

## Skaðlegar leirsteindir í steinefni fyrir klæðingar

Ferðalag til að finna bestu greiningaraðferðirnar

Áfangaskýrsla

---

Verkefnið er styrkt af Rannsóknasjóði Vegagerðarinnar

Febrúar 2023

## 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
1325VG-1800/903 Áfangaskýrsla	21	24.02.2023	Opin

### Heiti skýrslu

Skaðlegar leirsteindir í steinefni fyrir klæðingar  
Ferðalag til að finna bestu greiningaraðferðirnar

### Report Title in English

Harmful clay minerals in aggregates for surface dressing  
Study to identify the most effective test methods

Höfundur	Verkefnastjóri	Tengiliður Vegagerðarinnar
Þorbjörg Hólmeirsdóttir Hafdís Eygló Jónsdóttir Erla María Hauksdóttir	Hafdís Eygló Jónsdóttir	Hafdís Eygló Jónsdóttir

### Styrktaraðili

Rannsóknasjóður Vegagerðarinnar

### Samvinnuaðilar

Mannvit

### Útdráttur

Safnað hefur verið steinefnasýnum úr fimm námum og hlutsýni útbúin úr efni sem hefur farið í viðloðunarpróf. Tveimur aðferðum með bláma litarefni var beitt; Þunnsneiðar af steinefnakornum voru litaðar með litarefninu; og staðlað blámapróf var gert á fínefnum. Jafnframt voru skaðlegar leirsteindir greindar í röntgengreini (XRD). Fyrirliggjandi niðurstöður gefa tilefni til að halda áfram þessum rannsóknum og þá einkum með ólitaðar og litaðar þunnsneiðar í bergfræðismásjá. Markmiðið er að fá betri innsýn í hvaða fasar litast og dreifingu þeirra.

### Abstract in English

Aggregate samples from five sources have been collected. In this study the samples are analyzed using thin sections treated with methylene blue and standard methylene blue test, as well as harmful clays are analyzed in XRD. Preliminary studies give reason to continue on this path, in particular, by analysing unstained and stained thin sections in a petrographic microscope. The goal is to get a better understanding of where and how the minerals absorb the methylene blue dye.

### Lykilorð

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

Undirskrift verkefnastjóra	Yfirið af
	HEJ

# Efnisyfirlit

<b>Efnisyfirlit</b> .....	<b>3</b>
<b>1 Inngangur</b> .....	<b>4</b>
<b>2 Efniviður</b> .....	<b>6</b>
<b>3 Aðferðir</b> .....	<b>7</b>
3.1 Bergfræðismásjá .....	7
3.2 Röntgengreining (XRD) .....	7
3.3 Staðlað blámapróf .....	9
<b>4 Niðurstöður</b> .....	<b>12</b>
4.1 Bergfræðismásjá .....	12
4.2 Röntgengreining (XRD) .....	13
4.3 Staðlað blámapróf .....	16
4.4 Samantekt niðurstaðna .....	18
<b>5 Heimildir</b> .....	<b>19</b>
<b>Viðauki A Uppbygging leirsteinda</b> .....	<b>20</b>

# 1 Inngangur

Verkefnið sem hér er kynnt fékk styrk úr Rannsóknasjóði Vegagerðarinnar árið 2022. Það var kynnt með erindi á vetrarmóti norrænna jarðfræðinga, NWGM, sem haldið var á Íslandi í maí 2022 (1). Verkefnið var einnig kynnt með veggspjaldi á ráðstefnu Rannsóknasjóðs Vegagerðarinnar í október 2022 (2) og á sameiginlegri hausráðstefnu Jarðfræðafélags Íslands og fjögurra annarra félaga í nóvember sama ár (3).

Verkefnið byggir á grunni verkefnisins „Eru smektít og ættingjar óvinir viðloðunarefna“ sem fékk styrk frá Rannsóknasjóði Vegagerðarinnar árin 2020 og 2021. Fyrri verkefnið var hluti af stærra rannsóknarverkefni með heitinu Slitlög. Þær niðurstöður voru kynntar á ráðstefnu Rannsóknasjóðs árið 2020 (4) og með skýrslu til Rannsóknasjóðs Vegagerðarinnar árið 2022 (5).

Forsagan fyrir þessum rannsóknum er að það kom í ljós að steinefni úr nokkrum námum sýndi mismunandi viðloðun eftir því hvaða viðloðunarefni var notað, tafla 1 og mynd 1, en viðloðun er mæld til að meta tengingu bikblöndu við steinefni ætlað í klæðingar. Almennt eru kröfur fyrir viðloðun steinefna 90-99%, háð umferðarþunga.

Við nánari skoðun á umræddum steinefnum vakti berggreining nokkurra þeirra athygli en athugasemdir í berggreiningu og gæðaflokkun stönguðust á. Grunsemdir vöknudu um að vatnsþenjanlegar, skaðlegar steindir, eins og leirtegundin smektít, gætu verið til staðar.

Í framhaldinu var ákveðið að skoða hvort og í hvaða magni smektít væri í umræddum steinefnum, hvort það hefði áhrif á viðloðun og hvort hægt væri að beita aðferðum með metýlen bláma litarefni og röntgengreiningu (XRD). Sigurður Sveinn Jónsson, jarðfræðingur hjá ÍSOR, sá um röntgengreiningar og túlkun á niðurstöðum

**Tafla 1 Niðurstöður úr nokkrum viðloðunarprófum með mismunandi viðloðunarefnum (A,B og C) á sýnum úr fimm námum. Í flestöllum tilfella, nema fyrir Neðri Mýrar og Háöldu, var viðloðun breytileg, bæði eftir námum og innan sömu námu, sjá dæmi fyrir Ofan Kleifabúa á mynd 1. Allar námurnar eru klapparnámur.**

Heiti námu	Stærð	Efni A	Efni B	Efni C
Ofan Kleifabúa	8/11 mm	50%	70%	80%
Bláhæð	8/11 mm	75%	80%	95%
Háalda	8/11 mm	98%	99%	99%
Holtasund	8/16 mm	80%	99%	99%
Neðri Mýrar	8/11 mm	97%	98%	99%

<sup>1</sup> Forsíðumynd: Smásjármynd af þunnsneið litaðri með bláma. Mynd tekin í nýju rannsóknartæki HÍ.



Mynd 1 Dæmi um niðurstöður viðloðunarprófs á steinefni ætlað í klæðingu. Báðar myndir eru af efni úr námunni Ofan Kleifabúa en notað var sitt hvort viðloðunarefnið.

