbundna berggreiningu.

Fínefni Steinefnabankaefnanna var litgreint, en auk þess efni úr Seljadalsnámu en það flokkast nær alveg ferskt í berggreiningu.

Litir fínu kornanna voru skoðaðir tvisvar sinnum með frekar löngu millibili til þess að gengið væri úr skugga um að litgreiningin væri marktæk. Niðurstaðan var sú að hver litur fékk sama litanúmer í bæði skiptin, en það kom fyrir að í annað skiptið fengi hann tvö númer, þ.e. að liturinn lægi á bili milli tveggja lita á kortinu.

Stuðst var við litaspjöld prófessors Alberts H. Munsell (Munsell 2000) sem er frægur fyrir að hafa raðað litum upp í privítt hnitakerfi þar sem hnitin gefa litunum nöfn. Kerfið er þannig að birtustigsásinn (value) gengur upp og niður í gegnum kerfið líkt og ás jarðar, litblæir (hue) marka breiddarbauga og að lokum er metnun (chroma) mæld út frá miðjunni þar sem lítið mettaðir litir fá lág gildi og öfugt (sjá 8. mynd).



8. mynd: Uppbygging Munsell litakerfisins.

Nokkrir litaflokkar kerfisins eru mikið notaðir við að skilgreina nöfn jarðvegsлита, en litur er mikið notaður við jarðvegsflokkun þar sem hann endurspeglar ýmsa eiginleika jarðvegs.

Niðurstöður fínafnalitgreiningarinnar eru birtar í töflu 4 þar sem efnunum er raðað eftir lækkandi Methylene Blue gildum (því lægra sem gildið er þeim mun minna er af þenjanlegum leirsteindum í efninu). Áberandi er að fínefni ferskari efnanna er yfirleitt gráleitt en fínefni ummynduðu efnanna er frekar brúnleitt.

Efni	Blágildi (ml/g *0,1)	Munsell litur nr.	Nafn litar skv. Munsell
Lárkot	2,30	2,5Y 5/3	Ljós ólívubrúnn
Háumelar	1,50	2,5Y 6/3-5/3	Ljósgulbrúnn til ljósólívubrúnn
Stóra Fellsöxl	1,35	2,5Y 5/3	Ljósólívubrúnn
Glerá	1,30	2,5Y 5/3-5/4	Ljósólívubrúnn
Bakkasel	1,20	2,5Y 6/2-5/2	Ljósbrúngrár til grábrúnn
Hraunaós	1,15	2,5Y 6/2-6/3	Ljósbrúngrár til ljósgulbrúnn
Jökulsá á Dal	1,10	2,5Y 6/2-6/3	Ljósbrúngrár til ljósgulbrúnn
Haukadalsá	1,05	2,5Y 6/3	Ljósgulbrúnn
Norðfjarðará	0,95	2,5Y 5/4	Ljósólívubrúnn
Hólabrú	0,90	2,5Y 6/2-6/3	Ljósbrúngrár til ljósgulbrúnn
Krossanes	0,60	2,5Y 5/2 til 2,5Y 5/3	Grábrúnn til ljósólívubrúnn
Brjánslækur	0,60	2,5Y 6/2 til 2,5Y 6/3	Ljósbrúngrár til ljósgulbrúnn
Vallholt	0,40	2,5Y 6/2-5/2	Ljósbrúngrár til grábrúnn
Vatnsskarð	0,35	2,5Y 5/1 til 5Y 5/1	Grár
Jökulsá á Fjöllum	0,25	2,5Y 6/1-5/1	Grár
Björgun	0,25	2,5Y 6/1	Grár
Hólmkelsá	0,20	2,5Y 6/2-5/2	Ljósbrúngrár til grábrúnn
Rauðamelur	0,20	2,5Y 5/4	Ljósólívubrúnn
Lækjarbotnar	0,20	2,5Y 5/2	Grábrúnn
Markarfljót	0,15	2,5Y 4/1-5/1	Grár til dökkgrár
Seljadalur	-	2,5Y 6/1	Grár

Tafla 4: Niðurstöður litgreininga fínafna Steinefnabankans. Blágildin eru fengin úr BUSL skýrslu E-13 (Pétur Pétursson 1996).

4.2.b. Litgreining grófu kornanna

Þessi hluti verkefnisins hefur ekki enn verið unninn, en er hluti af þessu rannsóknaverkefni, sjá 7. kafla um framhald.

4.3. Efnagreiningar

Eitt af markmiðum þessa verkefnis er að kanna hvaða upplýsingar efnasamsetning getur gefið um endingu steinefnis. Þetta er þó ekki fyrsta tilraunin sem gerð hefur verið til þess. Hildur Jóna Gunnarsdóttir (1991) efnagreindi leirríkar ummyndunarafurðir fimm steinefna (frá Akurey, Esjubergi, Grjóteyrarhæðum, Melum og Núpum) og bar MgO innihald þeirra við frostþol, viðloðun og svörfun (þurra og vota). Hún komst að því að fylgni virðist vera milli MgO innihalds og þessara þátta. Því MgO ríkari sem leirríka efnið er þeim mun lélegra er steinefnið. Hildur Jóna vildi þó ekki túlka þessa fylgni þar sem hún taldi sýnin vera of fá til að byggja niðurstöður á.

4.3.a. Efnagreining fínu kornanna

Fínu kornin, sjá kafla 3.2., voru efnagreind í litrófsgreini með spanglóð (ICP-AES tækni) í Háskóla Íslands. Sýnin voru undirbúin þannig fyrir efnagreininguna: Duftið (fínefnið) var vegið og þyngdin látin vera 1a (g). Því næst voru vigtuð 2a (g) af salti (LiBO_2). Bergduftið og saltið var sett í kolefnisdeiglu. Næst voru 300a (g) af sýru vegin (5% HNO_3 1,33% HCl 1,33% oxalsýra) og því hellt í plastflöskur. Bergduftið og saltið var svo brætt í kolefnisdeiglunum í um 30 mínútur við um 1000°C . Bergið leystist upp í bráðnu líþíumboratinu (flux) og blandan storknaði og varð að einsleitum glerperlum. Þegar perlurnar höfðu kólnað nægilega voru þær settar út í flöskurnar með sýrunni og flöskunum haldið á hreyfingu þar til perlurnar voru uppleystar. Að þessu loknu voru sýnin tilbúin til efnagreiningar.

Litrófsgreiningin felst í að úða sýninu inn í spanglóð (plasma) þar sem öll frumefni örvast við um 7000°C , þ.e. atómin gleypa orku og jónast. Þegar rafeindir falla aftur í grunnástand sitt losnar orka (ljóseind) með einkennandi tíðni

skv. $E=hc/\lambda$. Litrófið er brotið upp í litrófsgreini og einkennandi litrófslínur efnanna eru mældar með ljósnemum. Mælingin er stöðluð með mælingum á bergupplausnum þekktra sýna.

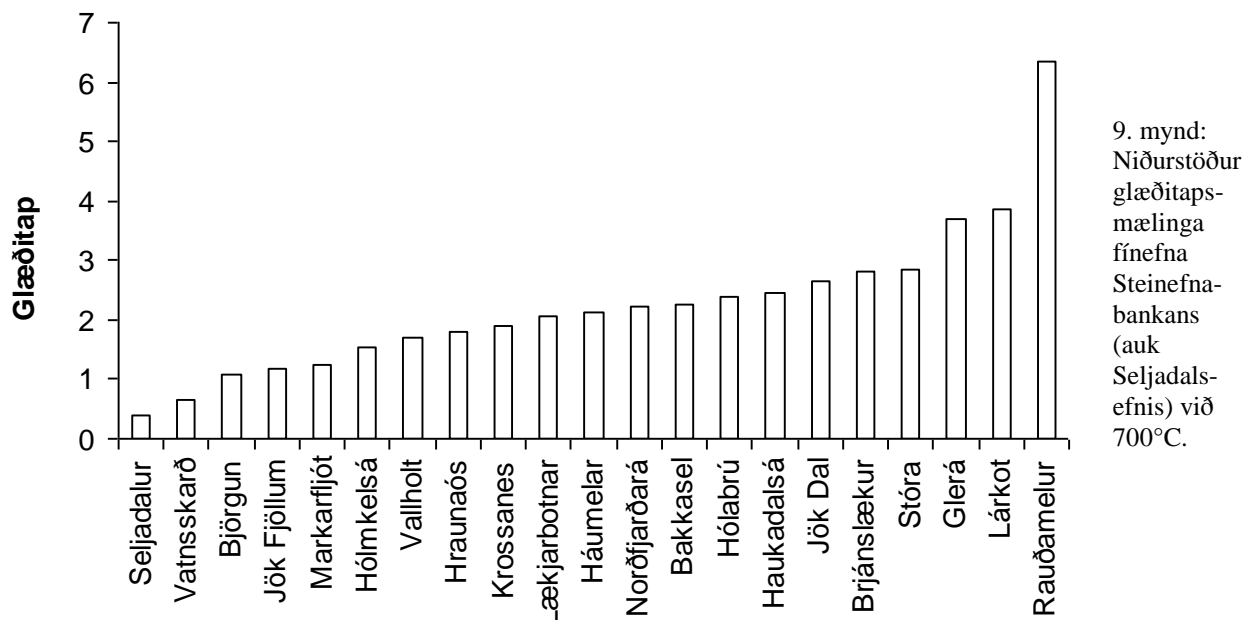
4.3.b. Efnagreining grófu kornanna

Þessi hluti verkefnisins hefur ekki enn verið unninn, en er hluti af þessu rannsóknaverkefni, sjá 7. kafla um framhald.

5. Niðurstöður

5.1. Glæðitap

9. mynd sýnir niðurstöður glæðitapsmælinga fínefna Steinefnabankans (auk Seljadalsefnis) við 700°C.

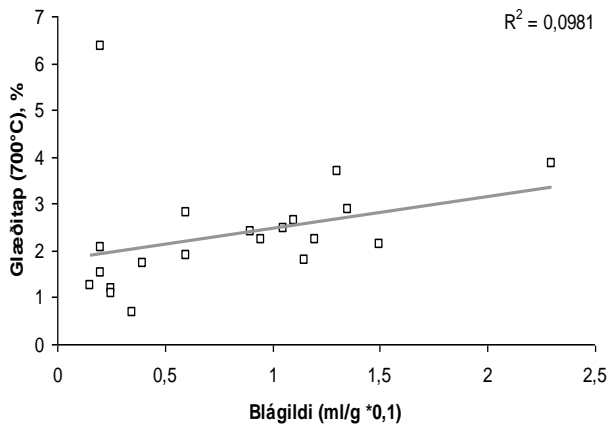


9. mynd: Niðurstöður glæðitapsmælinga fínefna Steinefnabankans (auk Seljadalsefnis) við 700°C.

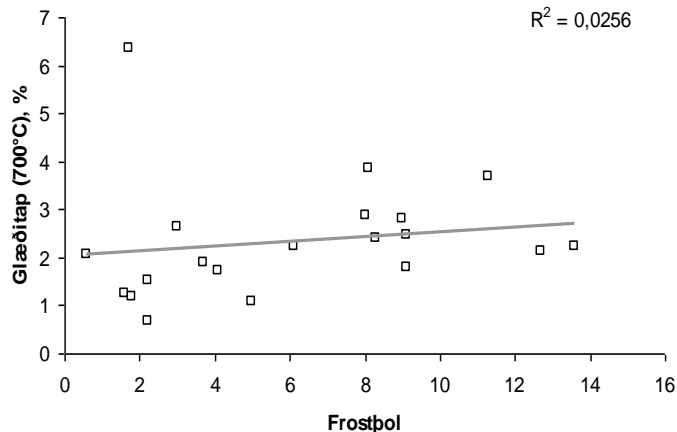
Eins og myndin sýnir er umtalsverður munur á niðurstöðum glæðitapsmælinganna eftir efnum eða allt frá <math><0,5\%</math> upp í um 7% af þunga. Raudamelsefnið skar sig þó greinilega nokkuð úr hópnum þar sem öll hin efnin eru með gildi um og undir 4%.

Niðurstöður glæðitapsmælinganna voru bornar saman við frostþolsstuðla og Methylene Blue próf sem áður höfðu verið gerð á efnum Steinefnabankans. Frostþolsprófin voru gerð á steinefnasýni með lokaða kornakúrvu, og var frostþolsstuðullinn reiknaður út frá niðurbroti við frostáraun sem frávik frá hinni lokuðu upphafskúrvu (Pétur Pétusson 1996). Methylene Blue prófið (MBT) var gert á náttúrlegu fínefni steinefnisins (<math><0,063\text{ mm}</math>) samkvæmt útfærslu vegtæknideildar Ulster háskóla (Atli Karl Ingimarsson 1997).

Einhver fylgni virðist vera milli glæðitaps og frostþols annars vegar og glæðitaps og blágildis hins vegar (10. og 11. mynd). Fylgnistuðlarnir eru þó svo lágir að meira en 5% líkur eru á að sambandið sé tilviljun. Efnið frá Seljadal er ekki með á þessum línuritum þar sem ekki eru til gildi yfir frostþol og MBT fyrir það efni. Á línuritunum stendur „glæðitap“ fyrir léttingu efnis í prósentum eftir 1 klst við 700°C miðað við þyngd efnis við 110°C.



10. mynd: Samband glæðitaps og blágildis.



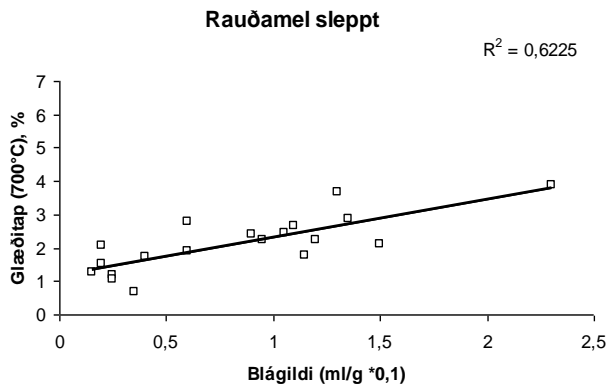
11. mynd: Samband glæðitaps og frostþols.

