

Eru smektít og ættingjar óvinir viðloðunarefna? Áfangaskýrsla

Verkefnið er styrkt af Rannsóknasjóði Vegagerðarinnar
Mars 2021

Lykilsíða

Höfundar skýrslunnar bera ábyrgð á innihaldi hennar. Niðurstöður hennar ber ekki að túlka sem yfirlýsta stefnu Vegagerðarinnar eða álit þeirra stofnana eða fyrirtækja sem höfundar starfa hjá.

Númer skýrslu/gerð skýrslu	Fjöldi síðna	Dagsetning	Dreifing
1350-1808/Áfangaskýrsla	19	19. mars 2021	Opin
Heiti skýrslu			
Eru smektít og ættingjar óvinir viðloðunarefna?			
Report Title in English			

Do deleterious clay minerals affect effectiveness of adhesion promoters?

Höfundur	Verkefnastjóri	Tengiliður Vegagerðarinnar
Hafdís Eygló Jónsdóttir Erla María Hauksdóttir Þorbjörg Hólmgeirsdóttir	Birkir Hrafn Jóakimsson	Hafdís Eygló Jónsdóttir
Styrktaraðili		Samvinnuaðilar
Rannsóknarsjóður Vegagerðarinnar		Mannvit

Útdráttur

Í þessari rannsókn er gengið út frá því að ummyndun í sjálfu steinefninu geti haft áhrif á viðloðun steinefnis og að skaðlegar leirsteindir geti dregið verulega úr viðloðun þess. Valin hafa verið steinefni sem hafa farið í viðloðunarpróf. Markmiðið er að sjá hvort hægt er að greina skaðlegar steindir í þessum sýnum með bláma (methylene blue). Notuð verða bæði staðlað blámapróf og þunnarneiðar sem eru litaðar með bláma. Rannsóknin er á frumstigi.

Abstract in English

The assumption is made that deleterious clay minerals in the aggregate can significantly reduce its adhesion when tested with adhesion promoters. Samples that have been tested with adhesion promoters have been selected for testing in this study. Methylene blue will be used to identify these minerals and the samples will be analyzed in both the standardized methylene blue test and in thin section. This study is at an early stage.

Lykilorð

Smektít, skaðlegar leirsteindir, blámi, þunnarneiðar, viðloðun, klæðingarefni, viðloðunarefni

Undirskrift verkefnastjóra	Yfirið af
	BHJ

Efnisyfirlit

Áfangaskýrsla	1
Lykilsíða	2
Efnisyfirlit	3
1 Inngangur	4
2 Bakgrunnur	5
2.1 Steinefni	5
2.1.1 Steindir	5
2.1.2 Berggreining	7
2.2 Viðloðun	9
2.2.1 Hreinleiki	10
2.3 Blámi	10
3 Efniviður og aðferðir	11
3.1 Efnisval	11
3.2 Prófunaraðferðir	13
3.2.1 Blámapróf	13
3.2.2 Þunnsneiðar litaðar með bláma	13
4 Niðurstöður og umræður	16
5 Lokaorð	18
Heimildaskrá	19

1 Inngangur

Verkefnið *Eru smektít og ættingjar óvinir viðloðunarefna* er hluti af stærra rannsóknaverkefni sem ber heitið *Slitlög* og hefur fengið styrk frá Rannsóknasjóði Vegagerðarinnar síðustu árin. Þessi verkhluti er nýr og var sótt um styrk fyrir þennan hluta í fyrsta skipti árið 2020. Sótt hefur verið um áframhaldandi styrk fyrir verkefnið í ár, 2021.

Tilfni þessarar rannsóknar er að vísbendingar voru um að ákveðins misræmis gætti á milli viðloðunar og berggreiningar í nokkrum námum. Þetta ýtti undir að skoða áhrif skaðlegra steinda (kristalla) á viðloðun. Í rannsókninni er athugað hvort hentugt sé að nota metýlen bláma (methylene blue) til að meta áhrif skaðlegra steinda á viðloðun steinefna. Tilgangurinn er að finna steindir sem eru utan greiningarhæfni berggreiningar.

Steindir eins og leirsteindir geta verið mjög skaðlegar í mannvirkjum. Áhyggjurnar beinast fyrst og fremst að vatnsþenjanlegum leir sem er einstaklega vatnsdrægur í röku umhverfi og að sama skapi fljótur að losa sig við raka þegar þornar. Við þetta myndast þensla og samdráttur sem veldur álagi og innri spennu sem eykur líkur á niðurbroti steinefnis. Þessar steindir hafa jafnframt neikvæð áhrif á frostþol.

¹ Forsíðumynd: Smásjármynd af þunnsneið litaðri með bláma. Þorbjörg Hólmeirsdóttir, 1999.

2 Bakgrunnur

Forsagan fyrir þessu verkefni er að árið 2019 kom í ljós að sömu steinefni úr sömu námu og sömu vinnslu sýndu mismunandi viðloðun í viðloðunarprófi eftir því hvaða viðloðunarefni voru notuð. Það er í sjálfu sér ekkert óeðlilegt þar sem virkni efnanna er mismunandi. Við nánari skoðun á steinefnum vakti berggreining nokkurra þeirra athygli en samkvæmt þeim var stór hluti flokkaður í fyrsta flokk þótt lýsing í athugasemdum benti til annars. Sýni sem flokkuðust í berggreiningu í fyrsta flokk innihéldu töluvert magn af kornum sem voru byrjuð að ummyndast og sum voru orðin nokkuð ummynduð. Lýsingar eins og þessar neðangreindu mátti lesa í athugasemdum með berggreininganiðurstöðum:

- *Basalt lítt ummyndað þétt. Ólivín x-allar orðnir brúnir og töluvert af holufyllingum.*
- *Basalt ferskt þétt. Er samt ummyndað. Ólivín langt gengið yfir í leirsteindir.*
- *Basaltið er plagíóklasdílótt, plagíóklasinn er orðinn gulleitur í flestum tilvikum. Í basaltinu er einnig ólivín í miklu minna magni, það er gengið yfir í leirsteindir. Basaltið er flokkað ferskt þrátt fyrir mikla ummyndun.*

Í framhaldinu var ákveðið að skoða hvort skaðlegar leirsteindir hafa neikvæð áhrif á viðloðun og í hvaða magni.