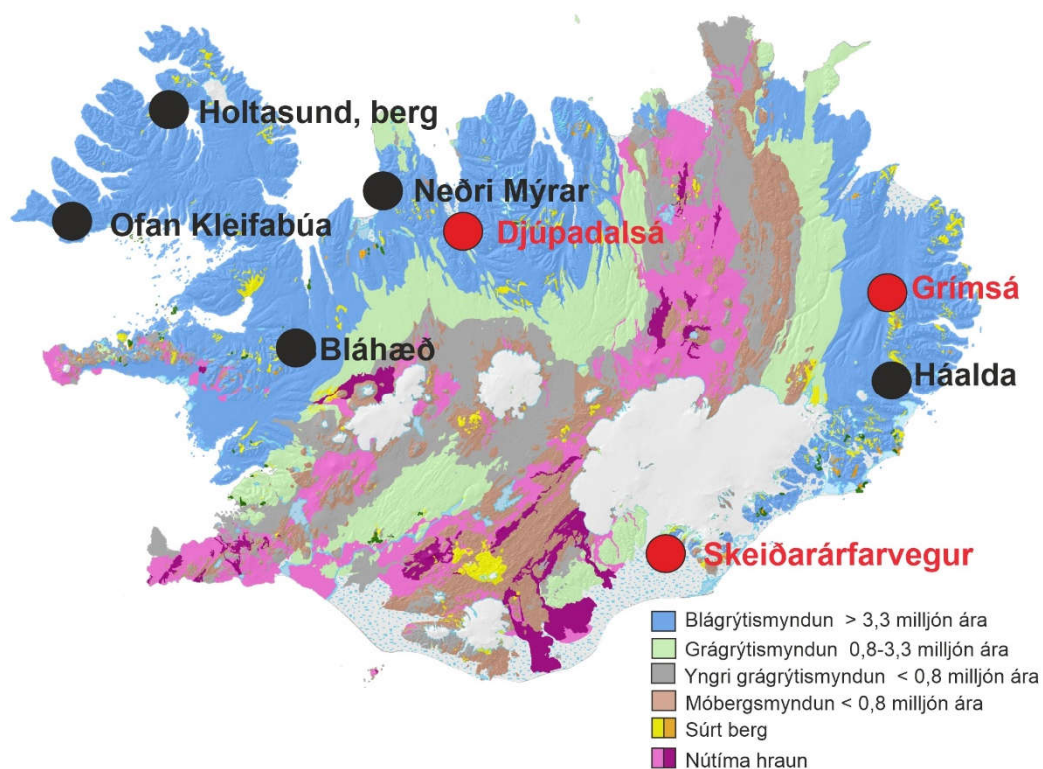


## 2 Efniviður

Safnað hefur verið sýnum úr átta námum víðsvegar um landið, bæði set- og klapparnámum, mynd 2. Á fyrri stigum rannsóknar (5) var ákveðið að vinna eingöngu með sýni úr klapparnámunum. Var þetta gert til að fækka breytum.

Námurnar eru:

- Ofan Kleifabúa
- Bláhæð
- Háalda
- Holtasund
- Neðri Mýrar



Mynd 2 Einfalt jarðfræðikort af Íslandi sem sýnir grófa skiptingu berggrunns eftir aldri. Á kortinu má sjá staðsetningu sýnatökustaða. Setnámur eru rauðar og klapparnámur eru svartar.

©Náttúrufræðistofnun Íslands.

## 3 Aðferðir

---

### 3.1 Bergfræðismásjá

Greining steinefnis í bergfræðismásjá er gagnleg, meðal annars til að skoða ástand efnis með tilliti til ummyndunar og annarra bergfræðilegra eiginleika. Í þessari greiningaraðferð eru útbúnar þunnsneiðar af sýnum og þau skoðuð í bergfræðismásjá sem er með gegnumfallandi, skautað ljós. Þunnsneiðar eru þegar sýni af steinefni eða klöpp er límt á glerplötu og slípað niður í 0,03 mm þykkt.

Í þessu rannsóknarverkefni voru þunnsneiðarnar útbúnar hjá Jarðvísindastofnun Háskóla Íslands. Sneiðarnar voru síðan meðhöndlaðar með metýlen bláma, MB, sem er lífrænt litarefni og hjálpar til að finna skaðlegar steindir, t.d. smektít. Sjá nánari umfjöllun um bláma í kafla 3.3.

Bergfræðismásjá Jarðvísindastofnunar Háskóla Íslands var notuð til að skanna nokkrar þunnsneiðar, en í henni er fljótlegt að greina sýni og taka myndir í góðri upplausn, mynd 3. Í framtíðinni verður einnig hægt að fá yfirlit yfir magn tiltekinnna frumefna í sýnum og hvar þau er að finna.



Mynd 3 Bergfræðismásjá eins og sú sem Jarðvísindadeild Háskóla Íslands á.  
Tekið af heimasíðu (6)

### 3.2 Röntngreining (XRD)

Til að fá upplýsingar um hvort leirsteindin smektít væri til staðar í steinefnasýnunum sem voru til rannsóknar, voru þau send í röntgen (XRD) hjá ÍSOR (Íslenskum Orkurannsóknnum). Með þeirri aðferð er hægt að ákvarða kristallagerð steinda og er þetta jafnframt eina aðferðin til að greina leirsteindir til tegunda.



**Mynd 4 Mynd af röntgentæki ÍSOR.**

<https://notendur.hi.is/agust/kennsla/ee16/ees/Synikennsla/HIII-XRA.pptx>

Á vorráðstefnu Jarðfræðafélagsins árið 2005 sagði Sigurður Sveinn Jónsson frá röntgentæki ÍSOR, sjá líka mynd 4. Í ágrípi hans kemur fram að tæki ÍSOR er frá Bruker AXS og er af gerðinni D8 Focus með Cu-lampa, opnum geislagangi og að búi úr geislaheldu gleri umlykur geislaganginn. Því fylgir sjálfvirkur sýnaskiptari sem tekur níu sýni og tekur hver keyrsla um 20 mínútur. Tækinu er algerlega stjórnað af hugbúnaði sem fylgir – sýnaskráning og söfnun gagna fer fram á einum stað en eftirlitshugbúnaður er sítengdur tækinu og fylgist með starfsemi þess og varar við bilunum. Tækið er stillt með NIST1976 kórund-staðli en hornamælirinn (goniometer) stillir sig sjálfur í upphafi hverrar mælingalotu og les inn viðmiðunargildi. Úrvinnsla gagna er skilvirk og á ÍSOR eintak af gagnagrunni um XRD-mynstur tæplega 50 þúsund fastra efna sem gefinn er út reglulega af International Centre for Diffraction Data. Þar til gerður hugbúnaður frá Bruker AXS ber mynstur óþekktis sýnis við skilgreinda hluta gagnagrunnsins og flokkar viðmiðunarmynstur og gefur gæðatölu (figure of merit) (7).

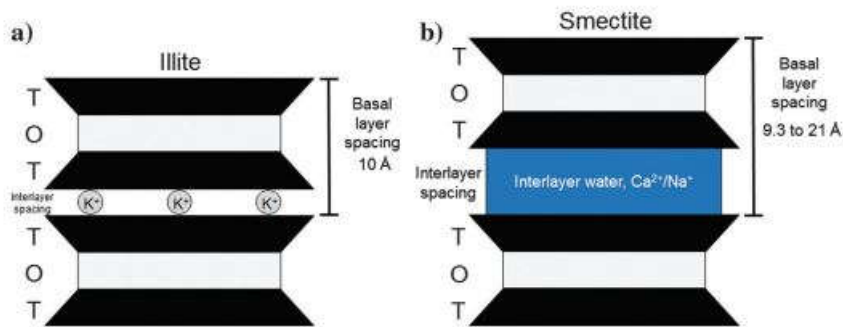
Við röntngreiningar á leir notar ÍSOR aðferð sem hefur verið þróuð þar og byggir á hefðbundnum greiningaraðferðum leirsteinda með röntngreiningu. Í lýsingu frá ÍSOR segir að sýni er sett í glas, skolað vel með eimuðu vatni, glasið fyllt og því lokað með gúmmítappa. Sýni er hrist rólega í um fjóra tíma og síðan er það látið setjast til í glasinu. Síðan er tekinn vökvi úr efsta lagi vökvasúlunnar í glasinu og sett á hreint smásjargler (25 mm). Sýnið er látið þorna við stofuhita og síðan mælt. Þetta er svo kölluð ómeðhöndluð greining, OMH. Sýninu er því næst komið fyrir í lokuðu íláti með ethyleneglykóli og geymt þar í einn sólarhring. Þá er sýnið tekið og mælt aftur og skráin merkt glykól, GLY. Síðasta skrefið er að hita sýnið á glerplötunni í ofni í um 550 °C í eina klukkustund. Eftir það er sýnið mælt og mæliskrá merkt hitað, HIT. Skrárnar eru síðan bornar saman og niðurstöður túlkaðar á myndrænan hátt.

Smektít er þenjanleg leirsteind sem lýsir sér í því að vatn á greiða leið inn á milli grunneininga steindarinnar sem þenst þar með út, mynd 5. Þetta þýðir að bilið á milli tveggja grunneininga er breytilegt, steindin getur þanist út og hún getur dregist saman.

