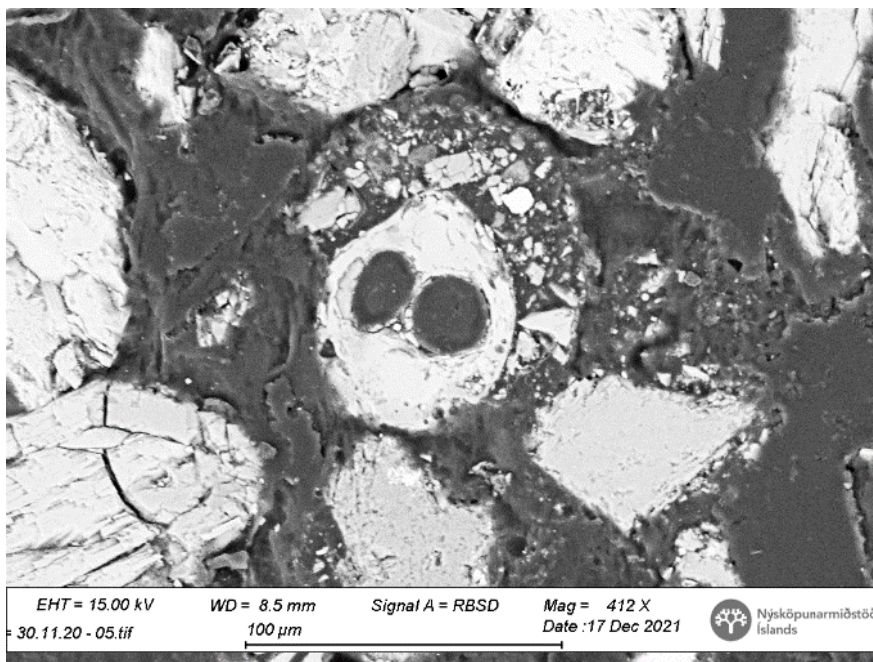




# Umferðartengd svifryksmengun í Reykjavík, Íslandi

Greining og dreifing á umferðartengdu örplasti



Dr Gísli Guðmundsson

Júlí 2022

Háskólinn í Reykjavík  
Vegagerðin

Júlí 2022

Rannsóknarsjóður Vegagerðarinnar styrkti rannsóknarverkefnið: Umferðartengd svifryksmengun í Reykjavík, Íslandi.

Höfundar greinargerðarinnar bera ábyrgð á innihaldi hennar. Niðurstöður hennar ber ekki að túlka sem yfirlýsta stefnu Vegagerðarinnar eða álit þeirrar stofnunar sem höfundar starfa hjá.

## Efnisyfirlit

Myndaskrá.....	iii
Töfluskrá.....	iv
Inngangur.....	1
Sýnasöfnun.....	3
Setþró.....	4
Sýni af yfirborði Vesturlandsvegar.....	4
Vindborið efni af vegyfirborði milli Hörpu og NMÍ.....	4
Efnagreiningaraðferðir.....	5
Micro Raman spectroscopy greiningar.....	5
Kolefnis og snefilefnagreiningar.....	6
Greiningar í rafeindasmásjá.....	7
Niðurstöður efnagreininga.....	7
Ramangreiningar.....	7
Set úr setþrónni við Ártúnsbrekku og Elliðaár.....	8
Vatnsborið vegryk af vegyfirborði frá 14.12.2021 upplímt.....	10
Vindborið vegryk af vegyfirborði, frá 30.10.2020, upplímt sýni.....	12
Sýni úr Hvalfjarðargöngum frá 13.06.2018. Sýnið var keyrt sem duft.....	14
Kolefnis- og snefilefnagreiningar.....	14
Rafeindasmásjargreiningar.....	16
Greiningar á nýju malbiki, hjólbörðum og lími.....	16
Greiningar á seti úr setþró við Ártúnsbrekku og Elliðaár.....	18
SEM myndir af seti úr setþró.....	19
Steinefni.....	22
Kolefnisríkur fasi.....	22
Vegryk safnað af vegyfirborði með vatnsaustri.....	25
Vegryk safnað af framrúðu.....	25
SEM myndir af sýni.....	25
Steinefni.....	27
Kolefnisríkur fasi.....	27
Vegryki safnað af afturrúðu.....	29
SEM-myndir af sýni.....	29
Steinefni.....	30
Kolefnisríkur fasi.....	30
Vindborið vegryk.....	31
SEM-myndir af sýni.....	31

Steinefni.....	34
Kolefnisríkur fasi.....	34
Kolefnisríki fasinn í vegryki .....	35
Niðurstöður .....	36
Þakkarorð .....	37

## Myndaskrá

Mynd 1. Sýni tekið úr setþró við Ártúnsbrekku og Elliðaár 10.12.21.....	4
Mynd 2. Sýni af vindbornu efni var safnað af framrúðu á bifreið skýrsluhöfundar þann 30.10.2020....	5
Mynd 3. MicroRaman tæki í eigu Tækniseturs.....	5
Mynd 4. Raman róf af hjólbarða (HORIBA exported data) og samanburður við kolefni. ....	6
Mynd 5. Smásjármynd úr smásjá við Ramantæki af flögu úr hjólbarða. ....	7
Mynd 6. Ramansmásjármynd af samsettu korni úr setþrónni við Elliðaár/Ártúnsbrekku.. ....	8
Mynd 7. Ramansmásjármynd af samsettu korni úr setþrónni við Elliðaár/Ártúnsbrekku.. ....	9
Mynd 8. Ramansmásjármynd af samsettu korni úr setþrónni við Elliðaár/Ártúnsbrekku.. ....	9
Mynd 9. Raman róf af dekkjaleifum (efri myndin) og malbiksleifum (neðri myndin) úr setþró. ....	10
Mynd 10. Ramansmásjármynd af samsettu korni af vatnsbornu vegryk frá 14.12.2021.. ....	11
Mynd 11. Raman róf af dekkjaleifum (efri myndin) og malbiksleifum (neðri myndin) í vatnsbornu vegryk frá 14.12.2021.....	12
Mynd 12. Ramansmásjármynd af dekkjaleif í vindbornu vegryki frá 30.10.2020.....	13
Mynd 13. Raman róf af dekkjaleifum dekkjaleif í vindbornu vegryki frá 30.10.2020. ....	13
Mynd 14. Raman róf af dekkjaleifum og malbiksleifum í fallryki úr Hvalfjarðargöngum. ....	14
Mynd 15. Rafeindasmásjá myndir af malbiki við um 100x stækkun.....	16
Mynd 16. SEM mynd af malbiki í mismikilli stækkun.. ....	17
Mynd 17. SEM myndir af hjólbarðagúmmí límt saman með expxy lími.. ....	18
Mynd 18. Sýni úr setþró, mynd til vinstri sýnir setið eins og það kom úr þrónni og myndin til hægri sýnir setið eftir að búið var að þurrka það við 100 °C í um 24 tíma. ....	19
Mynd 19. Rafeindasmásjármynd af seti úr setþró, safnað þann 14.12.2021.. ....	19
Mynd 20. Rafeindasmásjármynd af seti úr setþró, safnað þann 14.12.2021.. ....	19
Mynd 21. Rafeindasmásjármynd af seti úr setþró, safnað þann 14.12.2021.. ....	20
Mynd 22. Rafeindasmásjármynd af seti úr setþró, safnað þann 14.12.2021. ....	21
Mynd 23. Rafeindasmásjármynd af seti úr setþró, safnað þann 14.12.2021. ....	22
Mynd 24. Magn kalsíum á móti magni kísils í steinefni úr setþró.....	22
Mynd 25. Rafeindasmásjármynd af seti úr setþró, safnað þann 14.12.2021.. ....	23
Mynd 26. Rafeindasmásjármynd af vatnsbornu vegryki, safnað af framrúðu þann 14.12.2021.....	26
Mynd 27. Rafeindasmásjármynd af vatnsbornu vegryki, safnað af framrúðu þann 14.12.2021.....	27
Mynd 28. Magn kalsíum á móti magni kísils í steinefni í sýni úr vatnsbornu vegryki, safnað af framrúðu þann 14.12.2021. ....	27
Mynd 29. Staðsetningar á efnagreiningum í kolefnisríkum fösum í sýni úr vatnsbornu vegryki, safnað af framrúðu þann 14.12.2021. ....	28
Mynd 30. Rafeindasmásjármynd af vatnsbornu vegryki, safnað af afturrúðu þann 14.12.2021. ....	29
Mynd 31. Rafeindasmásjármynd af vatnsbornu vegryki, safnað af afturrúðu þann 14.12.2021. ....	29
Mynd 32. Rafeindasmásjármynd af vatnsbornu vegryki, safnað af afturrúðu þann 14.12.2021. ....	30
Mynd 33. Magn kalsíum á móti magni kísils í steinefni í vegryki, safnað af afturr þann 14.12.2021. ..	30
Mynd 34. Rafeindasmásjármynd af vindbornu vegryki, safnað af framrúðu þann 30.10.2020.. ....	32

Mynd 35. Rafeindasmásjármynd af vindbornu vegryki, safnað af framrúðu þann 30.10.2020.....	33
Mynd 36. Rafeindasmásjármynd af vindbornu vegryki, safnað af framrúðu þann 30.10.2020..	34
Mynd 37. Magn kalsíum á móti magni kísils í steinefni úr vindbornu vegryki.	34

## Töfluskrá

Tafla 1. Greiningar á helstu snefilefnum og kolefni á seti úr setþró við Elliðaár. Meðaltal 14 sambærilegra greininga á svifryki úr Hvalfjarðargöngum er sýnt til samanburðar.....	15
Tafla 2. Meðalssamsetning malbiksgrunmassa og slitflata hjólbarða, þyngdarprósent .	18
Tafla 3. Samsetning (%) á kolefnisríku efni (grunmassa) og steinefnum sem bundin eru í honum....	24
Tafla 4. Samsetning (%) á kolefnisríku efni.....	24
Tafla 5. Samsetning (%) á steinefnum sem bundin eru í kolefnisríka efninu. ....	25
Tafla 6. Samsetning (%) á kolefnisríkum fasa. ....	28
Tafla 7. Samsetning (%) á kolefnisríkum fösum í vegryki. ....	31
Tafla 8. Samsetning (%) á kolefnisríkum fösum í vegryki. ....	35
Tafla 9. Meðaltal 83 efnagreininga af fasa sem kallaður hefur verið kolefnisbundið efni.....	36

## Inngangur

Plast og plastvörur hafa mikið notagildi sökum þess að plast er hagkvæmt í framleiðslu og tiltölulega létt. Þess vegna hefur plast verið notað undanfarna áratugi í fjölbreyttar plastvörur. Vandamálið við stóran hluta plasts er að það eyðist ekki heldur brotnar það niður í stöðugt smærri agnir. Framleiðslan og notkunin á plastvörum og röng meðhöndlun á plastúrgangi hefur leitt til þess að plastúrgangur hleðst upp í vistkerfinu. Ef ekkert er aðhafst mun stór hluti þessa úrgangs enda í úthöfunum. Þar sem höfin þekja um  $\frac{3}{4}$  af yfirborði jarðar eru miklar líkur á að plastúrgangur sem upprunninn er á landi muni berast með lofti eða straumvötnum til sjávar. Á undanförunum árum hefur dregið úr plastnotkun, endurvinnsla hefur aukist og uppleysanlegt plast komið að hluta til í stað þess torleysta. Engu að síður er hætta á plastmengun í vistkerfinu veruleg.

Gjarnan er talað um að örplast sé minna en 5 mm í þvermál<sup>1</sup>. Flokka má örplast í tvo flokka, annars vegar örplast sem framleitt er sem örplast og notað sem fylliefni í ýmsar vörur og hins vegar örplast sem hefur myndast við aflrænt niðurbrot á plastúrgangi. Berist örplast í höfin er hætta á að það komist í fæðukeðjuna og ógni lífríkinu.

Gúmmí, þ.m.t. dekkjagúmmí er ein tegund plasts. Erlendis hefur verið bent á að dekkjaslit sé stór þáttur í myndun örplasts, sem er á bilinu frá 10 nm til nokkur hundruð mikron að stærð<sup>2,3,4,5,6,7</sup>. Umferðartengt svifryk eins og dekkjaslit myndast við núning á milli hjólbarða og slitlags (malbiks/steinsteypu).

Svifryk hefur verið skilgreint sem agnir minni en 10 micron í þvermál, og fallryk þaðan af grófara. Skilgreiningin byggir á því að agnir þurfa að vera minni en 10 micron til að geta verið loftbornar. Niðurstöður fyrri áfanga verkefnisins um myndun svifryks og fallryks í Hvalfjarðargöngum voru þær að uppruna ryksins sem safnað var í göngunum mátti að mestu rekja til fylliefna í malbiki og dekkjaslits<sup>8</sup>. Ryk sem myndast vegna útblásturs frá ökutækjum og vegna slits á bremsuborðum og dekkjum er einnig þáttur í rykmynduninni. Niðurstöður sömu rannsóknar benda til þess að hluti svifryksins myndi nokkurskonar vöndla. Vöndlarnir eru samsett korn úr mjög fínkorna rykögnum, ættuðum úr slitlaginu og bundin saman með kolefnisríkum grunnmassa. Kolefnisríki grunnmassinn er kominn úr dekkjasliti og/eða bindiefninu í malbikinu. Þessir vöndlar eru nokkuð stórir, flestir um 50 til 60 micron í þvermál, en geta orðið allt að um 100 micron í þvermál. Svo stórar agnir ná því ekki að berast með lofti sökum þyngdar/stærðar. Kornastærðargreiningar á ryki úr Hvalfjarðargöngum leiddu í ljós að ryk fínna en 2,5 micron er um 5 % af rúmmáli ryksins og ryk fínna en 10 micron er um 20 til 21 %. Miðað við þessar niðurstöður eru það „aðeins“ um 20 % af rykinu í Hvalfjarðargöngum sem mætti flokka sem svifryk og gæti náð því að vera loftborið, annað efni eða um 80 % af rykinu nær því ekki að verða loftborið og myndi setjast til við vegi og vegaxlir sem fallryk. Þannig má segja að tilhneiging „umferðartengds

<sup>1</sup>GESAMP (2015). Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: a global assessment. (Kershaw, P. J., ed.). (IMO/FAO/UNESCO-IOC/UNIDO/WMO/IAEA/UN/UNEP/UNDP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection). Rep. Stud. GESAMP No. 90, 96 p.

<sup>2</sup>Grigoratos, T.; Martini, G. Non-Exhaust Traffic Related Emissions. Brake and Tyre Wear PM; European Commission, Joint Research Centre, Institute of Energy and Transport: Ispra, Italy, 2014.

<sup>3</sup>Kreider, M., L., Panko, J., M., McAtee, B., L., Sweet, L., I., Finley, B., L., (2010) Physical and chemical characterization of tire-related particles: Comparison of particles generated using different methodologies. *Sci. Total Environ.* 408, 652–659.

<sup>4</sup>Dahl, A.; Gharibi, A.; Swietlicki, E.; Gudmundsson, A.; Bohgard, M.; Ljungman, A.; Blomqvist, G.; Gustafsson, M. Traffic-generated emissions of ultrafine particles from pavement-tire interface. *Atmos. Environ.* 2006, 40, 1314–1323.

<sup>5</sup>Long, C.M.; Nascarella, M.A.; Valberg, P.A. Carbon black vs. Black carbon and other airborne materials containing elemental carbon: Physical and chemical distinctions. *Environ. Pollut.* 2013, 181, 271–286.

<sup>6</sup>Continental Carbon. Tire Rubber Carbon Blacks. Available online: <http://www.continentalcarbon.com/rubber-carbon-black-tire-grades.asp> (accessed on 24.06.2020).

<sup>7</sup>Norman, D.T. Rubber Grade Carbon Blacks; Witco Corporation, Concarb Division: Houston, TX, USA, 2001.

<sup>8</sup>Gísli Guðmundsson (2019) Samsetning og uppruni svifryks í Hvalfjarðargöngum. NMÍ 19-02, 83 bls.

svifryks“ til að mynda tiltölulega stóra vöndla komi í veg fyrir að svifrykið berist með lofti og dragi þannig úr loftmengun, eins einkennilega og það kann að hljóma.

Erlendar rannsóknir benda til þess að einungis 0,1 til 10 % af umferðartengdu svifryki nái því að verða loftborið<sup>9,10</sup>. Því fellur meginþorri umferðartengds svifryks á og við vegi. Hluti þess svifryks, sem situr eftir á eða við vegi og berst til settjarna, er ekki þekkur.

Nokkrar af helstu samgönguæðum á höfuðborgarsvæðinu eru tengdar við settjarnir þannig að frárennsli frá yfirborði vega berst um holræsakerfi til settjarna. Ef fráveitan er virk við að flytja rykið, sem sest til við vegi, í settjarnir þá er dregið verulega úr hættu á að svifrykið berist í ár og læki og til sjávar. Miðað við niðurstöður úr fyrri rannsókn á svifryki í Hvalfjarðargöngum ætti stór hluti þess ryks, sem myndast á götum úti, að vera of stórt/þungt til að geta borist með lofti, og muni þess vegna sitja kyrrt á upprunastaðnum. Þannig eru góðar líkur á að rykið skili sér með yfirborðsrennsli af vegum í settjarnir um fráveitukerfið. Almennt má þó segja að flutningur umferðartengds svifryks frá vegum um loft, vötn, ár og til settjarna eða til sjávar hafi verið lítið rannsakaður hér á landi.

Nú er ekki fullljóst hversu virkt drenkerfi er við að flytja vegryk af yfirborði vega til settjarna. Sá möguleiki er fyrir hendi að stóru vöndlarnir sem eru til staðar í rykinu úr Hvalfjarðargöngum brotni niður í smærri einingar. Við það skapast sá möguleiki að þær berist með lofti. Sýnin úr Hvalfjarðargöngum sem voru skoðuð eru tekin við ákjósanlegar aðstæður, þ.e. engin úrkoma af neinu tagi hefur leikið um þau.

Erlendar rannsóknir benda til þess að um 2 til 44 % af umferðartengdu svifryki berist til sjávar<sup>11</sup>. Kínverskar rannsóknir sýna að með því að tengja afrennsli gatna við holræsakerfi fæst góð hreinsun á ryki frá yfirborði viðkomandi gatna<sup>12</sup>. Hér á landi, sérstaklega þar sem snjóruðningur og/eða sandur stíflar niðurföll og lagnir, er hætta á skertri virkni holræsakerfa við að hreinsa yfirborð gatnanna. Auk þess má ætla að notkun á nagladekkjum, sem auka vegslit margfalt, auki ennfremur hættu á stíflum í lagnakerfinu.

Til að setja dekkjaslit í rétt samhengi þá bendir sænsk rannsókn til þess að á líftíma hjólbarða samsvari dekkjaslitið því að dekkinn léttist um 17 %<sup>13</sup>. Sambærileg norsk rannsókn bendir til þess að dekk léttist um 12 %<sup>14</sup>. Lausleg könnun höfundar þessarar skýrslu á heilsársdekkjum styður niðurstöður sænsku rannsóknarinnar. Miðað við magn innfluttra hjólbarða til landsins fyrir árin 2018 til 2020 (Hagstofan) og niðurstöður sænsku rannsóknarinnar þá má ætla að dekkjaslit myndi um 800 tonn á ári sem geta orðið að svifryki eða um 2,3 kg/íbúa/ár. Sambærilegar tölur (e. emission factors) fyrir Bandaríkin, Noreg, Svíþjóð, Danmörk, Þýskaland og Bretland eru í sömu röð 4,7; 1,5; 1,3; 1,2; 1,1 og 0,98 kg/íbúa/ár<sup>15</sup>. Niðurstöðurnar undirstrika að vegna mikillar notkunar bifreiða hér á landi er hætta á verulegri umferðatengdri svifryksmengun. Af þessum sökum er mikilvægt að sporna gegn því að svifrykið berist til sjávar og þar með í fæðukeðjuna og skaði lífríkið í vistkerfinu við Ísland.

Skipta má umferðatengdu svifryki í tvo hópa, annars vegar það sem berst í lofti og hins vegar það sem fellur til á og við vegi. Fyrri hópurinn er fínkorna (u.þ.b. < 10 micron) og er hið eiginlega svifryk

<sup>9</sup>Stephan Wagner, Thorsten Hüffer, Philipp Klöckner, Maren Wehrhahn, Thilo Hofmann, Thorsten Reemtsma (2018) Tire wear particles in the aquatic environment - A review on generation, analysis, occurrence, fate and effects. *Water Research*, 139, 83-100

<sup>10</sup>Panko, J., M., Chu, J., Kreider, M., L., Unice, K., M., (2013) Measurement of airborne concentrations of tire and road wear particles in urban and rural areas of France, Japan, and the United States. *Atmospheric Environment*, 72, 192-199

<sup>11</sup>Boucher, J., Billard, G., (2019) The challenges of measuring plastic pollution. *The Eeolia Institute Review – Facts Report*, 68-75

<sup>12</sup>Wang, Q., Zhang, Q., Wu, Y., Wang, X., C., (2017) Physicochemical conditions and properties of particles in urban runoff and rivers: Implications for runoff pollution. *Chemosphere*, 173, 318-325

<sup>13</sup>2003, HA Oils in Automotive Tyres—Prospects for a National Ban, 2003. Swedish Chemicals Agency (KEMI), report 5(03), 105 pages.

<sup>14</sup>Sundt, P. Schulze, P-E. Syversen, F. (2003) Sources of Microplastics-Pollution to the Marine Environment; Mepex National Chemicals Inspectorate: Solna, Sweden.