2.1 Steinefni

Steinefni sem notuð eru til vegagerðar eru unnin úr setlögum og klöpp. Þau steinefni, sem unnin eru úr setlögum, eru í öllum tilfellum úr bergi sem hefur veðrast og brotnað í smærri korn. Bergið er samansett af steindum sem myndast við kristöllum efnasambanda þegar bráðin kvika kólnar. Þessar steindir eru hinar svokölluðu frumsteindir bergsins. Síðsteindir myndast vegna breytinga sem verða síðar á bergi og frumsteindum þess, meðal annars vegna veðrunar.

2.1.1 Steindir

Steindir eru náttúrulegt, einsleitt, fast efni með ákveðna efnasamsetningu. Berg er síðan flokkað í tegundir eftir samsetningu ólíkra steinda. Helstu bergtegundir á Íslandi eru basalt, ríólít, andesít og móberg. Þótt basalt sé yfirgnæfandi bergtegund, hátt í 90%, þá er fjölbreytni innan bergtegundarinnar mikil. Þessi fjölbreytni stafar annars vegar af ólíkri efnasamsetningu og hins vegar af misjöfnum aðstæðum við myndun og storknun kvikunnar. Ólíkir eiginleikar ásamt breytingum sem verða síðar vegna veðrunar bergsins hafa afgerandi áhrif á not þess til mannvirkjagerðar og er ástæða þess að alltaf er mælt með því að senda sýni af efninu í efnisrannsóknir.

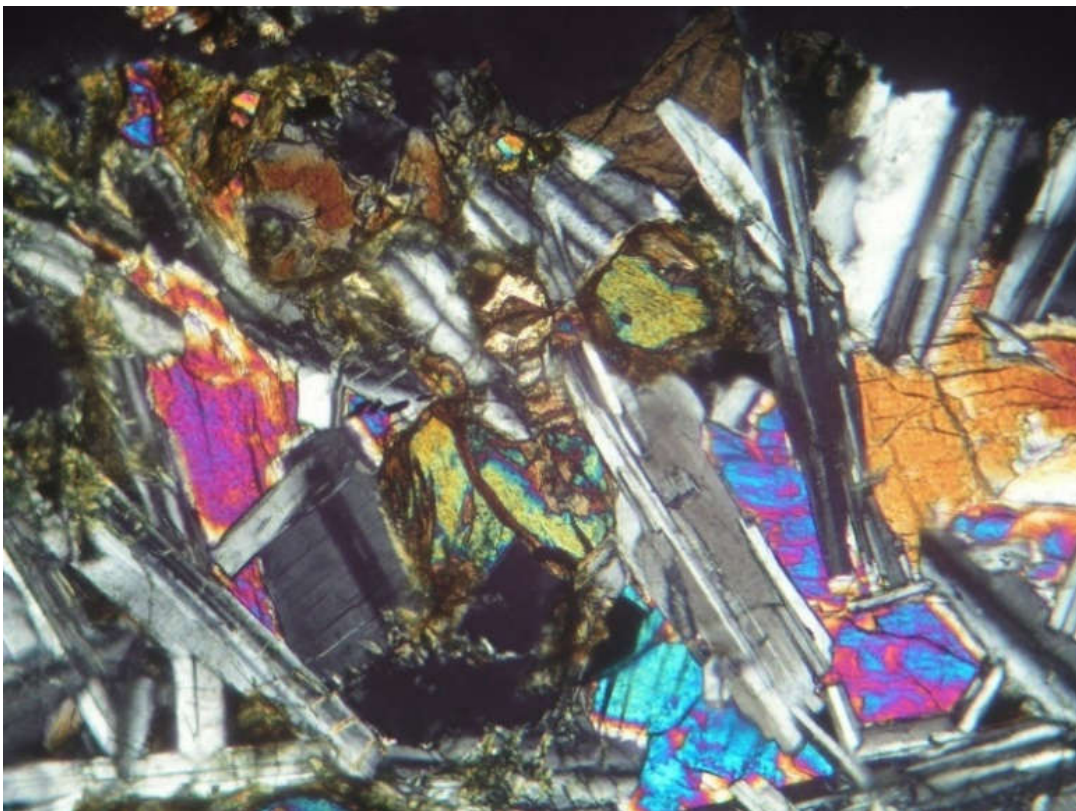
2.1.1.1 Frumsteindir

Í basalti eru algengustu frumsteindir ólivín, plagíóklas og pýróxen og koma þær bæði fyrir í grunnmassa bergsins og sem dílar (myndir 1 og 2).

Ólivín er mjög óstöðugt og viðkvæmt fyrir ummyndun. Ferskt ólivín er grænt en um leið og það kemst í snertingu við vatn getur það farið að ummyndast í rauðbrúnt iddingsít sem er blanda af leir og járnóxíðum. Í lághita myndast leir meðfram jöðrum kristalla og einnig í sprungum. Þegar ummyndunarstigið er orðið hátt er erfitt að greina að um ólivín hafi verið að ræða. Steindin er oft smásæ í grunnmassa og því erfitt að fylgjast með ummyndun hans nema dílar komi fyrir í berginu.