Í ómeðhöndluðum röntgensýnum, OMH, er bilið á milli grunneininga 14 Å<sup>2</sup>. Þegar sýnið er sett í glykól gufu, GLY, þrengir glykólið sér inn á milli laganna og þenur vetnistengin sem halda lögunum saman og bilið á milli laga eykst og það mælist hærra gildi, 15-17 Å. Þegar sýni er síðan hitað, HIT, brotna tengin og lögin endurraðast og bilið mælist um 10 Å í sýninu, sem er til vitnisburðar um að sýnið hefur fallið saman. Í sýnum með annars konar leir, til dæmis klórít, sést líka stór toppur við 14 Å í OMH sýni. Þessi

<sup>2</sup> 1 Å er 0,1 nm.





**Mynd 5** Grunneiningar leirsteinda, *TOT*, af gerð a) illít og b) smektít. *T* stendur fyrir tetrahedral lag (kísill og súrefni) og *O* stendur fyrir octahedral lag (ál, hydroxýl og kísill). Bilið á milli tveggja grunneininga er 10 Å í illít en í smektíti er það á bilinu 9-20 Å. Mynd fengin frá (8). Sjá líka nánar mynd 17 í viðauka A.

leir þenst hins vegar ekki út í GLY sem þýðir að 14 Å toppurinn er á sama stað í GLY sýni en ekki við 15-17 Å.

### 3.3 Staðlað blámapróf

Notað var staðlað blámapróf (8), en það er gert á finefni minna en 2 mm og ætlað að gefa upplýsingar um hlutfallslegt magn vatnsþenjanlegs leirs (smektíts), sem er skaðlegur í mannvirkjagerð. Lausn af metýlen bláma litarefni (MB, blámi) er bætt út í steinefnasýni í vatnslausn þar til finefnið drekkur ekki meira af litarefninu í sig, mynd 6. 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 6. Niðurstöður prófsins, blágildi, er 1/10 af því magni sem sýnið dregur í sig, gefið upp sem g af litarefni á kg af steinefnasýni.

Metýlen blámi er lífrænt litarefni sem hjálpar til að finna skaðlegar steindir sem eru utan greiningarhæfni almennrar berggreiningar. Blámi dregst að yfirborði efnis með katjónaskiptum. Einkum er horft til leirsteinda úr smektít/montmórillonít 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. Þessar steindir hafa jafnframt neikvæð áhrif á frostþol (9), enda eru frostþíðubreytingar í reynd sambærilegar rakabreytingum. Þá eru líka vel þekkt tengsl frostþols steinefnis og ummyndunar þess (10).

Samkvæmt prófunarstaðlinum ÍST EN 933, Tests for geometrical properties of aggregates - Part 9: Assessment of fines - Methylene blue test, er prófið gert á steinefni sem er finna en 2 mm. Þessar kornastærðir voru ekki til staðar í sýnunum þar sem klæðingarefnið var allt saman flokkað og þvegið. Til að mæta þessu voru hlutsýni möluð í litlum kjaftbrjótt á rannsóknarstofu Mannvit en stærsta kornastærð sem hann getur tekið er 32 mm. Ákveðið var að nota viðauka A í prófunarstaðlinum en samkvæmt honum er hægt að nota efni með stærstu kornastærð 0,125 mm og þá þarf einungis 30 g af sýni. Til viðmiðunar þarf 200 g af efni sem er með stærstu kornastærð 2 mm. Allir kröfustaðlar, t.d. (11) fyrir malbik og klæðingar, miða við að próf sé gert á efni með stærstu kornastærð 2 mm. Með öðrum orðum, niðurstöður prófsýna sem eru til samræmis við viðauka A í prófunarstaðlinum ÍST EN 933 gefa önnur tölugildi en þau sem eru gerð samkvæmt megintexta staðals og því ekki hægt að nota kröfur beint. Niðurstöður sýna úr þessari rannsókn voru því framreiknaðar til að fá niðurstöður sem eru samanburðarhæfar við gildi í kröfustöðlunum, með fyrirvara um að um reiknuð gildi er að ræða.



**Mynd 6** Á myndinni sést stöðluð blámalaun til vinstri og til hægri er filterpappír sem dropum sem sýna framgang prófsins. Innan gula hringsins sést n.k. geislabaugur utan um dropann og merkir hann endalok prófsins.

Stöðluðu blámaprófi hefur ekki verið beitt kerfisbundið á vegagerðarefni héraendis. Á síðustu árum hefur það þó aukist að Vegagerðin láti framkvæma staðlað blámapróf, bæði á steinefnum ætluðu í klæðingar með bikþeytu og malarslitlög. Einkum er um að ræða prófanir sem hafa verið gerðar hjá rannsóknarstofu Mannvits að beiðni Vegagerðarinnar í Borgarnesi og vegna rannsóknarverkefnis um malarslitlög, óbirt gögn Vegagerðarinnar, sem Hafðís Eygló Jónsdóttir hefur unnið með. Í malarslitlögum þykir gott að hafa mikið af smektíti þar sem smektít er vatnsþenjanlegur leir og geymir vel raka en í klæðingarefni er smektít óæskilegt.

**Tafla 2 Niðurstöður úr stöðluðu blámaprófi frá árunum 2015 til 2022 skv. ÍST EN 933-9, meginaðferð. Próf gerð á klæðingarefni með bikþeytu fyrir Vegagerðina í Borgarnesi (2015-2017) og rannsóknarverkefni um malarslitlög, styrkt af rannsóknasjóði Vegagerðarinnar (2022).**

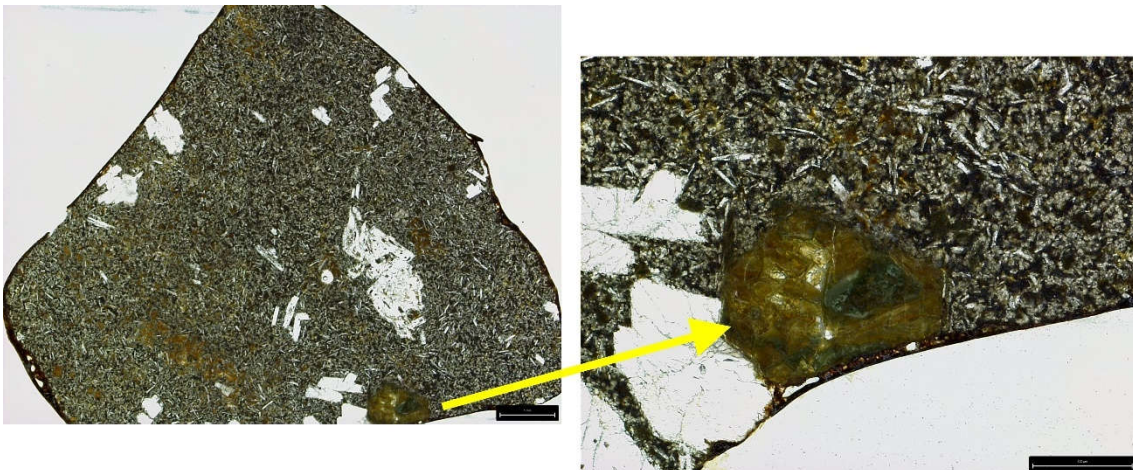
Náma	Ár	Verkefni	Blágildi úr blámaprófi
Hólmkelsá	2015	Klæðing með bikþeytu	0,2
Húsafell	2015	Klæðing með bikþeytu	0,3
Skeiðarársandur	2017	Klæðing með bikþeytu	0,5
Skorholt	2015	Klæðing með bikþeytu	0,7
Kálfadalur, fjara sandur	2016	Klæðing með bikþeytu	0,7
Skúrholt ofan Miðdals (neðan vegar)	2016	Klæðing með bikþeytu	0,8
Fossfjörður Dufansdalur sandur	2015	Klæðing með bikþeytu	1,0
Hólabrú	2016	Klæðing með bikþeytu	1,1
Kálfadalur, fjara	2016	Klæðing með bikþeytu	1,2
Skúrholt ofan Miðdals (ofan vegar)	2016	Klæðing með bikþeytu	1,5
Steingrímsfjarðarheiði	2017	Klæðing með bikþeytu	1,8
Skápadalsá	2016	Klæðing með bikþeytu	1,9
Beiðamerkursandur	2017	Klæðing með bikþeytu	1,9
Holtasund	2016	Klæðing með bikþeytu	2,4
Geirsá	2015	Klæðing með bikþeytu	2,5
Þverá	2015	Klæðing með bikþeytu	2,5
Vatnaleið	2015	Klæðing með bikþeytu	2,7
Grafarháls	2016	Klæðing með bikþeytu	2,7
Leiðólfsstaðir	2016	Klæðing með bikþeytu	2,7
Gormur klöpp	2015	Klæðing með bikþeytu	3,3
Ofan Kleifabúa	2015	Klæðing með bikþeytu	3,7
Kleifabjörg	2016	Klæðing með bikþeytu	4,0
Stallar Króksfjarðarnesi	2016	Klæðing með bikþeytu	5,0
Setberg	2022	Malarslitlög	2,6
Fagurhlíð	2022	Malarslitlög	3,1
Búðará	2022	Malarslitlög	3,3
Ofan Hnúthamra	2022	Malarslitlög	3,7
Hnúksnáma	2022	Malarslitlög	4,0
Almannaskarð	2022	Malarslitlög	4,4
Hafnarfjall	2022	Malarslitlög	8,5
Hrútafell	2022	Malarslitlög	9,3
Kamsáreyrar	2022	Malarslitlög	16,5

