

# Samsetning og uppruni svifryks í Hvalfjarðargöngum

Mars 2021





## Contents

Myndaskrá.....	i
Töfluskrá.....	ii
Inngangur .....	1
Sýnataka í Hvalfjarðargöngum .....	2
Rannsóknir frá fyrri áföngum .....	5
Umferð um Hvalfjarðargöng árin 2016 og 2017 .....	5
Styrkur svifryks í Hvalfjarðargöngum .....	5
Kornastærðagreining og rúmþyngdarmælingar.....	7
Setmyndunarhraði.....	8
Snefilefnagreiningar .....	9
Rafeindasmásjá 1. áfangi – helstu niðurstöður.....	11
Rafeindasmásjá 2. áfangi – helstu niðurstöður.....	12
3. áfangi .....	12
Kornastærðagreiningar .....	13
Meðhöndlun sýna fyrir greiningu í rafeindasmásjá.....	14
Efnagreiningar – rafeindasmásjá.....	15
Malbik – H3-9 .....	15
Stöð 4603 09052018.....	17
Stöð 2560.....	19
17102017.....	19
Stöð 5100 190820 – gangstétt .....	22
Samsetning og uppruni svifryks í Hvalfjarðargöngum.....	25
Umræða og samantekt.....	27
Þakkarorð .....	28

## Myndaskrá

Mynd 1. Skápar í stöð 2560. Sýnum var safnað ofan af skápunum í um 1,6 til 1,7 m hæð. ....	2
Mynd 2. Stöð 5100 (Guðlaug). Sýnum var safnað af sprautusteypunni í um 1,2 til 1,5 m hæð .....	3
Mynd 3. Sýni 19082020 stöð 5100. Sýninu var safnað af yfirborði gangstéttarinnar .....	4
Mynd 4. Umferð á mánuði um Hvalfjarðargöng (www.spulur.is).....	5
Mynd 5. Styrkur svifryks (< 10 µm) í Hvalfjarðargöngum árið 2016 í µg /m <sup>3</sup> .....	6
Mynd 6. Styrkur svifryks (< 10 µm) í Hvalfjarðargöngum árið 2017 í µg /m <sup>3</sup> .....	6
Mynd 7. Styrkur svifryks á Grensásvegi árið 2016. Hálf tíma meðaltöl (www.ust.is). ....	7
Mynd 8. Styrkur brennisteins sem fall af kolefni í ryksýnum úr Hvalfjarðargöngum.....	9
Mynd 9. Styrkur antimons sem fall af styrk baríns í ryksýnum úr Hvalfjarðargöngum.....	10
Mynd 10. Styrkur króms sem fall af sinki í ryksýnum úr Hvalfjarðargöngum. ....	10
Mynd 11. Styrkur króms sem fall af kadmíni í ryksýnum úr Hvalfjarðargöngum.....	11



Mynd 12. Greining á uppruna ryks í Hvalfjarðargöngum.....	11
Mynd 13. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 2560 teknu 17.10.17, svæði 1.....	12
Mynd 14. Kornakúrfur af svifryki úr Hvalfjarðargöngum. ....	13
Mynd 15. Sýnaskilja með sýni í mettaðri saltlausn. ....	14
Mynd 16. Rafeindasmásjármynd af malbiki (H3-9).....	15
Mynd 17. Rafeindasmásjármynd af malbiki (H3-9).....	16
Mynd 18. Rafeindasmásjármyndir af sýni úr stöð 4603 09052018.....	17
Mynd 19. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 2560 teknu 171017.....	19
Mynd 20. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 2560 teknu 171017.....	20
Mynd 21. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 2560 teknu 171017.....	21
Mynd 22. Rafeindasmásjármynd af fallryki úr stöð 5100 190820.....	23
Mynd 23. Rafeindasmásjármyndir af fallryki úr stöð 5100 190820.....	23
Mynd 24. Rafeindasmásjármyndir af fallryki úr stöð 5100 190820.....	24
Mynd 25. Rafeindasmásjármyndir af fallryki úr stöð 5100 190820.....	25