<sup>15</sup>Kole, P., Löhr, A., J., Van Belleghem, F., G., A., J., Ragas, A., M., J., (2017) Wear and Tear of Tyres: A Stealthy Source of Microplastics in the Environment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14, 1265, 31 pages

(loftborið) og seinni hópurinn er grófkorna (u.þ.b. >10 micron). Í þessari rannsókn er loftborið svifryk ekki rannsakað, einungis svifryk sem fellur til á og við vegi. Þó líklegt sé að þetta svifryk hafi á einhverjum tímápunkti náð því að verða loftborið, er alla vega er ólíklegt að það hafi borist um langan veg. Þótt fínt svifryk sé ekki hluti af þessari rannsókn er ekki þar með sagt að það hafi ekki neikvæð áhrif á vistkerfið. Þvert á móti er það ekki síður hættulegt heilsu fólks en grófkorna svifryk. Í þessari rannsókn er einungis einblínt á dekkjaslit og örlög þess, en eins og komið hefur fram benda rannsóknir til að um 90 % svifryks upprunnið frá dekkjasliti nái ekki því að verða loftborið. Markmiðið með því að halda fínkorna svifryki fyrir utan rannsóknina er einungis til einföldunar á afmarkaðri rannsókn.

Markmið með þessu verkefni er að: a) rannsaka hvort fínt svifryk myndi sambærilega „vöndla“ og finnast í svifrykinu í Hvalfjarðargöngum; b) rannsaka þátt dekkjaslits í myndun svifryks og mögulegar „vöndlamyndunar“; c) rannsaka hvort svifryksmyndun vegna dekkjaslits geti leitt til örplastsmyndunar; d) rannsaka virkni settjarna til að safna mögulegu örplasti.

Megin rannsóknarspurningin sem leitast verður svara við er: "Hver er þáttur dekkjaslits í myndun örplasts og virkni settjarna við að fanga umferðartengt svifryk?"

Til þess að svara mætti áður nefndum rannsóknaspurningum þurfti að útvíkka verkefnið á eftirfarandi hátt:

- Sýni af malbiki var greint með rafeindasmásjá og Raman spectroscopy.
- Sýni af hjólbarða var greint með rafeindasmásjá og Raman spectroscopy.
- Sýni af fylliefni og hjólbarða var malað saman og greint með rafeindasmásjá.
- Sýni af malbiki og hjólbarða var malað saman og greint með rafeindasmásjá.
- Gullhúða sýni fyrir efnagreiningu með rafeindasmásjá, ásamt gullhúðaðri glersneið.

„Örplast finnst víða í vistkerfinu og getur verið mikill skaðvaldur, sérstaklega ef það berst til sjávar og í fæðukeðjuna. Lítið er vitað um dreifingu á örplasti í vistkerfinu við Ísland, en rannsóknir sem hafa verið gerðar benda til þess að örplast finnist hér eins og annars staðar<sup>16</sup>.

Uppruni örplasts sem á sér stað á landi er mjög fjölbreytilegur. Umferðartengt örplast hefur verið lítið rannsakað hér á landi. Rannsóknir á svifryki úr Hvalfjarðargöngum benda til þess að verulegur hluti umferðartengds svifryks í göngunum sé kolefnisríkt ryk myndað annars vegar sem dekkjaslit og hins vegar sem gatnaslit<sup>8</sup>. Dekkjaslit sem slíkt er mikilvægur þáttur í myndun örplasts.

Þess er vænst að niðurstöður rannsóknarinnar verði verulegt framlag til skilnings á þætti umferðar í svifryksmengun á Íslandi, sérstaklega á höfuðborgarsvæðinu. Eins og komið hefur fram í fjölmiðlum getur svifryksmengun á höfuðborgarsvæðinu orðið verulega mikil samanborið það sem þekkt er annars staðar á Norðurlöndum, sérstaklega í ljósi þess að jarðefnaeldsneyti er ekki notað hér á landi til kyndingar húsa.

## Sýnasöfnun

Unnið var með fjórar tegundir af umferðartengdu ryki (efni) safnað þegar nagladekk voru í notkun, utan sýnisins úr Hvalfjarðargöngum:

- sýni sem voru tekin úr botni setþróar við Ártúnsbrekku/Elliðaár þann 10.12.2021
- sýnum sem var safnað af vegyfirborði með vatnsaustri af Vesturlandsvegi þann 14.12.2021
- sýni sem var safnað af vegyfirborði sem vindbornu efni milli Hörpu og NMÍ þann 30.10.2020

<sup>16</sup>Guðjón Atli Auðunsson (2018). Made from plastic, and then what? (in Icelandic). Unpublished lecture, Innovation Center Iceland



- sýni úr Hvalfjarðargöngum úr fyrri rannsókn var rannsakað með Ramangreiningu þann 13.06.2018.

### Setþró

Á mynd 1 má sjá setþróna við Ártúnsbrekku og Elliðaár. Seti var mokað upp úr þrónni þann 10.12.2021. Nóg var af seti í þrónni og auðvelt að ná sýni úr henni. Sýnum var aðeins safnað á einum stað u.þ.b., 2 m út frá bakka þróarinnar, rétt við innrennsli inn í þróna. Töluvert var um gróður eins og rætur í setinu. Reynt var að ná óhreyfðum kjarna úr tjörninni með sýnataka en það tókst ekki.

Þróin tekur við afrennsli frá nærliggjandi Vesturlandsvegi og væntanlega einnig veginum um Ártúnsbrekku.



Mynd 1. Sýni tekið úr setþró við Ártúnsbrekku og Elliðaár þann 10.12.2021.

### Sýni af yfirborði Vesturlandsvegur

Sýni var safnað af framrúðu og afturrúðu af bifreið skýrsluhöfundar þann 14.12.2021, eftir að henni hafði verið ekið um Vesturlandsveg. Þennan dag gengu léttar skúrir yfir borgina. Akstursskilyrði voru þannig að nokkur vatnsaustur var frá bifreiðum sem var ekið um, t.d. Vesturlandsveginn. Vatnsausturinn olli því að aur af veginum frá bifreið á undan settist á næstu bifreið, þ.m.t. framrúðu. Með því að aka varlega og nota rúðuþurrkur sparlega var hægt að safna nægu magni af vegryki í nokkrum ferðum til skoðunar og efnagreiningar í rafeindasmásjá. Vegalengdin sem rykið barst um í lofti var um 5 m. Í þessu sama ferli safnaðist einnig aur á afturrúðu bifreiðarinnar sem hægt var að safna fyrir SEM greiningu. Bæði þessi ferli gáfu tiltölulega lítið sýni, sem dugði aðeins fyrir rafeindasmásjargreiningu, en sýnin voru einnig notuð fyrir Ramangreiningar

### Vindborið efni af vegyfirborði milli Hörpu og NMÍ.

Sýni af vindbornu efni var safnað af framrúðu á bifreið skýrsluhöfundar þann 30.10.2020. Þegar setinu var safnað var þurr í veðri og ekkert hafði rignt í nokkra daga þar á undan, nokkuð vindasamt var og hiti yfir frostmarki. Sýninu var safnað meðan bifreiðinni var ekið frá Hörpu til NMÍ. Setinu var safnað með því að nota rúðuþurrkurnar og setinu safnað í garð á rúðunni sem síðan var numið á brott með þunnri sköfu, sjá mynd 2. Sýnið var síðan undirbúið til skoðunar og efnagreiningar í rafeindasmásjá.

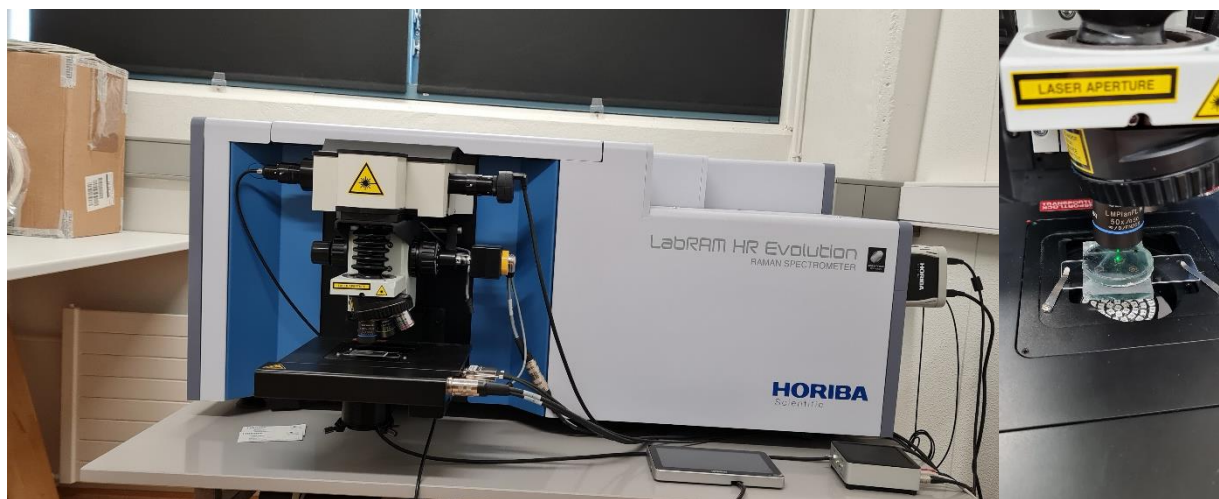


Mynd 2. Sýni af vindbornu efni var safnað af framrúðu á bifreið skýrsluhöfundar þann 30.10.2020.

## Efnagreiningaraðferðir

### Micro Raman spectroscopy greiningar

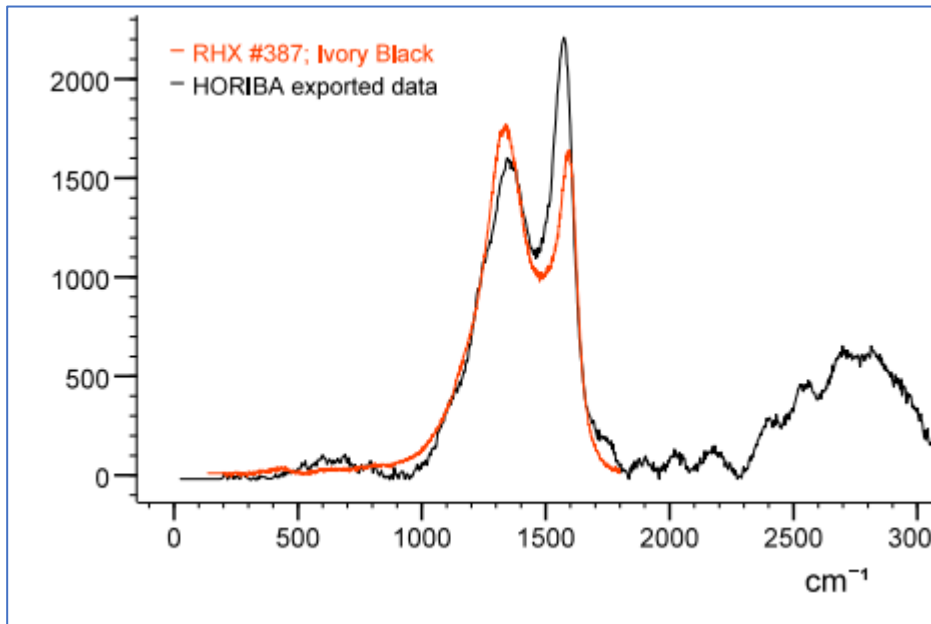
Greiningar með micro Raman tæki krefjast lítils sýnaundirbúnings og eru tiltölulega auðveldar í framkvæmd. Við tækið er ljósmásjá sem er bæði með gegnumfallandi og áfallandi ljósi, sjá mynd 3. Smásjáin er búin linsu með 50 sinnum stækkun og augnstykki með 10 sinnum stækkun, þannig að sýnin eru skoðuð og korn valin fyrir greiningu í 500 sinnum stækkun. Smásjáin er notuð til þess að staðsetja svæði þar sem leysigeisli fellur á sýnið og þar með hvaða fasa eigi að greina. Í greiningunni er leysigeislar sendir í gegnum linsuna og á sýnið. Við greiningarnar var bylgjulengd leysigeislans 532 nm. Orka leysigeislans var yfirleitt um 10 % af hámarksorkunni. Sýnin sem voru rannsökuð í þessari rannsókn voru ýmist þurrt duft sem sáldrað var á glerplötu fyrir greiningu, eða sýni úr rykkornum sem voru límd saman með epoxy og yfirborð sýnanna slípað niður (þeirra sem voru útbúin fyrir rafeindasmásjargreiningu).



Mynd 3. MicroRamantæki í eigu Tækniseturs. Á myndinni til hægri má sjá sýni sem er verið að greina.

Hvert efni/efnasamband hefur einkennandi Ramanróf (spectra) ef á annað borð er hægt að örva sýnið með Ramantæki. Til eru gagnagrunnar með Ramanrófum þekktra efna/efnasambanda. Þegar Ramanróf af ákveðnu efni liggur fyrir, sbr. mynd 4 er algengast að greining á viðkomandi efni byggist á leit að samsvarandi rófi í Raman gagnagrunnum. Á mynd 4 er sýnd niðurstaða úr einni slíkri leit, þar

sem róf af hjólbarða var keyrt saman við gagnagrunn sem Tæknisetur hefur aðgang að. Niðurstaða greiningarinnar er að um sé að ræða efni sem kallast Ivory Black, en það er einhverskonar form af kolefni.



Mynd 4. Ramanróf af hjólbarða (HORIBA exported data) og samanburður við kolefni sem kallast Ivory Black í gagnagrunni sem tengdur er við Ramantækið hjá Tæknisetri.

Í þessari rannsókn var ekki stuðst við leit í gagnasöfnum, heldur voru eftirfarandi viðmiðunarsýni útbúin og keyrð í Ramantækinu:

- sýni úr hjólbörðum, bæði sem lausar flyksur og upplímd sýni
- sýni af malbiki frá malbiksframleiðanda og
- sýni af bindiefni eins og notað er í klæðingu.

Eftirfarandi sýni voru keyrð í Ramantækinu:

- Setsýni úr settjörn við Ártúnsbrekku og Elliðaár. Sýnið var þurrkað við 100 °C, malað og sigtað á 63 mikron sigti. Sýnið var greint sem duft í Ramantækinu (og einnig sem upplímt sýni í rafeindasmásjá)
- Vatnsborið vegryk frá 14.12.2021, upplímt sýni (sýnið einnig greint með rafeindasmásjá)
- Vindborið vegryk frá 30.10.2020, upplímt sýni (sýnið einnig greint með rafeindasmásjá)
- Fallryk úr Hvalfjarðargöngum frá 13.06.2018. Sýnið var keyrt sem duft.

#### Kolefnis og snefilefnagreiningar

Setsýni úr setþrónni við Ártúnsbrekku og Elliðaár var sent í kolefnis- og snefilefnagreiningar hjá ALS í Svíþjóð. Áður en sýnið var sent til Svíþjóðar var það þurrkað við 105 °C. Við þurrkunina varð sýnið að hörðum massa sem þurfti að mala niður með staut í mortéli og svo sigtað á 63 mikron sigti.

Við val á frumefnum til greiningar var miðað við að uppruni ryksins væri aðallega útblástur farartækja, úr bremsuborðum, úr dekkjum og úr malbiki. Úr útblæstri má búast við kolefnis- (C) og brennisteins- (S) ríku ryki. Frá bremsuborðum má búast við: áli (Al), kalsíni (Ca), járn (Fe), kalíni (K), mangan (Mn), kísli (Si), brennisteini og þungmálmunum baríni (Ba), kopar (Cu), blýi (Pb) og antímoni (Sb). Ryk sem myndast vegna dekkjaslits ætti að auðkennast af eftirfarandi efnum: áli, kalsíni, járn, kalíni, magnesíni (Mn), natríni (Na), títani (Ti), brennisteini auk þungmálma kadmín (Cd), króm

(Cr), kopar, nikkell (Ni), blý, selen (Se) og sink (Zn). Að lokum má búast má við eftirfarandi frumefnum úr malbiki: áli, kalsíni, járni, kalíni, magnesíni, natríni, títani, kísli, auk annarra efna í minna mæli.

Eftirfarandi efni voru efnagreind í sýni úr setþrónni með ICP (plasma) mælitæki: antimony, arsenik, kadmíum, króm, kóbalt, kopar, blý, mangan, kvikasilfur, nikkell, brennisteinn, vanadium, sink og baríum. Styrkur efnanna ál, kalsíum, járn, kalíum, manesíum, natríum (Na), títan (Ti) var ekki greindur vegna þess að styrkur þessara efna er eða getur verið hár í fylliefnum í malbiki. Styrkur selens í rykinu var ekki mældur.

Heildar kolefni og lífrænt kolefni voru efnagreind með því að brenna sýnið (e. combustion method) og greina með innrauðum nema (IR detection) og magn ólífræns kolefnis fundið með mismun á milli heildar kolefnis og lífræns kolefnis.

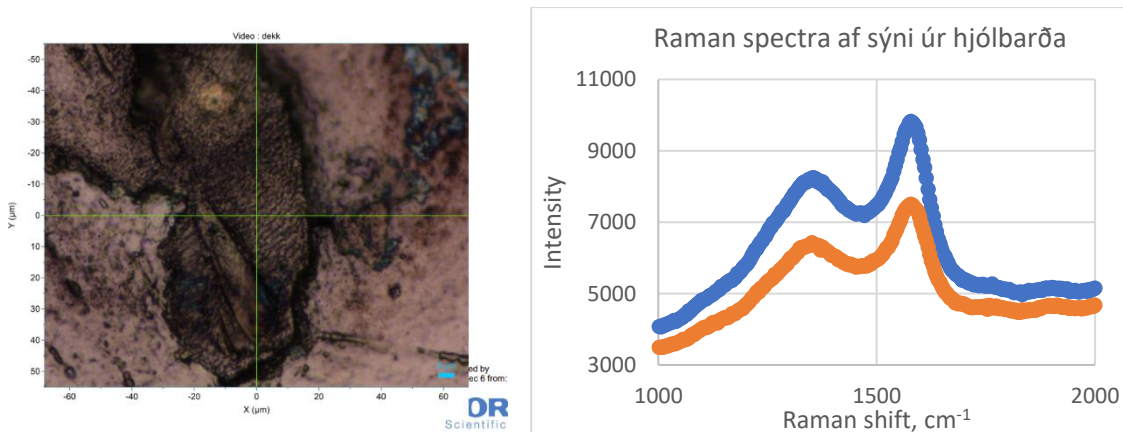
### Greiningar í rafeindasmásjá

Öll sýnin voru skoðuð og efnagreind með rafeindasmásjá (SEM), eins og sýni úr Hvalfjarðargöngum<sup>8</sup>. Í stað þess að kolefnishúða sýni eins og áður voru sýnin gullhúðuð. Fyrir SEM greiningu er nauðsynlegt að húða sýni með leiðandi efni. Við efnagreiningar með SEM greinist efnið (kolefni eða gull eftir því sem við á) í þessu leiðandi lagi sem hluti af sýninu. Stór hluti svifryks er kolefnisbundið efni og því var gripið til þess ráðs að gullhúða sýnin í stað þess að kolefnishúða þau, þannig er hægt að forðast kolefnismengun í SEM sýnunum. Þegar SEM sýnin voru meðhöndluð fyrir greiningu voru þau límd saman og slípuð niður. Mögulegt er að límið sem er kolefnisbundið efni mengi sýnin af kolefni.

### Niðurstöður efnagreininga

#### Ramangreiningar

Svokallað „carbon black“ efni er kristallað kolefni (e. paracrystalline). Efnið er t.d. notað til að framleiða hjólbarða. Carbon black efni er auðgreinanlegt með Raman þar sem rófið hefur tvo toppa (e. bands) við 1360 og 1580  $\text{cm}^{-1}$ , sjá mynd 5<sup>17</sup>.