Plagíóklas ummyndast tiltölulega fljótt og á það sérstaklega við um díla. Í lághita verða þeir geislasteinum að bráð. Nokkuð auðvelt er að greina ummyndun í plagíóklas, en hún byrjar með leirsprungum en smám saman leysist plagíóklasinn upp og verður gulleitur og blettóttur.

Í pýroxeni sjást fyrstu merki ummyndunar á því að jaðrarnir verða hvítir.



↑ **Mynd 1** Smásjármynd sem sýnir frumsteindir í íslensku bergi: ólivín (bleikur, gulgrænn og appelsínugulur), plagíóklas (staflaga grár og hvítur), pýroxen (HMH, ÍSOR 2021²).

² Helga Margrét Helgadóttir, Íslenskar Orkurannsóknir



↑ **Mynd 2** Hraunmoli með dílum. Grænu kristallarnir eru ólívín dílar, þeir hvítu eru plagíóklas og svörtu eru pyroxen³.

2.1.1.2 Síðsteindir

Síðsteindir verða til vegna veðrunar og ummyndunar á bergi eftir storknun. Breytingar verða á frumsteindum bergs og nýjar steindir koma inn sem ekki voru til staðar þegar bergið varð til.

Veðrun er niðurbrot og breyting bergs nálægt yfirborði jarðar vegna t.d. úrkomu, hitabreytinga og/eða efnahvarfa. Ummyndun er niðurbrot og breyting bergs vegna hærra hitastigs, þrýstings eða breyttrar jarðvatnssamsetningar. Þessar breytingar draga úr slitþoli, styrk og veðrunarþoli bergs.

Fyrstu síðsteindir í basalti eru svo smáar að þær eru illgreinanlegar nema með röntgengreiningum og öðrum ámóta aðferðum. Á meðal þeirra eru oft skaðlegar, vatnsþenjanlegar leirsteindir (smektít/montmórrillonít) og beinist þessi rannsókn að því að greina þær með óbeinum aðferðum eins og að lita þær með bláma. Leirsteindir eru mjög smáar og mjúkar. Þær greinast á mýktinni þegar þær eru greinanlegar í berggreiningu en ekki er hægt að greina þær til tegunda, s.s. hvort þær eru skaðlegar eða ekki.

Dæmi um algengar, þekktar síðsteindir á Íslandi eru geislasteinar, silfurberg, ópall, ónyx og jaspis.

2.1.2 Berggreining

Á Íslandi er notuð íslensk aðferð til að greina steinefni til tegundar og þeirra atriða sem eru talin upp í köflum 2.1.1 og 2.1.2. Aðferðin byggir í grunninn á Evrópustaðli ÍST EN 932-3.

Berggreining nýtist vel til að gefa vísbendingar um hæfi steinefnis til mannvirkjagerðar, t.d. hvað varðar styrkleika, slitþol og veðrunarþol. Æskilegt er að prófið sé gert áður en ráðist er í ítarlegri prófanir. Berggreining gefur mikilvægar upplýsingar um eiginleika efnisins sem hafa áhrif á notkun þess. Þó þarf að hafa það hugfast að berggreining er leiðbeinandi próf sem eitt og sér dugir ekki til að ákvarða hvort efnið sé hæft í mannvirki með hliðsjón af þeim kröfum sem gerðar eru til þess.

³ <https://www.mr.is/~gk/jfr/ordskyr/d/3-dil-budahraun.htm>

Hefð er fyrir því á Íslandi að nota niðurstöður berggreiningar til að skipta efninu í þrjá gæðaflokka, 1., 2. og 3. flokk, með hliðsjón af ætluðum notum þar sem besta efnið á að lenda í fyrsta flokki. Notuð er gæðaflokkun eins og hún birtist í Rb-blaði (Rb-blað Yp1.009) og Efnisgæðariti Vegagerðarinnar. Í efnisgæðaritinu segir um gæðaflokkunina:

„Oftast er litið fyrst og fremst til magns efnis sem lendir í þriðja gæðaflokki en magn efnis í þeim flokki gefur oftast sterka hugmynd um hvort efnið muni standast aðrar kröfur sem gerðar eru til steinefnisins. Einnig er í vissum tilfellum litið til þess hversu mikið af efninu fer í 1. flokk, en það á sérstaklega við um steinefni sem ætlað er til nota í klæðingu eða malbik þar sem umferð er mjög mikil“.

Í Efnisgæðariti Vegagerðarinnar er fjallað mjög ítarlega um berggreiningu og gæðaflokkun. Eftirfarandi skilgreiningar gilda um ummyndunarstigin:

Ferskt eða lítt ummyndað

„Korn sem er laust við alla ummyndun á frumsteindum og glerfasa eða hefur ummyndast að takmörkuðu leyti og án þess að það hafi áhrif á styrk þess, veðrunarþol og lit að nokkru marki. Í bergi sem hefur ólivindíla, er mögulegt að sú steind hafi dökknast (dökkrauð, dökkbrún, dökkgrá) en ekki ummyndast yfir í leirsteindir. Í berginu geta verið lághitaholufyllingar, en stórar blöðrur eru yfirleitt ekki fylltar.

Við skoðun í bergfræðismásjá sést að ólivín- og glerfasar eru oft vatnaðir, en plagióklas- og pýroxensteindir sýna almennt lítil sem engin merki breytingar. Ummyndun í grunnmassa, ef hún er einhver, er staðbundin og yfirleitt tengd smásæjum sprungum í steindakornum eða blöðrum. Málmur getur verið byrjaður að oxast“.

Nokkuð ummyndað

„Korn sem er farið að breyta um lit og áhrifanna m.a. farið að gæta í lækkuðum styrk. Ólivindílar í ummynduðu bergi eru orðnir að leirsteindum. Málmur í grunnmassa er verulega ummyndaður og reikna má með að plagióklas- og pýroxensteindir séu byrjaðar að ummyndast og bergið haldi meirihluta upprunalegs styrks. Mjög algengt er að allar blöðrur séu fylltar. Holufyllingar geta verið margskonar: Seólítar (geislasteinar), leirsteindir, kvarssteindir o.fl.