## 4 Niðurstöður

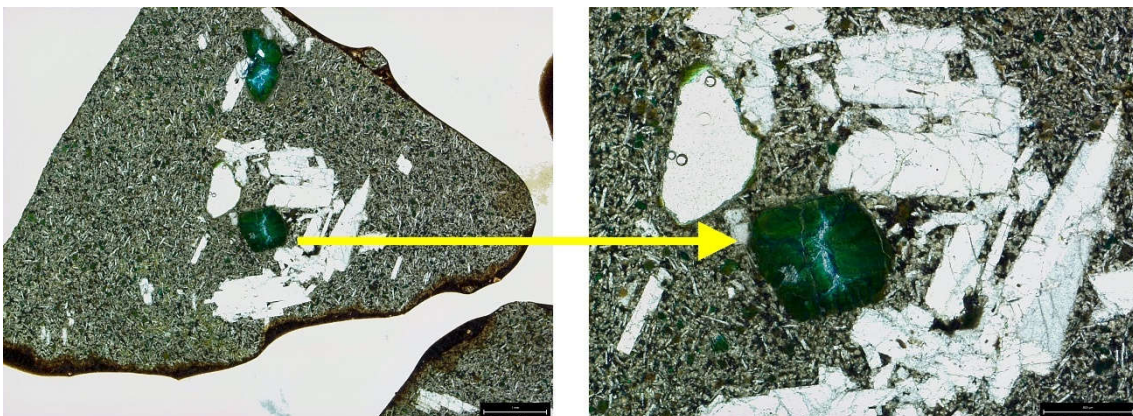
---

### 4.1 Bergfræðismásjá

Tvö þunnarneiðasýni frá Bláhæð hafa verið skoðuð og mynduð í bergfræðismásjá Jarðvísindastofnunar Háskólans. Annað sýnið hefur verið litað með MB litarefni en hitt ekki. Á mynd 7, sem er af ólituðu sýni, sést að gulgrænn litur er áberandi sem staðfestir að ummyndun er til staðar. Á mynd 8 er sýni af sama steinefni litað með MB. Þar er blágrænn litur áberandi en það er einkennandi litur á smektíti sem hefur dregið í sig MB litarefni. Þetta gefur tilefni til að ætla að smektít sé til staðar í nokkrum mæli í þessu sýni. Þessar niðurstöður gefa tilefni til að ætla að beita megi aðferðinni til að aðgreina steinefni með skaðlegum leirsteindum frá öðru steinefni og verður henni beitt á fleiri sýni á næstu stigum rannsóknarinnar.



Mynd 7 Ummyndað steinefni frá Bláhæð með smektíti í þunnarneið. Smektít greindist einnig í röntgen. Þunnarneið hefur ekki verið meðhöndluð með MB litarefni. Örin bendir á ummyndað svæði í þunnarneiðinni, gulgrænn litur er einkennandi.



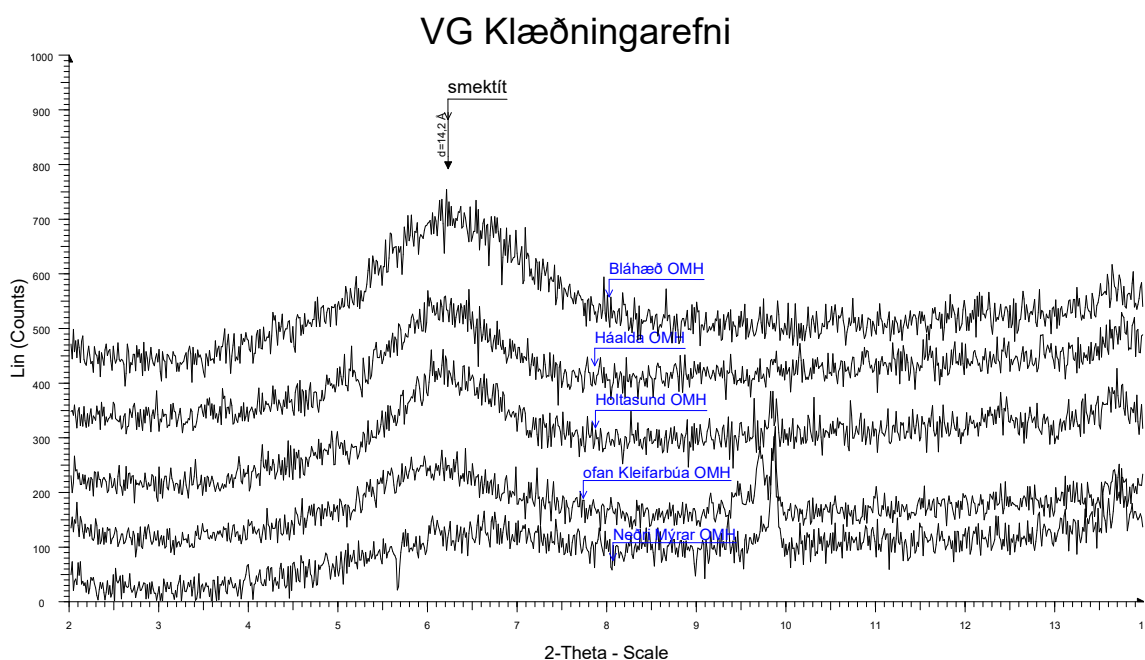
Mynd 8 Ummyndað steinefni frá Bláhæð með smektíti í þunnarneið. Smektít greindist einnig í röntgen. Þunnarneið hefur verið meðhöndluð með MB litarefni. Örin bendir á ummyndað svæði sem hefur dregið í sig MB litarefni, blágrænn litur er einkennandi.



## 4.2 Röntgengreining (XRD)

Niðurstöður röntgengreininga staðfesta að smektít er til staðar í öllum sýnum nema í ferskasta efninu, sem er frá Neðri Mýrum, en þar er nánast ekkert smektít að finna. Þetta sést greinilega á mynd 9 en á henni eru niðurstöður af ómeðhöndluðum sýnum. Á myndum 10 til 14 eru síðan sýndar allar niðurstöður röntgengreininga fyrir námurnar fimm, það er ómeðhöndlað sýni, meðhöndlað með glykól og hitað sýni.