## Töfluskrá

Tafla 1. Ryksýni úr Hvalfjarðargöngum. Sýnatökuferðir og stöðvar.....	4
Tafla 2. Meðaltalsstyrkur svifryks og umferðarálág í Hvalfjarðargöngum. ....	7
Tafla 3. Niðurstöður mælinga á rúmþyngd fallryks úr Hvalfjarðargöngum, úr fyrri rannsókn.....	8
Tafla 4. Yfirborðsflatarmál (Blaine) svifryks miðað við að rúmþyngd sýnanna sé $1 \text{ g/cm}^3$ . ....	13
Tafla 5. Svifryk í Hvalfjarðargöngum. Aðskilnaður með mettaðri saltlausn, þyngdarprósentur.....	14
Tafla 6. Malbik H3-9. Niðurstöður efnagreininga á bæði svifryki og grunnmassa. ....	16
Tafla 7. Malbik H3-9. Meðaltöl af niðurstöðum 29 efnagreininga. ....	17
Tafla 8. Stöð 4603 090518. Niðurstöður efnagreininga á kolefnisríkum grunnmassa.....	18
Tafla 9. Stöð 4603 090518. Niðurstöður efnagreininga á svifryk.....	19
Tafla 10. Stöð 2560 frá 171017. Niðurstöður efnagreininga á kolefnisríkum grunnmassa. ....	20
Tafla 11. Stöð 2560 frá 171017. Niðurstöður efnagreininga á kolefnisríkum grunnmassa. ....	21
Tafla 12. Stöð 2560 frá 171017. Niðurstöður efnagreininga á svifrykskornum. ....	22
Tafla 13. Stöð 5100 frá 190820. Niðurstöður efnagreininga á kolefnisríkum grunnmassa. ....	25
Tafla 14. Samanburður á kolefnisríkum grunnmassa.....	27



# SKÝRSLA

Skýrsla nr: NMÍ 21-02

Dreifing:

Opin

Lokuð

Unnið fyrir:

Vegagerðina

Tengiliður verkkaupa:

Ólafur Sveinn Haraldsson/

Birkir Hrafn Jóakimsson

Heiti skýrslu:	Útgáfutími: Mars 2021
<b>Samsetning og uppruni svifryks í Hvalfjarðargöngum</b>	Fjöldi síða: 28 bls.
Höfundur/-ar:	Verkefnastjóri: GG
<b>Gísli Guðmundsson</b>	
Deild:	
<b>Rb við Nýsköpunarmiðstöð Íslands</b>	

## Úrdráttur:

Miðað við greiningar sem gerðar voru í þessari rannsókn á uppruna ryks sem safnað var úr Hvalfjarðargöngum á tímabilinu 17.01.17 til 13.06.18 og svo frá ágúst 2020, má rekja uppruna ryksins að mestu til fylliefna í malbiki. Einnig eru til staðar í nokkuð miklu magni samsett kolefnisrík korn. Samsettu kornin eru mynduð úr myndlausu kolefniríku efni og fínnum svifrykskornum. Svifrykið er bundin í kolefnismassanum. Niðurstöður þessarar rannsóknar sýna fram á að kolefnið komi frá dekkjasliti og að a.m.k. einhverju leyti frá útblæstri bifreiða. Ekki var hægt að sýna fram á tengsl kolefniskornanna við slit á bindiefni malbiks. Eðlilegt er að álíta að bikið, þ.e. bindiefni malbiksins, slitni í réttu hlutfalli við hluta þess í malbiki á móti hluta fylliefna.

Kornastærðargreiningar á rykinu benda til þess að hluti eiginlegs svifryks (< 2,5 µm) liggi á bilinu 4,3 til 5,6 % og allt svifryk (< 10 µm) liggi á bilinu 15 til 22 %. Kolefnið í rykinu bindur að því er virðist tiltölulega mikið af fínu ryki og myndar tiltölulega stór samsett korn, sem sökum stærða sinnar eru ólíklegt til að berast langt frá upprunastað. Þannig má e.t.v. segja að kolefnið dragi úr myndun fíns svifryks.