Athygli vekur hve mikið Rauðamelsefnið léttist í glæðitapsmælingunum. Efnið kemur vel út úr prófum sem mæla ummyndun og veðrunarþol og samkvæmt berggreiningu er efnið að mestu ferskt (Pétur Pétursson 1996). Efnið kemur hins vegar frekar illa út úr prófum sem mæla styrk, en það kemur ekki á óvart þar sem það er blöðrótt. Tafla 5 sýnir samsetningu Rauðamelsefnisins skv. berggreiningu.

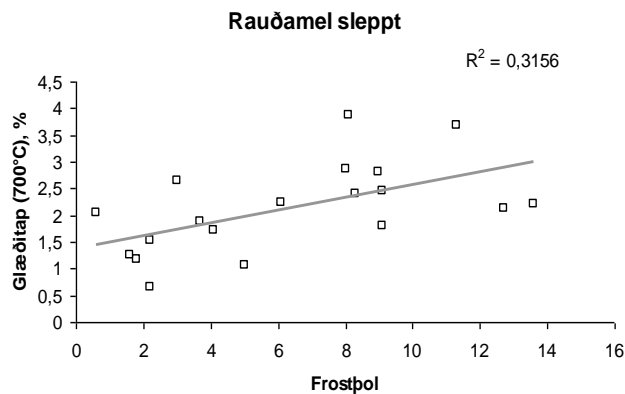
32,10%	Basalt, ferskt, þétt	0,90%	Basalt, ummyndað, þétt
29,30%	Basalt, ferskt, blöðrótt	4,10%	Basaltgler
30,20%	Basalt, ferskt, fínblöðrótt	3,20%	Setberg

Tafla 5: Berggreining sem gerð var á efninu frá Rauðamel á árunum 1995-1996.

Allt bendir því til þess að vatnið, sem efnið er að losa í glæðitapsprófinu, komi ekki úr ummyndunarsteinum. Raunar er Rauðamelsefnið að miklu leyti móbergpalagónít. Efnið hefur því ummyndast stuttu eftir gos, þ.e.a.s. efnið hefur innihaldið þetta vatn nánast frá því það myndaðist og hefur því ekki gengið í gegnum síðari vötnun eins og hin efnin. Með því að glæða þetta efni er því verið að afvatna palagónít. Með þessum rannsóknum er ekki verið að sækjast eftir upplýsingum um vatnsinnihald palagóníts, og þess vegna var ákveðið að prófa að sleppa gildum fyrir Rauðamel í nokkrum af eftirfarandi línuritum (þ.e. 12., 13., 16., 17., 20. og 21. mynd). 12. mynd sýnir samband glæðitaps og blágildis og 13. mynd samband glæðitaps og frostþols þegar Rauðamelsefninu er sleppt. Í báðum tilfellum eru minna en 1% líkur á að fylgnin sé tilviljun.



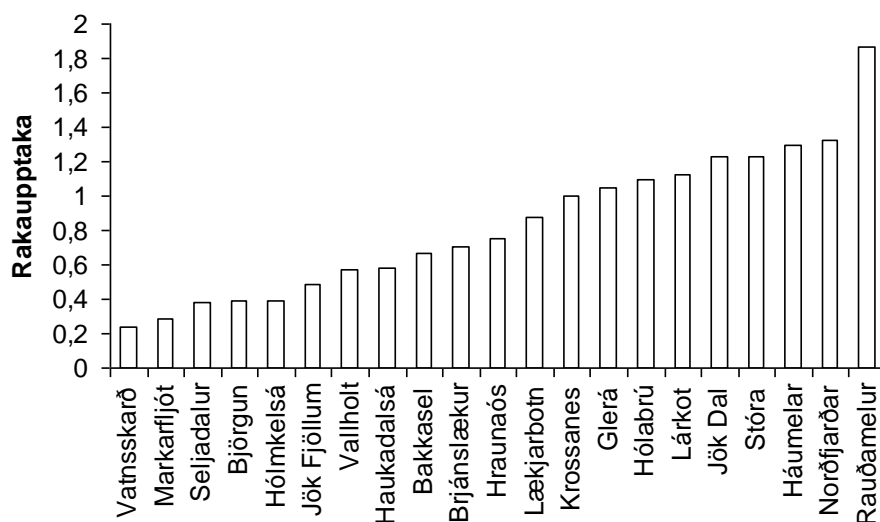
12. mynd: Samband glæðitaps og blágildis þegar efninu frá Rauðamel er sleppt.



13. mynd: Samband glæðitaps og frostþols þegar efninu frá Rauðamel er sleppt.

5.2. Rakaupptaka

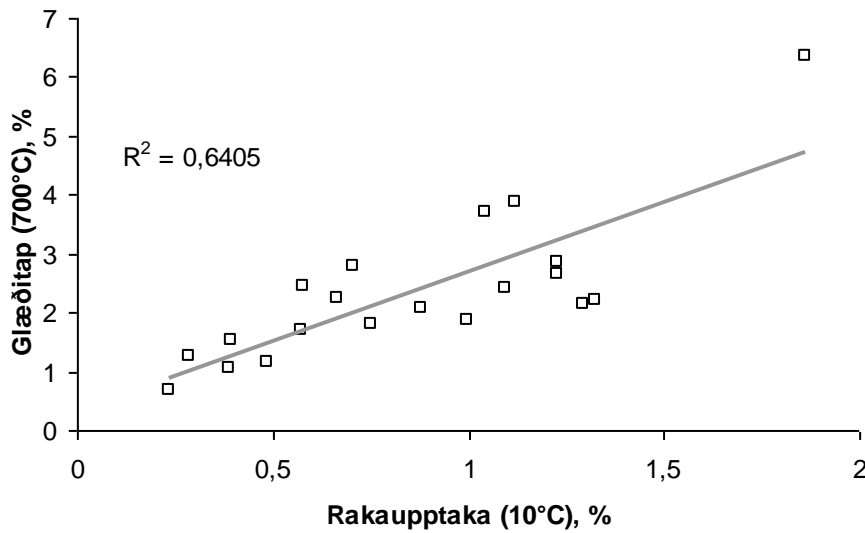
14. mynd sýnir niðurstöður mælinga á rakaupptöku fínefna Steinefnabankans (auk Seljadalsefnis) sem átti sér stað á 1 klst við 10°C.



14. mynd: Niðurstöður mælinga á rakaupptöku fínefna Steinefnabankans (auk Seljadalsefnis).

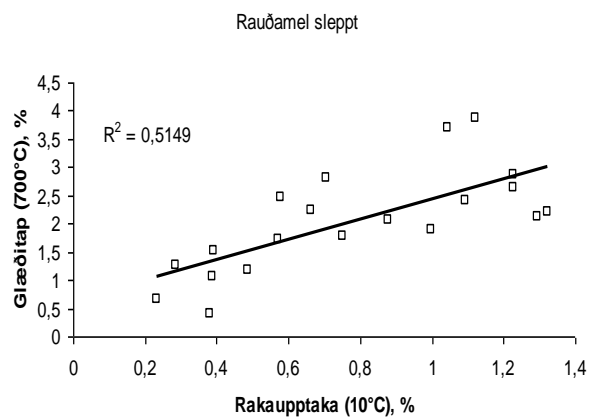
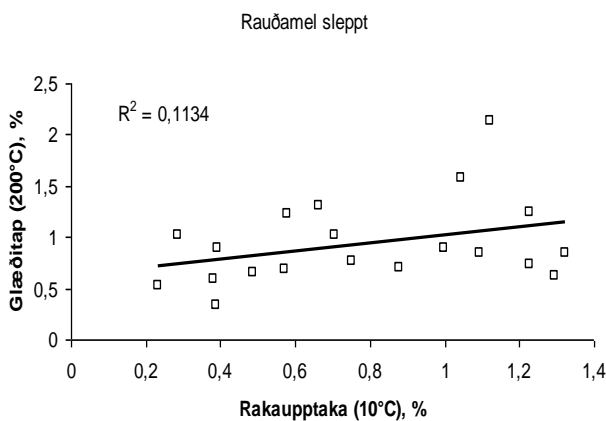
Eins og sést á myndinni er greinilegur munur á rakaupptöku mismunandi efna. Rakaupptakan er allt frá því að vera um 0,2% upp í um 2% af þunga. Benda má á að Rauðamelsefnið sker sig aftur nokkuð úr hér eins og í glæðitapsmælingunni og væntanlega af sömu ástæðum.

Mjög sterk fylgni er milli glæðitaps og rakaupptöku (15. mynd). Þetta er afleiðing af því að ummyndunarsteindir eru rakadrægari en frumsteindir. Á línuritunum stendur „rakaupptaka“ fyrir þyngingu efnis í prósentum eftir 1 klst í röku útilofti miðað við þyngd efnis við 110°C.



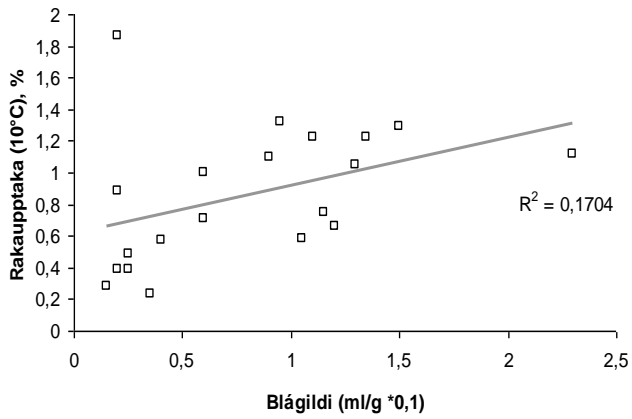
15. mynd:
Samband
glæðitaps og
rakaupptöku.

Ef næstu tvö línurit eru borin saman (16. og 17. mynd) sést að misjafnt er hversu fast steindirnar halda í vatnið. Betri fylgni er milli rakaupptöku og glæðitaps við 700°C en við 200°C. Glæðitap við 700°C virðist því vera betri mælikvarði á ummyndun.

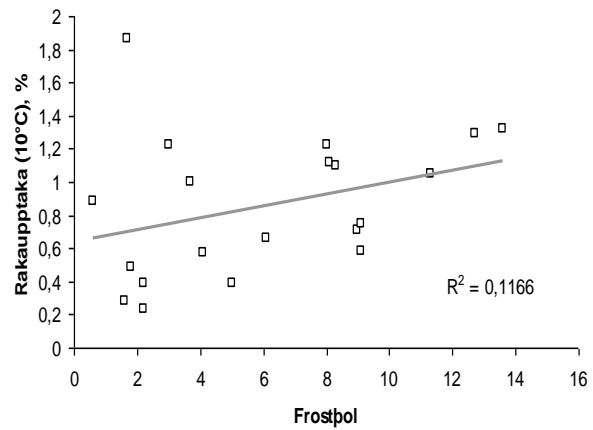


16. og 17.
mynd:
Munurinn á
glæðitapi
við 200°C
og við
700°C.

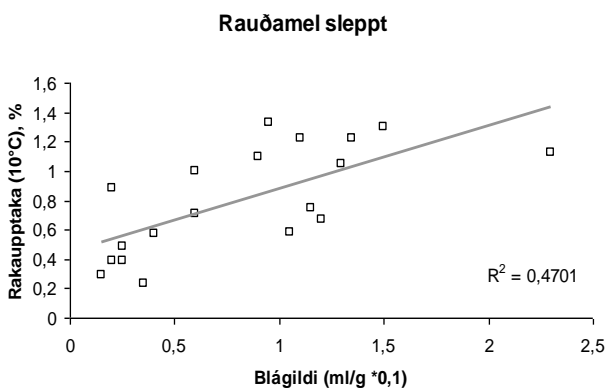
Nokkuð sterk fylgni er milli rakaupptöku og blágildis annars vegar og rakaupptöku og frostþols hins vegar (18. og 19. mynd), en eins og áður verður fylgnin sterkari þegar gildum fyrir efnið frá Rauðamel er sleppt (20. og 21. mynd).



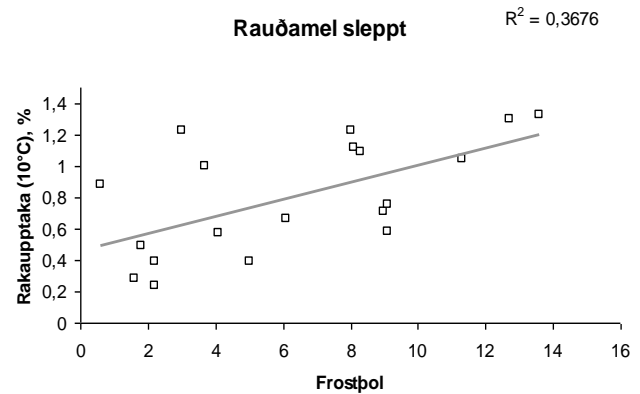
18. mynd: Samband rakaupptöku og blágildis.



19. mynd: Samband rakaupptöku frostþols.



20. mynd: Samband rakaupptöku og blágildis þegar gildum fyrir efnið frá Rauðamel er sleppt.

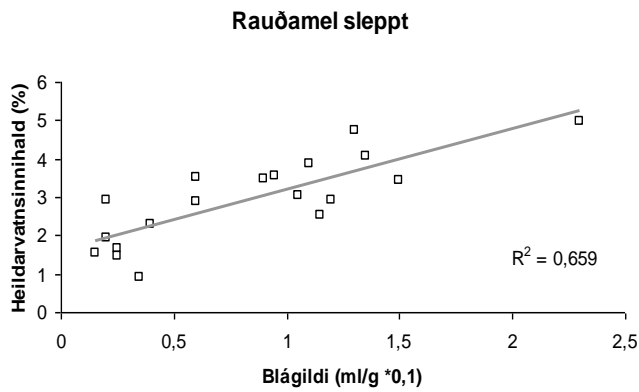


21. mynd: Samband rakaupptöku og frostþols þegar gildum fyrir efnið frá Rauðamel er sleppt.