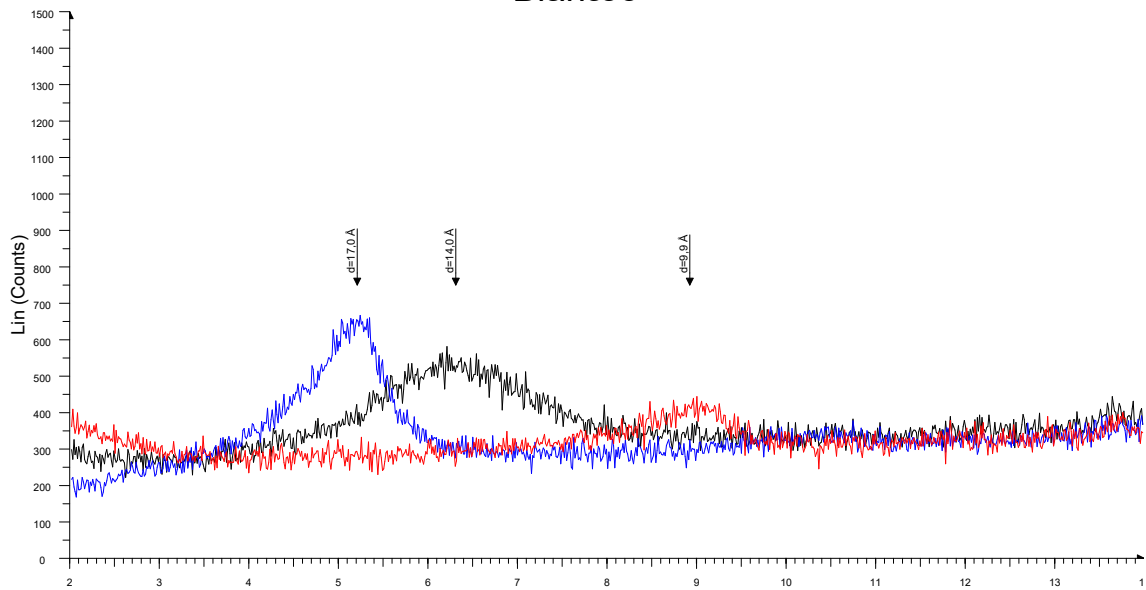
Öll sýnin í þessari rannsókn voru meðhöndluð eins hjá ÍSOR, sjá lýsingu í kafla 3.2. Með þessu móti er þannig hægt að setja niðurstöður fram að hægt er að bera þær saman sjónrænt og meta hvaða sýni inniheldur mest smektít og hvaða sýni inniheldur minnst smektít, mynd 9. Það sem einkennir smektít í XRD er að það sýnir útslag við 14 Å. Ef ekkert útslag er sjáanlegt má gera ráð fyrir að það sé ekkert smektít í sýninu.



Mynd 9 Niðurstöður röntgengreininga, XRD, á ómeðhöndluðum (OMH) sýnum (talið neðanfrá) frá Neðri Mýrum, Ofan Kleifarbúa, Holtasundi, Háöldu, og Bláhæð. Framsetning á þessari mynd er til að sýna toppa við 14 Å, sem er einkennandi fyrir smektít, til að bera saman hæsta og lægsta gildi. Niðurstöðum er raðað upp og bil á milli ferla stillt af þannig að hæsti toppur og þar með mesta smektítíð er efst og minnst er neðst. Mest áberandi toppurinn er í Bláhæð, en í efninu frá Neðri Mýrum, sem jafnframt er ferskasta efnið, er nánast ekkert smektít.

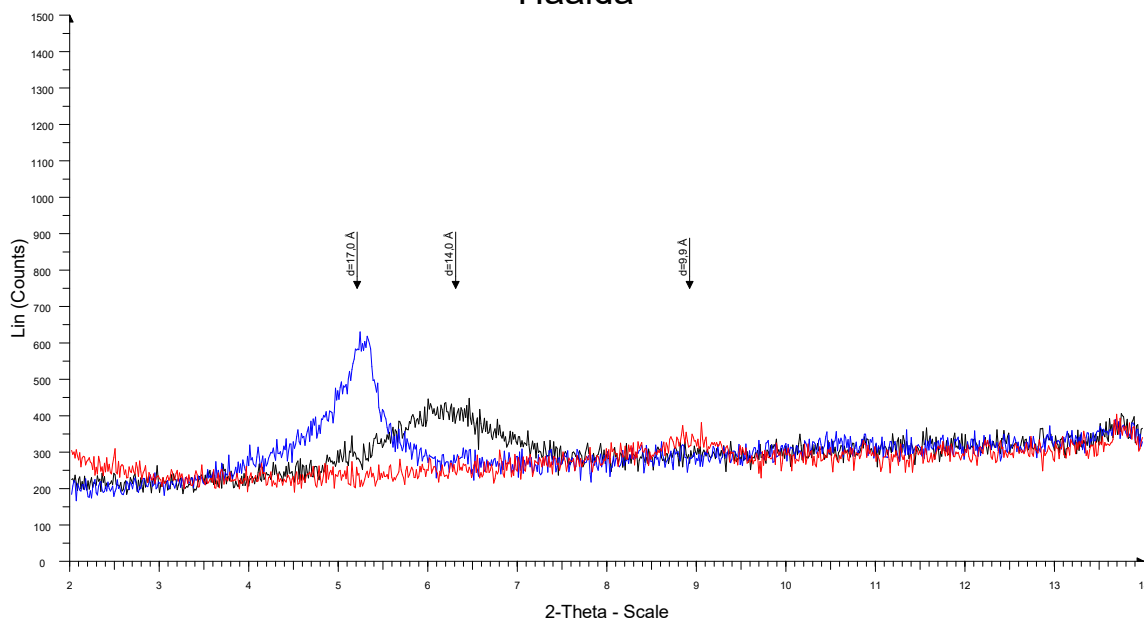


### Bláhæð



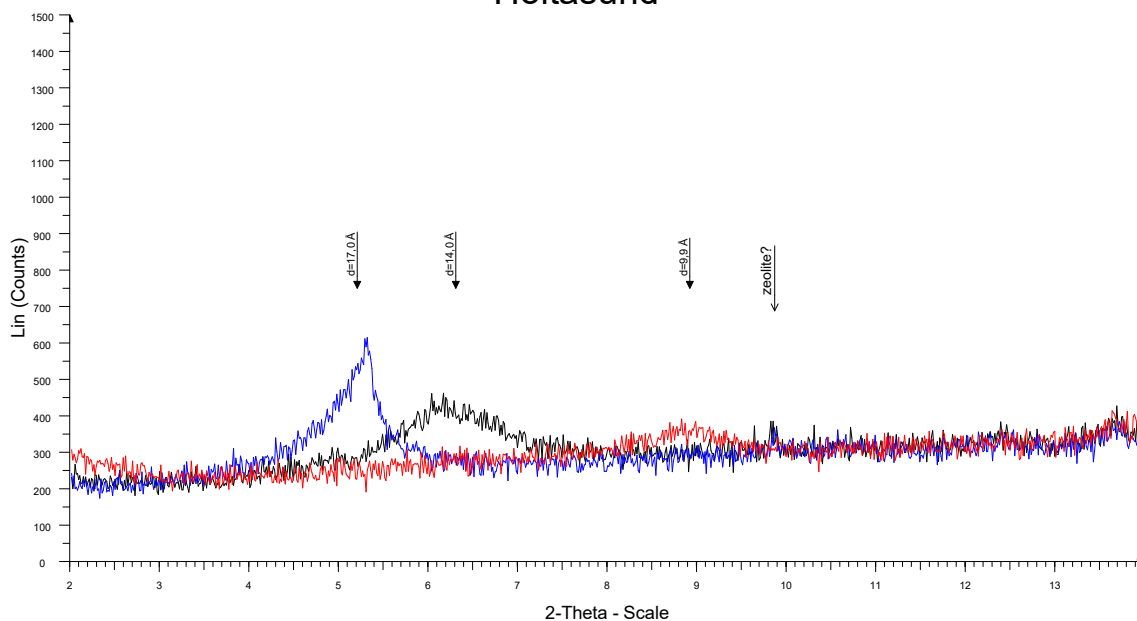
Mynd 10 Niðurstöður röntgengreininga á sýni frá Bláhæð. Svartur ferill er ómeðhöndlað sýni (OMH), blár er sýni meðhöndlað með glýkóli og rauður er hitað sýni. Smektít greinist í sýni, en ómeðhöndlað sýni er með topp við 14 Å, toppur í GLY er við 17 Å og við tæplega 10 Å í hituðu sýni.