3 lykilorð: Á íslensku

Á ensku

<b>Hvalfjörður veggöng</b>	<b>Hvalfjörður road tunnel</b>
<b>Samsetning svifryks</b>	<b>Composition of traffic-generated emission</b>
<b>Uppruni svifryks</b>	<b>Source of traffic-generated emission</b>



## Inngangur

Almennt er talað um agnir í andrúmsloftinu í föstu formi sem svifryk. Á heimasíðu Umhverfisstofnunar ([www.ust.is](http://www.ust.is)) eru agnir sem eru 10-15  $\mu\text{m}$  (micron) að stærð taldar til fallryks, en þær sem eru smærri en 10  $\mu\text{m}$  til svifryks. Svifryki er skipt í gróft (2,5 - 10  $\mu\text{m}$ ) og fínt svifryk (smærra en 2,5  $\mu\text{m}$ ).

Markmið þessa verkefnis er að greina samsetningu fallryks/svifryks í Hvalfjarðargöngum og ákvarða hluta einstakra þátta sem mynda rykið. Aðeins verður einblínt á þátt fasts efnis í svifryki (e. particulate matter). Markmiðið er að ákvarða hlut eftirfarandi þátta í uppruna svifryks:

- Dekkjaslit (með og án nagladekkja)
- Malbiksslit (bindiefni og fylliefni)
- Útblástur ökutækja (sem ryk/sót)
- Slitbúnaður ökutækja (bremsuborðar o.fl. þ.h.)
- Annað (jarðvegur, eldfjallaska, vogsalt, o.fl.).

Þótt svifryksmengun á götum úti geti verið sýnileg, er erfitt (en gerlegt) að safna sýnum af svifryki í nægjanlega miklu magni til þess að gera ítarlegar rannsóknir á eiginleikum þess. Þar að auki er erfitt að greina uppruna svifryks, vegna fjölbættra breyta sem hafa áhrif á samsetningu og eiginleika þess. Í Hvalfjarðargöngum virðist, mjög lauslega áætlað, vera 10 sinnum meira svifryk í hverri rúmmálseiningu en t.d. á Grensásvegi. Af þessum sökum er tiltölulega auðvelt að safna sýnum af ryki í nægjanlegu magni til ítarlegrar rannsóknar í Hvalfjarðargöngum. Meginástæðan fyrir tiltölulega mikilli svifryksmengun er augljóslega afmarkað rými Hvalfjarðarganga, auk þess sem veðurfarsþættir eins og vindur og úrkoma eru ekki til staðar í Hvalfjarðargöngum. Með því að útiloka veðurfarsþætti er hægt að einblína á umferðartengda svifryksmengun. Þótt svifryksmagnið sé mikið í Hvalfjarðargöngum, þá virðist magn þess í rúmmálseiningu vera álíka mikið og í sænskum veggöngum, sjá Mats Gustafsson<sup>1</sup>.

Þess er vænst að niðurstöður rannsóknarinnar verði verulegt innlegg í skilning á þætti umferðar í svifryksmengun á Íslandi, sérstaklega þó 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.

Í þessari skýrslu er talað um ryk í almennum skilningi og nær það yfir bæði fallryk og svifryk. Einnig er talað um svifryk og fallryk í sértækum skilningi.

Verkið var unnið í þremur áföngum. Í fyrsti áfanga verksins var sýnum safnað úr göngunum frá október 2017 til júní 2018<sup>2</sup>. Verkefnið var styrkt af Speli ehf. Í áfanganum var heildarsamsetning ryksins efnagreind sem og samsetning grófari hluta sýnanna, þ.e. fallryks (> 10  $\mu\text{m}$ ). Í öðrum áfanga var unnið með að greina samsetningu svifryks (< 10  $\mu\text{m}$ ) og ákvarða hlut einstakra þátta sem mynda svifrykið. Annar áfanginn var styrktur af Rannsóknarsjóði Vegagerðarinnar (2018 – 2019)<sup>3</sup>.