Við skoðun í bergfræðismásjá sést að ólivín og glerfasar eru að fullu ummyndað og orðið að ummyndunarsteindum. Plagióklas- og pýroxensteindir eru almennt byrjaðir að veikjast vegna útskolunar (uppleysing og tilfærsla efnis) og sprungur og kleyfnifletir þeirra eru oft litaðir. Ummyndun í grunnmassa er umtalsverð“.

Mjög ummyndað

„Korn þar sem frumsteindirnar eru að verulegu leyti ummyndaðar og áhrifa þess gætir m.a. í lágum styrk. Hiti hefur verið nógu hár til að bæði plagióklas og pýroxen hafa ummyndast. Oft er svo mikill leir í sýninu að það hnoðast undir hamri. Yfirleitt eru ekki seólítar í mjög ummynduðu bergi. Algengustu holufyllingar eru kvarssteindir og kalsít.

Við skoðun í bergfræðismásjá sést að plagióklas- og pýroxensteindir eru almennt mikið ummyndaðar út frá sprungum, kleyfniflötum og jöðrum. Grunnmassi er oft illa farinn af leirsteindum og öðrum ummyndunarfösum.

Í þennan flokk eru stundum sett korn, sem eru ummynduð en ekki mjög ummynduð skv. framangreindum skilgreiningum, en eru eingöngu með veikum holufyllingum og eru af þeim sökum mjög ótraust. Sömuleiðis korn sem hafa verið mjög ólívínrik en ólívínið ummyndast í leir og kornin orðið veik af þeim sökum, þótt aðrar steindir séu lítt ummyndaðir“.

Óskilgreind ummyndun

„Kornin hafa ekki verið flokkuð með tilliti til ummyndunar“.

2.2 Viðloðun

Til að meta tengingu bikblöndu við steinefni eru gerð svo kölluð viðloðunarpróf. Tvenns konar viðloðunarpróf eru notuð héraendis, raunblöndupróf fyrir klæðingar og rúlluflöskupróf fyrir malbik. Í þessari rannsókn er einungis verið að skoða steinefni sem er notað í klæðingar. Í þeirri umræðu sem fer hér á eftir er verið að fjalla um raunblöndupróf þegar talað er um viðloðunarpróf.

Klæðing samanstendur af bikblöndu og steinefnum. Bikblanda er bik, lífolía og viðloðunarefni. Lífolíunni er bætt út í blönduna til að auðvelda útlögn og viðloðunarefni er límhvati sem tengir steinefni við blönduna. Án viðloðunarefna verður engin viðloðun.

Viðloðunarpróf er framkvæmt á þann hátt að mjúkt bik (PG 160/220) er mýkt með lífolíu, hitað og viðloðunarefni bætt út í. Þessi bikblanda er svo hrærð saman í nokkrar mínútur og hituð áfram. Hrærsluskálin, þar sem prófið er gert, er hituð og steinefni sett í hana. Steinefnið, sem er > 4 mm, er blandað með vatni til að ná 6% rakastigi og er það til að líkja eftir umhverfisraka. Þessi blanda er svo hrærð í nokkrar mínútur til að þekja steinefnið. Þar næst er vatni hellt út í og blandan hrærð í klukkustund (Pétur Pétursson 2012).

Það sést fljótt á vatninu hvort viðloðun muni nást, yfir 90% þakning, eður ei. Litabreyting verður á vökvanum frá tæru vatni yfir í ógagnsæjan, skýjaðan vökva sem stafar oftast af tveimur ástæðum. Sú fyrri er vegna niðurbrots steinefnis sem verður vegna núnings sem myndast í hrærslunni (mekanísk áraun). Þetta verður fyrst og fremst ef steinefnið er ekki nógu sterkt. Seinni ástæðan er ef fínefni loðir við steinefnakornin þrátt fyrir að efni minna en 4 mm hafi verið sigtað frá. Steinefnið er ekki þvegið á rannsóknastofu nema sérstaklega sé beðið um það.

Að þessu loknu er steinefninu komið fyrir í bakka og þakning metin sjónrænt. Auk þess eru valin af handahófi 20 korn, skoðuð frá öllum hliðum og skipt upp í sex flokka eftir því hversu vel þakin þau eru. Flokkarnir eru:

1. 10% (0-20%)
2. 30% (20-40%)
3. 50% (40-60%)

4. 70% (60-80%)
5. 90% (80-95%)
6. 100% (> 95%)

Ef viðloðun reynist minni en 90% er hægt að grípa til ýmissa ráða til að athuga hvort hægt sé að auka hana. Má þar nefna að þvo steinefnasýnið fyrir próf, auka magn viðloðunarefnis eða prófa annað viðloðunarefni.

2.2.1 Hreinleiki

Í kröfum Vegagerðarinnar segir að æskilegt sé að fínefnainnihald klæðingarefna sé minna en 0,5%. Þess vegna er mikilvægt að kornastærðargreining sé gerð samhliða viðloðunarprófi til að upplýsingar um fínefnainnihald liggi fyrir.

Það sem í daglegu tali er kallað fínefni er efni með kornastærð minni en 0,063 mm. Þetta efni skiptist í kornastærðirnar silt (0,002-0,063 mm) og leir (minna en 0,002 mm). Þegar rætt er um leir getur það bæði átt við kornastærðina leir og steindaflokkinn leir. Það er mikilvægt að átta sig á því að þetta er ekki sami hluturinn.