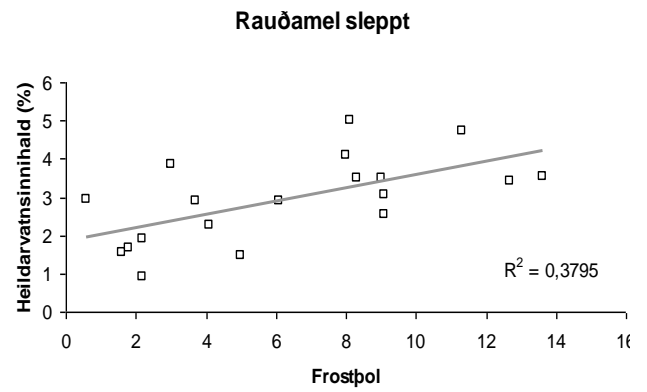
5.3. Heildarvatnsinnihald

22. og 23. mynd sýna heildarvatnsinnihald (glæðitap við 700°C + rakaupptaka við 10°C) á móti frostþoli og blágildi (Rauðamel sleppt). R^2 fyrir samband heildarvatnsinnihalds og frostþols er 0,3795 sem þýðir að $r = 0,616$. Það eru því <1% líkur á að sambandið sé tilviljun.

R^2 fyrir samband heildarvatnsinnihalds og blágildis er 0,659 sem þýðir að $r = 0,812$ og því eru <1% líkur á að það samband sé tilviljun. Það er því ljóst að glæðitapsprófið mælir hlutfall sömu steinda og Methylene Blue prófið gerir.



22. mynd: Samband heildarvatnsinnihalds og blágildis þegar efninu frá Rauðamel er sleppt.



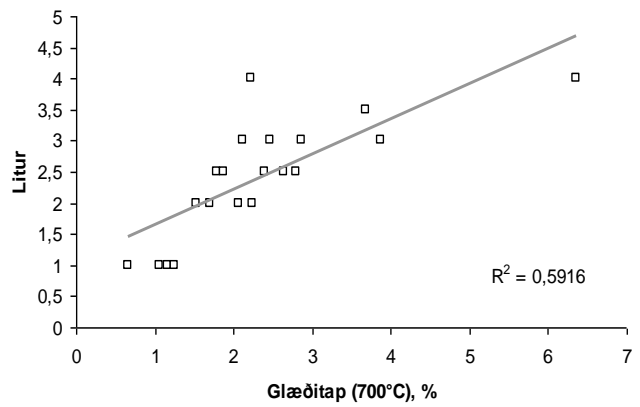
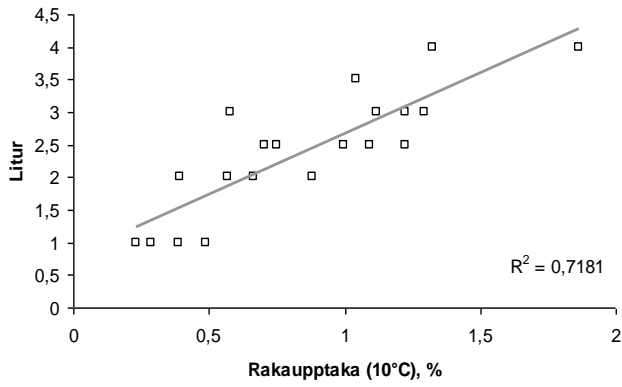
23. mynd: Samband heildarvatnsinnihalds og frostþols þegar efninu frá Rauðamel er sleppt.

Fylgni heildarvatnsinnihalds við blágildi og frostþol er örlítið sterkari en fylgni glæðitaps og rakaupptöku í hvors í sínu lagi við blágildi og frostþol. Mæling á heildarvatnsinnihaldi gefur því góða mynd af magni ummyndunarsteinda í bergi. Aðferðin er mjög einföld og fljótleg og gæti því verið gagnleg viðbót við berggreiningu.

Í næsta hluta þessa verkefnis verða grófu kornin flokkuð í undirflokkar eftir ummyndun. Mjög áhugavert verður að mala og prófa þá flokka með þessari aðferð og fá þannig upplýsingar um magn ummyndunarsteinda í hverjum flokki.

5.4. Litgreining

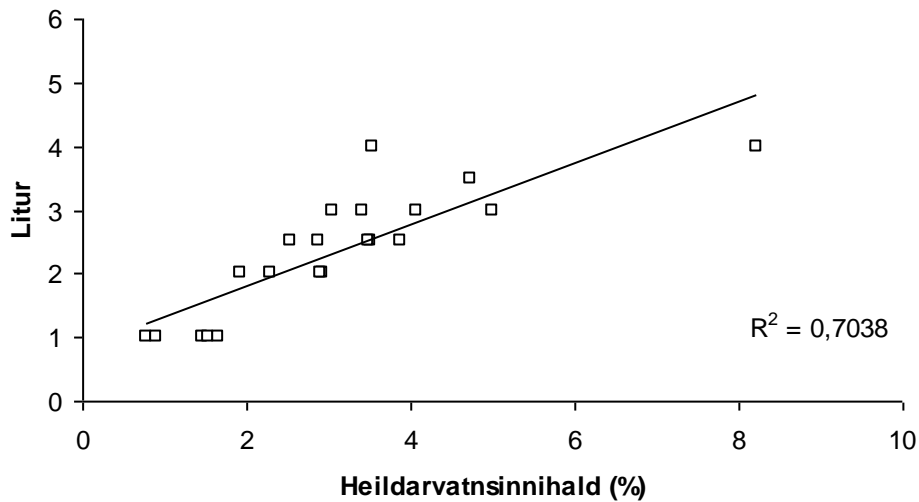
Áhugavert er að kanna hvort fylgni sé milli hinna mældu breytistærða berggæða og litar. Gerð var tilraun til þess með því að nota Munsell númer litanna. Allir litir fínafna Steinefnabankans (auk Seljadalsefnis) lentu á sama litakorti (2,5Y) og því var fyrri hluta númersins sleppt og aðeins seinni hlutinn notaður. Þar sem ferskleiki efnisins virðist speglast í mettun (chroma) litarins frekar en birtustigi (value), bæði í þessu verkefni og verkefni Hildar Jónu (1991), var ákveðið að nota eingöngu aftasta staf litanúmersins, en hann segir til um mettun. Ef liturinn fékk t.d. númerið 2,5Y 6/3 þá fékk efnið litagildið 3. Ef efnið hafði lit sem lenti á milli tveggja lita á kortinu var meðaltal öftustu tölustafa þeirra tekið. Fylgni fékkst milli litar og rakaupptöku og litar og glæðitaps (sjá 24. og 25. mynd).



Í báðum tilfellum gefur fylgnistuðullinn til kynna að minna en 1% líkur séu á að sambandið sé tilviljun ($r = 0,847$ í fyrra tilfellinu og $r = 0,769$ í seinna tilfellinu).

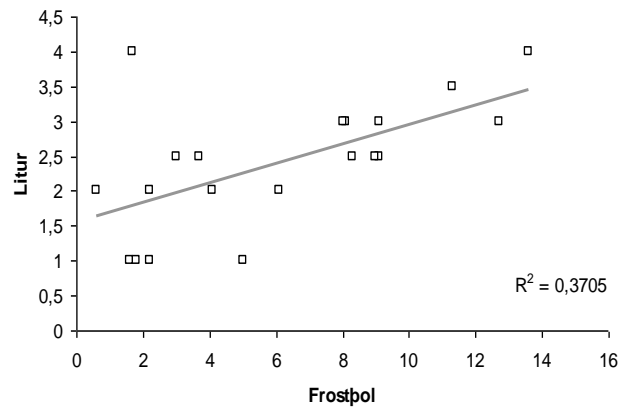
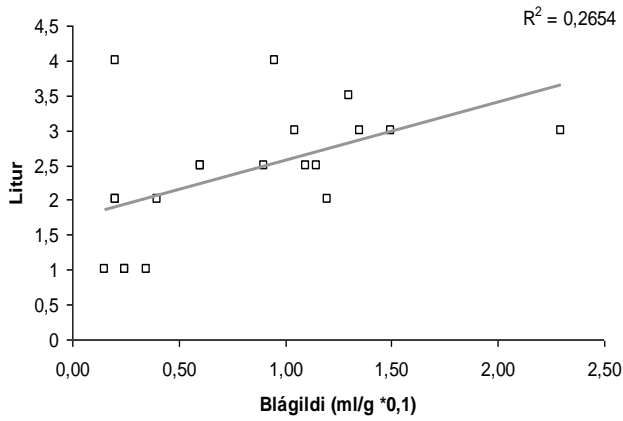
26. mynd sýnir samband litar og heildarvatnsinnihalds. Fylgnistuðullinn ($r = 0,839$) gefur til kynna að minna en 1% líkur séu á að sambandið sé tilviljun.

24. og 25. mynd: Samband litar og rakaupptöku og litar og glæðitaps.



26. mynd: Samband litar og heildarvatnsinnihalds.

Fylgnin var ekki eins sterk milli litar og frostþols og litar og blágildis (27. og 28. mynd), en eins og áður varð fylgnin sterkari ef Rauðamel var sleppt.



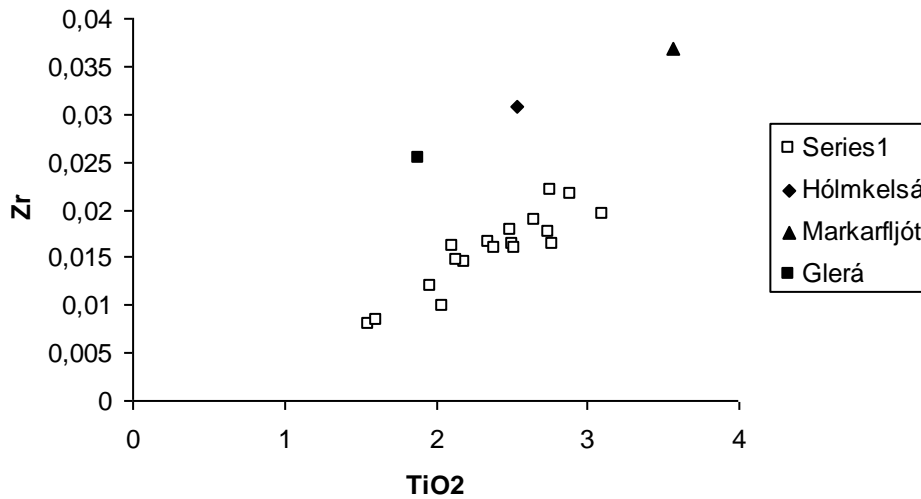
27. og 28. mynd: Samband litar og blágildis og litar og frostþols.

Þó eru <1% líkur á að samband litar og frostþols sé tilviljun ($r = 0,609$) og <5% líkur á að samband litar og blágildis sé tilviljun ($r = 0,515$). Litur efnisins frá Rauðamel er „afbrigðilegur” miðað við hin efnin sem skoðuð voru því að hann er áberandi rauður miðað við hversu ferskt efnið er. Þessi niðurstaða var þó fremur fyrirsjáanleg þar sem efnið dregur nafn sitt af rauða litnum sem er að öllum líkindum til kominn með oxun.

5.5. Efnagreiningar

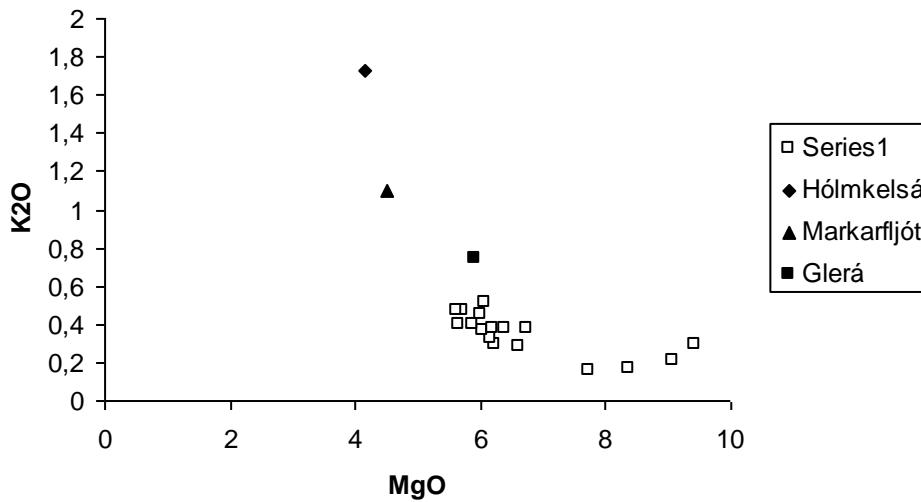
Fínefni Steinefnabankans auk Seljadalsefnis voru efnagreind með ICP-AES tækni og eru niðurstöðurnar kynntar hér.

Næstu þrjár myndir gefa til kynna hversu mikið af súru bergi er í sýnunum. 29. mynd sýnir samband Zr og TiO_2 . Oftast er fylgni milli TiO_2 og Zr í basalti; því súrara sem bergið er þeim mun hærra er Zr hlutfallið. Samkvæmt myndinni eru Glerá, Markarfljót og Hólmkelsá þau efni sem eru mest menguð af súru bergi.



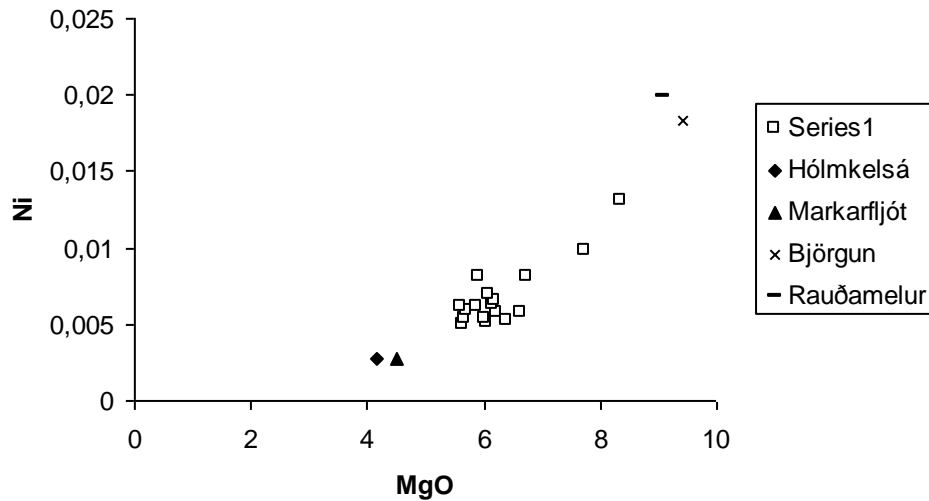
29. mynd:
Samband Zr
og TiO₂.