Þriðji áfangi þessa verks (2020-2021), sem fjallað er um í þessari skýrslu, var styrkur af Rannsóknarsjóði Vegagerðarinnar. Markmið með áfanganum var tvíþætt, annars vegar að gera ítarlegri greiningar á svifryki (< 2,5  $\mu\text{m}$ ) og hins vegar að gera betri kolefnisgreiningar en gert var í fyrri áföngunum tveimur. Vegna takmarkaðs fjármagns var ákveðið að vinna með eldri sýni í stað þess að afla nýrra sýna. Þó var sýnum safnað úr stöð 5100 á hefðbundin hátt.

<sup>1</sup> Mats Gustafsson, Abbasi, S., Blomqvist, G., Cha, Y., Gudmundsson, A., Janhäll, S., Johansson, C., Norman, M., Olofsson, U., (2016) Particles in road and railroad tunnel air Sources, properties and abatement measures. VTI rapport 917A, 77 bls.

<sup>2</sup> Gísli Guðmundsson, 2018. Ryk í Hvalfjarðargöngum, Mannvit MV 2018-005, 53 bls.

<sup>3</sup> Gísli Guðmundsson, 2019. Samsetning og uppruni svifryks í Hvalfjarðargöngum, NMÍ 19-02, 83 bls.



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

### Sýnataka í Hvalfjarðargöngum

Ryksýni til rannsókna voru tekin á tímabilinu frá október 2017 til júní 2018 og í ágúst 2020. Sýnatakan fór þannig fram að ryki sem féll til ofan á skápa í göngunum var safnað saman. Skáparnir eru allir uppi við gangaveggina. Sýnum af ryki sem safnaðist á vegg ganganna var einnig safnað. Sýnunum var safnað af fleti í um 50 til 180 cm hæð, mælt frá gangstétt, einu sýni var safnað af gangstétt. Á Mynd 1, Mynd 2 og Mynd 3 eru sýnd dæmi um sýnatökustaði.



Mynd 1. Skápar í stöð 2560. Sýnum var safnað ofan af skápunum í um 1,6 til 1,7 m hæð.



Mynd 2. Stöð 5100 (Guðlaug). Sýnum var safnað af sprautusteypunni í um 1,2 til 1,5 m hæð. Örin bendir á svæðið þar sem sýnin voru tekin.



Mynd 3. Sýni 19082020 stöð 5100. Sýninu var safnað af yfirborði gangstéttarinnar uppi við spennustöðina, en þar hafði mikið af ryki safnast saman.

Alls hafa verið farnar fimm sýnatökuferðir. Safnað var af alls um 6 stöðvum. Miðað var við að fara tvær ferðir á nagladekkjatímabilinu og tvær á sumardekkjatímabilinu. Þegar sýnin voru tekin 9. maí 2018 var nagladekkjatímabilið liðið, en þar sem vorið var kalt var verulegur hluti bifreiða enn á nagladekkjum. Í hverri ferð voru sýni tekin í 3 til 5 stöðvum. Sýni í stöðvum 2560 og 5100 voru tekin í öllum ferðunum. Sýni af stöðvum 4146, 4603, 4851 og 6027 voru tekin í færri ferðum. Sýni úr stöð 5100 voru tekin í ágúst 2020. Sýni voru m.a. tekin af gangstétt. Nánari útlistun má sjá í Tafla 1.

Tafla 1. Ryksýni úr Hvalfjarðargöngum. Sýnatökuferðir og stöðvar.