Þrátt fyrir þvott og aðra meðhöndlun geta fínefni loðað við yfirborð steinefna sem getur valdið því að yfirborð þeirra lokast þannig að bikblanda nær ekki að tengjast. Síðar meir getur þetta leitt til steinloss í klæðingu vega.

2.3 Blámi

Metylen blámi (methylene blue) er lífrænt litarefni sem hjálpar til að finna skaðlegar steindir sem eru utan greiningarhæfni almennrar berggreiningar. Blámi dregst að yfirborði efnis með katjónaskiptum. Sýnt hefur verið fram á sterk tengsl á milli þenslustuðuls og blágildis (Yukselen og Kaya 2008). Í þessu samhengi er einkum horft til leirsteinda úr smektít/montmórrillonít fjölskyldunni en þær eru einstaklega vatnsdrægar í röku umhverfi og eru að sama skapi fljótar að losa sig við raka þegar þornar. Við þetta myndast þensla og samdráttur sem veldur álagi og innri spennu sem eykur líkur á niðurbroti steinefnisins. Þær hafa jafnframt neikvæð áhrif á frostþol (Þorbjörg Hólmgeirsdóttir 2000) enda eru frostþíðubreytingar í reynd sambærilegar rakabreytingum. Þá eru líka vel þekkt tengsl frostþols steinefnis og ummyndunar þess (Pétur Pétursson 1998).

Í rannsókn sem Kandhal o.fl. (1998) gerðu voru niðurstöðurnar þær að hægt er að nota blámapróf til að meta hvort til staðar séu skaðleg fínefni sem veikja viðloðun í heitblönduðu malbiki.

Staðlað blámapróf (ÍST EN 933-9) hefur hingað til ekki verið mikið notað hérlandis en hefur þó verið notað í nokkrum verkefnum fyrir Vegagerðina.

3 Efniviður og aðferðir

3.1 Efnisval

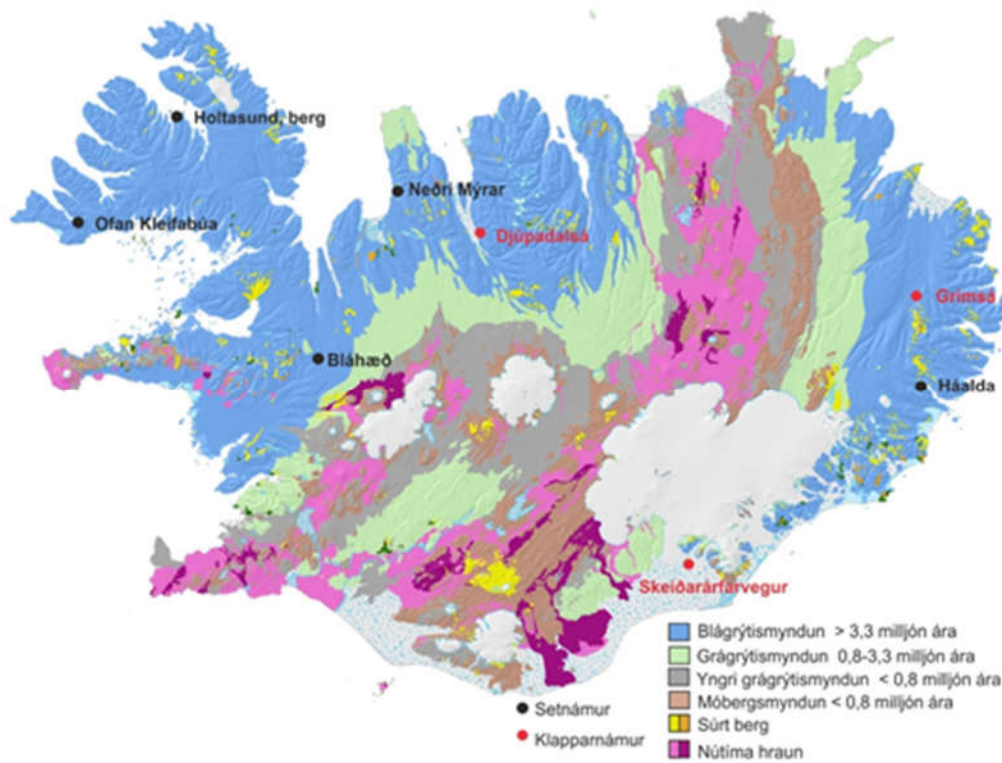
Í þessu verkefni voru samnýtt sýni sem safnað var fyrir annað verkefni er tengist viðloðun steinefna og tengist óbeint þessu rannsóknaverkefni. Í því verkefni var gert viðloðunarpróf með þremur mismunandi viðloðunarefnum fyrir hvert og eitt þessara sýna.

Um er að ræða sýni úr átta námum, fimm klapparnámum og þremur setnámum, sem var safnað víðsvegar um landið á árunum 2019 til 2020 (mynd 3). Námurnar eru:

1. *Háalda í Berufirði*
2. *Grímsá á Héraði*
3. *Djúpadalsá í Skagafirði*
4. *Neðri-Mýrar í Refasveit*
5. *Holtasund, berg við innanvert Ísafjarðardjúp*
6. *Ofan Kleifabúa á Kleifaheiði*
7. *Bláhæð á Holtavörðuheidi*
8. *Skeiðararfurvegur*

Steinefnin sem eru í mismunandi stærðarflokkum, 4/16, 8/11 og 8/16 mm, voru unnin í umræddum námum á árunum 2017 til 2019. Allt steinefnið var tvíbrotið, þ.e. brotið með forbrjót og eftirbrjót og þvegið á verkstað. Eini staðurinn sem steinefni var ekki þvegið var í námunni Holtasund, berg.