30. mynd sýnir samband MgO og K₂O. Þar skera sömu þrjú efnin sig úr sem þau efni sem innihalda mest af súru bergi.

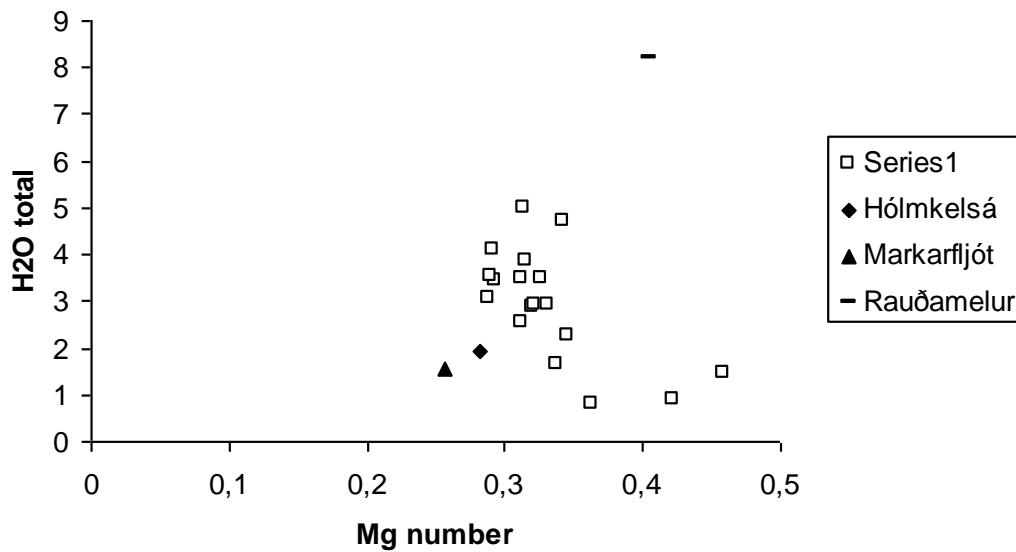


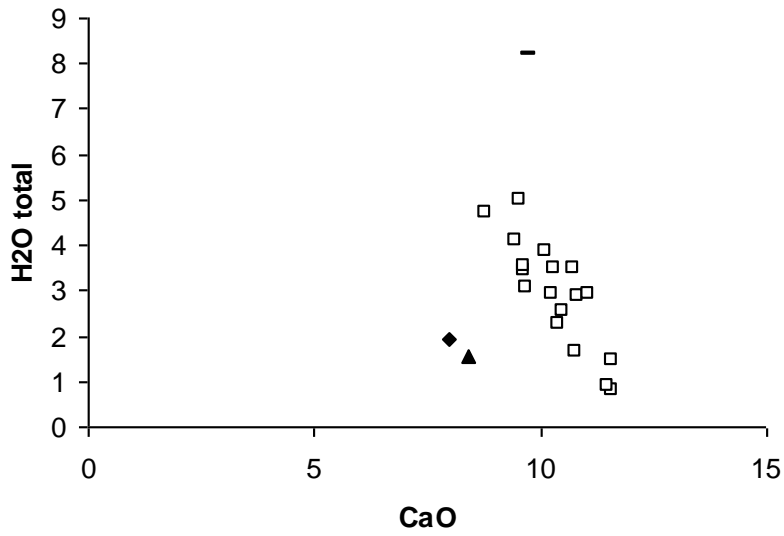
30. mynd:
Samband
MgO og K₂O.

31. mynd sýnir samband MgO og nikkels. Efstu tvö efnin (Björgun og Rauðamelur) eru basískust (líklega ólívínþóleíít). Neðstu tvö efnin, Markarfljót og Hólmkelsá, eru súrust.

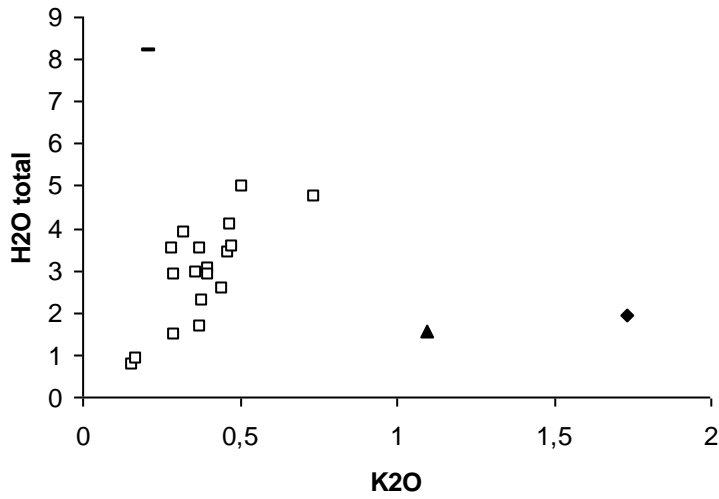


32. til 35. mynd sýna tengsl heildarvatnsinnihalds við hlutfall nokkurra efna í sýnum sem vænleg þóttu til að gefa einhverja samsvörun. Á öllum línuritunum skera Hólmkelsá og Markarfljót sig úr annars vegar (vegna þess hve mikið af súru bergi er í þeim) og Rauðamelur hins vegar (vegna þess hve mikið hann léttist í glæðitaps- og þyngist í rakadrægnimælingum). Ekkert af línuritunum sýnir sterka fylgni.

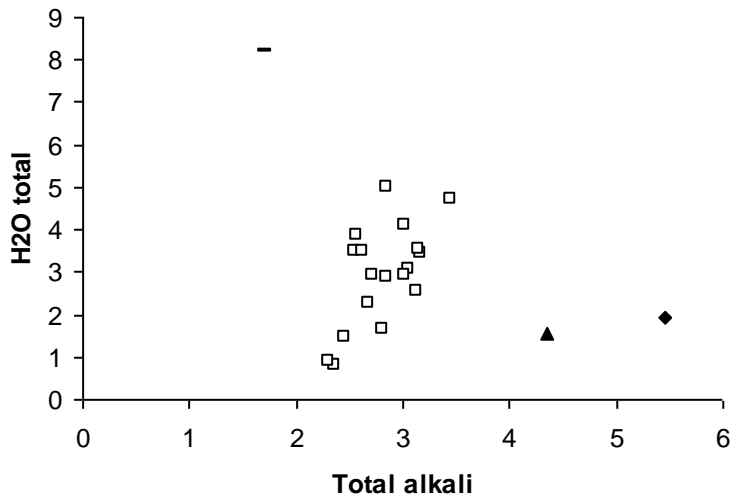




33. mynd:
Samband
heildarvatns-
innihalds og
CaO.



34. mynd:
Samband
heildarvatns-
innihalds og
K₂O.



35. mynd:
Samband
heildarvatns-
innihalds og
Na₂O + K₂O.

Efnagreiningarnar gefa upplýsingar um gerð bergs og uppruna. Þær segja til um hversu stórt hlutfall af sýninu er súrt berg og eru auk þess gagnlegar þegar rekja á bergið til upprunastaðar. T.d. gefur hátt títanhlutfall í Markarfljótsefninu til kynna að í því komi hátt hlutfall korna frá Fe-Ti basaltsvæðum eins og Tindfjöllum og Kötlu.

Efnagreiningarnar gefa hins vegar litlar upplýsingar um ummyndunarstig sýnanna, en það má túlka þannig að ummyndunarstig sé óháð berggerð og uppruna. Súrt berg er í eðli sínu móttækilegra en basískt fyrir því að ummyndast en þrátt fyrir það er ferskt súrt berg fremur algengt á Íslandi. Því eru efnagreiningar á fínefnum ef til vill ekki áhugaverðar hvað ummyndunarstig varðar en munu án efa koma að gagni við framhald verkefnisins (sjá 7. kafla).

6. Samantekt

Gerðar voru glæðitaps- og rakadrægnimælingar á fínu kornunum. Samband glæðitaps og frostþols var skoðað annars vegar og glæðitaps og blágildis hins vegar. Þegar öll efnin voru höfð með voru í báðum tilfellum meira en 5% líkur á að sambandið væri tilviljun. Rauðamelsefnið léttist langmest en vatnið, sem það var að losa, kom úr palagoníti en ekki ummyndunarsteindum vegna síðari vötnunar eins og vatnið sem hin efnin voru að losa. Þegar gildum fyrir Rauðamelsefnið er sleppt eru innan við 1% líkur á að samband glæðitaps og blágildis og glæðitaps og frostþols sé tilviljun.

Í ljós kom að mjög sterk fylgni er milli glæðitaps og rakaupptöku því að ummyndunarsteindir eru rakadrægari en frumsteindir. Þegar glæðitap og rakaupptaka eru lögð saman fæst heildarvatnsinnihald sem sýnir sterkara samband við blágildi og frostþol en glæðitap og rakaupptaka hvort í sínu lagi.

Fínu kornin voru litgreind, og áberandi var að ferskari efnin voru gjarnan gráleit en ummynduðu efnin voru frekar brúnleit. Mjög sterkt samband er á milli litar og rakaupptöku annars vegar og litar og glæðitaps hins vegar, og í báðum tilfellum eru innan við 1% líkur á að sambandið sé tilviljun.

Efnagreiningar á fínu kornunum sýndu að efnin frá Glerá, Markarfljóti og Hólmkelsá innihalda mest af súru bergi en efnin frá Björgun og Rauðamel eru basískustu efnin. Hlutföll nokkurra efna voru borin saman við heildarvatnsinnihald en þau sýndu ekki marktæka fylgni.

7. Framhald

Öll grófu sýnin, sem valin hafa verið í framhald þessa verkefnis, eru úr lausum jarðlögum. Laus jarðlög eru misleit, þau eru samsafn korna sem eiga mismunandi uppruna. Berggreining er eina prófið sem tekur tillit til þessarar misleitni; önnur próf eru gerð á efninu í heild þannig að ekki er ljóst hvaða hlutar efnisins valda því að það endist illa. Í framhaldi þessa verkefnis er ætlunin að fylgja hverju korni frá víðsjánni gegnum rannsóknir sem segja til um efnasamsetningu, steindasamsetningu, magn og gerð ummyndunar o.fl.

Grófu kornin hafa nú verið flokkuð skv. Berggreiningakerfi Rb. Ætlunin er að flokka þau síðan í smærri flokka eftir ummyndunarstigi þannig að í hverjum flokki séu bara korn sem eru „eins.“ Flokkarnir verða síðan muldir og sömu próf gerð á þeim og fínu kornunum. Með þessu fást upplýsingar um hvað útlit einstaks korns í víðsjá segir okkur um eiginleika þess og gæði til mannvirkjagerðar. Vonast er til að þessi vitneskja muni koma að góðum notum við að skerpa skilin milli gæðaflokka Berggreiningakerfis Rb. Flest grófu sýnin innihalda eitthvað af líparíti, og því standa vonir til að rannsóknirnar gefi góðar upplýsingar um eiginleika þess og nýtist jafnvel við endurskoðun gæðaflokkunar líparíts. Rannsóknirnar, sem um ræðir, eru eftirfarandi:

Litgreining: Fínefnin hafa nú verið litgreind. Grófu kornin verða einnig litgreind eftir að hafa verið greind í smáa flokka og mulin. Hugmyndin er að kanna hvort liturinn gefi vísbendingu um hvers konar ummyndunarsteindir eru í kornunum og geti þar með sagt til um ýmsa eiginleika þeirra.

Efnagreiningar: Fínefnin hafa nú verið efnagreind með ICP-AES tækni og ætlunin er að gera slíkt hið sama við undirflokka grófu kornanna. Þó að efnagreiningarnar gefi litlar upplýsingar um ummyndun er ástæða til að halda þeim áfram jafnframt öðrum rannsóknum þegar eiginleikar einstakra korna eru raktir frá útliti þeirra í víðsjá. Efnagreiningar á einu einstöku korni gefa aðrar upplýsingar en greiningar á efni sem er blanda af misleitum kornum. Þær geta sagt til um upprunastað hvers korns og þar af leiðandi gefið mynd af því hvaðan og hvernig efnið í námunni er til komið (en efnagreining á blöndu efna gefur summu þeirra efna sem í sýninu eru) og eru gagnlegar við að meta hversu vel fínefnið endurspeglar eiginleika heildarefnisins. Því standa vonir til að efnagreiningar á undirflokkunum gefi áhugaverðari upplýsingar en greiningar á fínefnunum. Til samanburðar við þær efnagreiningar mætti hugsa sér að nota

grófu sýnin sex til að gera efnagreiningar á heildarefni. Tilgangurinn væri að sjá hversu nálægt/fjarlægt fínefnið er heildarefninu.

Glæðitap og rakadrægni: Gerðar hafa verið glæðitapsmælingar og rakadrægnimælingar á fínu kornunum og verða slíkar mælingar einnig gerðar á grófu kornunum. Þar sem þær gefa góðar upplýsingar um gerð og magn ummyndunar er áhugavert að nota þær á undirflokkja grófu efnanna, sérstaklega í ljósi niðurstaðna mælinga á fínefnunum.

Methylene Blue: Methylene Blue próf hefur áður verið gert á fínu kornunum (Pétur Pétursson 1996) þannig að í þessu verkefni verður það próf eingöngu gert á grófu kornunum. Kostur Methylene Blue aðferðarinnar er að hún virkar eingöngu á þann leir sem er raunverulega í snertingu við vatnið en ókostur hennar er að hún er gerð á skömmum tíma þannig að aðeins yfirborð leirríkra korna virkar í títruninni. Áhugavert væri því að beita aðferðinni í örlítið breyttri mynd til að meta langtímaáhrif jónaskiptanna og elta leirsteindirnar aðeins lengra undir yfirborðið. Þetta væri auðvelt með því að setja dálitla ofgnótt út á sýnin og mæla síðan deyfingu Methylene Blue með tíma í spectralphotometer. Þetta yrði síðan borið saman við stöðluðu aðferðina.