Stöð	17/10/17	21/03/18	9/05/18	13/06/18	19/08/20
2560 (austan megin)	X	X	X	X	
4146 (austan megin)	X				
4603 (austan megin)		X	X	X	
4851 (austan megin)	X				
5100 (Guðlaug) (báðum megin)	X	X	X	X	X
6027 (vestan megin)			X	X	

Hvalfjarðargöng eru þvegin tvisvar á ári, að hausti og vori. Þvotturinn fer þannig fram að vatni er sprautað á vegg ganganna og vegurinn sópaður með þar til gerðu ökutæki. Skápar og merkingar eru þrífarnar. Fyrir utan þessi alþrif, er stöðugt verið að hreinsa upp ryk úr göngunum eins og þarf. Sýnataka þann 17.10.2017 var gerð samfara alþrifi, en sýnataka fór fram áður en göngin voru þriffin. Ekki er ljóst hvenær/hvort skáparnir höfðu verið þrífarnar fyrir sýnatökuna. Mögulegt er að eitthvað af ryki sem féll til um sumarið 2017 hafi verið til staðar þegar sýnunum var safnað. Sýnin sem var safnað 21.03.2018 féllu til í göngunum á tímabilinu frá 17.10.2017 til 21.03.2018. Skáparnir sem sýnunum var safnað af þann 09.05.2018 og 13.06.2018 voru þrífarnir sérstaklega nokkrum dögum fyrir sýnatöku.





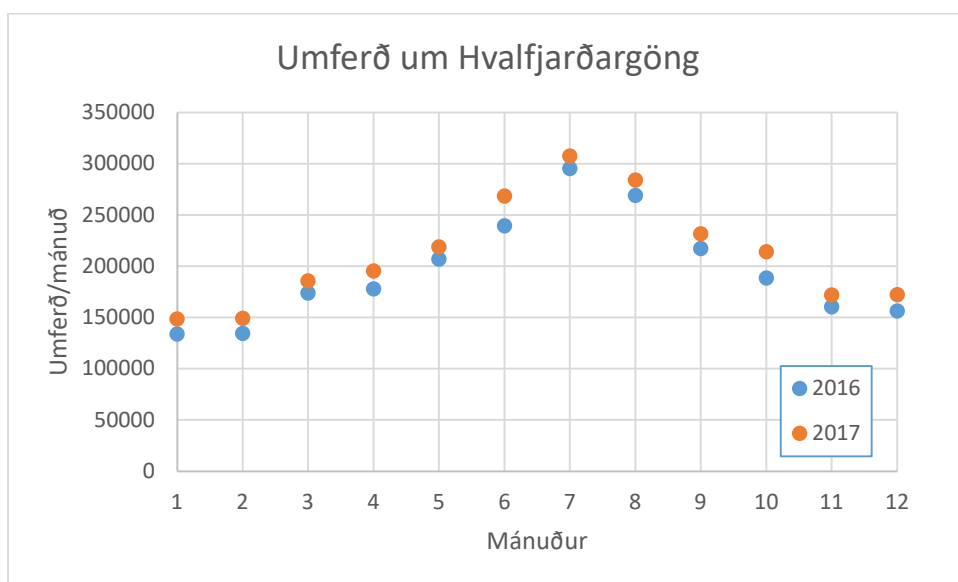
## Rannsóknir frá fyrri áföngum

Eftirfarandi rannsóknir voru gerðar á sýnum af ryki úr Hvalfjarðargöngum:

- Svifryk undir 10  $\mu\text{m}$  að stærð – sjálfvirkar mælingar í göngunum í umsjá Raftáknis ehf
- Kornastærðagreiningar og rúmþyngdarmælingar – framkvæmdar hjá Háskóla Íslands (HÍ) – fyrri áfangi
- Setmyndunarhraði – sjálfvirkar mælingar í göngunum
- Snefilefnagreiningar – framkvæmdar hjá NMÍ
- Kornastærðagreiningar - framkvæmdar hjá NMÍ
- Rafeindasmásjá, greining á fallryki
- Rafeindasmásjá, greining á svifryki

## Umferð um Hvalfjarðargöng árin 2016 og 2017

Mánaðarleg umferð um Hvalfjarðargöng fyrir árin 2016 og 2017 er sýnd á Mynd 4. Gögnin voru sótt á heimasíðu Spalar ([www.spolur.is](http://www.spolur.is)). Eins og sjá má er umferðin í upphafi árs um 150 þús. ökutæki á mánuði, eykst eykst síðan stöðugt og nær hámarki í júlí, þegar umferðin er um 300 þús. ökutæki á mánuði. Umferðin minnkar síðan samfelld út árið.