Á þessum sömu steinefnum hafa nýlega verið gerðar rannsóknir á slitþoli (kúlnakvörn), kornadreifingu, berggreiningu og viðloðun sem tengjast öðru verkefni og eru niðurstöðurnar samnýttar í þessu verkefni. Í töflu 1 má sjá þær niðurstöður ásamt námuheitum, námunúmerum, stærðarflokkum efnis og framleiðsluári steinefnisins. Þrjú mismunandi viðloðunarefni, kölluð A, B og C í þessari rannsókn, voru prófuð á steinefnunum á árunum 2019-2020 á Rannsóknastofu Vegagerðarinnar. Ekki er nánar fjallað um viðloðunarefnið hér þar sem þau eru ekki viðfangsefnið. Ekkert þeirra steinefna sem sett voru í viðloðunarpróf voru þvegin á rannsóknastofu. Þau voru prófuð eins og þau komu fyrir beint úr haug. Þar sem Ofan Kleifabúa innihélt töluvert magn fínefna var það einnig prófað þvegið og varð viðloðunin betri við það.



↑ **Mynd 3** Einfalt jarðfræðikort af Íslandi sem sýnir grófa skiptingu berggrunns. Steinefnanámur sem sýni voru tekin úr eru sýndar á kortinu⁴.

↓ **Tafla 1** Steinefni sem notuð voru í rannsókninni.

Námuheiti	Námunúmer	Fínefni < 0,063 mm	Framleiðslu-ár	Slitþol	Stærðar- flokkun mm	Berggreining	Viðloðun		
							1.fl./2.fl./3.fl	A	B
Ofan Kleifabúa*	20380	1,2%	2019	20-22	8/11	66/29/5	50%	70%	80%
Grímsá* +	18586	0,5%	2019	13-17	8/16	24/61/16	60%	78%	95%
Skeiðarárfarvegur ⁺	22784	0,6%	2017	16	4/16	59/30/11	70%	95%	99%
Bláhæð*	15908	0,4%	2017	13-14	8/11	15/82/3	75%	80%	95%
Holtasund, berg*	17721	0,9%	2018	12	8/16	70/30/0	80%	99%	99%
Djúpadalsá ⁺	15998	0,6%	2018	13-14	8/11	71/27/2	85%	98%	98%
Neðri Mýrar	21369	0,7%	2018	5-6	8/11	93/6/1	97%	98%	99%
Háalda	22725	0,6%	2018	13	8/11	53/46/1	98%	99%	99%

* í fyrstu lotu var ákveðið að prófa sýni úr þessum námum.

+ Setnámur.

⁴ © Náttúrufræðistofnun Íslands

3.2 Prófunaraðferðir

Til að meta hvort skaðlegar, vatnsþenjanlegar steindir eru til staðar í sýnunum var ákveðið að nota tvær prófunaraðferðir, staðlað blámapróf og þunnsneiðar litaðar með bláma. Í báðum aðferðum eru steindirnar auðkenndar á einn eða annan hátt með blámanum en þær eru, eins og áður hefur komið fram, utan greiningarhæfni berggreiningar. Nánar er fjallað um aðferðirnar tvær hér á eftir.

3.2.1 Blámapróf

Notað var alþjóðlega staðlað blámapróf (ÍST EN 933-9) á fínefni úr einu sýni, Ofan Kleifabúa (tafla 1). Prófið er gert á 0/2 mm efni og er því ætlað að gefa upplýsingar um magn skaðlegra fínefna, fyrst og fremst vatnsþenjanlegs leirs til aðgreiningar frá skaðlausu eða óvirku fínefni. Blámalausn er bætt út í steinefnasýni í vatnslausn þar til fínefnið drekkur ekki meira af litarefninu í sig. Fylgst er með því hvenær sýnið mettast af litarefninu með svo kölluðu dropaprófi en þá er dropi af lausninni settur á filterpappír. Endapunktur er náð þegar steinefnasýnið er mettað en þá myndast nokkurs konar geislabaugur utan um sýnið á filterpappírnum (mynd 4). Blágildið er 1/10 af því magni sem sýnið dregur í sig, gefið upp sem g af litarefni á kg af steinefnasýni.



Hrein blámalausn.



Blámapróf án geislabaug – prófi ekki lokið.



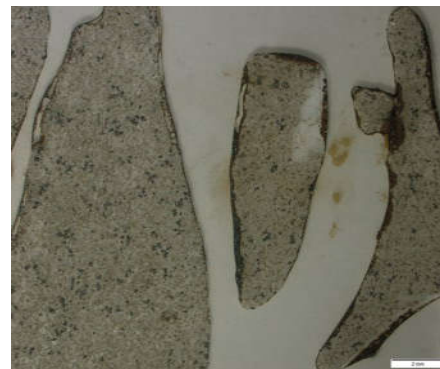
Blámapróf með geislabaug – prófi lokið.

↑ **Mynd 4** Lengst til vinstri er ljósmynd af hreinni blámalausn. Hinar tvær myndirnar voru teknar þegar sýni frá Ofan Kleifabúa var sett í blámapróf⁵.

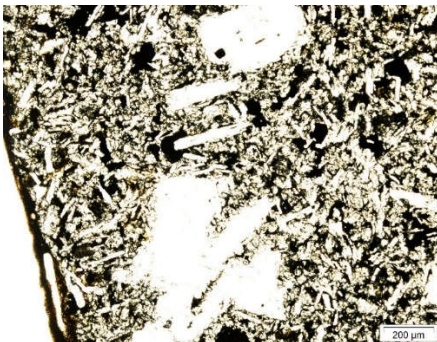
3.2.2 Þunnsneiðar litaðar með bláma

Greining steinefnis í þunnsneið er gagnleg meðal annars til að skoða ástand efnisins með tilliti til ummyndunar og annarra bergfræðilegra eiginleika. Þunnsneiðar eru útbúnar til að skoða í smásjá, bæði bergfræðismásjá og víðsjá. Aðalmunurinn milli þeirra er sá að bergfræðismásjá er með skautuðu ljósi og hönnuð til að skoða þunnsneiðar í gegnumfallandi, skautuðu ljósi. Í víðsjá lýsir ljósið ekki í gegn og því er einungis yfirborð korna skoðað þar (myndir 5 og 6).