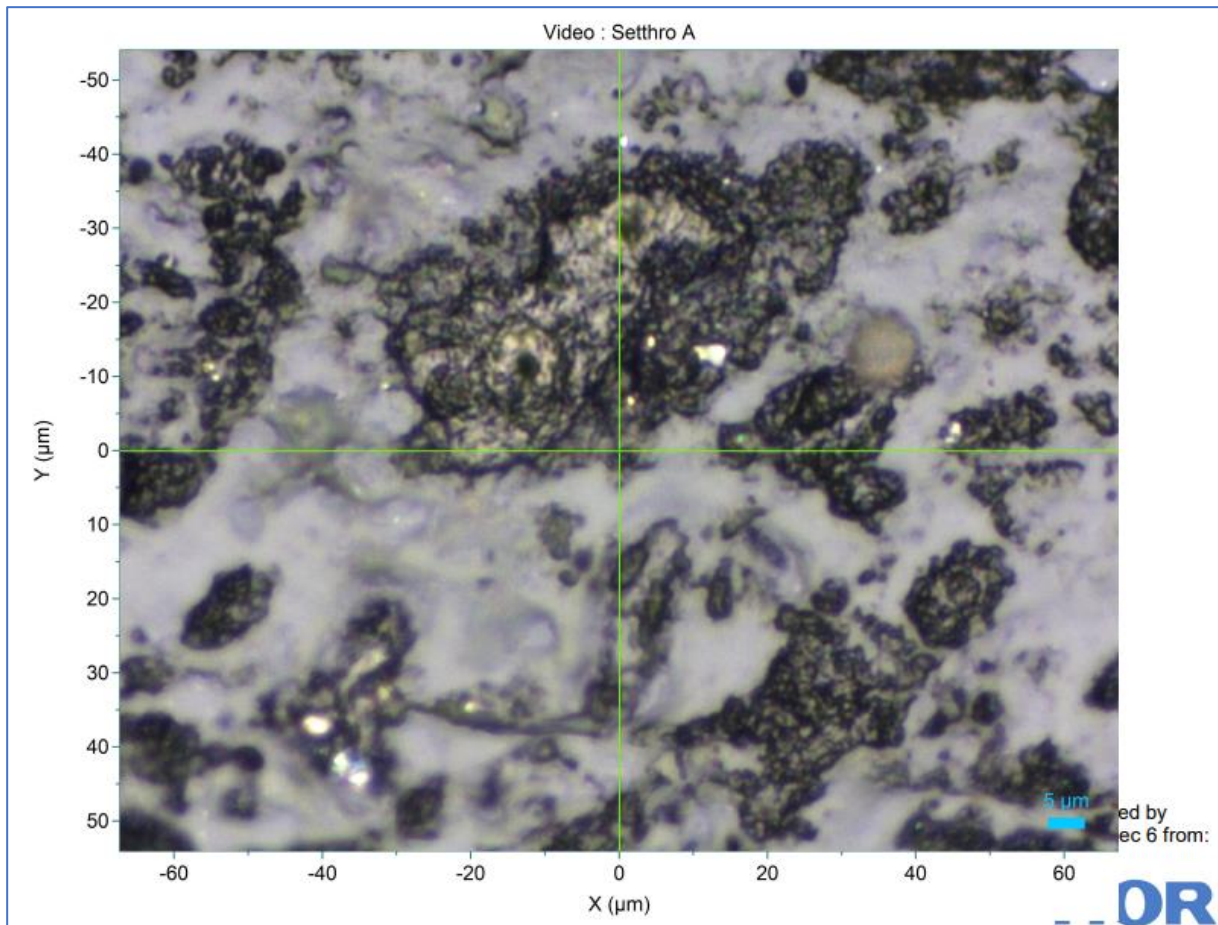
Mynd 5. Smásjármynd úr smásjá við Ramantæki af flögu úr hjólbarða, t.v. Sjá má far eftir leysigeisla Ramantækisins í efri hluta sýnisins. Ramanróf af tveimur greiningum með einkennandi toppa (bands) við um 1365  $\text{cm}^{-1}$  og 1580  $\text{cm}^{-1}$  er sýnd til hægri.

Af Raman viðmiðunarsýnunum (hjólborðum, malbiki og bindiefni eins og notað er í klæðingu) reyndist sýni af hjólborðum eina efnið sem var með Raman toppa.

Þótt hægt sé að greina duft með Ramantækni þá hefur upplímt og slípað sýni þann kost fram yfir duft að auðveldara er að greina mismunandi fasa með smásjanni á slípuðum (flötum) sýnum. Enda þótt

<sup>17</sup> [carbon black raman spectra - Bing images](#)

ekki sé mögulegt að greina malbik með Raman reyndist frekar auðvelt að greina á milli dekkjaleifa og malbiksleifa í svifryki í smásjóni sem er tengd við Ramantækið. Á mynd 6 má sjá samsett svifrykskorn úr dekkja- og malbiksleifum. Tiltölulega auðvelt er að greina á milli þessara tveggja þátta. Ef leysigeislinn var hafður tiltölulega orkuríkur skildi hann eftir far í dekkjaleifum.

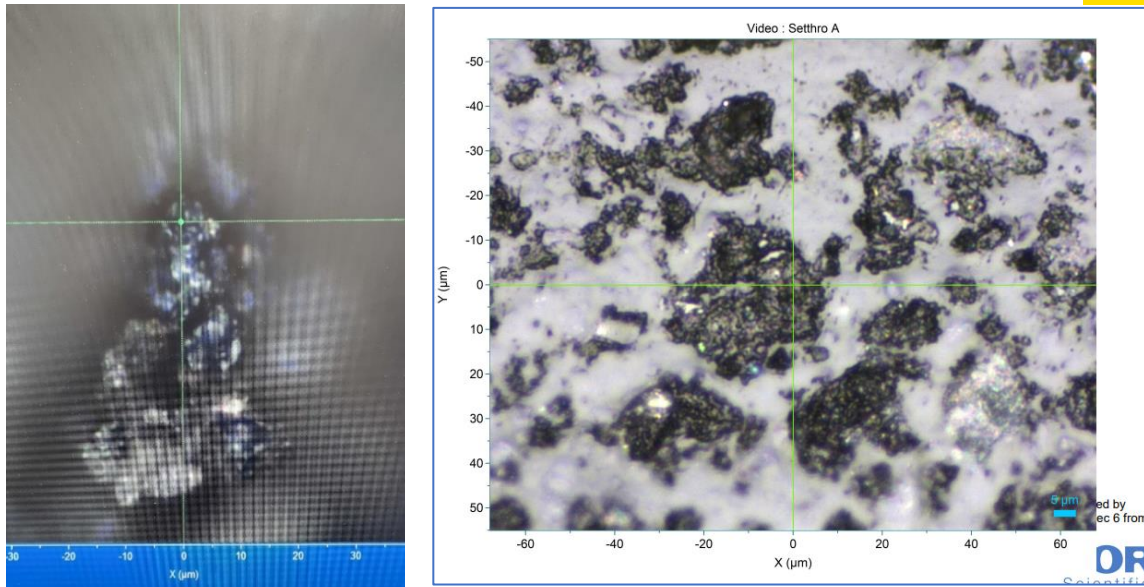


Mynd 6. Ramansmásjármynd af samsettu korni úr setþrónni við Ártúnsbrekku og Elliðaár frá 10.12.2021. Dökkir fasar eru bik og/eða dekkjaleifar, epoxylímið er gráleitt. Á myndinni má sjá skemmdir eftir leysigeislann á tveimur stöðum. Leysigeislar geta brennt sig ofan í dekkjaleifar.

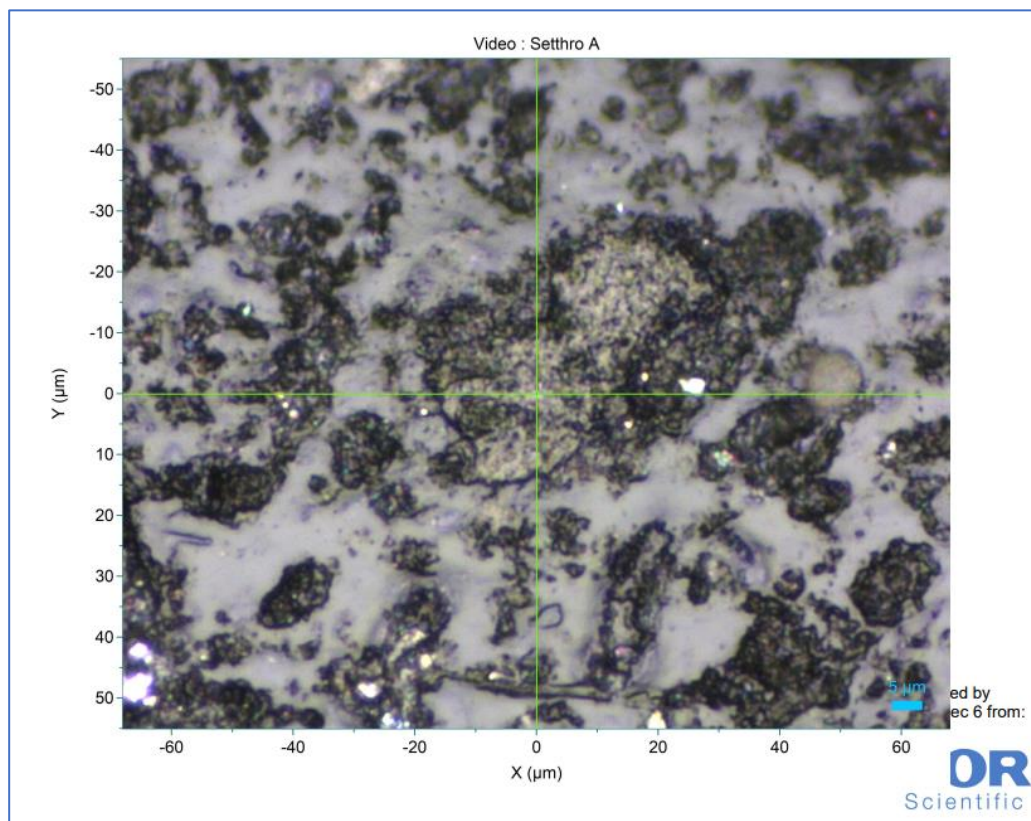
*Set úr setþrónni við Ártúnsbrekku og Elliðaár.*

Sýnið var þurrkað við 100 °C, malað og sigtað á 63 mikron sigti. Sýnið var keyrt á Ramantækinu sem duft og upplímt sýni (sýnið einnig greint með rafeindasmásjá), sjá mynd 7.

Töluvert var um bæði malbiksleifar og dekkjaleifar í setinu. Á mynd 7 má sjá dæmi um malbiksleifar og á mynd 8 má sjá dæmi um dekkjaleifar.

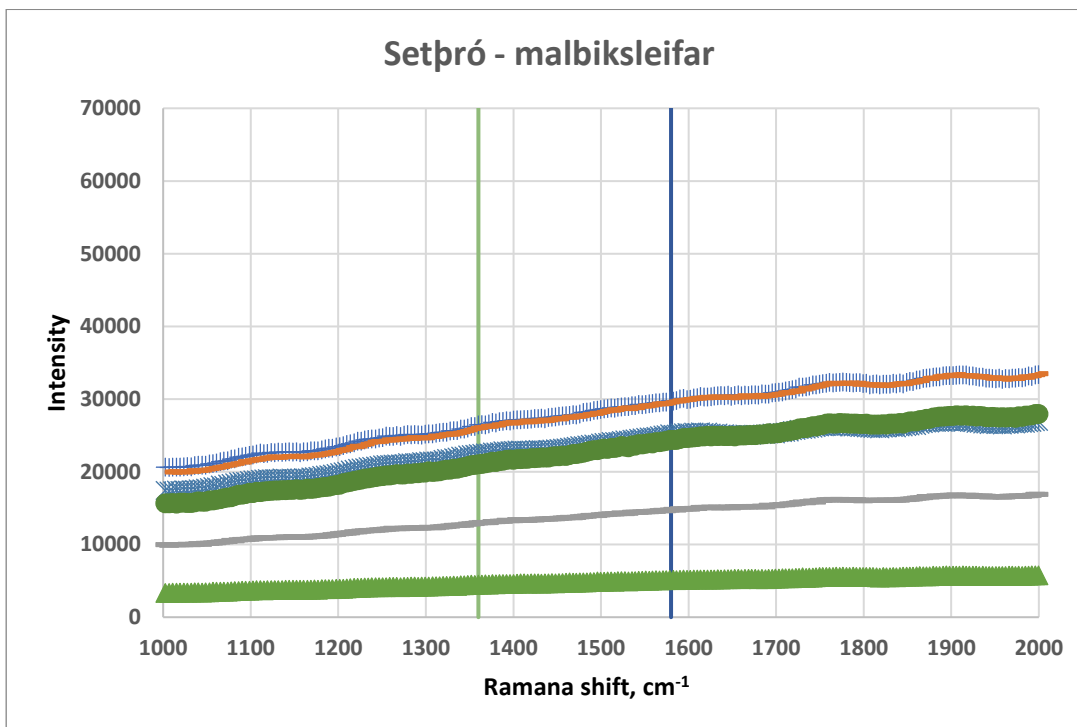
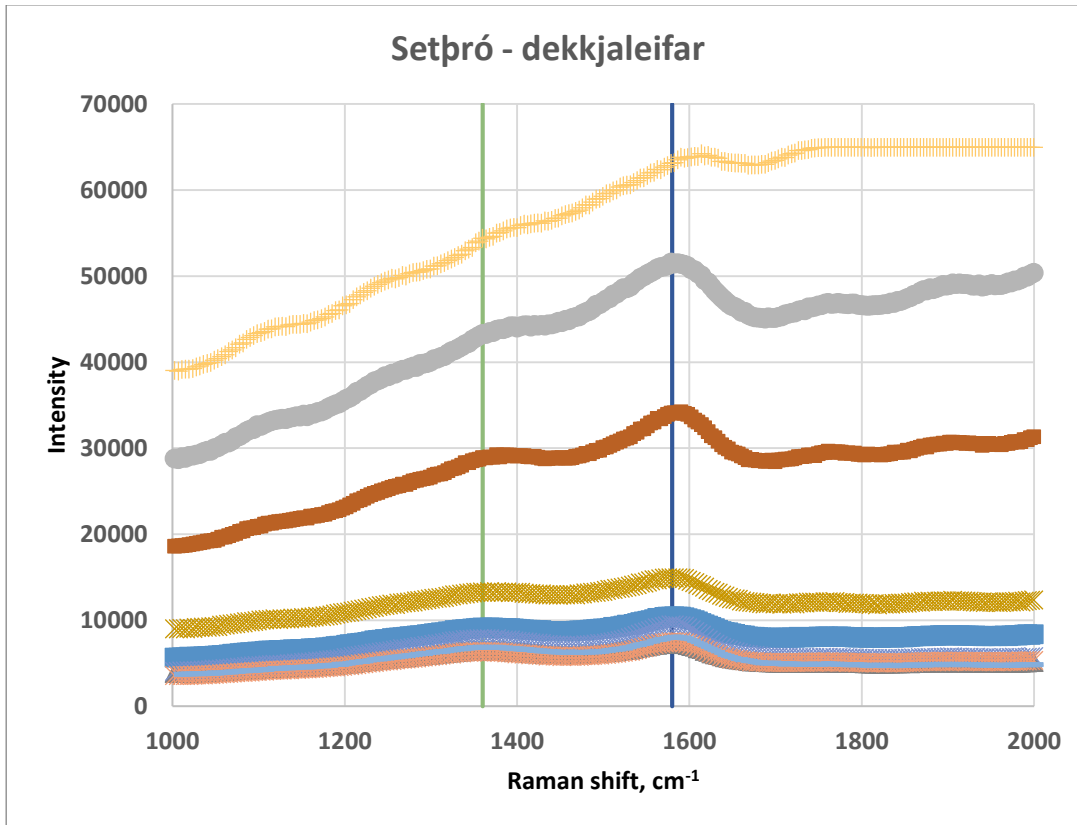


Mynd 7. Ramansmásjármynd af samsettu korni úr setþrónni við Ártúnsbrekku og Elliðaár frá 10.12.2021. Myndin t.v. sýnir stakt svifrykskorn sem duft, myndin er tekin af tölvuskjá með síma. Myndinni t.h. sýnir upplímt og slípað sýni af svifryki. Krosshárið á báðum myndunum er á malbiksleif.



Mynd 8. Ramansmásjármynd af samsettu korni úr setþrónni við Ártúnsbrekku og Elliðaár frá 10.12.2021. Dökkir fasar eru bik og/eða dekkjaleifar, epoxylímið er gráleitt. Krosshárið sýnir hvar Ramanróf var tekið.

Á mynd 9 má sjá nokkur dæmi um Ramanróf af annars vegar dekkjaleifum og hins vegar malbiksleifum af svifrykskornum úr setþrónni. Topparnir við  $1360$  og  $1580\text{ cm}^{-1}$  koma greinilega fram hjá dekkjaleifum en ekki hjá malbiksleifum.

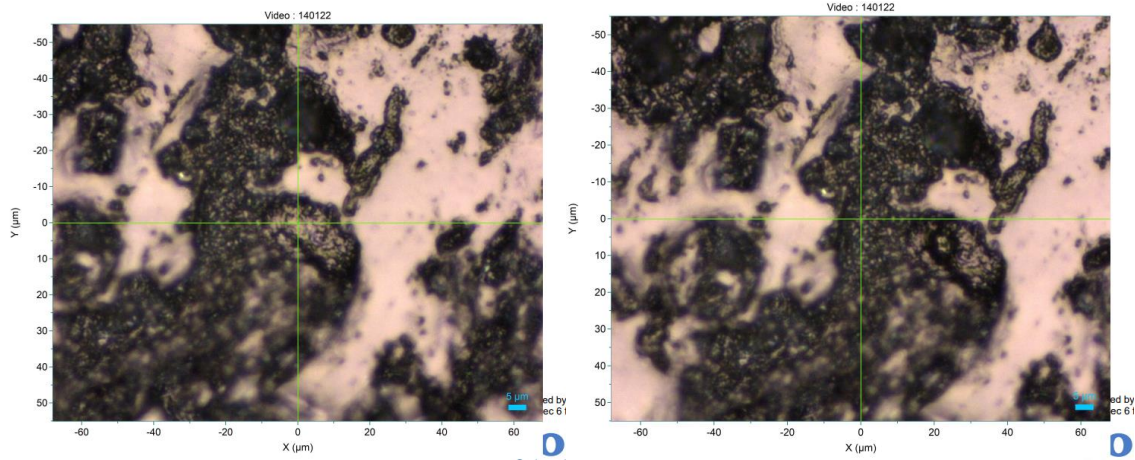


Mynd 9. Ramanróf af dekkjaleifum (efri myndin) og malbiksleifum (neðri myndin) úr setþró við Ártúnsbrekku og Elliðaár. Græna línan er teiknuð við  $1360\text{ cm}^{-1}$  og bláa línan er teiknuð við  $1580\text{ cm}^{-1}$ .

*Vatnsborið vegryk af vegyfirborði frá 14.12.2021 upplímt*

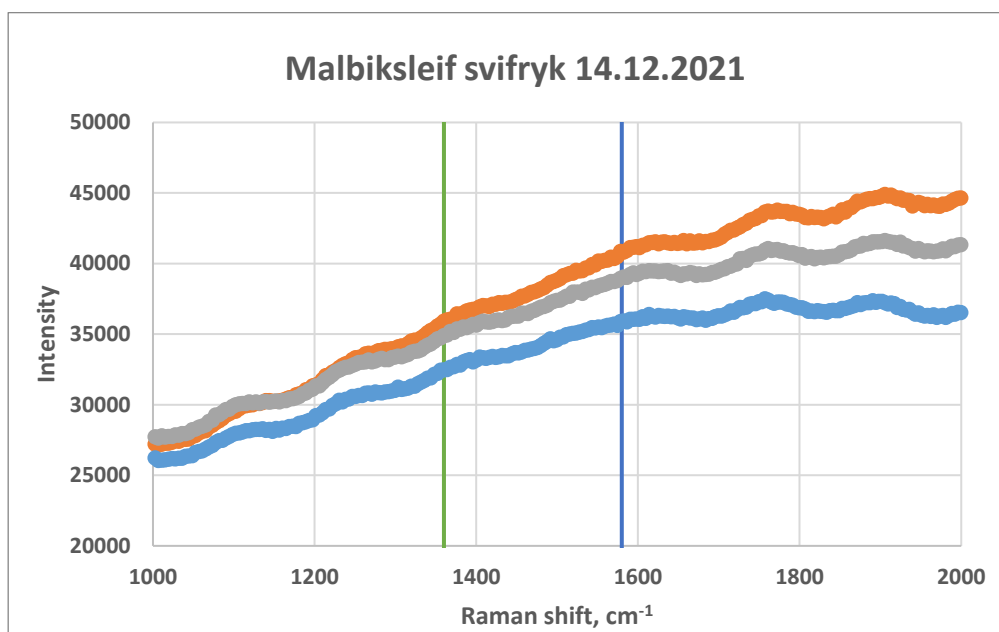
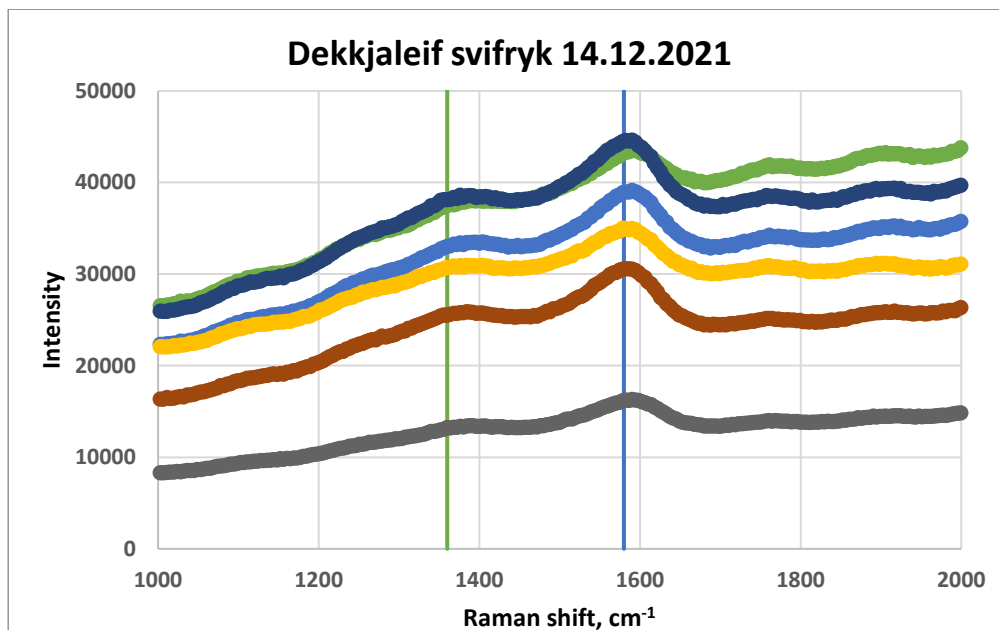
Ramangreiningar voru gerðar á sama sýni og rafeindasmásjargreiningar voru gerðar á. Frekar lítið er af svifryki í sýninu og það er smátt. Á mynd 10 má sjá nokkur dæmi um Ramanróf, annars vegar af

dekkjaleifum og hins vegar malbiksleifum í svifrykskornum úr setþrónni. Topparnir við  $1360$  og  $1580\text{ cm}^{-1}$  koma greinilega fram hjá dekkjaleifum en ekki hjá malbiksleifum, sjá mynd 11.