Röntgengreiningar: Til samanburðar við ofantaldar aðferðir verða leirgerðir efnanna (bæði grófu og fínu) greindar með röntgengreiningum.

Laser-kornastærðagreining: Gerð verður laser-kornastærðagreining á fínefnunum. Hlutfall leirkornastærðar gæti hugsanlega gefið tengsl við frostþol.

Áhugavert væri síðan að skoða sandhluta grófu efnanna sex. Ef munur er á eiginleikum kornastærða kæmi sá munur vel fram ef kornastærðir, sem langt er á milli, eru bornar saman. Sandhlutann mætti meðal annars skoða í rafeindasmásjá og kortleggja örsprungumunstur. Það er ekki óhugsandi að í einhverjum tilfellum sé það leir í þessum örsprungum sem hefur yfirgnæfandi áhrif á gæði efnisins. Í framhaldi af því mætti kanna hvort berggreining á sandkornastærð gæfi viðbótar upplýsingar við greiningu á stærri kornum.

Eftirsóknarvert er að gera þunnsneiðar af sýnunum.

Í framhaldi af þessum rannsóknum verður efnisgerð grófu kornanna rakin til ákveðinna jarðmyndana þannig að ljóst verði að með þekkingu á jarðfræði vatnasviðsins/jökulsviðsins megji geta sér til um hugsanlega eiginleika lausu jarðefnanna, sem rofin eru af yfirborði.

Heimildaskrá

Atli Karl Ingimarsson 1997: Steinefnaprófanir 1 – Methylene blue – aðferð til að meta ummyndun bergs. Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins, skýrsla nr. 97-11, 20 bls.

Ásbjörn Jóhannesson og Pétur Pétursson 2001: Berggreining – áfangaskýrsla 3. Athugun á nákvæmni berggreininga gerðum í samræmi við ÍST EN 932-3: 1996 og leiðbeiningar Efnisgæðanefndar. Efnisgæðanefnd BUSL. Skýrsla E-43. 24 bls. + 7 viðaukar.

Bain, D.C. og Russell, J.D., 1980: Swelling minerals in a basalt and its weathering products from Morvern, Scotland: I. Interstratified montmorillonite-vermiculite-illite. *Clay Miner.*, 15: 445-451.

Bain, D.C. og Russell, J.D. 1981: Swelling minerals in a basalt and its weathering products from Morvern, Scotland: II. Swelling chlorite. *Clay Miner.*, 16: 203-212.

Bain, D.C., Ritchie, P.F.S., Clark, D.R. og Duthie, D.M.L. 1980: Geochemistry and mineralogy of weathered basalt from Morvern, Scotland. *Mineral. Mag.*, 43: 865-872.

Cole, W.F. og Sandy, M.J. 1980: A proposed secondary mineral rating for basalt road aggregate durability. *Austr. Road Res.*, 10 (3): 27-37.

Dolar-Mantuani, L. 1983: Handbook of concrete aggregates. Noyes Publ., U.S.A., 345 bls.

Edda Lilja Sveinsdóttir og Gísli Guðmundsson 1995: Gæðaflokkun íslenskra steinefna í steinsteypu. Reykjavík, Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins, skýrsla nr. 95-22, 31 bls. + viðaukar.

Edda Lilja Sveinsdóttir, Brynhildur Magnúsdóttir, Vigdís Harðardóttir, Þorbjörg Hólmgeirsdóttir, Hrefna Kristmannsdóttir og Njörður Tryggvason 1999: Áhrif ummyndunarsteinda á gæði bergs til mannvirkjagerðar. Reykjavík, Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins, skýrsla nr. 99-01, 53 bls + viðaukar.

Elsa G. Vilmundardóttir 1978: Bergflokkagreining á fínefni frá Hvalfjarðareyri. Reykjavík, Orkustofnun ROD 7815.

Elsa G. Vilmundardóttir 1979: Bergflokkagreining á efni frá Núpum í Ölfusi. Reykjavík, skýrsla fyrir Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins, 2 bls.

Eggleton, R.A., Foudoulis, Ch. og Varkevisser, D. 1987: Weathering of basalt: changes in rock chemistry and mineralogy. *Clays Clay Miner.*, 35: 161-169.

Grim, R.E. 1968: Clay Mineralogy. New York, McGraw Hill Book company, 596 bls.

Guðmundur Sigvaldason 1969: Steypuefnarannsókn á efnum frá Búrfellssvæðinu. Reykjavík, skýrsla til Rannsóknastofnunar byggingariðnaðarins.

Gunby, I. 1986: Vasalter fra lokaliteter pa Færöyene, Mineralogi og holdbarhet på materialet til vægdække. Oslo, Veglaboratoriet rapport nr. 1285 46-geologisk, 15 bls.

Gunnar Bjarnason (Vegagerðin), Pétur Pétursson (Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins) og Sigurður Erlingsson (Verkfræðideild Háskóla Íslands) 2001: Niðurbrot steinefna. Styrkleiki – veðrunarþol – slitþol. Ráðstefna 6. apríl 2001.

Haraldur Ellingsen 1961: Vinnsla jarðefna á Íslandi. Námsritgerð við Háskóla Íslands. 118 bls.

Hartley, A. 1974: A review of the geological factors influencing the mechanical properties of road surface aggregates. Q.J.L. Engin. Geol., 7, 69-100.

Hildur J. Gunnarsdóttir 1988: Flokkun ummyndaðs bergs með tilliti til gæðamats steinefnis. Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins, Reykjavík, 59 bls.

Hildur J. Gunnarsdóttir 1991: Mineralogical description of some Icelandic construction aggregates. M.Sc. ritgerð, University of Leicester.

Hrefna Kristmannsdóttir 1978: Alteration of basaltic rocks by hydrothermal activity at 100-300°C. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam. Reprinted from International Clay Conference 1978, edited by M.M. Mortland and V.C. Farmer. Bls 359-367.

Hrefna Kristmannsdóttir 1979: Alteration of basaltic rocks by hydrothermal activity at 100-300°C. Reprinted from International Clay Conferencet 1978, edited by M.M. Mortland and V.C. Farmer 1979 Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, 359-367.

Hreggviður Norðdahl 1998: Hagnýt laus jarðlög á Íslandi. Rb, Reykjavík 1998. 63. 66 bls.

Hreinn Haraldsson 1984: Relations between petrography and the aggregate properties of Icelandic rocks. Bulletin of the International Association of Engineering Geology, 30, 73-76.

Hreinn Haraldsson 1986: Eiginleikar íslensks bergs í vega- og gatnagerð. Rannsóknarverkefni v-187. Áfangaskýrsla 1. Vegagerðin, Reykjavík, mars 1986. 29 bls.

Krauskopf, Konrad B. og Bird, Dennis K. 1995: Introduction to Geochemistry, 3. útgáfa. McGraw-Hill, 637 bls.

Kühnel, R.A., Van der Gaast, S.J., Brych, J., Laan, G.J. og Kulnig, H. 1994: The role of clay minerals in durability of rocks observation on basaltic rocks. Applied Clay Science 9. 225-237. Elsevier Science B. V. Amsterdam.

Kühnel, R.A. og Van der Gaast, S.J. 1996: Clay Minerals of Different Generations in Basaltic Rocks. Acta Universitatis Carolinae Geologica 38(1994): 271-294, Editum 24.1.1996, 271-294.

Lagerblad, B. og Jacobsson, B. 1997: Smectite Clays and Concrete Durability. Swedish Cement and Concrete Research Institute Stockholm.

Munsell Color Charts 1975. Baltimore, Munsell Color.

Munsell Soil Color Charts. Year 2000 revised washable edition. Gretamacbeth. New Windsor, New York.

Pétur Pétursson 1995: Steinefnabanki, ársskýrsla. BUSL – samstarf um rannsókn- og þróunarverkefni í vega- og gatnagerð. Skýrsla nr. E3, 8 bls.

Pétur Pétursson 1996: Niðurbrot steinefna, 2. áfangaskýrsla. Efnisgæðanefnd BUSL, skýrsla E-14, Reykjavík, 27 bls. + viðaukar

Pétur Pétursson 1998: Niðurbrot steinefna. Styrkleiki – veðrunarþol – slitþol. Lokaskýrsla. Skýrsla E-20. Efnisgæðanefnd BUSL.

Phillips, W.R. & Griffen, D.T. 1981: Optical Mineralogy. The Nonopaque Minerals. W.H. Freeman and Company, San Francisco, 677 bls.

Scott, L.E. 1955: Secondary minerals in rock as a cause of pavement and base failure. Proc. Highway Res. Board (USA), 34th Ann. Meeting, 412-417.

Shayan, A., Quick, G. og Way, S. 1990: Clay mineralogy of an Altered Basalts from a Quarry near Geelong, Victoria, Australia. Sci. Géol., Bull, 43, 2-4, p. 225-236, Strasbourg.

Sigurður R. Gíslason og Stefán Arnórsson 1988: Efnafræði árvatns á Íslandi og hraði efnarofs. Náttúrufræðingurinn 58 (4): 183-197.

Sigurður Steinþórsson 1966: Bergfræðileg lýsing á efni frá Rauðamel, Helgafelli og Smárahvammi. Reykjavík, skýrsla til Rannsóknastofnunar byggingariðnaðarins.

Stefán Arnórsson 1997. *Samspil vatns og bergs. II. Bergið*. Náttúrufræðingurinn, 66 (3-4), bls. 183-202.

Steinefnanefnd 1988: Steinefni í bundin slitlög, V-209. Berggreining. Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins, Reykjavík, 30 bls.

Stokes, K.R. 1971: Further investigations into the nature of the materials chloropaeite and palagonite. Min. Mag. 38, 205-214.

Van Atta, R.O. og Ludowise, H. 1976: Causes of degradation in basaltic aggregates and durability testing. 14th Eng. Geol. and Soils Eng. Symp., Idaho, 241-254.

Van Rooy, J. L. 1991: The influence of the mineralogy on the durability of Drakensberg basalts. In: Blight et. al. (eds): Geotechnics in the African Environment. Balkema, Rotterdam, 383-392.

Wylde, L.J. 1976: Degradation of road aggregates. Australian Road Research 6 (1), 22-29.

Þorbjörg Hólmgeirsdóttir 1999: Þáttur veðrunar og ummyndunar steinefnis í gæðaflokkun þess. 2. áfangi. Skýrsla E-32. Efnisgæðanefnd BUSL.

Þorbjörg Hólmgeirsdóttir 2000: Áhrif þenjanlegra leirsteinda á frostþol steinefnis. Lokaskýrsla. Efnisgæðanefnd BUSL. Skýrsla E-39. 31 bls. + viðaukar.

Þorbjörg Hólmgeirsdóttir og Thomas, P. R. 1998: Use of the D-762 Shore Hardness Scleroscope for Testing Small Rock Volumes. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Voll 35, no 1, pp. 85-92.

Þorgeir S. Helgason 1981: Alkalívirkni nokkurra íslenskra bergtegunda. 4. árs verkefni við jarðfræðadeild H.Í.

Þorgeir S. Helgason 1996: Berggreining. Endurbætur á prófunaraðferð og aðlögun að evrópskum staðli. Áfangaskýrsla. Skýrsla E-6. Efnisgæðanefnd BUSL. 16 bls + viðaukar.

Þorgeir S. Helgason og Guðmundur H. Guðfinnsson 1989: Berggreiningarkerfi Rannsóknastofnunar byggingariðnaðarins – flokkun og gæðamat steinefna. 3. útgáfa. Rb. Keldnaholti. 57 bls.

Þorgeir S. Helgason, Ásbjörn Jóhannesson, Guðmundur Sveinsson, Margrét I. Kjartansdóttir 2000: Berggreining – áfangaskýrsla 2. Leiðbeiningar Efnisgæðanefndar við staðalinn ÍST EN 932-2: 1996. Skýrsla E-26. Efnisgæðanefnd BUSL. 38 bls.

Þorgeir S. Helgason, Sigrún Marteinsdóttir, Edda Lilja Sveinsdóttir og Brynhildur Magnúsdóttir 2006: Berggerð og kornalögun sýna í steinefnabanka BUSL – lokaskýrsla. Efnisgæðanefnd BUSL. Skýrsla E-25.

Vefsíður:

<http://www.jardboranir.is/?PageID=106>

<http://www.handprint.com/HP/WCL/IMG/munsell.gif>

Myndaskrá

1. mynd: Jarðfræðikort af Íslandi. Heimild:
<http://www.jardboranir.is/?PageID=106>.
2. mynd: Grunneiningar leirsteinda. Heimild: Krauskopf og Bird 1995.
3. mynd: Uppröðun grunneininganna og tengingar. Heimild: Þorbjörg Hólmgeirsdóttir 1998.
4. mynd: Staðsetning og nöfn náma Steinefnabankans. Heimild: Þorgeir S. Helgason o.fl. 2006.
5. mynd: Staðsetning náma Steinefnabankans og jarðfræðilegar aðstæður. Heimild: Gunnar Bjarnason o.fl. 2001.
6. mynd: Þáttagreining á niðurstöðum prófa sem gerð voru á efnum Steinefnabankans. Heimild: Gunnar Bjarnason o.fl. 2001.
7. mynd: Þurrkbox (desiccator) með zeólítum. SÁ 2006.
8. mynd: Uppbygging Munsell litekerfisins. Heimild:
<http://www.handprint.com/HP/WCL/IMG/munsell.gif>.
9. mynd: Niðurstöður glæðitapsmælinga fínafna Steinefnabankans (auk Seljadalsefnis) við 700°C.
10. mynd: Samband glæðitaps og blágildis.
11. mynd: Samband glæðitaps og frostþols.
12. mynd: Samband glæðitaps og blágildis þegar efninu frá Rauðamel er sleppt.
13. mynd: Samband glæðitaps og frostþols þegar efninu frá Rauðamel er sleppt.
14. mynd: Niðurstöður mælinga á rakaupptöku fínafna Steinefnabankans (auk Seljadalsefnis).
15. mynd: Samband glæðitaps og rakaupptöku.
16. og 17. mynd: Munurinn á glæðitapi við 200°C og við 700°C.
18. mynd: Samband rakaupptöku og blágildis.