### Háalda



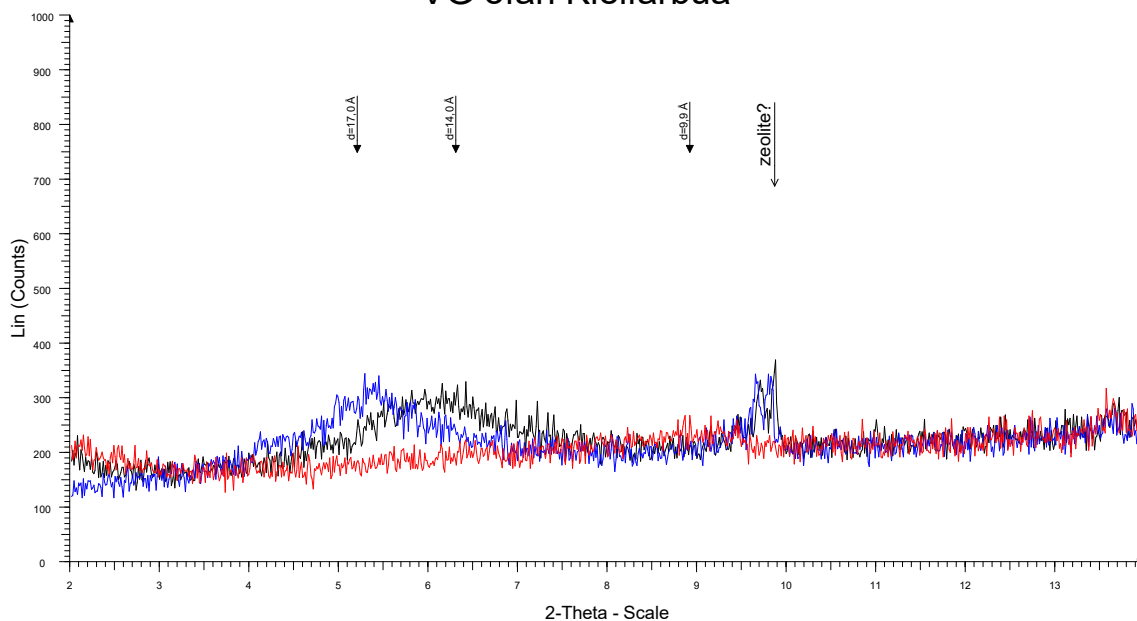
Mynd 11 Niðurstöður röntgengreininga á sýni frá Háöldu. Svartur ferill er ómeðhöndlað sýni (OMH), blár er sýni meðhöndlað með glýkóli og rauður er hitað sýni. Smektít greinist í sýni, en ómeðhöndlað sýni er með topp við 14 Å, toppur í GLY er við 17 Å og við tæplega 10 Å í hituðu sýni.

### Holtasund



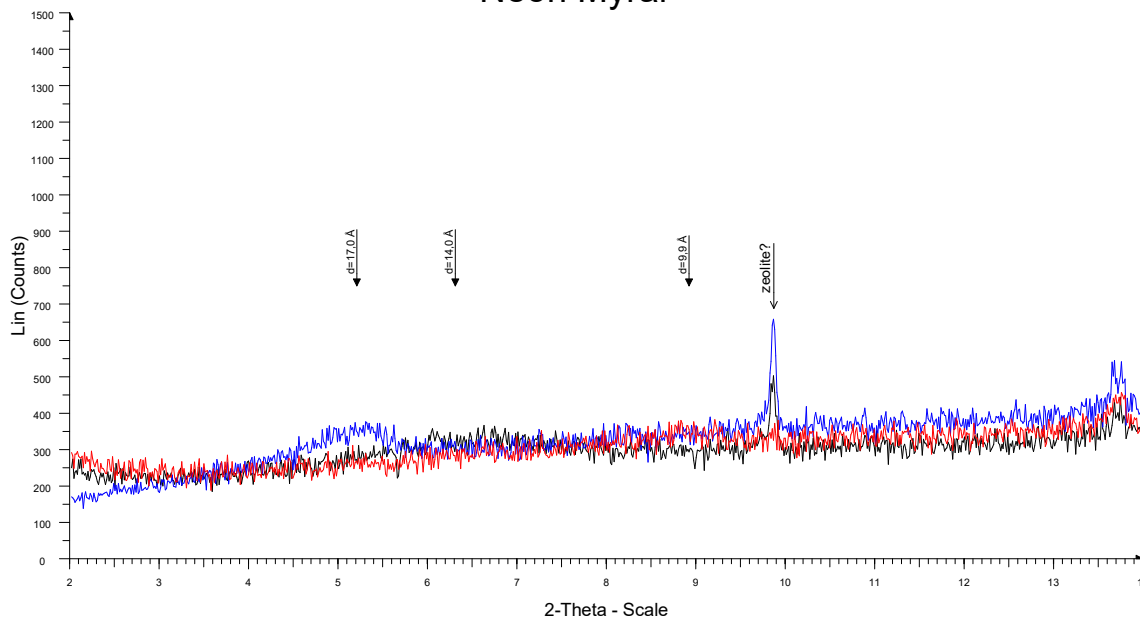
Mynd 12 Niðurstöður röntgengreininga á sýni frá Holtasundi. Svartur ferill er ómeðhöndlað sýni (OMH), blár er sýni meðhöndlað með glýkóli og rauður er hitað sýni. Smektít greinist í sýni, en ómeðhöndlað sýni er með topp við 14 Å, toppur í GLY er við 17 Å og við tæplega 10 Å í hituðu sýni.

### VG ofan Kleifarbúa



Mynd 13 Niðurstöður röntgengreininga á sýni frá Ofan Kleifarbúa. Svartur ferill er ómeðhöndlað sýni (OMH), blár er sýni meðhöndlað með glýkóli og rauður er hitað sýni. Smektít greinist í sýni, en ómeðhöndlað sýni er með topp við 14 Å, toppur í GLY er við 17 Å og við tæplega 10 Å í hituðu sýni. Þar til viðbótar er toppur sem gæti bent til geislasteina.

## Neðri Mýrar



**Mynd 14** Niðurstöður röntgengreininga á sýni frá Neðri Mýrum. Svartur ferill er ómeðhöndlað sýni (OMH), blár er sýni meðhöndlað með glýkóli og rauður er hitað sýni. Lítið sem ekkert smektít greinist í sýni, en enginn áberandi toppur er við 14 Å. Þar til viðbótar er toppur sem gæti bent til geislasteina.

ÍSOR reiknaði út flatarmál undir toppum við 14 Å hvers sýnis, miðað við sjónrænt mat á styrk topps, sjá töflu 3. Þessi útreikningur, sem er eingalagus, gefur vísbendingu um magn smektíts í sýnum, en gert er ráð fyrir að þetta sé línulegt samband. Eins og sést á þessum útreikningum, þá er flatarmálið mest í sýninu úr Bláhæð en minnst í sýninu úr Neðri Mýrum.

Það sem er lagt til grundvallar er sjónrænt mat á styrk toppsins á 14 Å. Gert er ráð fyrir að vegna einsleitni sýna og staðlaðrar meðhöndlunar sé hægt að gera ráð fyrir línulegu sambandi milli styrks (útslags) toppsins á 14 Å og magns leirs í sýninu.