Mynd 10. Ramansmásjármynd af samsettu korni af vatnsbornu vegryk frá 14.12.2021. Krosshárið á myndinni til vinstri er stillt á dekkjaleif og á malbiksleif á myndinni til hægri.

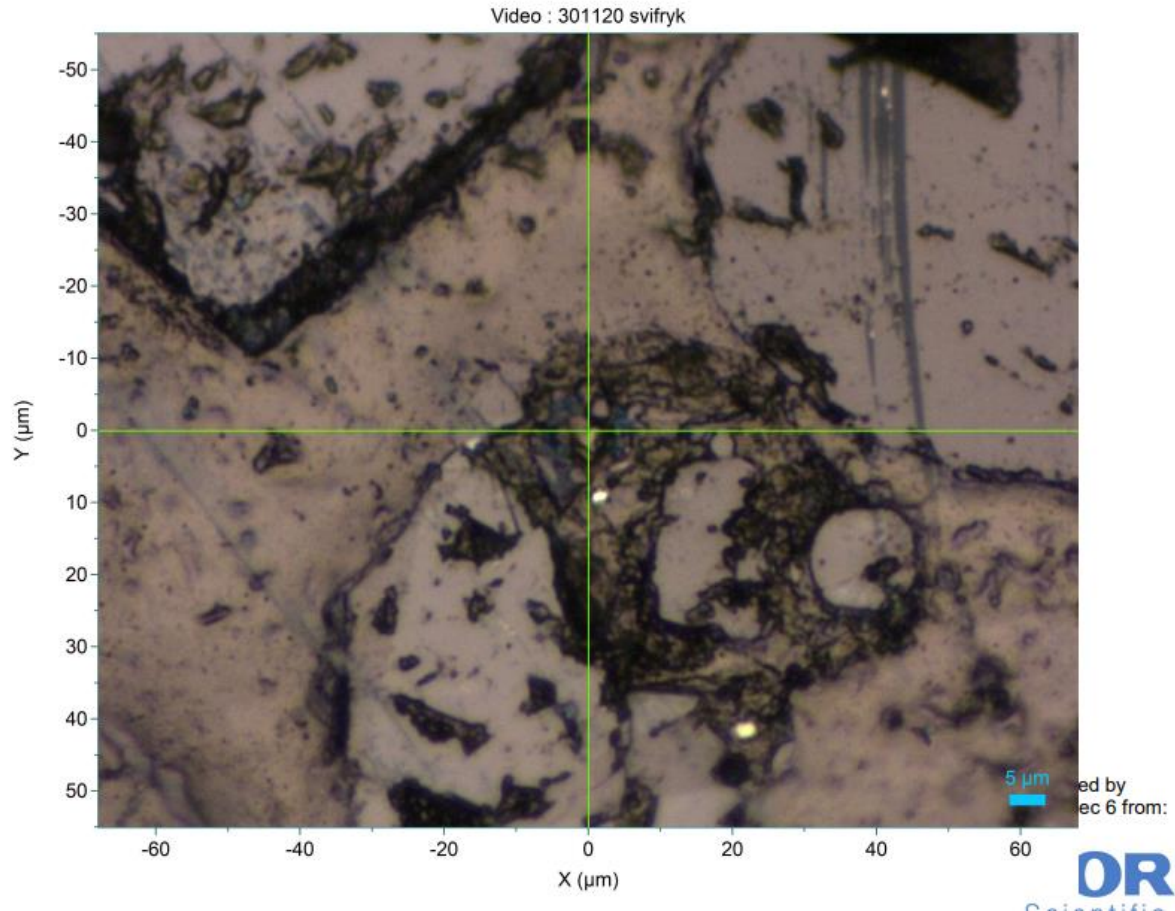




Mynd 11. Ramanróf af dekkjaleifum (efri myndin) og malbiksleifum (neðri myndin) í vatnsbornu vegryk frá 14.12.2021. Græna línan er teiknuð við  $1360\text{ cm}^{-1}$  og bláa línan er teiknuð við  $1580\text{ cm}^{-1}$ .

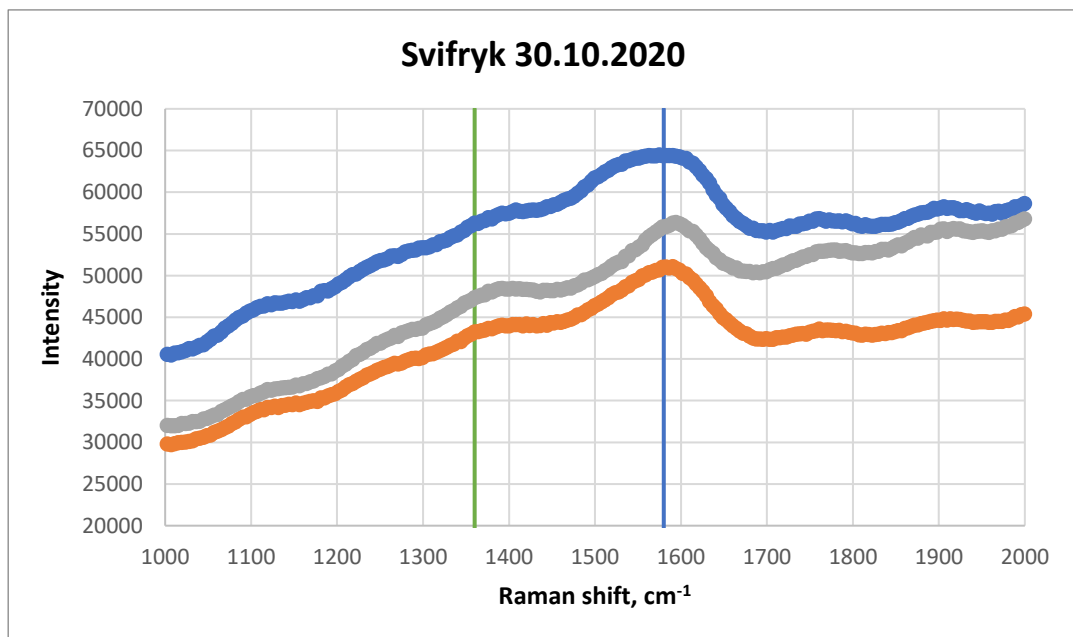
*Vindborið vegryk af vegyfirborði, frá 30.10.2020, upplímt sýni*

Ramangreiningar voru gerðar á sama sýni og rafeindasmásjargreiningar voru gerðar á. Frekar lítið er af svifryki í sýninu og það er smátt. Á mynd 12 er smásjármynd af dekkjaleifakorni við hliðina á stærra fylliefnakorni.



Mynd 12. Ramansmásjármynd af dekkjaleif í vindbornu vegryki frá 30.10.2020. Dökkir fasar eru dekkjaleifar, epoxylímið og fylliefni eru gráleit. Krosshárið sýnir hvar Ramanróf var tekið.

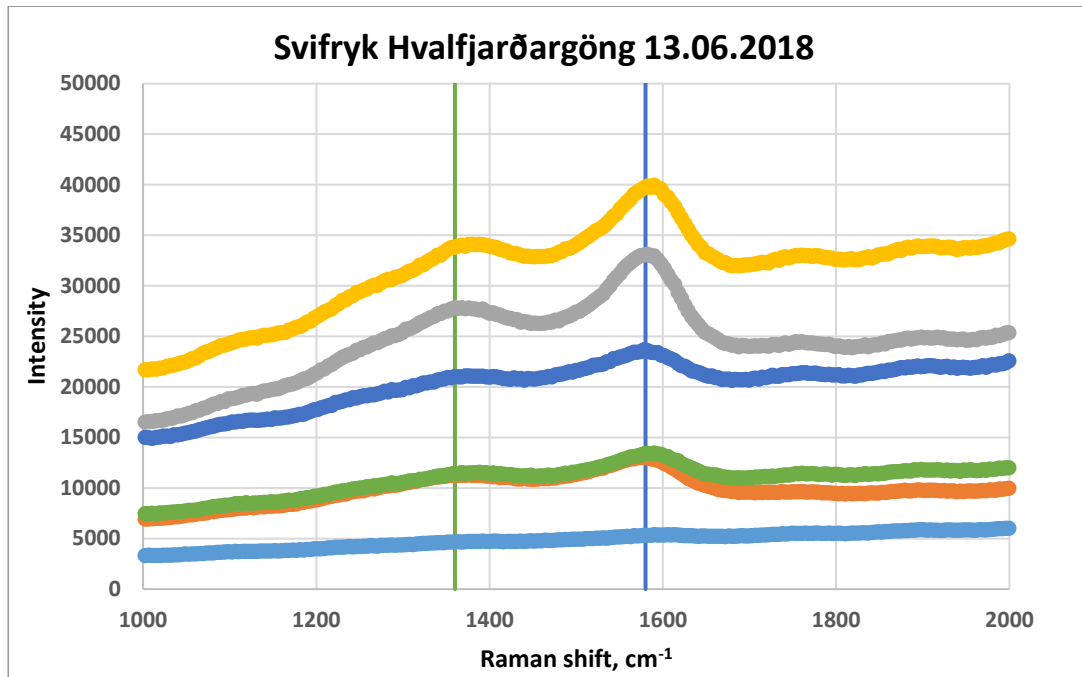
Bæði malbiks- og dekkjaleifar fundust í sýninu en á mynd 13 má sjá þrjú róf af dekkjaleifum. Eins og sjá má er toppurinn við  $1360\text{ cm}^{-1}$  ekki sérstaklega vel afmarkaður.



Mynd 13. Ramanróf af dekkjaleifum dekkjaleif í vindbornu vegryki frá 30.10.2020. Græna línan er teiknuð við  $1360\text{ cm}^{-1}$  og bláa línan er teiknuð við  $1580\text{ cm}^{-1}$ .

Sýni úr Hvalfjarðargöngum frá 13.06.2018. Sýnið var keyrt sem duft.

Á mynd 14 má sjá nokkur dæmi um Ramanróf, annars vegar af dekkjaleifum og hins vegar af malbiksleif á svifrykskornum í fallryki úr Hvalfjarðargöngum. Topparnir við 1360 og 1580  $\text{cm}^{-1}$  koma greinilega fram hjá dekkjaleifum en ekki hjá malbiksleif (sjá neðsta ljósbláa rófið).



Mynd 14. Ramanróf af dekkjaleifum og malbiksleifum í fallryki úr Hvalfjarðargöngum frá 13.06.2018. Græna línan er teiknuð við 1360  $\text{cm}^{-1}$  og bláa línan er teiknuð við 1580  $\text{cm}^{-1}$ .

#### Kolefnis- og snefilefnagreiningar

Sýni úr setprónni við Ártúnsbrekku og Elliðaár var send í kolefnis- og snefilefnagreiningar hjá ALS í Svíþjóð. Áður en sýnið var sent til Svíþjóðar var það þurrkað við 105 °C. Við þurrkunina varð sýnið að hörðum massa sem þurfti að mala niður með staut í mortéli og svo sigtað á 63 mikron sigti. Hér á landi hafa efnagreiningar á seti úr setpró ekki verið framkvæmdar áður þannig að ekki er hægt að bera þessar niðurstöður við sambærilegar greiningar. Svifryk úr Hvalfjarðargöngum<sup>8</sup> var efnagreint á sambærilegan hátt, en þó voru fleiri efni efnagreind í þessari rannsókn.

Niðurstöður úr greiningunum frá ALS eru gefnar í töflu 1. Til samanburðar eru gefnar niðurstöður úr greiningum á svifryki frá Hvalfjarðargöngum<sup>8</sup>.

Tafla 1. Greiningar á helstu snefilefnum og kolefni í seti úr setþró við Ártúnsbrekku og Elliðaár. Meðaltal 14 sambærilegra greininga á svifryki úr Hvalfjarðargöngum er sýnt til samanburðar.

Efni/efnasamband	Setþró, styrkur	Hvalfjörður, meðaltal	Eining, per þurrt sýni
Antimony	8.78	1.46	mg/kg
Arsenic	<3		mg/kg
Cadmium	0.356	0.12	mg/kg
Chromium	177	43	mg/kg
Cobalt	39.5		mg/kg
Copper	242	178	mg/kg
Lead	16.5	7.86	mg/kg
Manganese	1190		mg/kg
Mercury	0.0805		mg/kg
Nickel	87.2	32.5	mg/kg
Sulfur	2830	3539	mg/kg
Vanadium	314		mg/kg
Sink	478	1609	mg/kg
Barium	134	95	mg/kg
Total carbon	8.99	7.86	%
Total organic carbon	8.76		%
Total inorganic carbon	0.24		%
Carbonates	1.17		%
Purrefni @ 105°C	98.6		%

Ryk sem myndast vegna dekkjaslits ætti að auðkennast af eftirfarandi efnum: áli, kalsíum, járn, kalíum, mangan, natríum (Na), titani (Ti), brennisteini auk þungmálma kadmíum (Cd), króm (Cr), kopar, nikkell (Ni), blý, selen (Se) og sink (Zn). Styrkur efnanna ál, kalsíum, járn, kalíum, magnesíum, natríum (Na) og titan (Ti) var ekki greindur vegna þess að styrkur þessara efna er eða getur verið hár í fylliefnum í malbiki. Styrkur selens í rykinu var ekki mældur. Styrkur brennisteins, kadmíum (Cd), króm (Cr), kopar, nikkell (Ni), blý og sink (Zn) er tiltölulega hár og reynist yfirleitt hærra en í svifryki úr Hvalfjarðargöngum, að undanskildu sinki. Þetta bendir til þess að verulegt magn af leifum frá dekkjasliti hafi safnast fyrir í setþrónni.

Í ryki sem myndast vegna slits á bremsborðum má búast við tiltölulega háu magni af: áli (Al), kalsíum (Ca), járn (Fe), kalíum (K), kísli (Si), brennisteini og þungmálmunum baríum (Ba), kopar (Cu), blý (Pb) og antímoni (Sb). Þungmálmarnir kopar og blý eru einnig einkennandi fyrir dekkjaslit en baríum og antimony er aðeins einkennandi fyrir bremsborðaslit. Styrkur baríums og antimony er tiltölulega hár og nokkru hærra en greindist í svifrykinu úr Hvalfjarðargöngum, sérstaklega antimony. Miðað við þessar niðurstöður hefur ryk vegna slits á bremsborðum safnast fyrir í setþrónni.

Heildarkolefni greinist nokkuð hátt, aðeins hærra en meðaltal fyrir svifryk úr Hvalfjarðargöngum. Aðeins var gerð greining á heildarmagni kolefnis í Hvalfjarðargöngum, magn lífræns og ólífræns kolefnis var ekki mælt. Í setinu úr setþrónni var magn lífræns og ólífræns kolefnis hinsvegar mælt hvort fyrir sig. Mun meira greinist af lífrænu kolefni en ólífrænu eða 8,76 % lífrænt og 0,24 % ólífrænt. Upphaflega hugmyndin var að ólífræna kolefnið væri dekkjaslit og lífræna kolefnið væri gróður í setþrónni, svo mun þó ekki vera, tiltölulega mikið lífrænt kolefni er til staðar í dekkjum og dekkjaleif<sup>18</sup>.

<sup>18</sup> Carrington, D., (2022) Car tyres produce vastly more particle pollution than exhausts, tests show. The Guardian, 3<sup>rd</sup> of June, 2022.

## Rafeindasmásjargreiningar

Markmiðið með SEM greiningu var að kanna hvort það mynduðust tiltölulega stórir kekkir af smágerðu steinefni, bundnu saman með kolefnisríku efni eins og fannst í fallrykinu í Hvalfjarðargöngum<sup>8</sup>. Þar sem að sýnin úr þessari rannsókn eru mynduð undir beru lofti, ólíkt rykinu í Hvalfjarðargöngunum, var áhugavert að kanna hvort samsetning steinefnis væri svipuð og í svifryki úr Hvalfjarðargöngum.

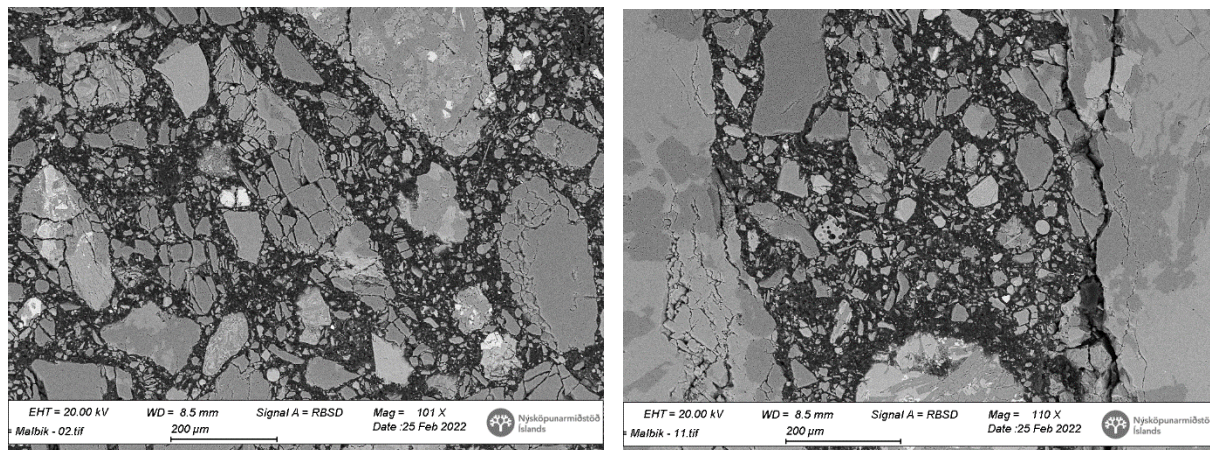
Skekkja á kolefnisgreiningum með SEM er tiltölulega há og hærrí en þegar önnur efni eru efnagreind með SEM. Reynt var eftir fremsta megni að lágmarka þessa skekkju með því að greina samsetningu á epoxy lími sem notað var til að líma sýnin saman og sjá hvernig magn kolefnis breyttist, en reikna má með að kolefnismagn í hörðnuðu epoxylími sé nokkuð stöðugt.

Þegar sýni fyrir SEM greiningu voru útbúin var rykið þurrkað við um 50 °C. Sýnin voru síðan límd saman með epoxy lími í lofttæmi. Við SEM greiningu á kolefnisbundnu efni er ekki hægt að útiloka að límið sé til staðar þar sem eiginleikar kolefnisbundins efnis eru ekki þekktir. Mögulega getur efnið dregið lím í sig þegar rykið var límt saman. Til þess að kanna hvort hægt sé að greina á milli eiginlegs kolefnisbundins grunnmassa annars vegar og líms hins vegar voru nokkrar efnagreiningar gerðar á lími, sjá töflu 2. Efnagreiningarnar á líminu verða bornar saman við efnagreiningar á grunnmassanum síðar í skýrslunni. (Þótt kolefnisgreiningar séu gerðar með fyrirvara þá er límið með nokkuð hærra kolefnismagn en grunnmassinn).

### *Greiningar á nýju malbiki, hjólbörðum og lími.*

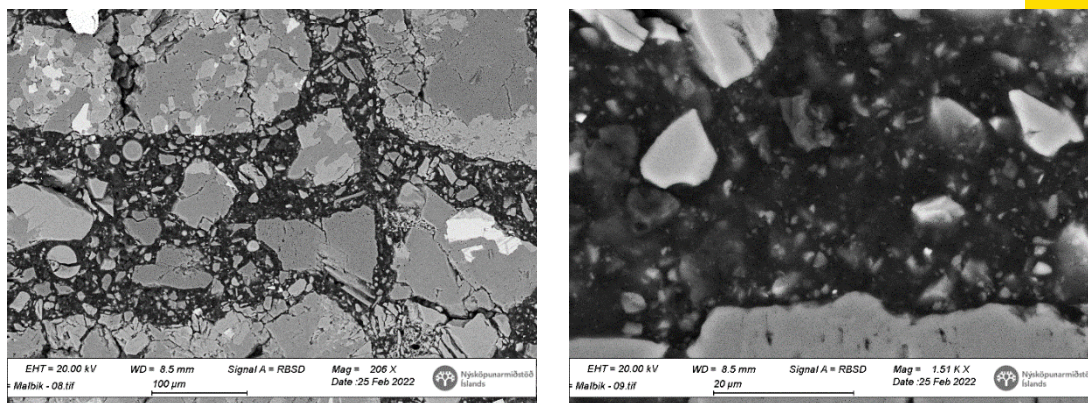
Sýni af nýju malbiki var fengið hjá Vegagerðinni. Sýnið var sneitt niður og yfirborð þess slípað fyrir SEM rannsókn. Epoxy lím var ekki notað við meðhöndlun sýnisins fyrir SEM greininguna.

Á mynd 15 má sjá dæmi um malbik í tiltölulega lítilli stækkun eða við um 100x stækkun. Fylliefnin í malbikinu eru gráleit en bikið, þ.e. bindiefnið í malbikinu er dökkt eða svart.