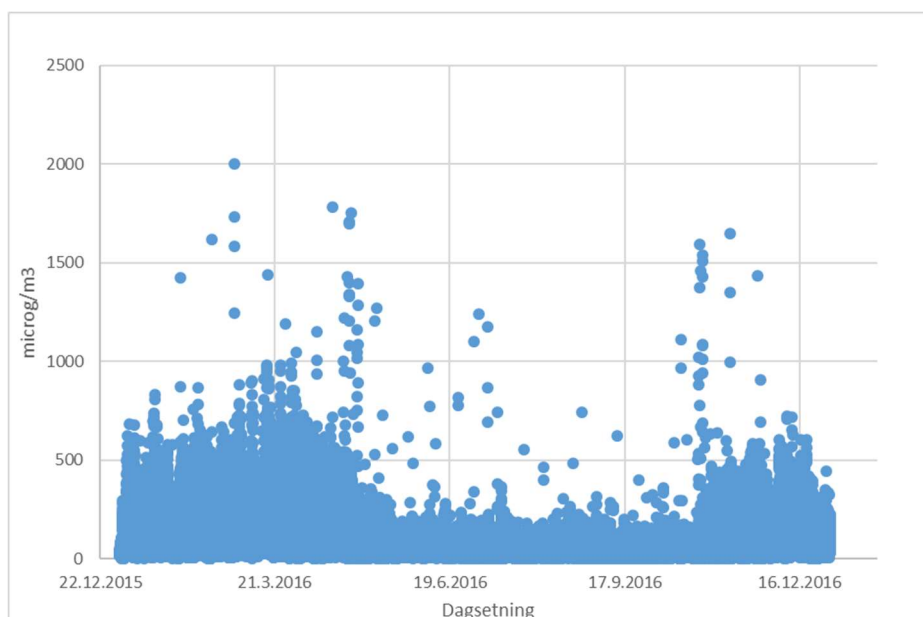
Mynd 4. Umferð á mánuði um Hvalfjarðargöng ([www.spolur.is](http://www.spolur.is))

## Styrkur svifryks í Hvalfjarðargöngum

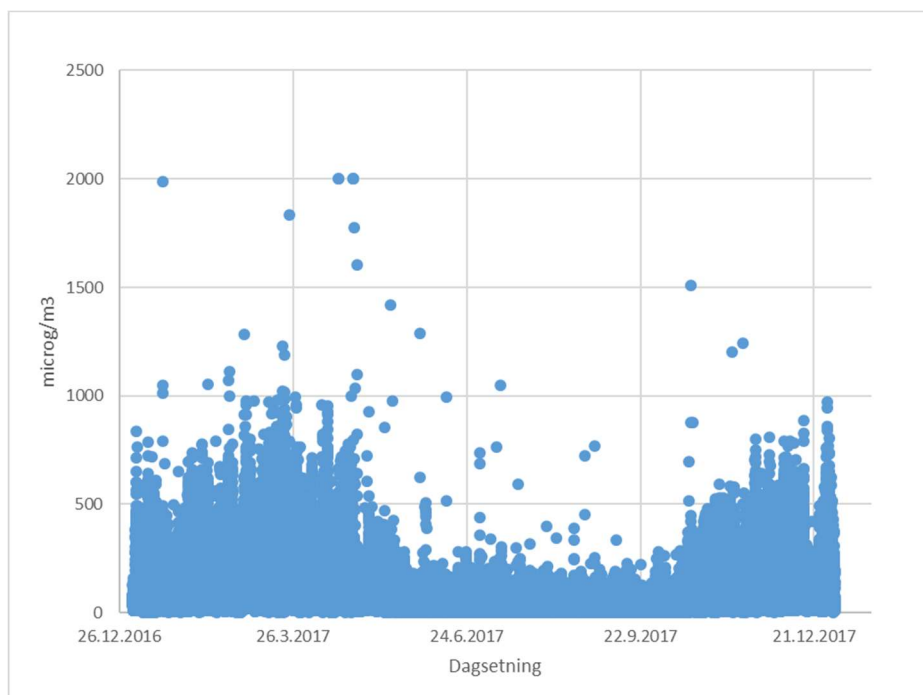
Fylgst er með magni svifryks í Hvalfjarðargöngum. Um er að ræða sjálfvirkar mælingar þar sem styrkur svifryks í  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  er mælt sem meðaltalsgildi fyrir hverjar 10 mínútur allan sólarhringinn. Mælingarnar eru gerðar á ryki sem er smærra en 10  $\mu\text{m}$ . Raftákn ehf. heldur utan um mælingarnar. Mælingarnar eru gerðar í stöð 5200.