**Tafla 3** Útreikningar ÍSOR á flatarmáli undir toppum við 14 Å, miðað við sjónrænt mat á styrk topps.

Náma	Flatarmál
Bláhæð	42,69
Ofan Kleifabúa	20,10
Háalda	24,80
Holtasund	25,32
Neðri Mýrar	19,85

#### 4.3 Staðlað blámapróf

Niðurstöður mælinga á blágildi, mælt með stöðluðu blámaprófi, eru birtar í töflu 4. Eins og þar kemur fram, mældist hæst blágildi í sýni frá Bláhæð og er það til samræmis við niðurstöður röntgengreininga, sjá kafla 4.2.

Eins og kemur fram í kafla 3.3 var blámaprófið gert til samræmis við viðauka A í prófunarstaðlinum ÍST EN 933-9 (8). Allir kröfustaðlar, t.d. ÍST EN 13043 (11) fyrir malbik og klæðingar, miða við að próf sé gert á efni með stærstu kornastærð 2 mm. Með öðrum orðum þýðir þetta að niðurstöður prófsýna sem eru til samræmis við viðauka A gefa önnur tölugildi en þau sem eru gerð samkvæmt megináðferð staðals og því ekki hægt að nota kröfur staðalsins beint. Niðurstöður sýna úr þessari rannsókn voru því fram-

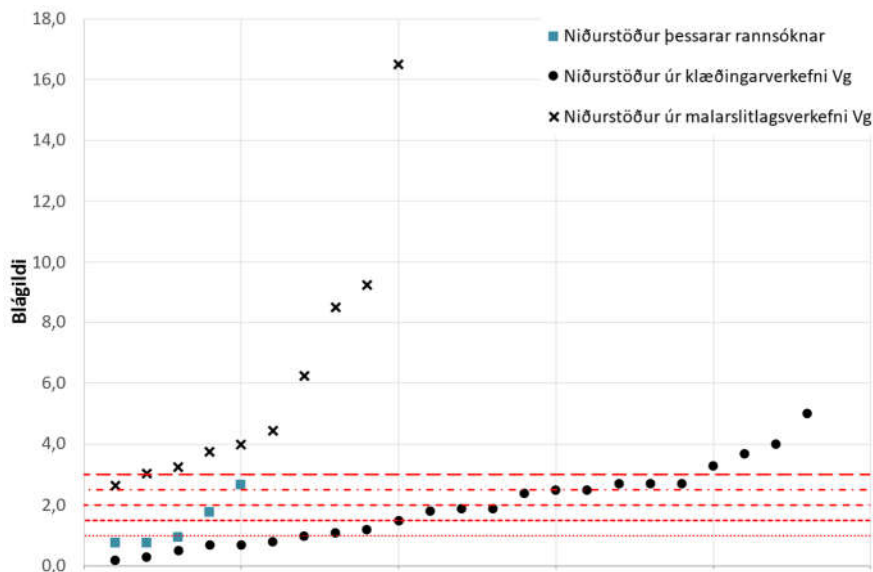
reiknaðar til að fá niðurstöður sem eru samanburðarhæfar við gildi í kröfustöðlunum, með fyrirvara um að um reiknuð gildi er að ræða, sjá mynd 15. Á mynd 16 má síðan sjá þessar framreiknuðu niðurstöður í samhengi við aðrar mælingar sem gerðar hafa verið fyrir Vegagerðina úr töflu 2. Á myndinni er nokkuð skýrt að ætla má að talsverð breidd sé í gæðum þess efnis sem Vegagerðin hefur látið greina fyrir sig enda um mismunandi efni að ræða. Af 23 mælingum fyrir klæðingarverkefni með bikþeytu eru fjórar ofan við efsta kröfuflokkinn. Hins vegar eru allar mælingar fyrir malarslitlagsverkefni með tiltölulega hátt blágildi, enda er smektit æskilegt í malarslitlögum sökum rakaheldni.

**Tafla 4 Niðurstöður blágildis úr stöðluðu blámaprófi. Prófið var gert samkvæmt ÍST EN 933-9, viðauka A, á 0/0,125 mm efni í stað megináðferðar þar sem prófið er gert á 0/2 mm efni. Prófsýni voru fengin úr möluðu steinefni. Þessi gildi voru síðan framreiknuð miðað við 0/2 mm efni.**

Náma	Kornastærð prófuð	Blágildi, mælt á 0/0,125 mm	Framreiknað miðað við 0/2 mm
Bláhæð	0/0,125 mm	8,0	2,7
Ofan Kleifabúa	0/0,125 mm	5,0	1,8
Háalda	0/0,125 mm	2,3	0,9
Holtasund	0/0,125 mm	1,7	0,8
Neðri Mýrar	0/0,125 mm	1,7	0,8



Mynd 15 Á myndinni eru niðurstöður blágildis fyrir námurnar fimm í rannsókninni framreiknaðar, miðað við 0/2 mm og sýndar með hliðsjón af kröfuflokkum ÍST EN 13043 (11). Kröfuflokkarnir eru sýndir með strikalínunum. Þar kemur skýrt fram að námurnar Ofan Kleifabúa og Bláhæð falla í lakari kröfuflokka en Holtasund, Neðri Mýrar og Háalda.



Mynd 16 Á myndinni eru sýndar framreiknaðar niðurstöður blágildis þessarar rannsóknar miðað við 0/2 mm til samanburðar við niðurstöður úr klæðingar- og malarslitlagsverkefnum Vegagerðarinnar. Rétt er að benda á að smektít og þar með hátt blágildi er æskilegt fyrir malarslitlög, eins og sést á niðurstöðum. Láréttar, rauðar strikalinur sýna kröfuflokka í ÍST EN 13043 (11) fyrir klæðingarefni, sjá mynd 15 fyrir nánara yfirlit yfir kröfuflokkana.

#### 4.4 Samantekt niðurstaðna

Upphaflega rannsóknarspurningin var hvort ummyndun í steinefni, og þá einkum smektít, hefði áhrif á viðloðun. Fyrirliggjandi niðurstöður úr efnisprófunum Vegagerðarinnar (12) benda til að hægt sé að ná 90-100% þekju í viðloðunarprófi jafnvel þótt smektít sé til staðar í einhverjum mæli þannig að ljóst er að fleiri eiginleikar ráða viðloðun. Aðrar rannsóknir benda hins vegar til þess að smektít hafi neikvæð áhrif á styrk og endingu klæðingar og veiki hana þar með. Þetta sýnir að nauðsynlegt er að skoða samhlíða niðurstöður annarra prófana. Jafnframt getur reynst varasamt að treysta alfarið á berggreiningar, sérstaklega þegar efnið er byrjað að ummyndast, enda eru þær fyrst og fremst til leiðbeiningar.

Niðurstöður greininga í bergfræðismásjá eru áhugaverðar og gefa tilefni til að halda þeim rannsóknum áfram. Til eru ólitaðar þunnsneiðar af sýnum úr öllum fimm námum, sem valdar hafa verið til framhaldsrannsókna, eins og nefnt var í kafla 2. Til stendur að skoða þær nánar í bergfræðismásjá HÍ og mynda þær áður en þær verða litaðar með MB litarefninu og skoðaðar aftur. Markmiðið er að fá betra yfirlit yfir það hvar og hvernig steinefnið dregur í sig blámann og hvernig dreifingin er innan hvers korns.

Staðlað blámapróf sýnir breidd í niðurstöðum sem að einhverju leyti endurspeglar aðrar niðurstöður. Sérstaklega er áhugavert að sjá þá breidd sem kemur fram í öðrum mælingum fyrir Vegagerðina. Í þeim sést líka skýrt að það steinefni sem hefur verið notað í malarslitlög hefur umtalsvert meira magn af smektíti en það steinefni hefur verið prófað í tengslum við klæðingar, enda er smektít æskilegt í malarslitlög þar sem það heldur í sér raka.