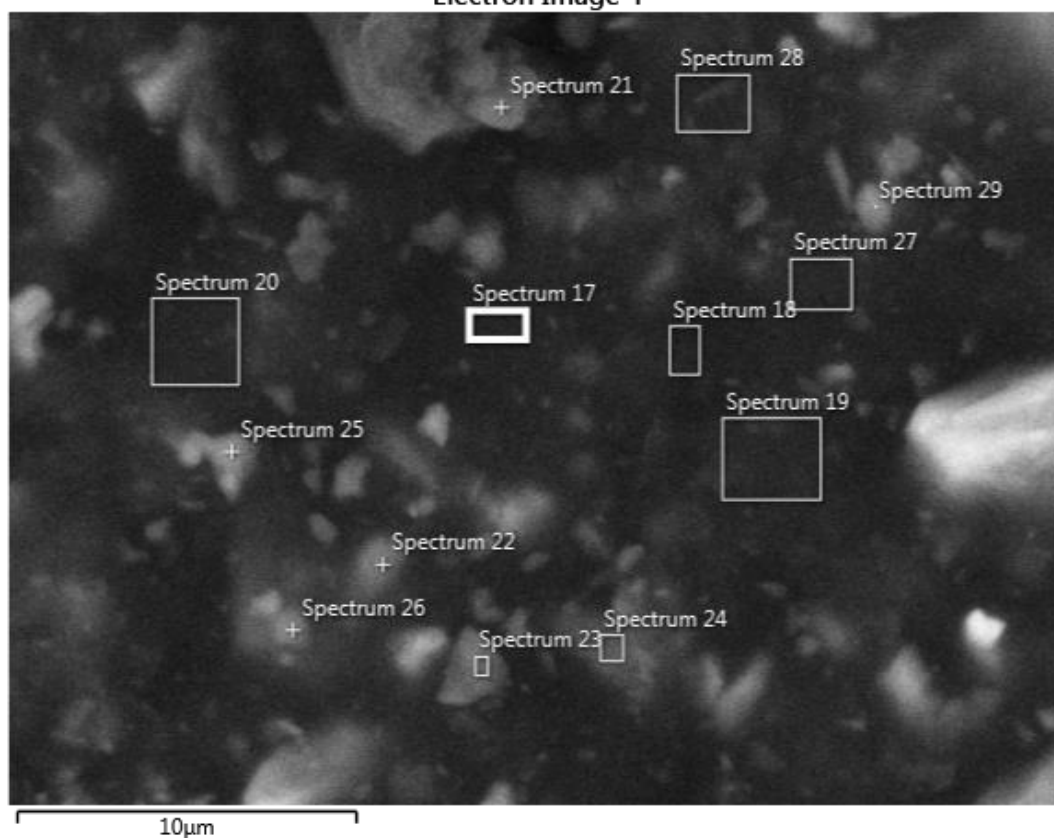


Mynd 15. Rafeindasmásjá myndir af malbiki við um 100x stækkun. Fylliefnin í malbikinu eru gráleit en bikið, þ.e. bindiefnið í malbikinu er dökkt á litinn.

Á mynd 16 má sjá malbikssýni í meiri stækkun. Efri myndirnar tvær eru teknar í 206 (t.v.) og 1510 (t.h.) sinnum stækkun. Neðri myndin er tekin í enn meiri stækkun sýnir svæði sem voru efnagreind. Meðaltal 22 slíkra efnagreininga er gefið í töflu 2. Efnagreiningarnar eru nokkuð breytilegar en kolefnið er að meðaltali um 79 % með staðalfrávik um 8 %. Ekkert sink eða klóríð greinist í bikinu.

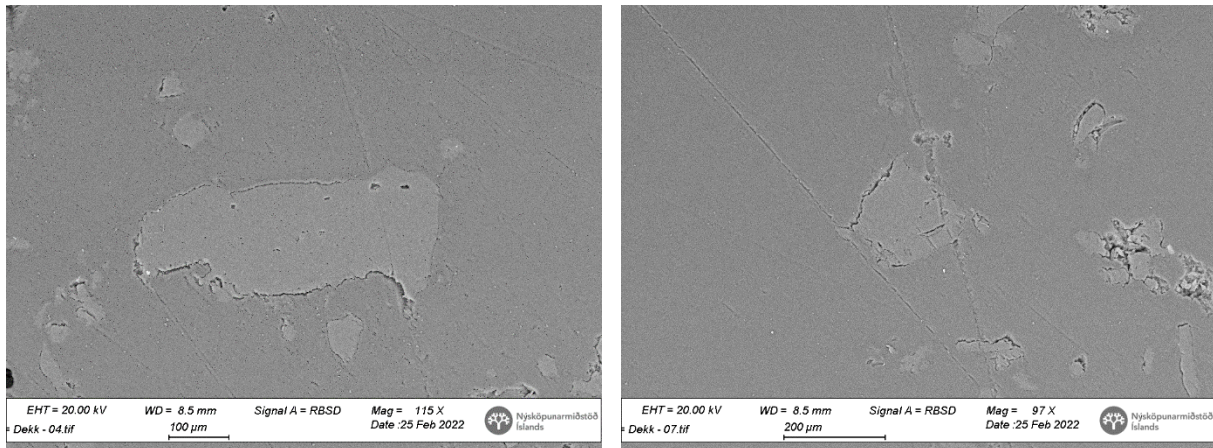


Electron Image 4



Mynd 16. SEM mynd af malbiki í mismikilli stækkun. Efri myndirnar tvær eru teknar í 206 (t.v.) og 1510 (t.h.) sinnum stækkun. Neðsta myndin er tekin í enn meiri stækkun sýnir svæði sem voru efnagreind með SEM. Efnagreiningarnar voru bæði gerðar sem punktgreiningar og greiningar á misstórum svæðum sem afmarkast af svæði innan réttthyrninga á myndinni.

Sýni af hjólbarðagúmmíi var tekið af slitfleti á hjólbarða frá Sava sem er undirmerki Goodyear. Sýnið var fengið með því að sverfa slitflöt á hjólbarða niður með demantskjarnabor. Svarfið var límt saman með epoxy lími. Sýnið var skoðað og efnagreint með rafeindasmásjá. Á mynd 17 má sjá dæmi um hjólbarðagúmmí og í töflu 2 er sýnt meðal 16 efnagreininga af hjólbarðagúmmíi. Gúmmíið frá þessum framleiðanda hefur mjög stöðuga samsetningu, kolefnismagnið er um 76,6 % með staðalfrávik um 0.7 %, kísillinn er um 8,4 %, brennisteinninn er um 1,5 %. Sink og klór magnið í gúmmíinu er annars vegar 0,7 % og hins vegar 0,2 %. Sink og klóríð eru til staðar í öllum greiningunum og virðast því vera góð einkennisefni fyrir hjólbarðagúmmí, a.m.k. frá þessum framleiðanda.



Mynd 17. SEM myndir af hjólbarðagúmmi límt saman með epoxy lími. Gúmmið er ljósara á litinn en límið.

Þar sem hluti þeirra sýna sem voru rannsökuð með SEM, þ.e. frá dekkjasliti og frá malbikssliti, líta mjög svipað út eins og límið sem var notað til að líma sýnin saman sýnin, er sá möguleiki fyrir hendi að límið gæti verið tekið í misgripum fyrir dekkja- eða malbiksslit. Þetta á sérstaklega við þegar sýnin eru skoðuð í tiltölulega mikilli stækkun. Kannað var hvort þetta eigi sér stað með því að efnagreina epoxy límið og bera samsetningu þess saman við samsetningu á malbiki og gúmmí. Í töflu 2 er sýnd meðalsamsetning á líminu sem var notað í þessari rannsókn, alls eru greiningarnar 20. Kolefnismagnið er um 85 %. Einkennandi fyrir límið er tiltölulega hátt klórmagn eða um 1,7 %.

Tafla 2. Meðalssamsetning malbiksgrunnmassa og slitflata hjólbarða, þyngdarprósent (fjöldi greininga innan sviga).

	Malbiksgrunnmassi, meðaltal (22)	Hjólbarðar, meðaltal (16)	Lím, meðaltal (20)
C	79.1	76.6	84.9
O	10.1	12.6	11.8
Na	0.5	0.1	0.2
Mg	0.2	0	0.7
Al	1.8	0.0	0.4
Si	5.1	8.4	0.7
S	1.5	1.5	1.0
Cl	0	0.2	1.7
K	0.3	0	1.1
Ca	0.6	0.0	0.2
Ti	0.1	0	0.1
Mn	0.0	0	0
Fe	0.8	0	0.5
Zn	0	0.7	0
Heild	100	100	100

#### Greiningar á seti úr setþró við Ártúnsbrekku og Elliðaár

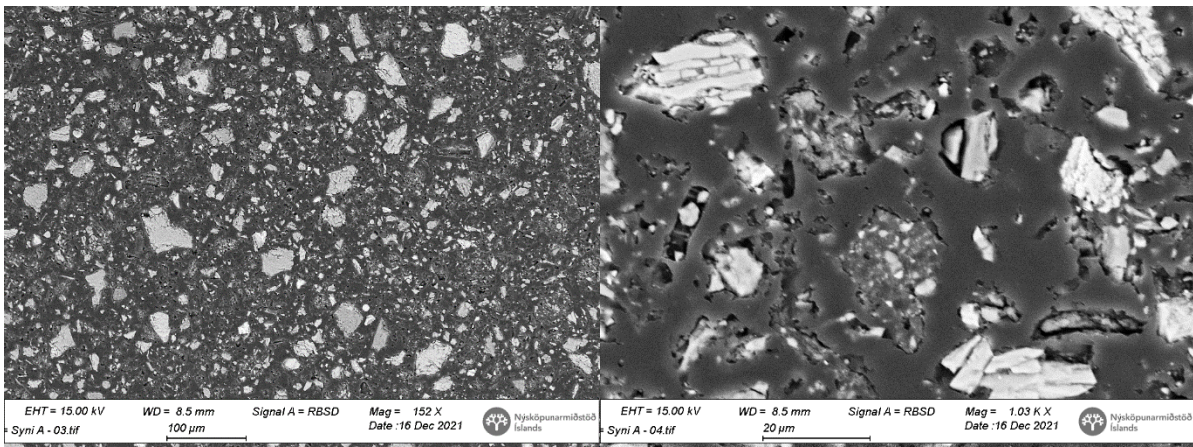
Setið sem safnað var úr þrónni var bundið saman af gróðri og vatnsmettað. Eftir sýnatöku var setið þurrkað við 100 °C. Í þurrkuninni hljóp setið saman í harðan köggul. Á mynd 18 má sjá sýni af setinu eftir sýnatöku og eftir þurrkun við 100 °C. Hluti af sýninu var malaður niður og sigtaður, hlutinn sem var smærri en 63 micron var síðan notaður í SEM rannsókna.



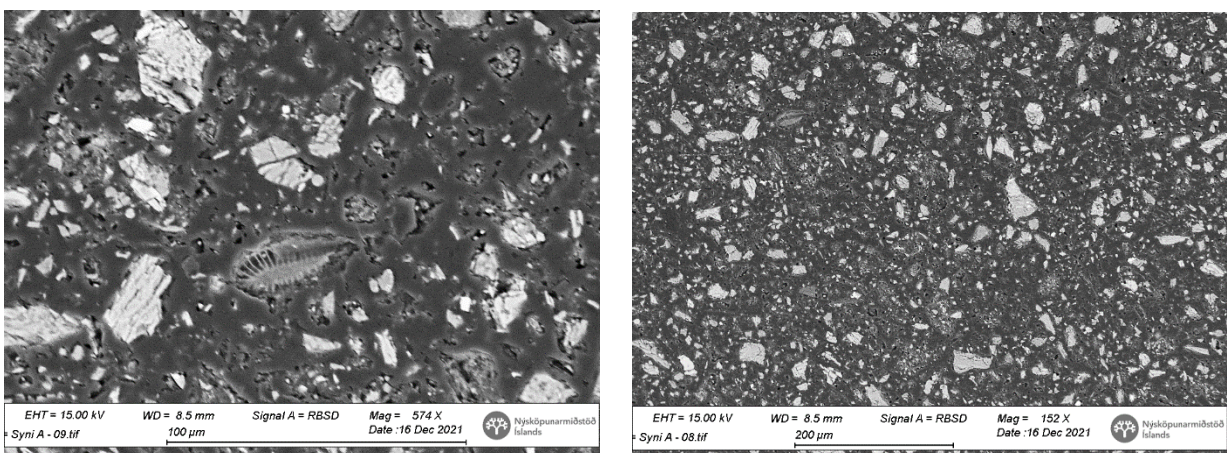
Mynd 18. Setsýni úr setþróinni við Ártúnsbreyku og Elliðaár. Mynd til vinstri sýnir setið eins og það kom úr þrónni og myndin til hægri sýnir setið eftir að búið var að þurrka það við 100 °C í um 24 tíma.

### SEM myndir af seti úr setþró

Myndir 19 til 23 eru SEM myndir setinu úr setþrónni í mismunandi stækkun. Hafa ber í huga að myndirnar sýna laust set sem bundið er saman af epoxy lími, límið umlykur einstök korn sem grá slika. Mynd 19 til vinstri sýnir setið í um 150 sinnum stækkun. Stærðardreifing kornanna var ekki könnuð á þessum myndum, en ljóst er að stærstu kornin eru sjaldnast stærri en 100 micron. Aðeins má greina eitt korn sem er um 200 micron að lengd. Hafa verður í huga að búið er að sigta sýnið á 63 micron sigti. Á þessum myndum má sjá að steinefni eru mjög algeng. Einnig má sjá að lífrænt efni er einnig nokkuð algengt, sjá t.d. mynd 20.

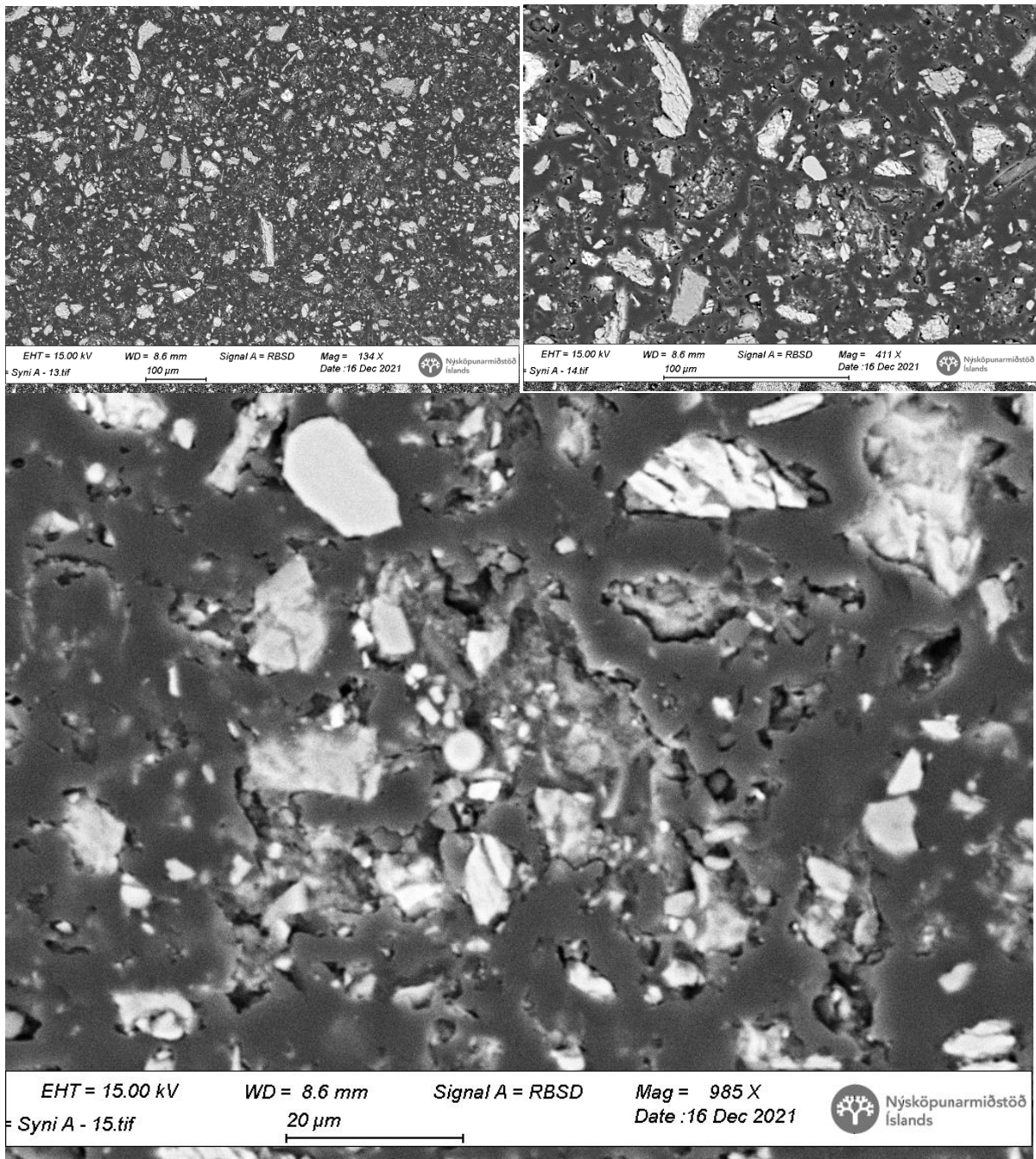


Mynd 19. Rafeindasmásjármynd af seti úr setþró, safnað þann 14.12.2021. Samsett korn á myndinni til hægri, u.þ.b. fyrir miðri mynd, kornið er um 23 micron á lengd. Smæstu greinanlegu rykagnirnar sem eru bundnar í grunnmassanum eru 1 til 2 micron að stærð.

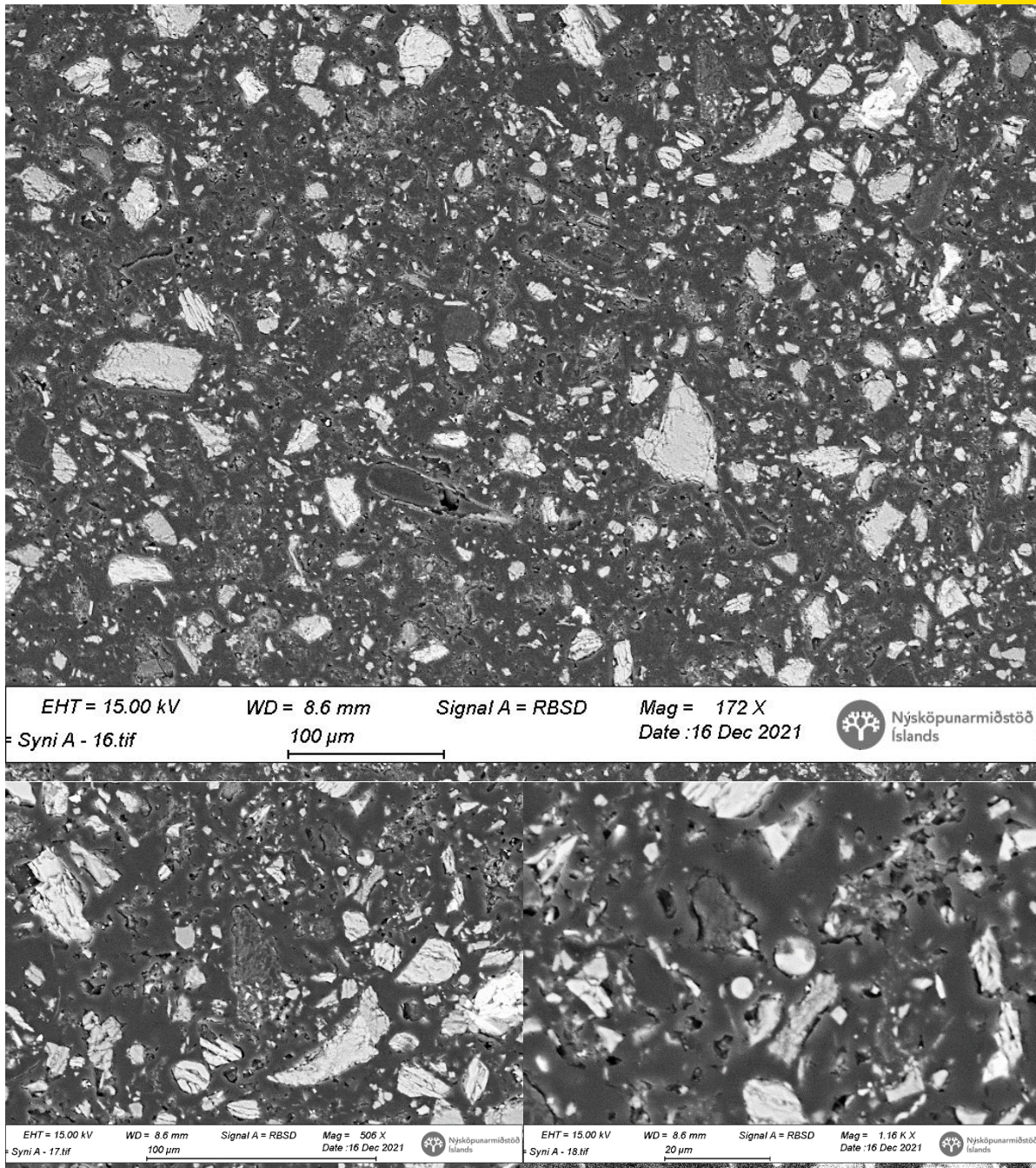


Mynd 20. Rafeindasmásjármynd af seti úr setþró, safnað þann 14.12.2021. Sjá má dæmi um lífrænt efni á neðri myndinni miðri.