19. mynd: Samband rakaupptöku frostþols.
20. mynd: Samband rakaupptöku og blágildis þegar gildum fyrir efnið frá Rauðamel er sleppt.
21. mynd: Samband rakaupptöku og frostþols þegar gildum fyrir efnið frá Rauðamel er sleppt.
22. mynd: Samband heildarvatnsinnihalds og blágildis þegar efninu frá Rauðamel er sleppt.
23. mynd: Samband heildarvatnsinnihalds og frostþols þegar efninu frá Rauðamel er sleppt.
24. og 25. mynd: Samband litar og rakaupptöku og litar og glæðitaps.
26. mynd: Samband litar og heildarvatnsinnihalds.
27. og 28. mynd: Samband litar og blágildis og litar og frostþols.
29. mynd: Samband Zr og TiO.
30. mynd: Samband MgO og K₂O.
31. mynd: Samband MgO og Ni.
32. mynd: Samband heildarvatnsinnihalds og Mg-number.
33. mynd: Samband heildarvatnsinnihalds og CaO.
34. mynd: Samband heildarvatnsinnihalds og K₂O.
35. mynd: Samband heildarvatnsinnihalds og Na₂O + K₂O.

Töfluskra

Tafla 1: Algengustu bergbrigði flokkuð skv. Berggreiningarkerfi Rb. Heimild: Rb blað júlí 2006.

Tafla 2: Helstu niðurstöður berggreininga sem gerðar voru á 6 efnun Steinefnabankans á árunum 1995-1996. Heimild: Gunnar Bjarnason o.fl. 2001.

Tafla 3: Niðurstöður litgreiningar Hildar Jónu Gunnarsdóttur. Heimild: Hildur Jóna Gunnarsdóttir 1988.

Tafla 4: Niðurstöður litgreininga fínefna Steinefnabankans. Blágildin eru fengin úr Pétur Pétursson (1996).

Tafla 5: Berggreining sem gerð var á efninu frá Rauðamel á árunum 1995-1996. (Heimild: Pétur Pétursson 1996).

Viðauki I:
Efnagreiningatafla

ICP-AES efnagreiningar á minnstu kornastærð (<0,063 mm) Steinefnabankaefnanna (auk Seljadalsefnis)

Efni	SiO ₂ (%)	TiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	FeO* (%)	MnO (%)	MgO (%)	CaO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	P ₂ O ₅ (%)	Ba (ppm)	Co (ppm)
Krossanes	50,57	2,51	13,11	13,17	0,21	6,22	10,82	2,56	0,29	0,39	91,78	51,13
Jök Fjöll	50,73	2,19	13,80	12,59	0,22	6,40	10,78	2,44	0,37	0,34	79,80	47,62
Jök Dal	50,05	2,52	14,49	13,40	0,21	6,16	10,09	2,25	0,32	0,38	95,48	48,36
Lækj.botn	49,40	2,12	15,83	12,18	0,22	6,03	11,04	2,35	0,36	0,35	95,28	44,72
Háumelar	49,92	2,76	14,60	13,65	0,30	5,65	9,63	2,71	0,47	0,48	150,11	57,04
Rauðamelur	45,87	1,97	17,62	13,34	0,23	9,07	9,75	1,50	0,21	0,31	85,86	64,52
Haukadalsá	48,65	2,66	15,49	13,95	0,26	5,66	9,66	2,65	0,40	0,48	151,71	53,08
Bakkasel	50,93	2,35	14,37	12,43	0,21	5,88	10,26	2,62	0,40	0,44	111,85	46,08
Seljadalur	48,44	2,04	13,67	13,56	0,23	7,74	11,57	2,20	0,16	0,27	57,19	53,68
St. Fellsöxl	49,43	2,89	14,99	13,89	0,33	5,71	9,43	2,54	0,47	0,50	144,19	60,42
Brjánslækur	49,04	2,15	14,74	13,64	0,30	6,63	10,74	2,26	0,29	0,40	87,85	53,81
Hólmkelsá	51,48	2,53	17,18	10,61	0,26	4,17	7,99	3,73	1,73	0,11	639,29	19,97
Björgun	47,70	1,56	15,62	11,12	0,18	9,41	11,60	2,17	0,29	0,19	44,81	47,61
Vallholt	50,10	2,39	14,23	12,77	0,22	6,74	10,40	2,31	0,38	0,32	99,33	50,50
Vatnsskarð	48,26	1,61	16,02	11,42	0,20	8,36	11,48	2,13	0,17	0,23	53,48	49,59
Glerá	52,34	1,89	15,49	11,35	0,24	5,90	8,77	2,71	0,74	0,41	217,88	29,35
Norðfjarðará	49,01	3,11	14,86	13,73	0,23	5,62	9,65	2,68	0,48	0,48	142,67	57,82
Hraunaós	49,72	2,77	13,89	13,22	0,24	6,01	10,47	2,68	0,45	0,42	84,18	52,43
Hólabrú	48,30	2,75	15,38	13,67	0,23	6,19	10,30	2,25	0,37	0,41	106,80	54,27
Lárkot	49,49	2,49	15,66	13,26	0,37	6,07	9,53	2,34	0,51	0,48	187,86	53,99
Markarfljót	51,54	3,56	13,38	13,08	0,23	4,50	8,42	3,25	1,09	0,77	252,03	52,29

ICP-AES efnagreiningar á minnstu kornastærð (<0,063 mm) Steinefnabankaefnanna (auk Seljadalsefnis). (Framhald).

Efni	Cr (ppm)	Cu (ppm)	La (ppm)	Ni (ppm)	Rb (ppm)	Sc (ppm)	Sr (ppm)	V (ppm)	Y (ppm)	Zn (ppm)	Zr (ppm)	Summa
Krossanes	105,29	187,85	14,88	57,10	4,30	37,72	267,05	347,41	40,75	120,38	163,96	100,02
Jök Fjöll	94,43	135,69	12,41	51,86	16,44	42,07	199,96	364,71	39,25	112,59	143,66	100,00
Jök Dal	135,90	241,60	14,85	62,49	2,68	43,82	241,91	348,42	46,92	119,51	159,31	100,03
Lækj.botn	140,29	160,22	13,88	51,26	17,95	39,66	189,27	329,07	41,54	111,05	161,51	100,01
Háumelar	81,09	548,56	22,43	49,73	21,72	40,09	339,29	370,14	54,10	277,58	220,03	100,39
Rauðamelur	696,91	148,24	12,80	199,45	0,00	46,23	158,81	332,25	32,92	109,84	120,30	100,08
Haukadalsá	97,91	194,79	22,98	53,39	0,00	40,71	284,04	368,44	57,71	168,50	188,19	100,04
Bakkasel	82,25	401,54	17,62	61,29	9,90	35,55	286,04	316,79	42,53	268,01	166,27	100,08
Seljadalur	174,67	203,37	9,50	98,28	1,65	45,52	177,76	402,60	35,31	112,21	97,66	100,03
St. Fellsöxl	131,94	165,86	23,56	59,37	6,91	38,95	345,03	366,49	53,82	154,24	214,87	100,35
Brjánslækur	79,00	321,54	16,34	57,98	0,00	46,63	295,51	382,33	49,55	151,04	147,50	100,33
Hólmkelsá	103,42	81,72	53,70	27,41	11,31	23,33	472,18	251,99	49,83	128,49	308,54	100,00
Björgun	374,36	104,48	8,84	182,87	0,00	34,52	227,47	286,72	22,46	91,80	79,74	100,00
Vallholt	148,79	131,34	15,79	81,05	3,95	40,52	216,02	369,08	39,90	114,82	158,67	100,01
Vatnsskarð	262,06	186,15	8,40	131,13	0,00	37,80	207,97	313,90	25,30	89,85	84,01	100,02
Glerá	234,71	134,65	27,20	80,97	12,11	35,51	284,38	266,93	61,06	124,18	253,49	100,01
Norðfjarðará	138,11	120,70	17,92	61,36	8,51	37,46	317,13	370,39	44,55	130,11	193,80	100,00
Hraunaós	89,09	194,47	16,39	54,28	0,00	42,40	266,56	411,06	46,29	130,88	164,06	100,02
Hólabrú	164,36	225,92	20,21	65,56	1,03	41,24	291,88	381,55	47,19	154,20	176,36	100,03
Lárkot	168,56	174,92	24,82	69,16	0,00	40,73	292,99	359,92	46,78	129,52	178,74	100,39
Markarfljót	30,04	116,58	39,17	27,99	17,84	25,22	382,55	320,72	56,80	160,26	367,68	100,01

Viðauki II:

Glæðitaps- og rakadrægningtafla

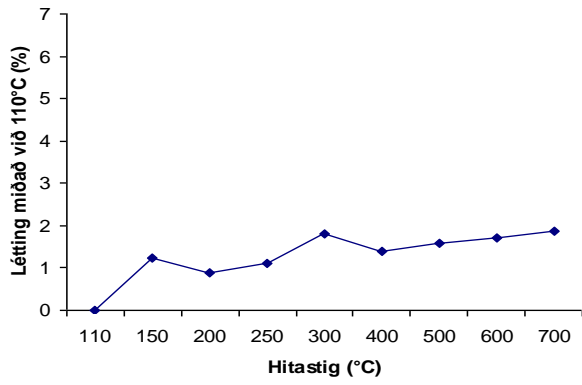
Glæðitaps- og rakadrægnimælingar á minnstu kornastærð (<0,063 mm) Steinefnabankaefnanna (auk Seljadalsefnis)

Sýni nr.	Náma	Létting m.v. 110°C (%) eftir 1 klst við 150°C	Létting m.v. 110°C (%) eftir 1 klst við 200°C	Létting m.v. 110°C (%) eftir 1 klst við 250°C	Létting m.v. 110°C (%) eftir 1 klst við 300°C	Létting m.v. 110°C (%) eftir 1 klst við 400°C	Létting m.v. 110°C (%) eftir 1 klst við 500°C	Létting m.v. 110°C (%) eftir 1 klst við 600°C	Létting m.v. 110°C (%) eftir 1 klst við 700°C	Þynging m.v. 110°C (%) eftir 1 klst við 25°C	Þynging m.v. 110°C (%) eftir 1 klst við 10°C
1	Krossanes	1,224	0,891	1,111	1,802	1,398	1,597	1,700	1,884	0,681	0,998
2	Jökulsá á Fjöllum	0,674	0,659	0,851	1,268	1,107	1,198	1,238	1,168	0,347	0,488
3	Jökulsá á Dal	0,772	0,738	1,122	1,748	1,881	2,215	2,419	2,640	0,901	1,226
4	Lækjarbotnar	0,453	0,695	1,137	1,611	1,653	1,811	1,932	2,059	0,663	0,879
5	Háumelar	0,417	0,618	1,029	1,260	1,582	1,828	1,918	2,124	1,044	1,296
6	Rauðamelur	1,023	3,096	3,655	4,370	4,855	5,435	5,931	6,354	1,723	1,864
7	Haukadalsá	0,561	1,234	1,475	1,485	2,106	2,245	2,357	2,463	0,473	0,580
8	Bakkasel	0,701	1,308	1,499	1,411	1,854	2,009	2,091	2,246	0,546	0,665
9	Seljadalur	0,216	0,587	0,753	0,467	0,642	0,562	0,417	0,396	0,326	0,381
10	Stóra Fellsöxl	0,331	1,250	1,693	1,282	2,154	2,504	2,630	2,858	1,128	1,226
11	Brjánslækur	0,363	1,016	1,099	1,468	1,993	2,385	2,567	2,798	0,668	0,707
12	Hólmkelsá	0,240	0,896	0,936	1,156	1,357	1,474	1,509	1,533	0,382	0,392
13	Björgun	0,122	0,331	0,248	0,399	0,482	0,594	1,052	1,066	0,375	0,390
14	Vallholt	0,380	0,692	0,835	0,942	1,277	1,518	1,648	1,710	0,563	0,572
15	Vatnsskarð	0,361	0,531	0,677	0,604	0,726	0,804	0,750	0,667	0,253	0,234
16	Glerá	0,637	1,584	1,750	1,978	2,401	3,052	3,387	3,689	1,069	1,045
17	Norðfjarðará	0,332	0,849	0,949	1,044	1,371	1,809	1,983	2,221	1,319	1,324
18	Hraunaós	0,375	0,760	0,855	0,903	1,179	1,454	1,649	1,787	0,722	0,751
19	Hólabrú	0,493	0,847	1,026	1,060	1,495	1,896	2,182	2,400	1,093	1,093
20	Lárkot	1,761	2,137	2,462	2,352	2,822	3,268	3,588	3,868	1,046	1,121
21	Markarfljót	0,718	1,023	1,126	0,990	1,126	1,272	1,248	1,258	0,310	0,286

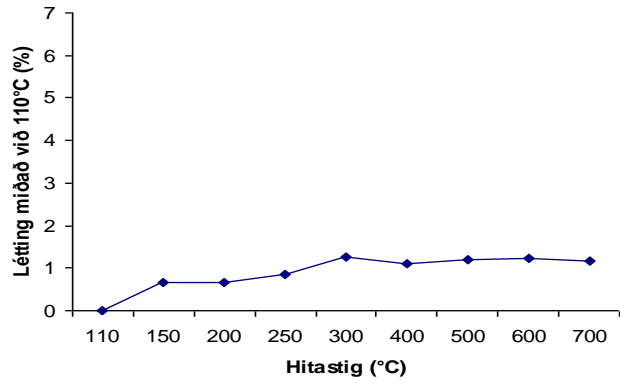
Viðauki III:

Glæðitapsferlar

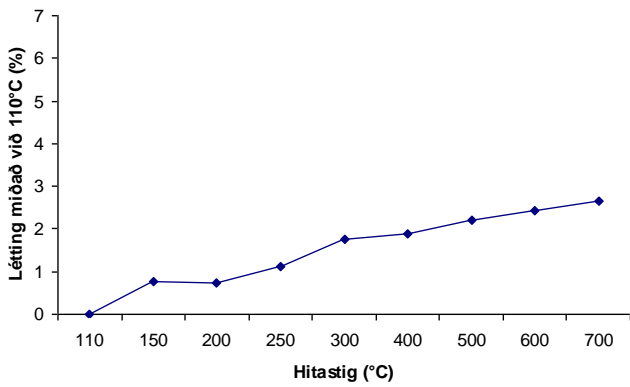
Sýni nr. 1. Krossanes



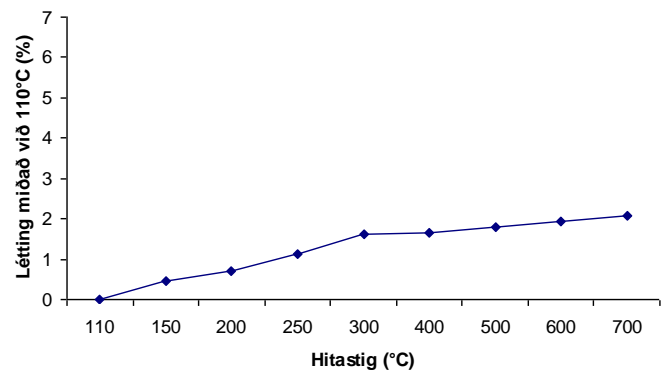
Sýni nr. 2. Jökulsá á Fjöllum



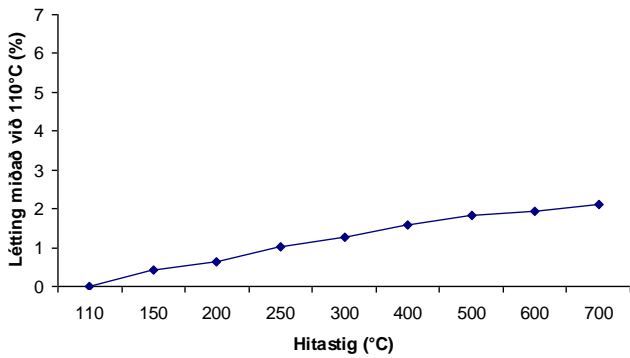
Sýni nr. 3. Jökulsá á Dal



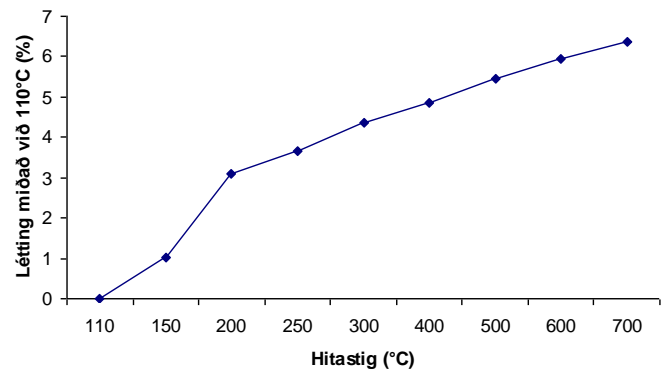
Sýni nr. 4. Lækjarbotnar



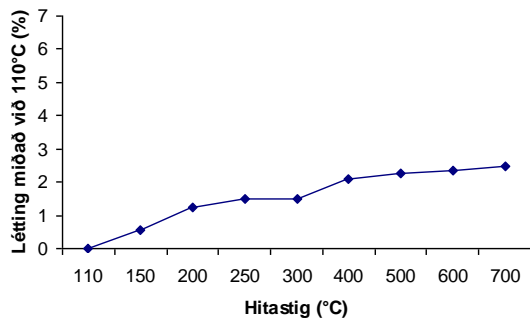
Sýni nr. 5. Háumelur



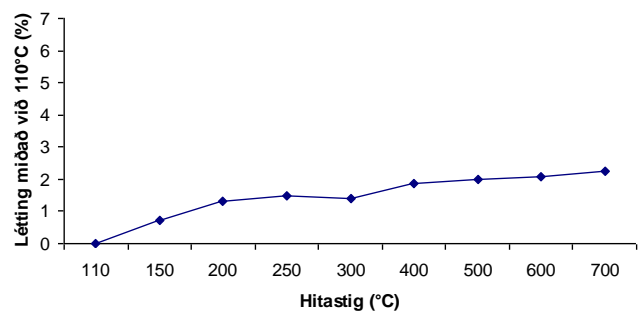
Sýni nr. 6. Rauðamelur



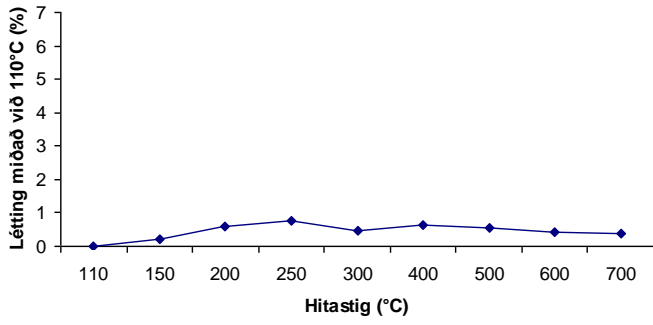
Sýni nr. 7. Haukadalsá



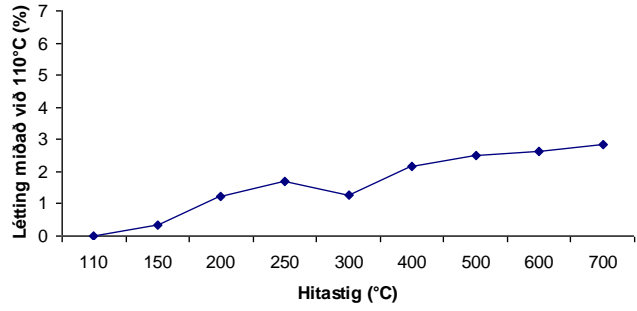
Sýni nr. 8. Bakkasel



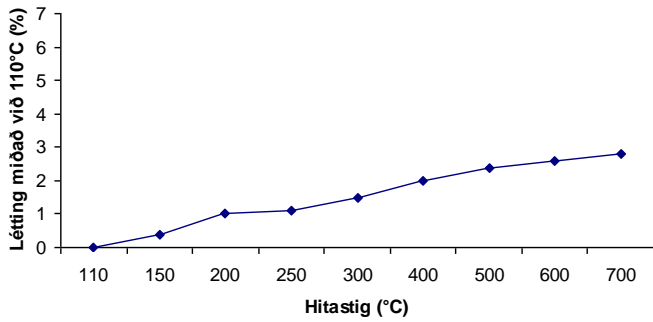
Sýni nr. 9. Seljadalur



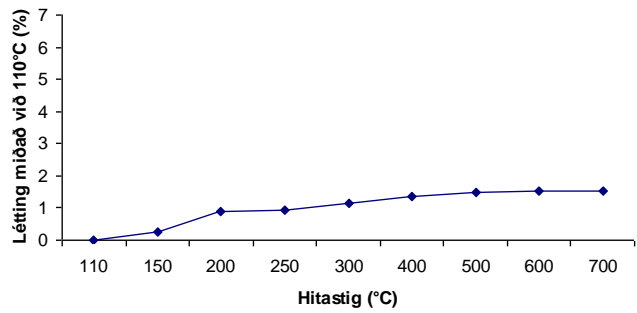
Sýni nr. 10. Stóra Fellsöxl



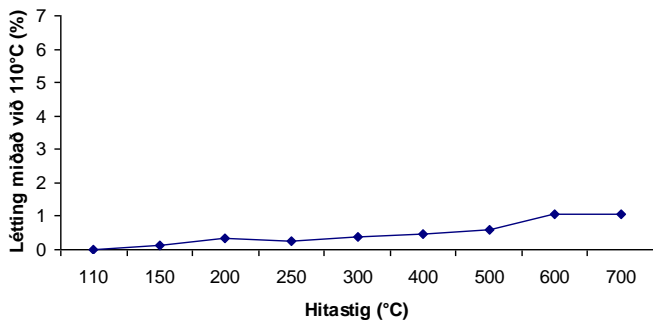
Sýni nr. 11. Brjánslækur



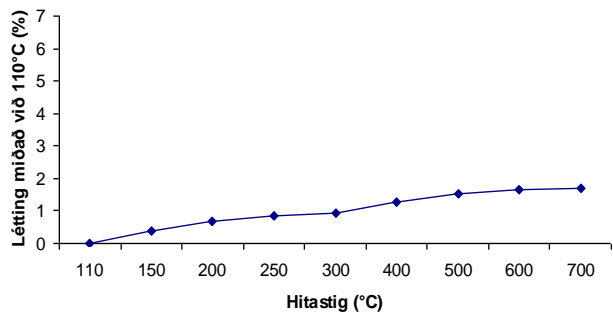
Sýni nr. 12. Hólmkelsá



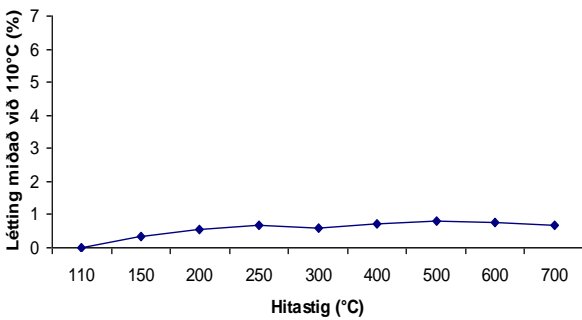
Sýni nr. 13. Björgun



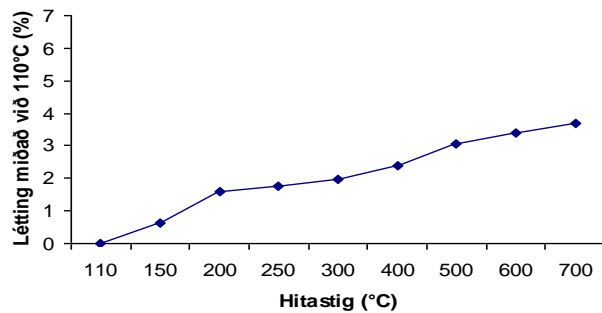
Sýni nr. 14. Vallholt



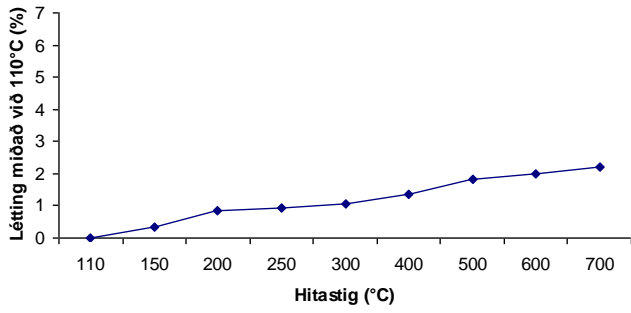
Sýni nr. 15. Vatnsskarð



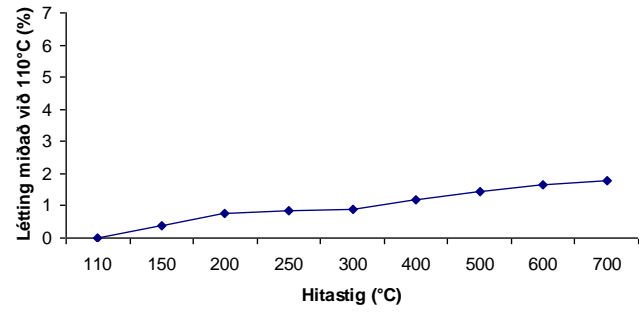
Sýni nr. 16. Glerá



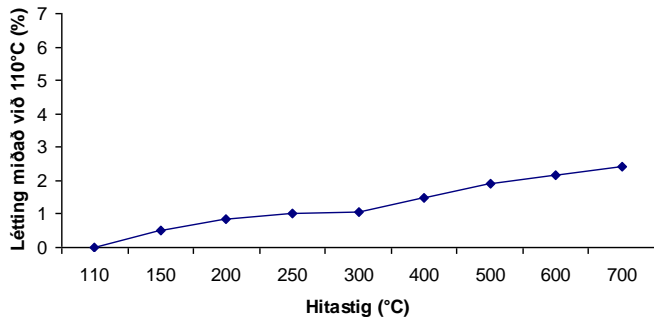
Sýni nr. 17. Norðfjarðará



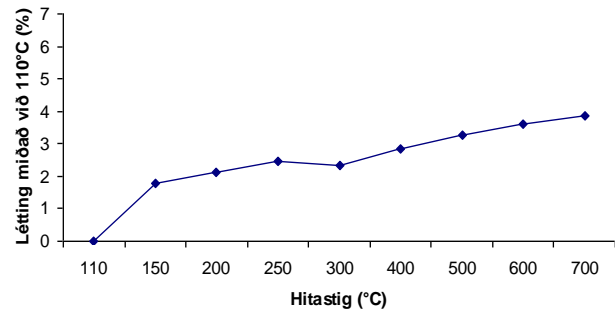
Sýni nr. 18. Hraunaós



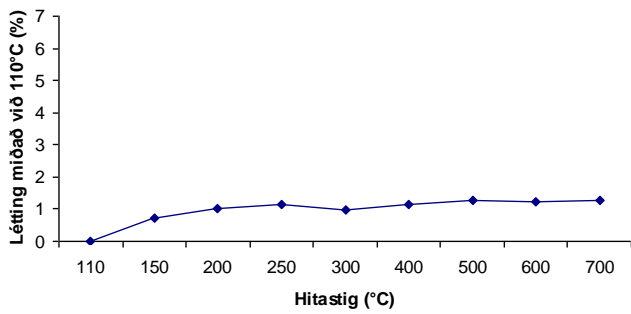
Sýni nr. 19. Hólabrú



Sýni nr. 20. Lárkot

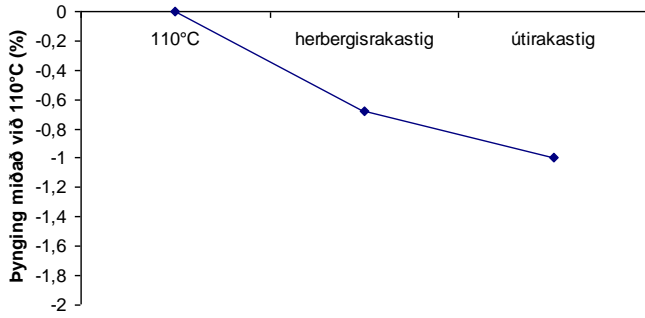