Niðurstöður sýna enn fremur að efnið úr námunni Ofan Kleifabúa er hálfgerður útlagi. Það mælist næst minnst smektít í þessu efni í röntngreiningu, en blágildið er næst hæst. Þetta gæti mögulega legið í flóknari samsetningu ummyndunarsteinda í þessu sýni en í öðrum sýnum. Jafnframt er lögun XRD ferils örlítið frábrugðin öðrum sýnum sem smektít mælist í. Áhugavert væri að skoða þetta nánar.



## 5 Heimildir

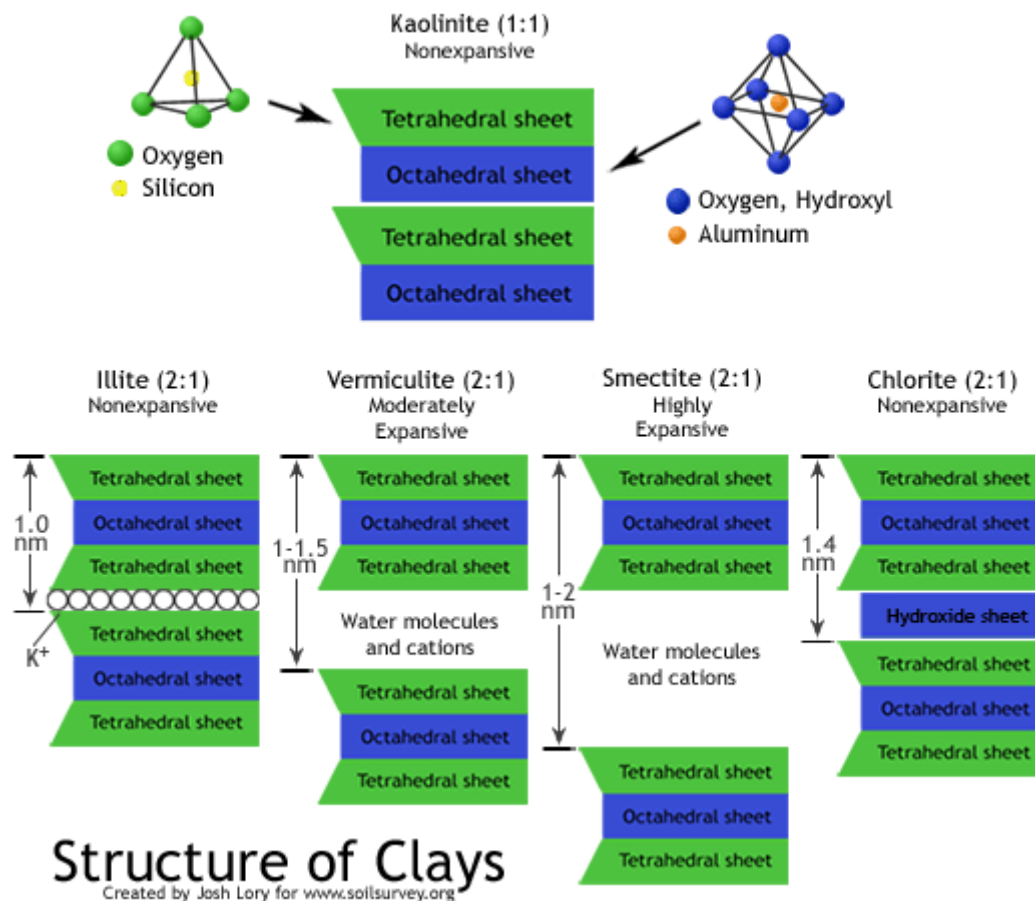
---

1. *Do harmful clay minerals affect adhesion between aggregate and binder?* Þorbjörg Hólmeirsdóttir, Hafdís Eygló Jónsdóttir og Erla María Hauksdóttir. Reykjavík : JFÍ, 2022. The 35th Nordic Geological Winter Meeting 2022, 11-13 May.
2. *Klæðing: Hefur ummyndun áhrif á viðloðun steinefna? Ferðalag til að finna bestu greiningaraðferðirnar.* Þorbjörg Hólmeirsdóttir, Hafdís Eygló Jónsdóttir og Erla María Hauksdóttir. Reykjavík : Vegagerðin, 2022. Rannsóknarráðstefna Vegagerðarinnar.
3. *Klæðing: Hefur ummyndun áhrif á viðloðun steinefna? Ferðalag til að finna bestu greiningaraðferðirnar.* Þorbjörg Hólmeirsdóttir, Hafdís Eygló Jónsdóttir og Erla María Hauksdóttir. Reykjavík : Jarðfræðafélags Íslands, Jarðtæknifélags Íslands, Jarðgangafélags Íslands, Steinsteypufélags Íslands og ISCOLD, 2022. Haustfundur 2022 - Mannvirkjajarðfræði.
4. *Eru smektít og ættingjar óvinir viðloðunarefna?* Hafdís Eygló Jónsdóttir, Erla María Hauksdóttir og Þorbjörg Hólmeirsdóttir. Reykjavík : Vegagerðin, 2020. Rannsóknarráðstefna Vegagerðarinnar 2020.
5. *Hafdís Eygló Jónsdóttir, Erla María Hauksdóttir og Þorbjörg Hólmeirsdóttir. Eru smektít og viðloðunarefni óvinir?* Reykjavík : Vegagerðin, 2022. bls. 1-15, Áfangaskýrsla.
6. *Leica-Microsystems.com.*
7. *Nýtt XRD-tæki á ÍSOR. Sigurður Sveinn Jónsson.* Reykjavík : JFÍ, 2005. Vorráðstefna.
8. *Elastic characteristics of overpressure due to smectite-to-illite transition based on micromechanism analysis.* Xuan Qin, De-Hua Han & Luanxiao Zhao. No. 4, s.l. : Geophysics, B. Vol. 84.
9. *ÍST EN 933-9. Tests for geometrical properties of aggregates - Part 9: Assessment of fines - Methylene blue test.* 2022.
10. *Þorbjörg Hólmeirsdóttir. Áhrif þenjanlegra leirsteinda á frostþol steinefnis.* Reykjavík : Efnisgæðanefnd BUSL. Skýrsla E-39, 2000.
11. *Pétur Pétursson. Niðurbrot steinefna. Styrkleiki - veðrunarþol - slitþol.* Reykjavík : Efnisgæðanefnd BUSL. Skýrsla E-20., 1998.
12. *ÍST EN 13043. Steinefni í malbik og klæðningar á vegi, flugvelli og önnur umferðarsvæði.* 2002.
13. *Hafdís Eygló Jónsdóttir. Munnleg heimild.*
14. <http://soils.missouri.edu/about.asp>. [Á neti]

## Viðauki A Uppbygging leirsteinda

Nánari lýsing á uppbyggingu leirsteinda, mynd 17.

- Leirsteindir eru álsílköt sem eru gerðar úr kísil tetrahedral lagi, *T*, og ál octahedral lagi, *O*. Þessi lög raðast saman annað hvort sem *TO-TO-TO*, líka kallað 1:1 leirsteindir eða sem *TOT-TOT-TOT*, líka kallað 2:1 leirsteindir.
- Kaólinít er gert úr *TO* lögum sem raðast upp og er ekki þenjanlegt.
- Illít er gert úr *TOT* lögum sem raðast upp og er ekki þenjanlegt. Heildarbilið frá efri hluta eins *TOT* lags til þess næsta eru 10 Å<sup>3</sup>, sjá mynd 5.
- Smektít er gert úr *TOT* lögum sem raðast upp en bilið á milli tveggja *TOT* eininga leyfir tiltölulega stórum mólíkúlum, eins og vatnsmólíkúlunum H<sub>2</sub>O og öðrum stærri katjónum, að koma sér fyrir. Afleiðingin er að smektít getur þanist út og dregist saman. Heildarbilið frá efri hluta eins *TOT* lags til þess næsta eru 9-20 Å, sjá mynd 5.



Mynd 17 Uppbygging leirsteinda (14). Mynd eftir Josh Lory.

<sup>3</sup> 1 Å er 0,1 nm.