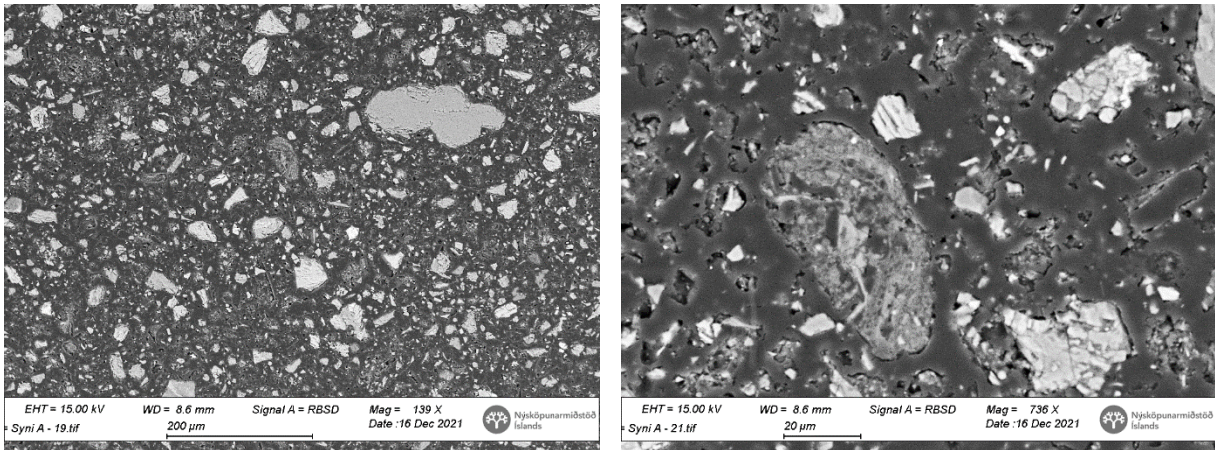




Mynd 21. Rafeindasmásjármynd af seti úr setþró Ártúnbrekku og Elliðaár, safnað þann 14.12.2021. Gráa efnið sem umlykur setið er límið sem heldur sýninu saman.



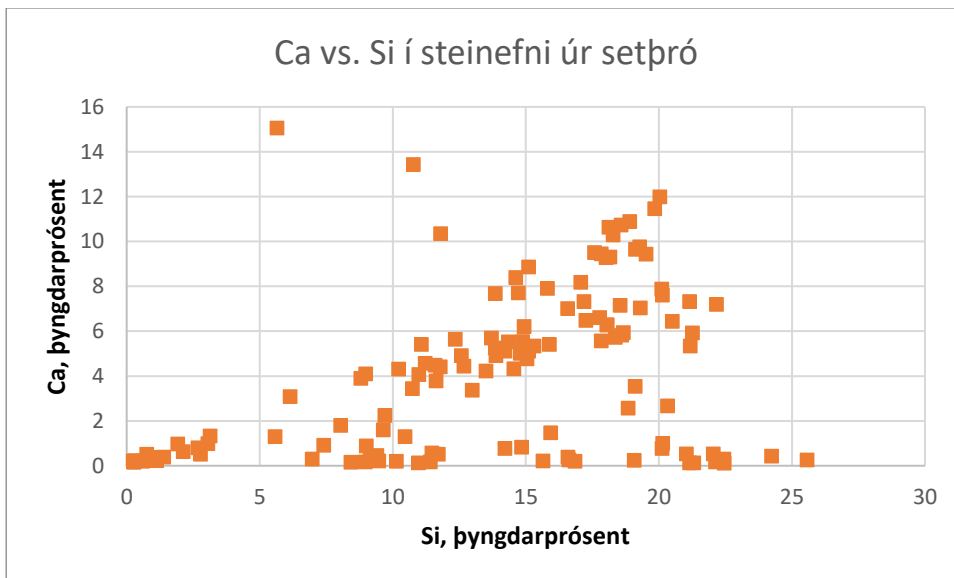
Mynd 22. Rafeindasmásjármynd af seti úr setþró Ártúnbrekku og Elliðaár, safnað þann 14.12.2021.



Mynd 23. Rafeindasmásjármynd af seti úr setþró Ártúnbrekku og Elliðaár, safnað þann 14.12.2021.

### Steinefni

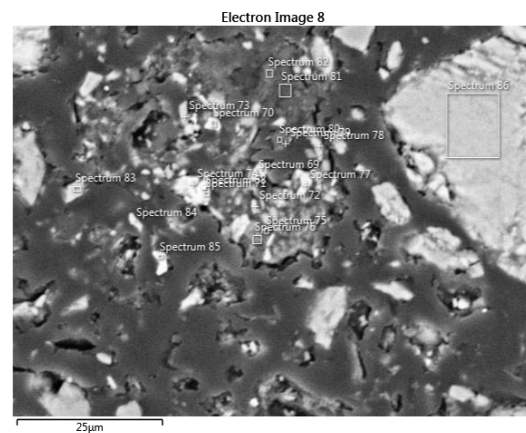
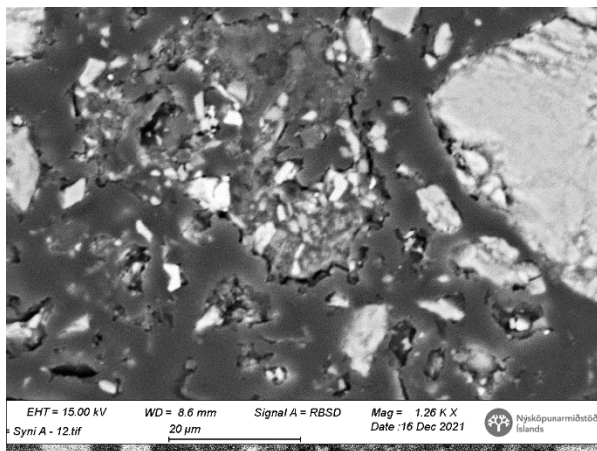
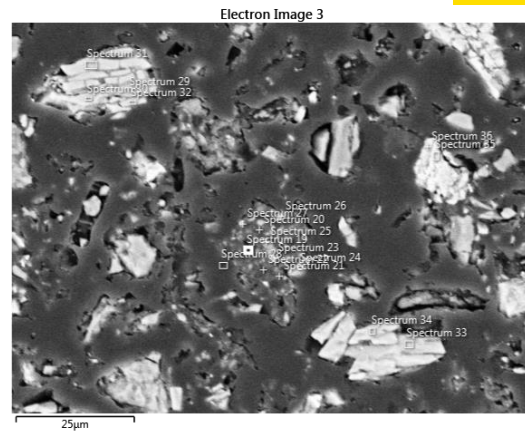
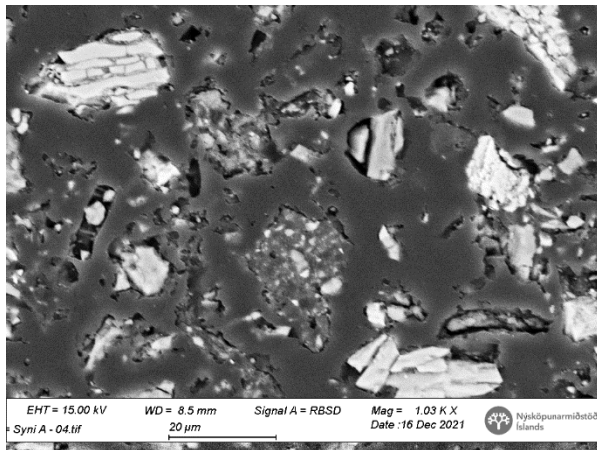
Alls var samsetning könnuð á 133 steinefnakornum. Á Mynd 24 má sjá styrk kalsíum á móti kísli í steinefni úr setþrónni. Langflest kornin eru siliköt (5 til 26 % Si), að uppruna steinefni út slitlagi. Kornin með kísilinnihald undir 5 % eru flest Fe-Ti steinefni, en gott samband er á milli magns Fe og Ti. Uppruni þessa korna er einnig steinefni úr slitlagi. Brennisteinninn finnst í 20 kornum, öll með minna en 1 %. Eitt korn hefur tæplega 14 % S og álíka mikið Fe, það gæti hæglega verið komið úr slitlagi. Um 80 korn greinast með klóríð, langflest með minna en 1 %. Hátt klóríðmagn greindist aðeins í þremur kornum. Magn þungmálma í sýninu var ógreinanlegt.



Mynd 24. Magn af kalsíum á móti magni kísils í steinefni úr setþró Ártúnbrekku og Elliðaár, safnað þann 14.12.2021.

### Kolefnisríkur fasi

Tiltölulega stór korn þar sem kolefnisríkt efni bindur saman smærri korn eru til staðar í setinu, en þau virðast ekki vera eins algeng, og jafnvel smærri en t.d. í fallryki úr Hvalfjarðargöngum8. Á mynd 25 má sjá dæmi um tvö slík korn. Samsetning á kolefnisríka efninu og steinefnum sem bundin eru í kolefnisríka fasanum er gefin í töflu 3 og töflu 4.



Mynd 25. Rafeindasmásjármynd af seti úr setþró við Ártúnbrekku og Elliðaár, safnað þann 14.12.2021. Sjá má tiltölulega stór korn þar sem kolefnisríkt efni bindur saman smærri korn. Myndirnar til vinstri eru teknar í meira en 1000 sinnum stækkun. Þær sýna kolefnisríkt efni binda saman tiltölulega smá steinefnakorn og mynda um 20 til 50 micron korn. Á myndunum til hægri eru sýndar staðsetningar á efnagreiningum. Epoxy límið birtist sem grá sliki sem umlykur einstök korn.

Í töflu 3 eru sýndar þrjár efnagreiningar á kolefnisbundna fasanum. Kolefnið er um 65 %, kísill um 5 % og ál og járn um 2 % hvort fyrir sig. Brennisteinn og kalsíum um 1 % hvort fyrir sig. Klór er um 0.3 %. Ekkert sink greindist í fasanum.

Í töflu 3 eru sýndar samsetning á fimm steinefnakornum sem bundin eru í kolefnisfasann. Kornin eru mjög smá eða um og yfir 1 micron. Athygli veur að magn kolefnis er nokkuð hátt í þessum kornum eða um 25 % í kornum nr. 24, 25 og 26 og um 44 % í korni 27. Þar sem að þetta eru hefðbundin steinefni í malbiki, þ.e. siliköt, þá ætti magn kolefnis að vera mjög lágt, ef nokkuð. Ástæða fyrir kolefnismagninu er væntanlega sú að vegna smæðar kornanna þá greinir rafeindasmásjáin efnið umhverfis kornin, en það er kolefnisríki fasinn.

Tafla 3. Samsetning (%) á kolefnisríku efni (grunnmassa) og steinefnum sem bundin eru í honum í seti úr setþró við Ártúnbrekku og Elliðaár, sjá staðsetningar á efnagreiningum á mynd 25.

	Grunnmassi	Grunnmassi	Grunnmassi	Steinefni	Steinefni	Steinefni	Steinefni	Steinefni
Korn nr.	19	20	21	23	24	25	26	27
C	68.87	63.84	66.41	27.51	20.86	25.28	29.66	44.14
O	17.61	21.38	21.7	38.56	45.76	45.43	38.71	33.18
Na	0.36	0.62	0.48	1.01	2.39	5.22		0.46
Mg	0.44	0.47	0.79	3.48			13.96	3.41
Al	2.37	2.68	1.79	1.79	10.21	5.84	0.6	1.54
Si	5.48	5.53	4.33	13.71	15.1	16.62	9.47	8.98
S	1.34	1.2	1.1			0.35		0.28
Cl	0.37	0.22	0.24					0.12
K		0.23						
Ca	1.01	1.17	1.19	5.69	5.11	0.25	0.21	4.09
Ti	0.2	0.32	0.18	0.45				0.4
Fe	1.97	2.34	1.79	7.8	0.58	1.01	7.39	3.4
Zn								
Total	100	100	100	100	100	100	100	100

Í töflu 4 er sýndar fjórar greiningar á kolefnisríkum fasa. Kolefnið er um 65 %. Samsetning á öðrum efnum er nokkuð breytileg. Mögulega eru greiningar nr. 81 og 82 gerðar á lími, en erfitt er að ráða í hvort um sé að ræða raunverulegan fasa eða lím. Ekkert sink greindist í fasanum.

Tafla 4. Samsetning (%) á kolefnisríku efni (grunnmassa) í seti úr setþró við Ártúnbrekku og Elliðaár, sjá staðsetningar á efnagreiningum á mynd 25.

Nr.	79	80	81	82
C	66.36	63.83	69.47	60.35
O	22.97	22.5	19.71	28
Na	0.17	0.18	0.3	0.14
Mg	0.33	0.37	0.17	0.32
Al	1.11	1.48	1.68	0.65
Si	5.46	7.68	2.73	0.29
S	0.91	1.28	1.66	2.66
Cl	0.55	0.36	0.35	0.18
K				
Ca	0.67	0.98	1.74	3.57
Ti	0.16	0.12	0.22	0.37
Mn				
Fe	1.33	1.21	1.95	3.47
Zn				
Total	100	100	100	100



Samsetning á 12 smáum steinefnakornum sem eru í eða við kolefnisríka fasann er tilgreind í töflu 5. Kornin eru öll upprunnin úr malbiki, þau eru annað hvort siliköt eða Fe-Ti fasar.

Tafla 5. Samsetning (%) á steinefnum sem bundin eru í kolefnisríka efninu í seti úr setþró við Ártúnbrekku og Elliðaár, sjá staðsetningar á efnagreiningum á mynd 25. Korn nr. 83, 84 og 85 eru smá korn sem liggja rétt fyrir utan kolefnisríka efnið.

Korn nr.	68	69	70	71	72	73	74	77	78	83	84	85
C	8.38	25.97	13.58	22.5	20.19	21.74	7.98	20.33	26.48	25.02	35.97	16.61
O	36.01	42.75	36.68	34.49	43.68	54.24	35.08	40.47	45.32	43.57	36.59	34.46
Na					0.5				2.64	2.05	0.41	
Mg			0.92		5.02		0.9	10.34			3.65	0.94
Al	1.1	3.7	0.51	1.33	2.59	0.26	1.14	0.74	7.75	9.56	2.08	0.37
Si		10.77	0.31	0.26	13.85	22.44	1.92	10.14	12.99	13.85	10.74	0.28
S												
Cl				0.09					0.1	0.08	0.16	
K									0.08	0.11	0.22	
Ca	0.17	13.43	0.21	0.17	7.68	0.29	0.96	0.2	3.36	5.25	3.43	0.21
Ti	10.51	1.41	21.25	7.8	0.99	0.43	9.53				0.66	23.98
Mn		0.17										
Fe	43.34	1.8	26.54	33.01	5.5	0.6	42.09	17.77	0.57	0.52	6.07	22.55
Zn												
Total		100	100		100	100		100		100	100	100

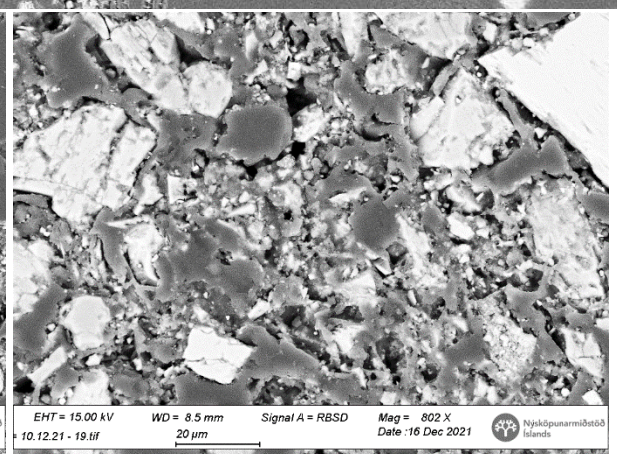
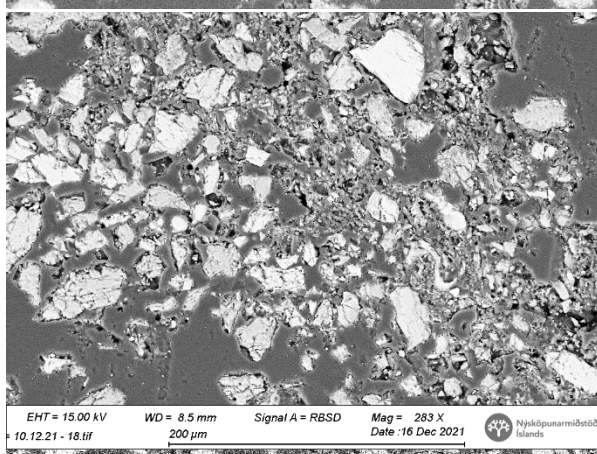
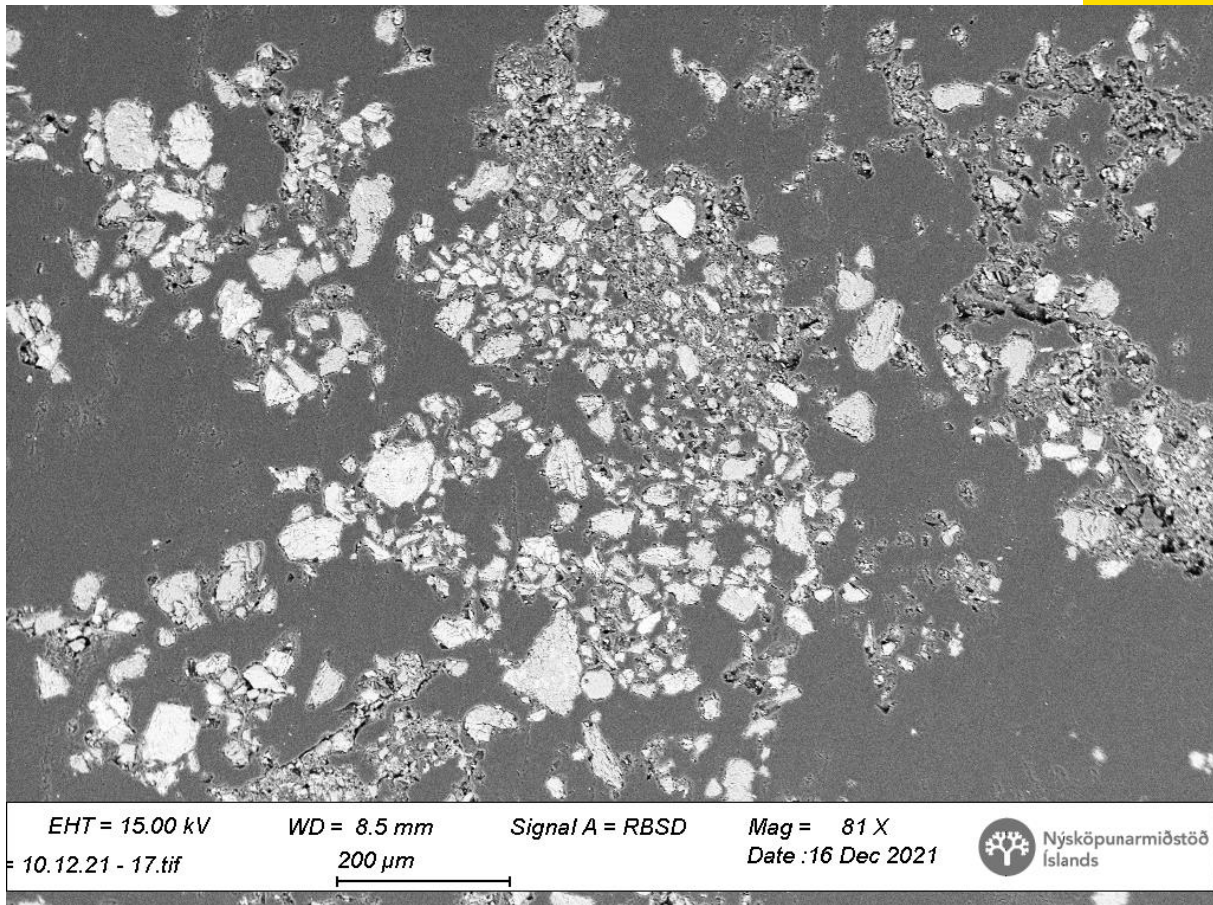
#### Vegryk safnað af vegyfirborði með vatnsaustri

#### Vegryk safnað af framrúðu

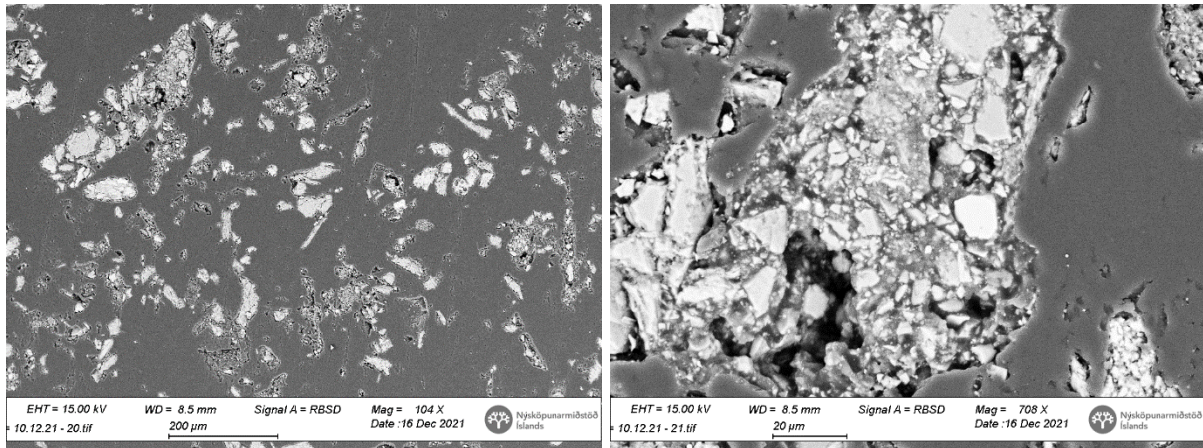
Sýnið var frekar lítið og erfitt að útbúa sneið fyrir SEM greiningu. Sýnið var ekki sigtað fyrir meðhöndlun fyrir SEM greiningu.