Niðurstöður mælinganna fyrir árin 2016 og 2017 eru sýndar á Mynd 5 og Mynd 6<sup>4</sup>.

<sup>4</sup> Gögn fengin hjá Raftákn.



Mynd 5. Styrkur svifryks ( $< 10 \mu\text{m}$ ) í Hvalfjarðargöngum árið 2016 í  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .



Mynd 6. Styrkur svifryks ( $< 10 \mu\text{m}$ ) í Hvalfjarðargöngum árið 2017 í  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Eins og sjá má á myndum 5 og 6 er svifryksmagnið mest á nagladekkjatímabilinu (1. nóvember til 14. apríl), en magn svifryks minnkar verulega yfir sumardekkjatímabilið (15. apríl til 31. október). Reiknuð voru meðaltöl fyrir magn svifryks í göngunum fyrir hvort árið fyrir sig, fyrir tímabilið frá janúarbyrjun til aprílloka, frá júníbyrjun til septemberloka og frá nóvemberbyrjun til desemberloka (mánuðunum maí og október er sleppt). Niðurstöðurnar eru sýndar í Tafla 2. Þær eru þvert á fjölda þeirra ökutækja sem fara um göngin. Þegar umferðarálagið er mest, er svifrykið minnst, sjá Tafla 2.