Sýni nr. 21. Markarfljót

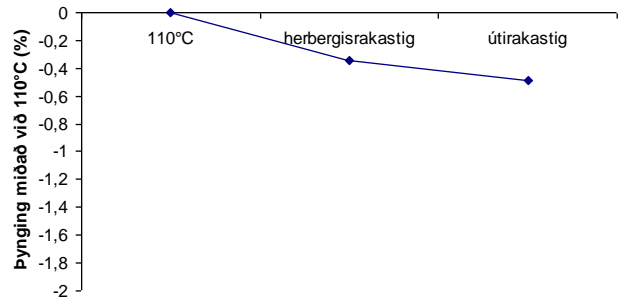


Viðauki IV:
Rakadrægniferlar

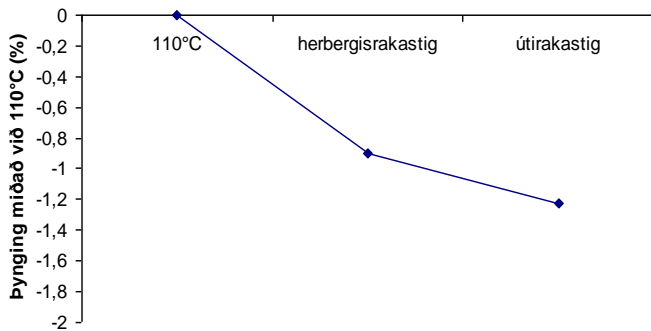
Sýni nr. 1. Krossanes



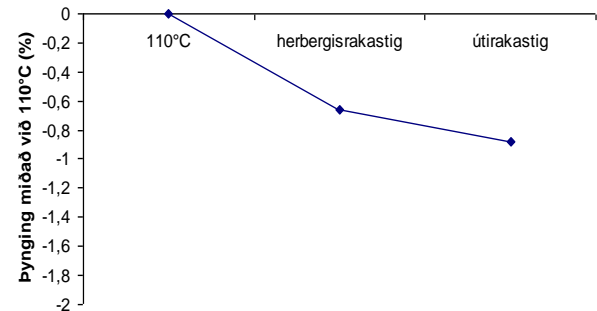
Sýni nr. 2. Jökulsá á Fjöllum



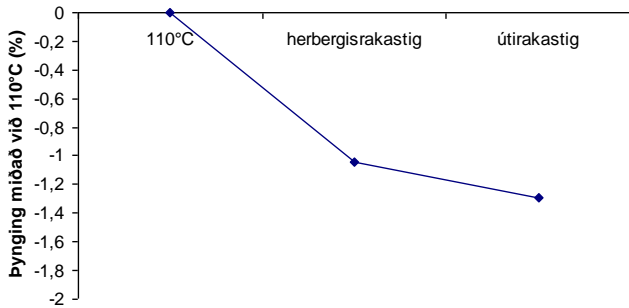
Sýni nr. 3. Jökulsá á Dal



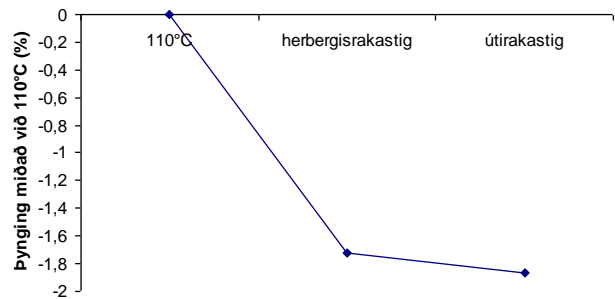
Sýni nr. 4. Lækjarbotnar



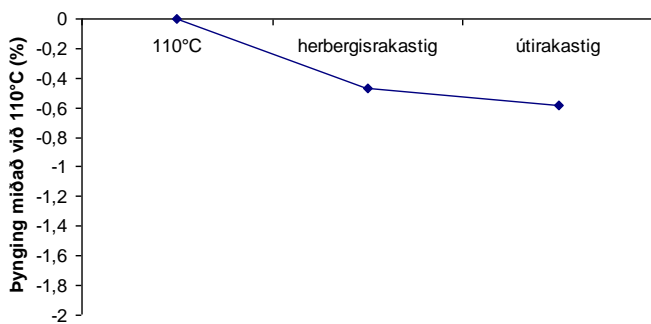
Sýni nr. 5. Háumelur



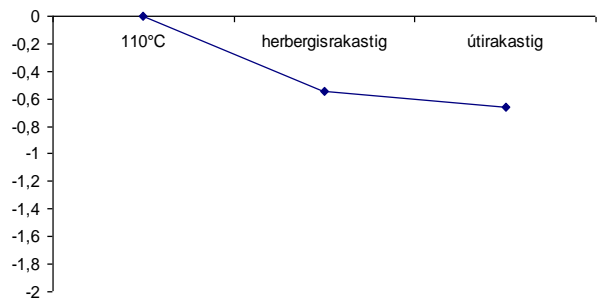
Sýni nr. 6. Rauðamelur



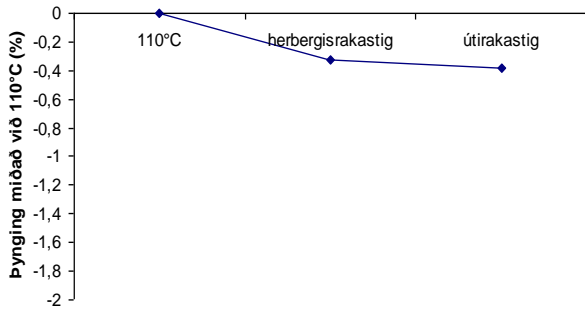
Sýni nr. 7. Haukadalsá



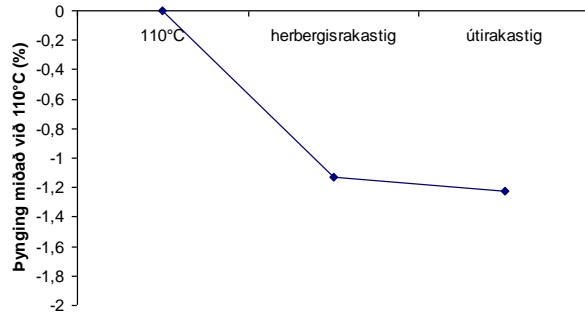
Sýni nr. 8. Bakkasel



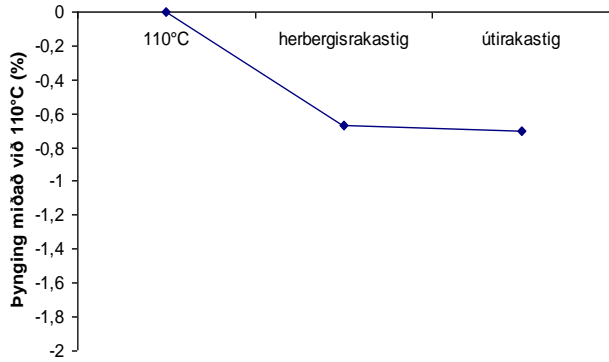
Sýni nr. 9. Seljadalur



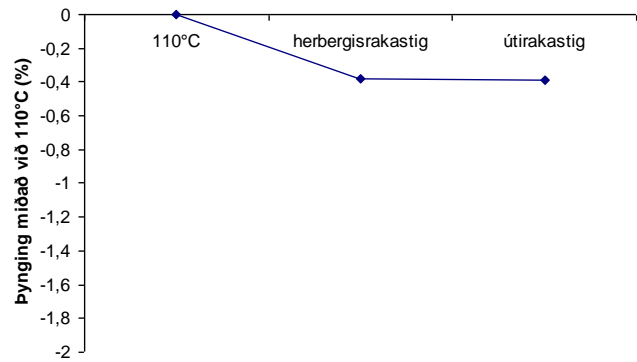
Sýni nr. 10. Stóra Fellsöxl



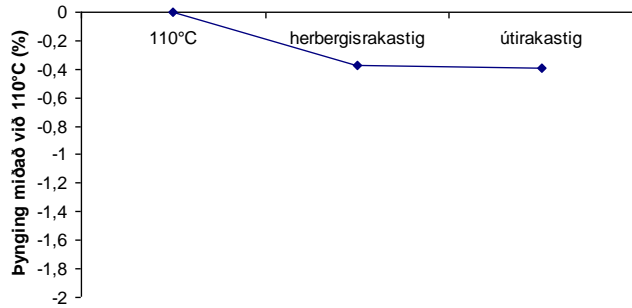
Sýni nr. 11. Brjánslækur



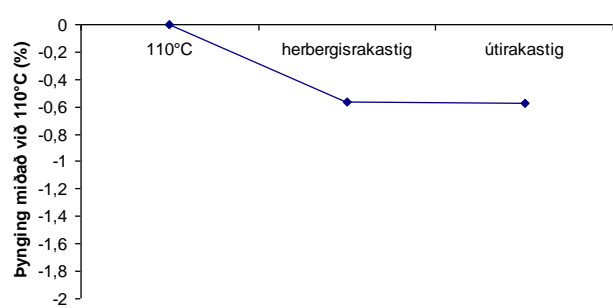
Sýni nr. 12. Hólmkelsá



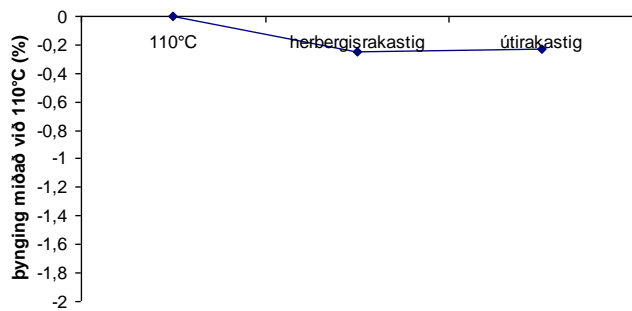
Sýni nr. 13. Björgun



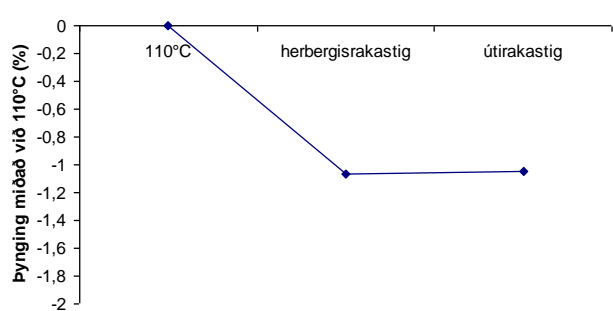
Sýni nr. 14. Vallholt



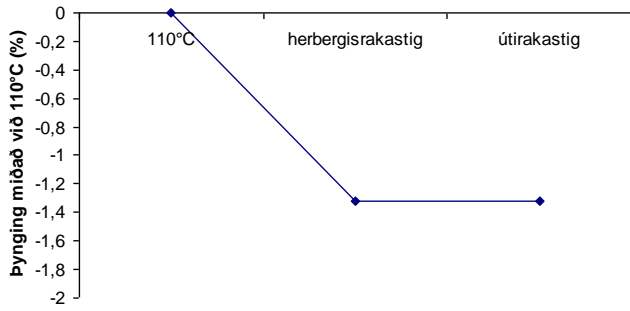
Sýni nr. 15. Vatnsskarð



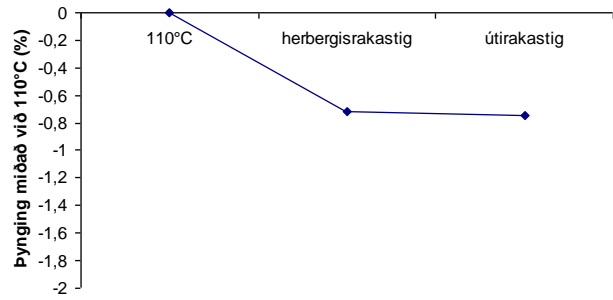
Sýni nr. 16. Glerá



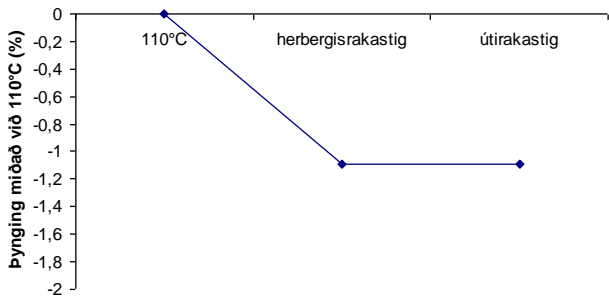
Sýni nr. 17. Norðfjarðará



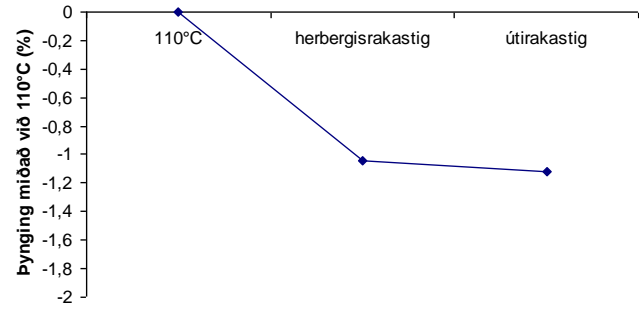
Sýni nr. 18. Hraunaós



Sýni nr. 19. Hólabrú



Sýni nr. 20. Lárkot



Sýni nr. 21. Markarfljót