#### SEM myndir af sýni

Á myndum 26 og 27 má sjá vegrykið annars vegar í um 100 sinnum stækkun og hins vegar í um 700-800 sinnum stækkun. Mjög lítið sýni safnaðist fyrir greininguna og kornin eru umlukin lími, en límið er mjög svipað ásýndar og kolefnisríki fasinn. Á myndunum má sjá að kornastærðadreifing ryksins er frá vel yfir 100 micron og niður í 1-2 micron.



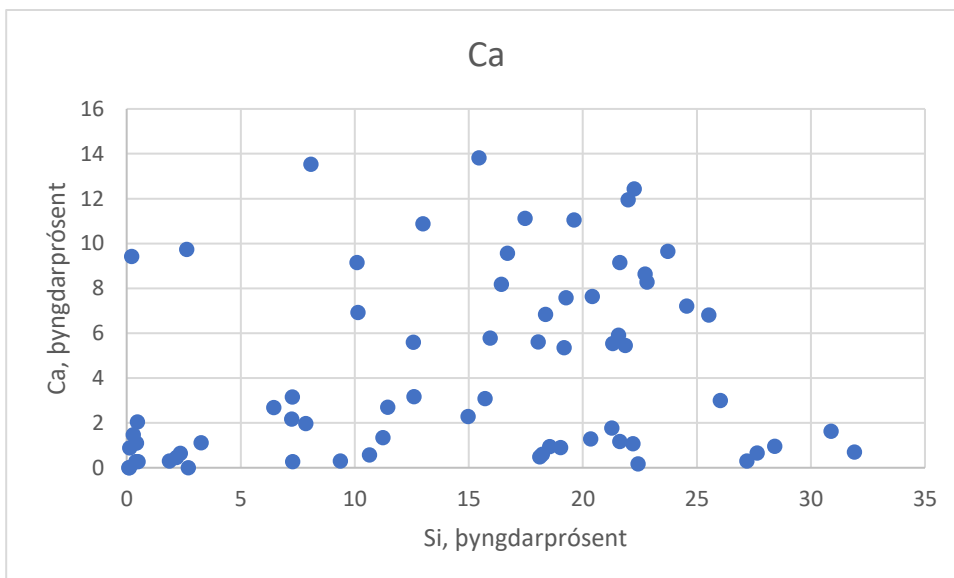
Mynd 26. Rafeindasmásjármynd af vatnsbornu vegryki, safnað af framrúðu þann 14.12.2021.



Mynd 27. Rafeindasmásjármynd af vatnsbornu vegryki, safnað af framrúðu þann 14.12.2021.

### Steinefni

Alls var samsetning 73 steinefnakorna könnuð í sýni af vegryk safnað af framrúðu. Á mynd 28 má sjá hvernig magn kalsíum breytist með magni kísils í steinefnakornunum. Langflest kornin eru siliköt og þar af leiðandi steinefni úr slitlagi. Af þessum 73 kornum eru nokkur korn sem eru sannarlega ekki náttúruleg steinefni, greina má FeP melmi, NiP melmi og einnig má greina sinkríka fasa sem erfitt er að greina nánar, en þó er ólíklegt að um sé að ræða dekkjagúmmí. Alls greindust 14 korn með brennistein, magnið var alltaf undir 1 %. Alls greindust 27 korn með klóríð, klóríðinnihaldið var undir 1 % nema í einu.

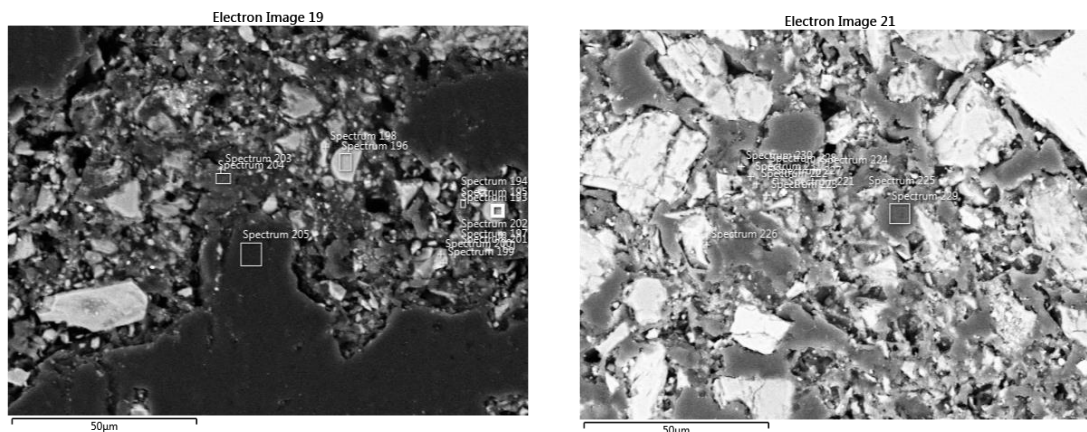


Mynd 28. Magn af kalsíum á móti magni kísils í steinefni í sýni úr vatnsbornu vegryki, safnað af framrúðu þann 14.12.2021.

### Kolefnisríkur fasi

Á mynd 29 má sjá hvar kolefnisefnisríki fasinn hefur myndast og sjá má staðsetningar þar sem efnagreiningar voru gerðar á fasanum sem og steinefnum í honum.





Mynd 29. Staðsetningar á efnagreiningum í kolefnisríkum fösom í sýni úr vatnsbornu vegryki, safnað af framrúðu þann 14.12.2021.

Í töflu 6 er sýnd samsetning á kolefnisríkum fasa í níu punktum. Samsetningin er nokkuð breytileg. Kolefnismagnið liggur á bilinu frá um 63 til um 82 %. Álið er á bilinu frá 0,4 til um 5 % og kísillinn er á bilinu frá 1 til 8 %. Brennisteinn og klór eru í svipuðu magni, frá um 0,2 til um 2 %. Einnig greinist nokkuð af kalsíum og járn í fösunum. Ekkert sink greindist í fösunum.

Tafla 6. Samsetning (%) á kolefnisríkum fasa í sýni úr vatnsbornu vegryki.

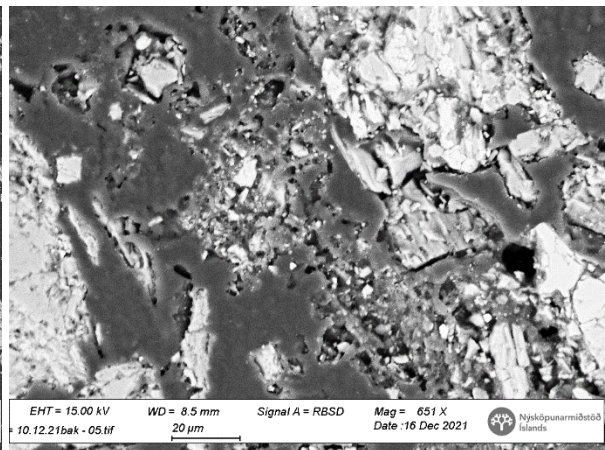
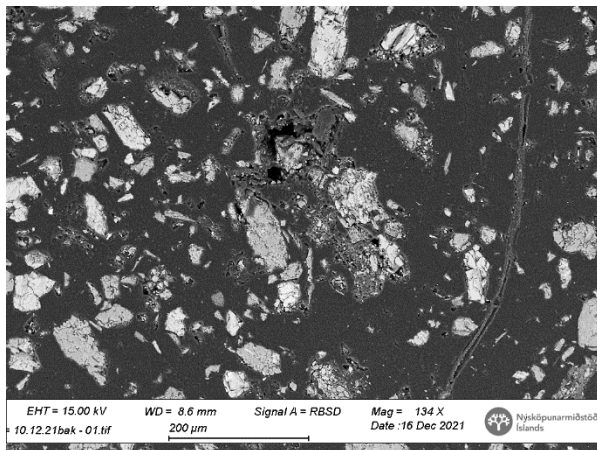
Pkt. nr.	195	197	203	204	227	229	231
C	69.88	71.75	66.19	68.23	63.39	81.27	68.57
O	15.97	14.68	17.74	23.67	18.76	14.86	18.28
Na	0.43	0.36	0.68	0.74	0.57		0.35
Mg	0.34	0.24	0.46	0.41	0.66		0.52
Al	1.68	0.8	2.12	0.67	5.04	0.36	2.54
Si	3.83	5.03	7.23	2.18	7.95	1.16	3.7
S	1.13	1	1.12	0.3	0.76		2.35
Cl	0.68	0.45	0.77	0.41	0.15	2.35	0.5
K	0.19	0.16	0.57	0.65	0.36		0.26
Ca	0.93	1.13	2.01	1.5	1.24		1.64
Ti				0.55			
Fe	4.95	4.42	1.11	0.7	1.12		1.3
Zn							
Total	100	100	100	100	100	100	100

## Vegryki safnað af afturrúðu

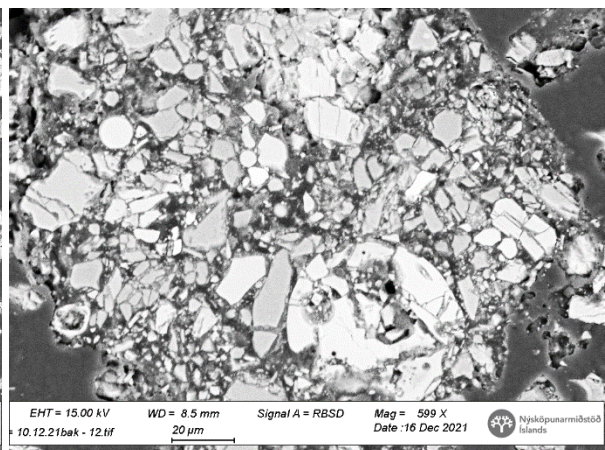
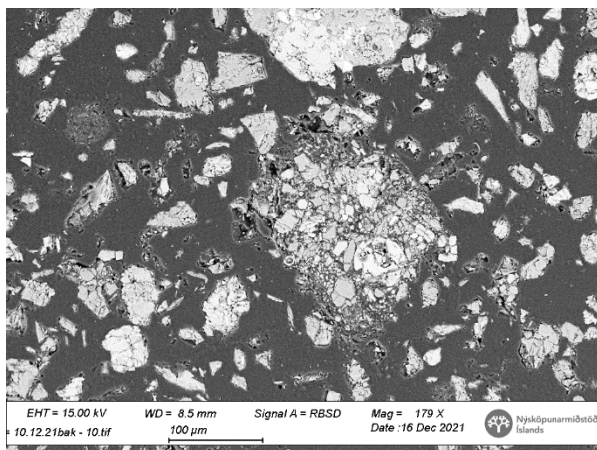
Sýnið var frekar lítið og erfitt að útbúa sneið fyrir SEM greiningu. Sýnið var ekki sigtað fyrir meðhöndlun fyrir SEM greiningu.

### SEM-myndir af sýni

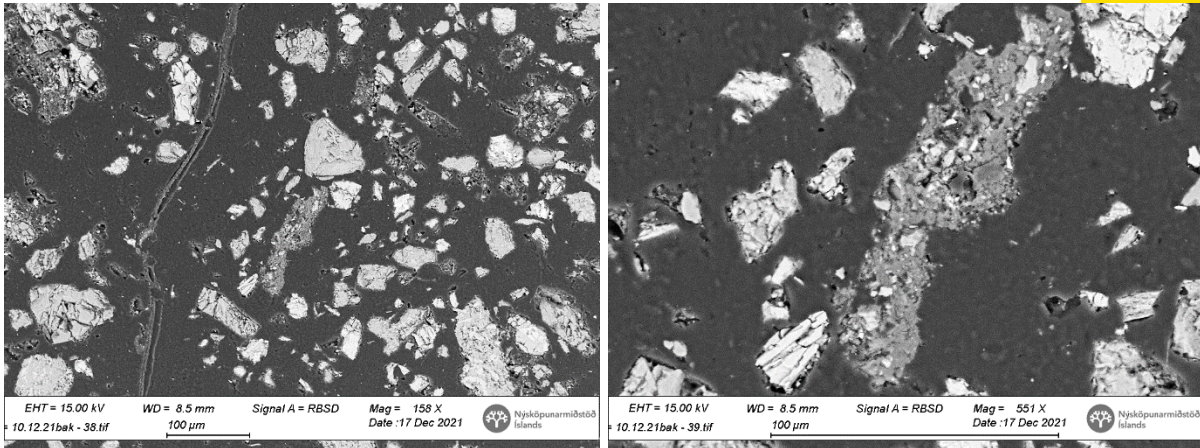
Á myndum 30, 31 og 32 má sjá vegrykið annars vegar í rúmlega 100 sinnum stækkun og hins vegar í um 550-600 sinnum stækkun. Mjög lítið sýni safnaðist fyrir greininguna og kornin eru umlukin lími, en límið er mjög svipað ásýndar og kolefnisríki fasinn. Á myndunum má sjá að kornastæðadreifingin er frá vel yfir 100 micron og niður í 1-2 micron. Á mynd 31 má sjá gott dæmi um samsett korn þar sem steinefniskorn eru bundin saman af kolefnisríku efni. Samsetta kornið er mjög steinefnaríkt. Á mynd 32 má sjá annað samsett korn. Kornið er alumíníumríkt og sker sig úr öðrum slíkum kornum hvað varðar samsetningu.



Mynd 30. Rafeindasmásjármynd af vatnsbornu vegryki, safnað af afturrúðu þann 14.12.2021.



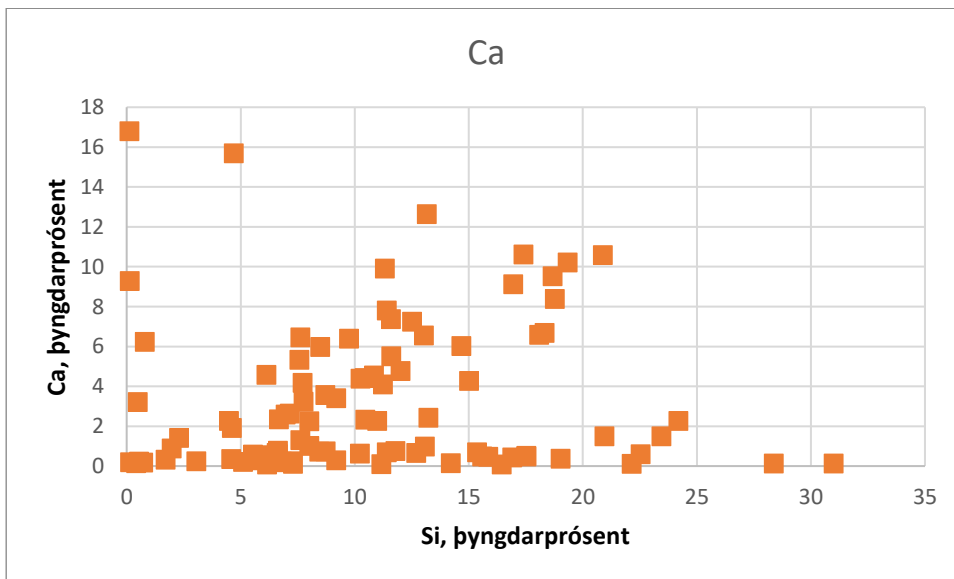
Mynd 31. Rafeindasmásjármynd af vatnsbornu vegryki, safnað af afturrúðu þann 14.12.2021.



Mynd 32. Rafeindasmásjarmynd af vatnsbornu vegryki, safnað af afturrúðu þann 14.12.2021.

### Steinefni

Alls var samsetning könnuð á 122 steinefnakornum. Á mynd 33 má sjá hvernig magn kalsíum breytist með magni kísils. Flest kornin eru siliköt og þar af leiðandi steinefni úr slitlagi. Einnig eru nokkur korn sem eru sannarlega ekki náttúruleg steinefni, eins og sinkríkt korn, Ni ríkt korn og NiCr ríkt korn. Eins og í öðrum sýnum er nokkuð um bæði klóríð og brennisteinsrík korn. Alls greindust 47 korn með brennistein, öll með minna en 1 %. Alls greindust 60 korn með klóríð, flest með minna klóríðinnihald en 0,4 %.



Mynd 33. Magn af kalsíum á móti magni kísils í steinefni í vatnsbornu vegryki, safnað af afturrúðu þann 14.12.2021.

### Kolefniríkur fasi

Í töflu 7 eru sýnd dæmi um samsetningu á nokkrum kolefnisríkum fösum. Samsetningin er nokkuð breytileg. Kolefnismagnið liggur á bilinu frá um 52 til 76 %. Álmagnið liggur á bilinu frá um 1,8 til 4,7 %. Kísillinn liggur á bilinu frá 2,6 til 8 %. Bæði brennisteinn og klórmagn er tiltölulega lágt og greinist ekki í öllum fösum. Ekkert sink greindist í fösum.

Tafla 7. Samsetning (%) á kolefnisríkum fösum í vatnsbornu vegryki.

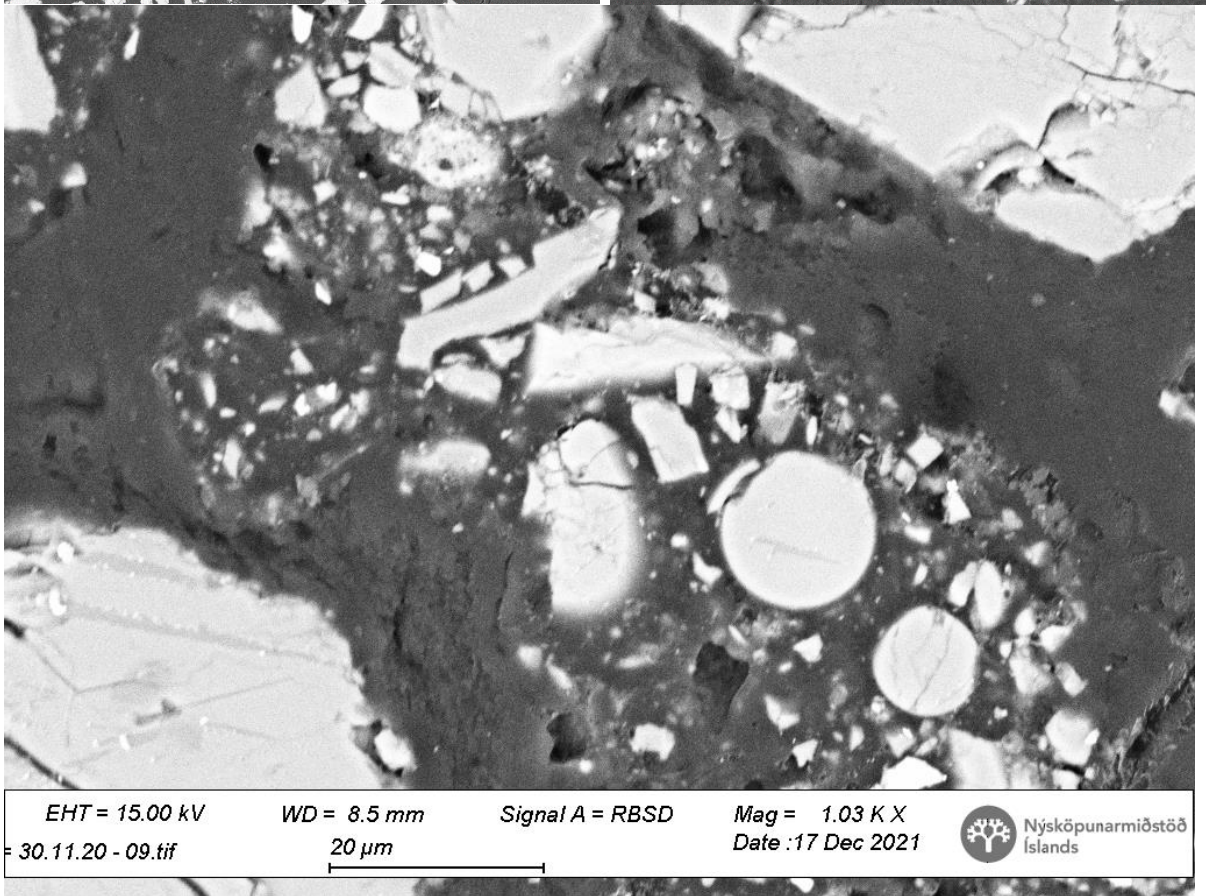
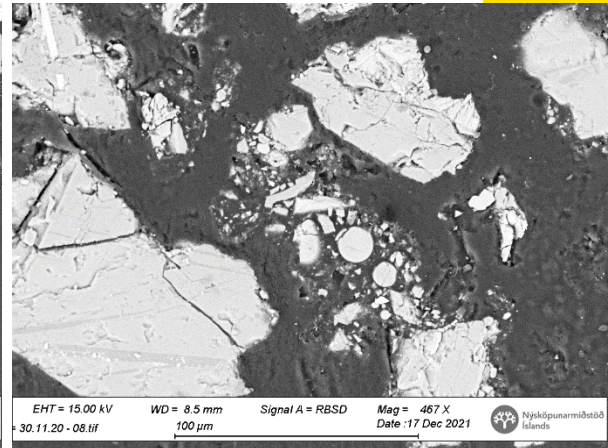
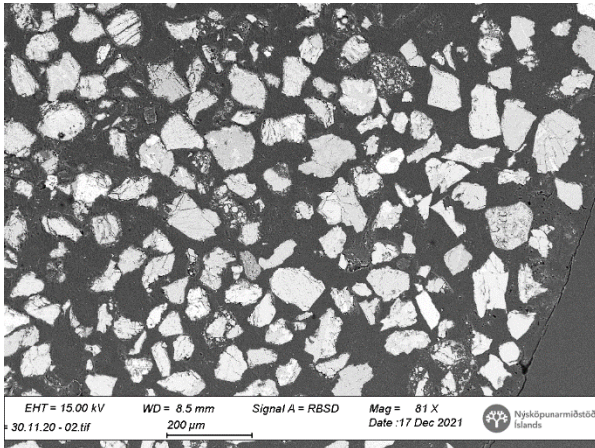
Pkt. nr.	253	254	255	256	257	270	282	283
C	52.21	57.37	70.74	70.51	64.35	70.99	68.77	76.17
O	31.76	30.63	19.13	16.28	20.41	20.6	13.74	16.22
Na	1.23	0.25	0.54	0.71	1.14	0.82	0.27	0.3
Mg	0.2	1.25	0.51	0.56	0.17	0.27	0.15	0.33
Al	4.39	2.43	2.1	2.92	4.3	1.77	4.65	2.51
Si	6.97	2.78	3.11	5.12	6.72	3.31	7.99	2.59
S	0.18		0.25	0.2		0.22	2.05	0.68
Cl	0.17	0.35	0.57	0.46	0.26	0.47		0.05
K	0.1	0.06	0.24	0.13	0.11	0.16	0.18	0.05
Ca	2.35	0.37	0.96	1.27	1.92	0.68	1.45	0.52
Ti			0.2			0.14		
Fe	0.46	4.5	1.67	1.84	0.64	0.57	0.75	0.58
Zn								
Total	100	100	100	100	100		100	100