⁵ Guðrún Eva Jóhannsdóttir, Mannvít 2020



↑ **Mynd 5** Myndin vinstra megin er tekin í bergfræðismásjá með tvískautuðu ljósi sem veldur tvíbrotslitum. Hægra megin er mynd af þunnsneið í víðsjá og þar sést bindiefnishimnan betur. Á þeirri mynd má sums staðar sjá holrým á milli yfirborðs korna og bindiefnis⁶.



↑ **Mynd 6** Mynd af einni og sömu þunnsneiðinni tekin í bergfræðismásjá. Vinstra megin er einskautað ljós og hægra megin er tvískautað ljós. Stóru ljósu flekkirnir eru plagíóklas dílar, annað er grunnmassi með minni steindum.⁶

Venjan er að loka þunnsneiðum með þekjugleri en ef því er sleppt gefst færi á því að lita efnið með bláma. Með þessu móti er hægt að greina litun steinefnisins og þar með fá vísbendingar um tilvist skaðlegra steinda og hvernig þær dreifast um steinefnakorn.

Árið 2020 voru útbúnar þunnsneiðar af steinefnasýnum úr fjórum námum sem sett höfðu verið í viðloðunarpróf. Þunnsneiðarnar voru útbúnar hjá Háskóla Íslands en þær eru 0,03 mm steinefnabynnur sem eru límdar á glerplötur. Þunnsneiðarnar voru flokkaðar eftir námum, mismunandi viðloðunarefnum og hvort viðloðun var yfir eða undir 90% (tafla 2). Sem dæmi þýðir OK2.1 efni frá Ofan Kleifabúa, viðloðunarefni A og viðloðun yfir 90%.

⁶ Rebekka Hlín Rúnarsdóttir, Háskóla Íslands 2020

↓ **Tafla 2** Listi yfir þunnsneiðarnar sem voru útbúnar í verkefninu. Valin voru af handahófi korn sem sýndu viðloðun yfir og undir 90%.

Námuheiti	Stærðarflokkur mm	Heiti þunnsneiðar					
		Viðloðunarefni A		Viðloðunarefni B		Viðloðunarefni C	
		> 90%	< 90%	> 90%	< 90%	> 90%	< 90%
Ofan Kleifabúa	8/11	OK2.1*	OK2.2	OK3.1	OK3.2	OK1.1	OK1.2
Grímsá	8/16			GR3.1	GR3.2	GR1.1	GR1.2
Bláhæð	8/11			BL3.1	BL3.2	BL1.1	BL1.2
Holtasund, berg	8/16		HS2.2			HS1.1	

* Fyrri talan vísar til viðloðunarefnis og sú síðar til hvort viðloðun var yfir eða undir 90%.

Við þunnsneiðagerð af steinefnum er sýni drekkt í tveggja þátta lím (epoxy) og leyft að harðna í nokkra sólarhringa (mynd 7). Síðan er kubburinn sagaður í sundur, límdur á glerplötu og þússaður þar til æskilegri þykkt er náð. Að lokum er slípmassi notaður til að þússa sýnið þar til sýnaflöturinn er alveg sléttur. Við þessa meðhöndlun eru flestir kristallar gagnsæir og unnt að greina þá, jafnt bergtegund, stærð steinda og innri gerð bergs. Skilið var við þynnurnar í þessu verkefni þannig að auðvelt væri að lita þær með bláma, það er ekki var sett þekjugler á þær.



↑ **Mynd 7** Þunnsneið í vinnslu, steinefnakorn í epoxy kubb sem búið er að saga í sundur. Á þessari mynd sjáum við inn í klæðingarefni eftir viðloðunarpróf. Kornin eru úr sömu námu og er stærðin 8/11 mm. Vinstra megin á myndinni eru korn með viðloðun yfir 90% og hægra megin eru með korn með viðloðun undir 90%. Greinilega má sjá bindiefnishimnuna á kornunum vinstra megin en hún er lítil sem engin hægra megin⁷.

⁷ Hafdís Eygló Jónsdóttir, Vegagerðin 2020

4 Niðurstöður og umræður

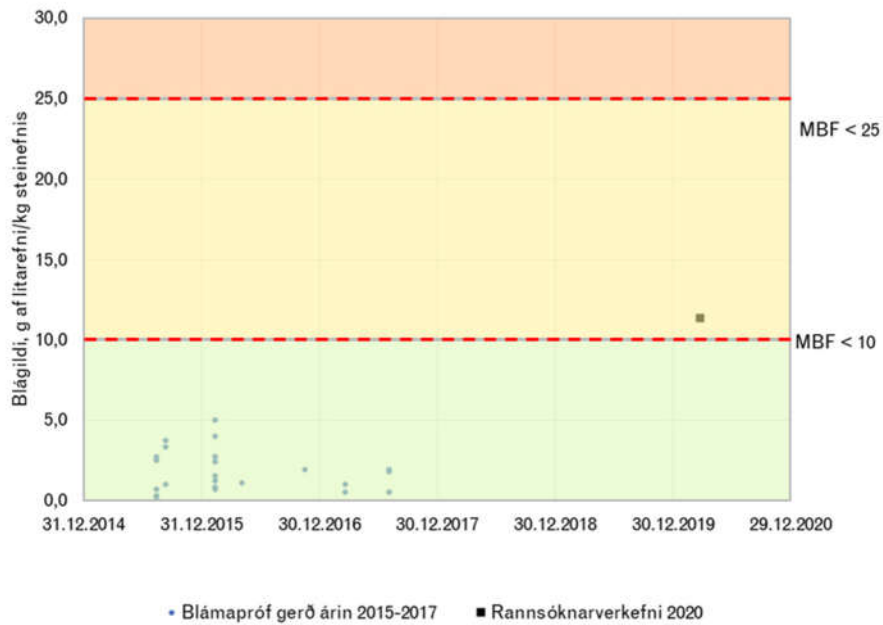
Lokið er stöðluðu blámaprófi á einu sýni, Ofan Kleifabúa. Sýnið var undirbúið á Rannsóknastofu Vegagerðarinnar og prófað á Rannsóknarstofu Mannvits. Blágildi efnisins mældist 11,3. Við samanburð á niðurstöðum úr gagnasafni Rannsóknarstofu Mannvits kemur í ljós að þetta er umtalsverð litun sem bendir til þess að töluverð skaðleg ummyndun sé til staðar í efninu (tafla 3). Í gagnasafninu eru niðurstöður úr 25 prófum frá árunum 2015 til 2017 sem í öllum tilfellum voru gerð fyrir Vegagerðina á íslenskum steinefnum. Í töflunni er sýndur fjöldi mælinga á tilteknu bili fyrir blágildi til samanburðar við kröfur ÍST EN 13043 sem er kröfustaðall fyrir bundin slitlög. Á mynd 8 er myndræn framsetning á niðurstöðunum.

Með hliðsjón af þessum niðurstöðum og þeim vandamálum sem hrundu þeirri rannsókn, sem skýrsla þessi fjallar um, má ætla að áhrif af völdum skaðlegra leirsteinda geti að einhverju leyti verið falið vandamál hérlendis. Æskilegt er að skoða þetta nánar.

Útbúnar hafa verið 16 þunnsneiðar og búið er að lita hluta þeirra með bláma. Þessar sneiðar bíða núna eftir greiningu, verður hún gerð árið 2021.

↓ **Tafla 3** Samantekt á niðurstöðum mælinga á blágildi skv. ÍST EN 933-9 úr gagnasafni Rannsóknarstofu Mannvits og úr þessari rannsókn. Jafnframt eru kröfuflokkar ÍST EN 13043 sýndir með mismunandi litakóðum. Grænt er besti flokkurinn.

MB gildi á bilinu	Fjöldi mælinga	Fellur í kröfuflokk skv. ÍST EN 13043
≤ 1,0	9	MB _r 10
1,1 - 1,5	3	
1,6 - 2,0	3	
2,1 - 2,5	3	
2,6 - 3,0	3	
3,1 - 7,0	4	
7,1 - 10,0	0	
10,1 - 25,0	1	MB _r 25
> 25,0	0	MB _r Declared



↑ **Mynd 8** Niðurstöður mælinga á blágildi skv. ÍST EN 933-9. Á myndinni eru niðurstöður mælinga sem gerðar voru á Rannsóknarstofu Mannvits árin 2015-2017 til samanburðar við niðurstöður úr þessu rannsóknarverkefni. Allar eldri mælingarnar voru gerðar fyrir Vegagerðina. Á myndinni eru einnig sýndir kröfuflokkar skv. ÍST EN 13043 með mismunandi litakóðum. Grænt er besti flokkurinn.

5 Lokaorð

Frumniðurstöður gefa tilefni til að halda þessum rannsóknum áfram. Sótt hefur verið um framhaldsstyrk til rannsóknarsjóðs Vegagerðarinnar. Í næstu lotu er fyrirhugað að gera staðlað blámapróf á fínefnum úr fleiri námum. Jafnframt verður haldið áfram að greina sýnin í þeim þunnsneiðum sem útbúnar hafa verið og þær litaðar.

Heimildaskrá

Efnisgæðarit Vegagerðarinnar (2021): Berggreining og gæðaflokkun, viðauki 10.

ÍST EN 932-3 (1996): Test for general properties of aggregates – Part 3: Procedure and terminology for simplified petrographic description.

ÍST EN 933-9 (2009): Tests for geometrical properties of aggregates – Part 9: Assessment of fines – Methylene blue test.

ÍST EN 13043 (2002): Steinefni í malbik og klæðningar á vegi, flugvelli og önnur umferðarsvæði.

Kandhal P.S., Lynn C.Y. og Parker F. (1998): Tests for plastic fines in aggregates related to stripping in asphalt paving mixtures. NCAT Report No. 98-3.

Pétur Pétursson (1998): Niðurbrot steinefna. Styrkleiki - veðrunaþol - slitþol. Lokaskýrsla. BUSL skýrsla E-20.

Pétur Pétursson (2012): Verklýsing fyrir raunblöndupróf; Klæðingar rannsóknir og þróun-Áfangaskýrsla til rannsóknasjóðs Vegagerðarinnar.

Rb-blað (2006): Berggreining í samræmi við Evrópustaðal ÍST EN 932-3:1996 – Gæðaflokkun fyrir steypu/slitlag/burðarlag. Rb Yp1.009.

Yukselen Y. og Kaya A. (2008): Suitability of the methylene blue test for surface area, cation exchange capacity and swell potential determination of clayey soils. Engineering Geology 102, 38-45.

Þorbjörg Hólmeirsdóttir (2000): Áhrif þenjanlegra leirsteinda á frostþol steinefnis. Lokaskýrsla. BUSL skýrsla E-39.

Þorgeir S. Helgason, Ásbjörn Jóhannesson, Guðmundur Sveinsson og Margrét I. Kjartansdóttir (2000): Berggreining áfangaskýrsla 2: Leiðbeiningar Efnisgæðanefndar við staðalinn ÍST EN 932-3:1996. BUSL skýrsla E-26.