#### Vindborið vegryk

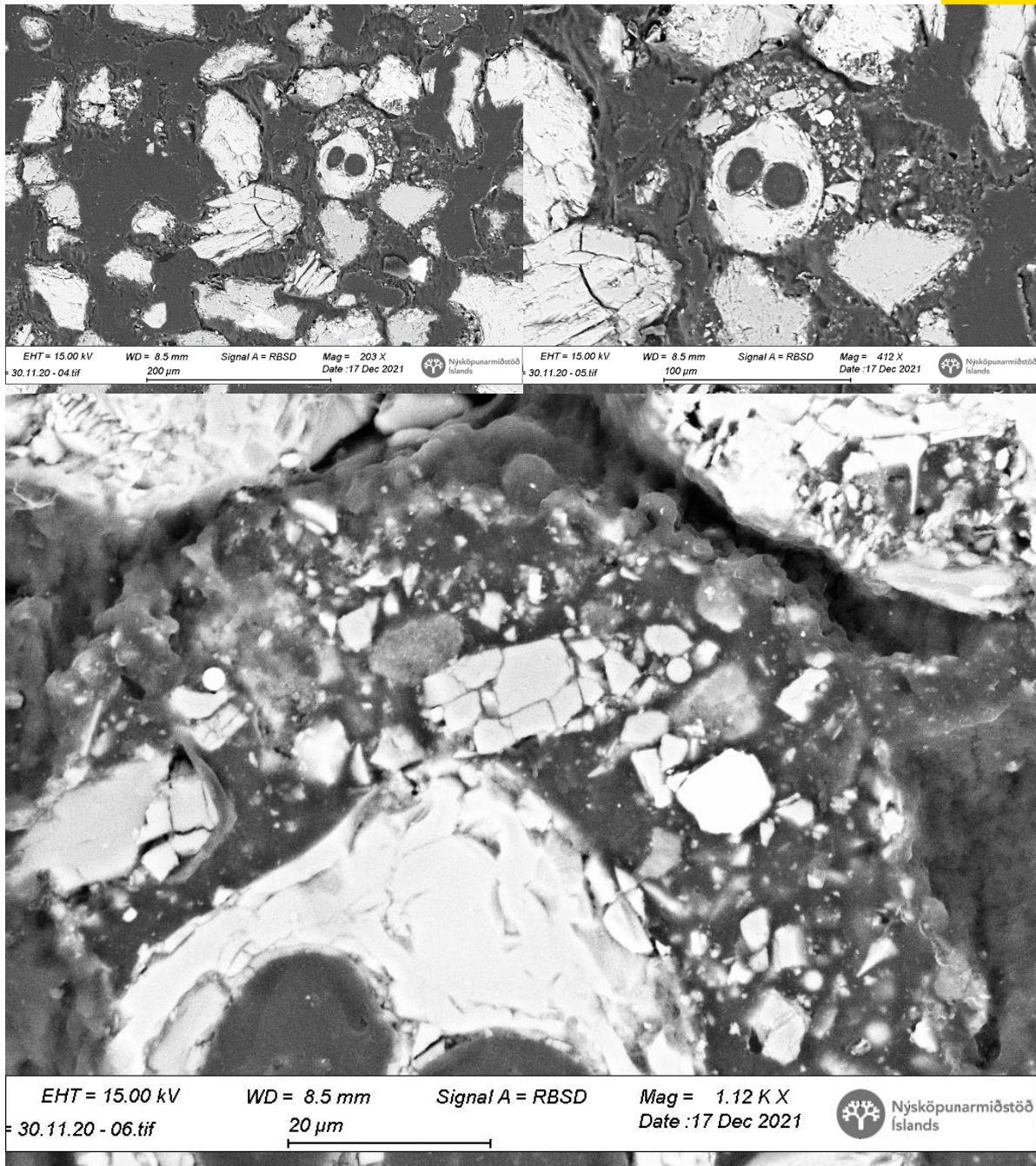
Sýnið var frekar lítið og erfitt að útbúa sneið fyrir SEM greiningu. Sýnið var ekki sigtað fyrir meðhöndlun fyrir SEM greiningu.

#### SEM-myndir af sýni

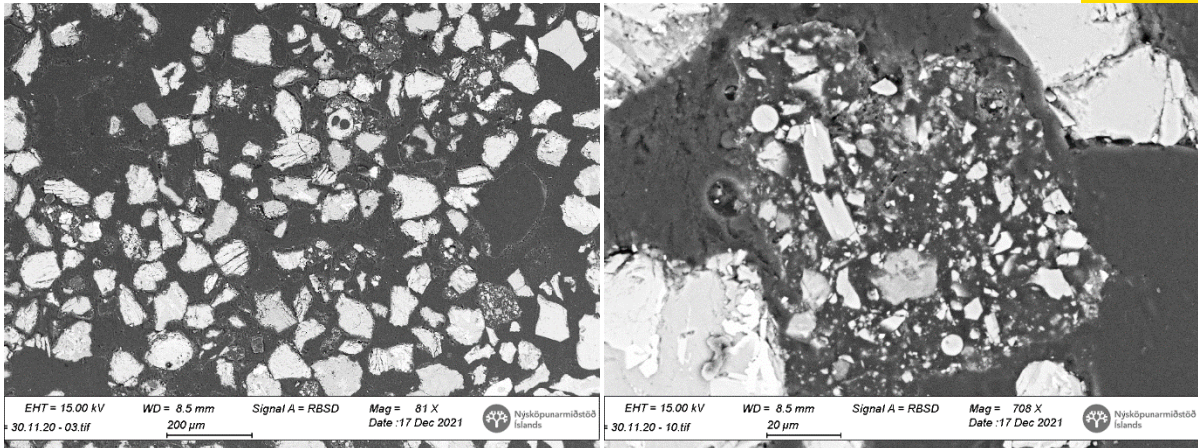
Á myndum 34, 35 og 36 má sjá vegrykið í um 100 sinnum stækkun, í um 550-700 sinnum stækkun og svo í meira en 1000 sinnum stækkun. Mjög lítið sýni safnaðist fyrir greininguna og kornin eru umlukin lími, en límið er mjög svipað ásýndar og kolefnisríki fasinn. Á myndunum má sjá að kornastærðadreifingin er frá vel yfir 200 micron og niður í 1-2 micron. Samsett korn virðast vera nokkuð algeng.



Mynd 34. Rafeindasmásjármynd af vindbornu vegryki, safnað af framrúðu þann 30.10.2020. Á myndunum má sjá að kornastærðadreifingin er frá vel yfir 200 micron og niður í 1-2 micron. Samsett korn virðast vera nokkuð algeng. Dæmi um samsett korn má sjá á neðstu myndinni. Kúlulaga kornin hafa myndast við mölun viðkomandi fylliefnis.



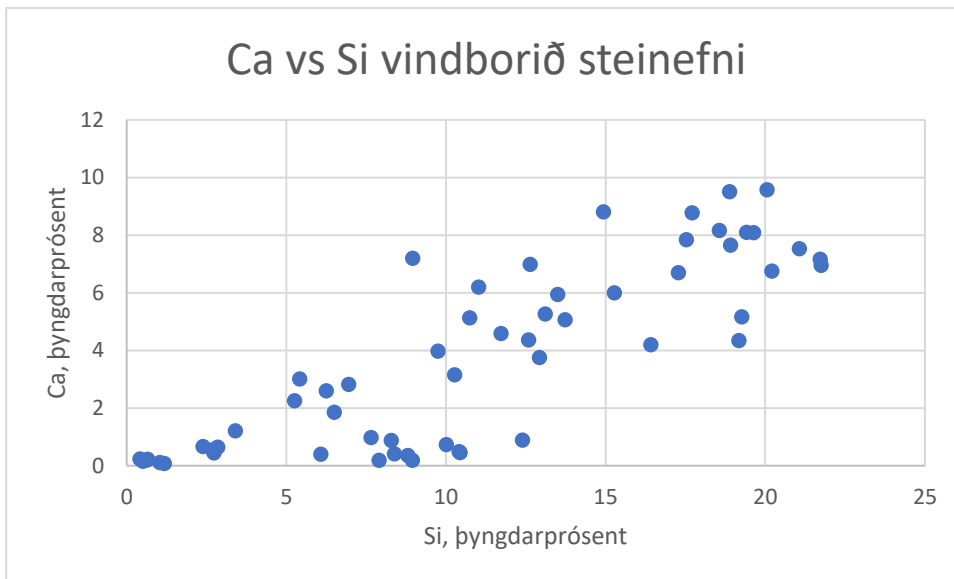
Mynd 35. Rafeindasmásjármynd af vindbornu vegryki, safnað af framrúðu þann 30.10.2020. Neðsta myndin er dæmigerð fyrir samsett korn, þar sem samsetti hlutinn liggur utan í stærra korni.



Mynd 36. Rafeindasmásjármynd af vindbornu vegryki, safnað af framrúðu þann 30.10.2020. Á myndinni til hægri má sjá samsett korn í um 100 sinnum stækkun.

### Steinefni

Alls var samsetning könnuð á 61 steinefnakorni. Á mynd 37 má sjá magn kalsíum á móti kísli. Eins og kemur fram á myndinni þá er gott samband á milli kalsíum og kísils í steinefninu. Flest kornin eru siliköt. Korn með lágt magn kísils voru annað hvort Fe-Ti steinefni eða korn með hátt magn kolefnis. Alls greindust 29 korn með brennisteini á bilinu frá 0,2 til 2,3 %. Alls greindust 23 korn með klóríð á bilinu frá 0,1 til 0,3 %.



Mynd 37. Magn kalsíum á móti magni kísils í steinefni úr vindbornu vegryki, safnað af framrúðu þann 30.10.2020.

### Kolefnisríkur fasi

Greinilega má sjá kolefnisríkan fasa á myndum 35 og 36. Dæmi um efnasamsetningar á kolefnisríkum fasa eru sýnd í töflu 8. Eins og í öðrum kolefnisríkum fösum er samsetningin nokkuð breytileg. Kolefnismagnið liggur á bilinu frá 67 til 86 %. Álið er á bilinu frá 0,3 til 1,7 % og kísillinn er á bilinu frá 0,2 til 3,2 %. Brennisteinsmagnið er á bilinu frá 1,7 til 3,6 % og klór liggur á bilinu frá 0,2 til 1,1 %. Tveir fasar greindust með 0,3 og 0,6 % sink. Miðað við samsetningu á dekkjagúmmíi, sjá töflu 2, þá á þetta sink líklega ekki uppruna að rekja til dekkjaslits.

Tafla 8. Samsetning (%) á kolefnisríkum fösum í vindbornu vegryki.

Pkt. nr.	428	429	430	431	432	455	456
C	81.09	86.26	78.97	67.36	67.9	72.52	83.53
O	14.15	7.66	10.52	24.93	23.94	16.54	8.8
Na	0.07		0.1			0.22	
Mg	0.11	0.16	0.19	0.2	0.19	1.05	1.28
Al	0.3	0.42	0.97	1.7	1.62	1.69	0.49
Si	0.7	0.92	2.23	0.17	0.63	3.22	1.64
S	2.85	3.56	2.57	2.33	1.68	2.22	2.77
Cl	0.21	0.22	0.35	1.16	1.09	0.43	0.41
K							
Ca	0.26	0.28	1.65	1.39	1.87	1.18	0.37
Ti			0.26				
Fe	0.26	0.53	2.19	0.46	0.47	0.92	0.71
Zn				0.32	0.61		
Total	100	100	100	100	100	100	100

#### Kolefnisríki fasinn í vegryki

Í þessari rannsókn voru efnagreind með rafeindasmásjá um 83 svæði/korn sem gætu verið það sem kallað hefur verið kolefnisbundið efni, þ.e.a.s. efnið sem samanstendur aðallega af dekkjaleifum og/eða malbikssliti, sjá töflu 9. Kolefnismagnið liggur á bilinu frá 15 til 87 %, með meðaltal um 61 %. Flest svæðin eru með meira en 30 % kolefni, aðeins 4 svæði eru með minna en 30 % kolefni. Kísill greindist í öllum svæðunum. Kísillinn liggur á bilinu frá 0,1 til 32 % með meðaltal um 6 %. Önnur helstu efni sem mynda siliköt í slitlagsefni (Na, Mg, Al, Ca og Fe) finnast einnig í flestum svæðanna. Auk þess er Ti nokkuð algengt. Þar að auki finnast S og Cl í flestum svæðanna. Af þessum 83 greiningum reyndust aðeins tvær greiningar með sink. Ef sink er einkennisefni fyrir samsetningu á hjólbörðum þá er mjög lítið af hjólbarðaleifum í kolefnisríka fasanum. Miðað við samsetningu á hjólbörðum og malbiki sem gefin er í töflu 9 (tekið úr töflu 2) virðast sem lítið sé af dekkjaleifum í kolefnisríka fasanum. Sú ályktun byggir aðallega á þeirri staðreynd að nánast ekkert sink greinist í kolefnisbundna fasanum og einnig á því að mun meira magn af öðrum efnum eins og t.d. áli greinist í kolefnisbundna fasanum en í hjólbarðagúmmíi. Svo virðist sem samsetning á kolefnisbundna fasanum eigi mun meira sameiginlegt með bindiefninu í malbiki. Sé þetta rétt ályktun þá vaknar spurningin hvað verður um leifar frá dekkjasliti?



Tafla 9. Meðaltal 83 efnagreininga af fasa sem kallaður hefur verið kolefnisbundið efni. Til viðmiðunar er gefið meðaltal efnagreininga af malbiki og hjólbörðum tekið úr töflu 2 (fjöldi greininga í sviga). Niðurstöður efnagreininga sem þyngdarprósentur.

	Kolefnisbundinn fasi, meðaltal (83)	Malbik grunnmassi, meðaltal (22)	Hjólbarðar, meðaltal (16)
C	61.0	79.1	76.6
O	21.0	10.1	12.6
Na	2.4	0.5	0.1
Mg	0.6	0.2	0
Al	3.3	1.8	0.0
Si	6.1	5.1	8.4
P	0.4		
S	1.1	1.5	1.5
Cl	0.4	0	0.2
K	0.2	0.3	0
Ca	1.3	0.6	0.0
Ti	0.8	0.1	0
Mn	0.1	0.0	0
Fe	1.5	0.8	0
Zn	0.0	0	0.7
Total	100	100	100

## Niðurstöður

Markmiðið með þessu verkefni var að:

- Rannsaka hvort svifryk myndi sambærilega „vöndla“ og finnast í svifrykinu í Hvalfjarðargöngum, þ.e. kolefnisríkt efni sem bindur smáar svifryksagnir saman og myndar tiltölulega stór korn;
- Rannsaka þátt dekkjasilts í myndun svifryks og mögulegrar „vöndlamyndunar“;
- Rannsaka hvort svifryksmyndun vegna dekkjasilts geti leitt til örplastsmyndunar;
- Rannsaka virkni settjarna til að safna mögulegu örplasti.

Megin rannsóknarspurningar sem leitast var svara við voru tvær:

- Hver er þáttur dekkjasilts í myndun örplasts?
- Hver er virkni settjarna við að fanga umferðartengt svifryk?

Í þessari rannsókn voru tekin setsýni úr setþró sem tengd er við Vesturlandsveg við Ártúnsbrekku, sýni af rykblönduðum skvettum frá bifreiðum sem óku eftir Vesturlandsvegi og vindbornu svifryki sem settist á bílrúður. Í öllum þessum sýnum mátti finna samsett korn eða „vöndla“ þar sem fínkorna steinefni úr slitlagi eru bundin saman af kolefnisríku efni. Rafeindasmásjármyndir (SEM) af sýnunum staðfesta að tiltölulega stór kolefnisrík korn eru til staðar í öllum sýnunum. Miðað við takmarkaðar upplýsingar um samsetningu á hjólbarðagúmmíi þá var niðurstaða úr efnagreiningum með SEM á kolefnisríku efni í rykinu ekki afgerandi með hvort dekkjagúmmí væri að finna í þessum kolefnisríka efni. Agnirnar virðast ekki innihalda mælanlegt sink. Þar sem sink er álitnið einkennisefni fyrir dekkjasilit má ætla sem svo að engar leifar frá dekkjasilti sé að finna í þessum sýnum. Hins vegar bentu niðurstöður úr SEM greiningunum til þess að malbik væri ríkjandi þáttur í kolefnisríku fösunum.

Þvert á niðurstöður úr SEM greiningum staðfesta Ramangreiningar að dekkjaleifar eru til staðar í kolefnisríku kornum sem fundust í setinu úr setþrónni. Einnig er til staðar annað efni sem að öllum líkindum er bindiefnið í malbiki. Ekki er hægt að greina það með Raman en smásjargreiningar, bæði ljóssmásjá við Ramantæki og svo rafeindasmásjargreiningar benda eindregið til að um sé að ræða bindiefni úr malbiki.

Greiningar á þungmálum úr á setinu úr setþrónni eins og kadmíum (Cd), króm (Cr), kopar, nikkell (Ni), blý og sink (Zn) auk brennisteins sýna tiltölulega háan styrk þessara efna sem reynist yfirleitt hærri en í svifryki úr Hvalfjarðargöngum, að undanskildu sinki. Þetta bendir til þess að verulegt magn leifa frá dekkjaslitum safnist fyrir í setþrónni. Þar eð dekkjagúmmí flokkast sem plast er ein niðurstaða þessarar rannsóknar að dekkjaslit geti leitt til örplastmyndunar. Stærðardreifing dekkjaleifanna var ekki rannsökuð sérstaklega. Greiningar, hvort heldur það voru Ramangreiningar eða greiningar með rafeindasmásjá voru yfirleitt gerðar á tiltölulega stórum kornum, kornum sem eru flest of stór til að kallast raunverulegt svifryk. Engu að síður er til staðar ofgnótt af smáum kornum sem flokkast sem svifryk, en eru of smá til þess að hægt sé að rannsaka þau með þeim aðferðum sem var beitt í þessari rannsókn.

Miðað við að töluvert svifryk hafði safnað fyrir í setþrónni við Elliðaár og Ártúnsbrekku er hægt að segja að slíkar setþrær séu mikilvægar við að draga úr loftmengun og koma í veg fyrir að svifryk, þ.m.t. örplast berist til sjávar og valdi skaða á lífríki. Hins vegar er það ljóst að ef vindborið vegryk inniheldur örplast getur það auðveldlega borist til sjávar. Á móti kemur að ef kolefnisbundna efnið er til staðar í tiltölulega stórum kornum mun það væntanleg ekki berast um langan veg sem loftborið efni. Ef niðurstöður úr rannsóknum á fallryki í Hvalfjarðargöngum að „aðeins“ um 20 % af rykinu megi flokka sem svifryk og gæti nán til þess að vera loftborið eigi við almennt vegryk þá er tiltölulega lítil hluti af vegryki sem nær því að verða loftborið og berast til sjávar.

### Þakkarorð

Vegagerðinni er þakkað fyrir fjárstuðning við þetta verk. Starfsmönnum Tæknisetur er þökkúð aðstoð við efnagreiningar. Ásbirni Jóhannessyni er þökkúð aðstoð við skýrsluskrif.