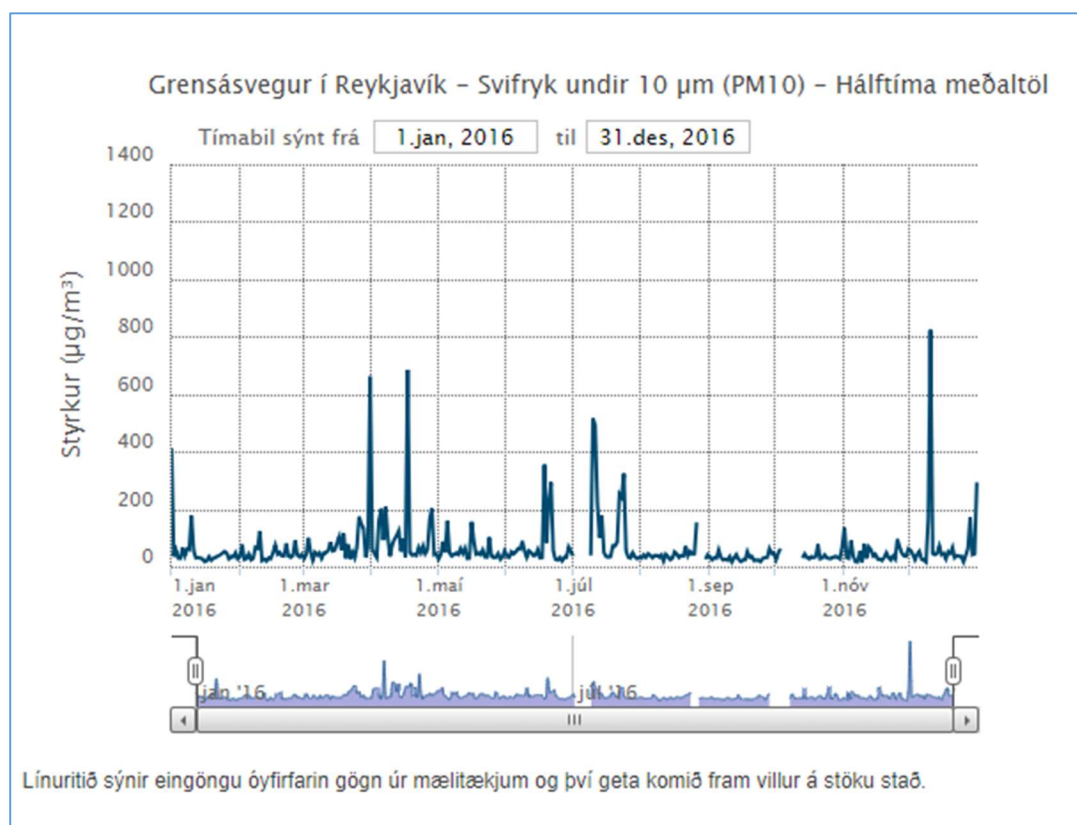


Tafla 2. Meðaltalsstyrkur svifryks og umferðarágangur í Hvalfjarðargöngum.

	2016 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	2016 (fjöldi ökutækja)	2017 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	2017 (fjöldi ökutækja)
Allt árið	108	2.355.436	116	2.549.741
Janúar t.o.m. maí	180	620.647	186	679.614
Nóvember og desember	174	317.234	128	344.632
Júní t.o.m. september	42	1.021.665	43	1.092.258

Á tímabilinu frá 1.08.2017 til 10.09.2018 voru um 20 tonn ryki hreinsuð og losuð út úr göngunum (upplýsingar frá Péttri Sigurjónssyni hjá Meitli).

Til samanburðar við svifryksmælingar í Hvalfjarðargöngum eru sýndar niðurstöður úr svifryksmælingum Umhverfisstofnunar árið 2016 á Grensásvegi, Mynd 7. Niðurstöður mælinga úr Hvalfjarðargöngum (Mynd 5) eru ekki alveg sambærilegar við niðurstöður mælinga af Grensásvegi, þar sem um 10 mínútna meðaltöl er að ræða fyrir Hvalfjarðargöng en 30 mínútna meðaltöl fyrir Grensásveg. Engu að síður er verulegur munur á niðurstöðunum og mun minna svifryk mælist á Grensásvegi, en í Hvalfjarðargöngunum. Munurinn á sínar eðlilegu skýringar. Hvalfjarðargöng eru afmarkað rými þar sem hvorki gætir vinds né regns. Þar af leiðandi mælist mun meira magn af svifryki í loftrými Hvalfjararganga, en í opnu rými eins og við Grensásveg.



Mynd 7. Styrkur svifryks á Grensásvegi árið 2016. Hálf tíma meðaltöl (www.ust.is).

## Kornastærðagreining og rúmþyngdarmælingar

Kornastærðagreiningar á fallryki misfórust í áfanga 1, mögulega vegna þess hve lág kornarúmþyngd sýnanna var, a.m.k. réð kornastærðagreininir ekki við sýnin. Samfara greiningu á kornastærð var rúmþyngd sýnanna



mæld. Niðurstöður rúmpýngdamælinganna eru sýndar í Tafla 3. Kornastærð fallryks úr Hvalfjarðargöngum var hins vegar greind í þessum 3. áfanga, sjá 3. áfangi.

Tafla 3. Niðurstöður mælinga á rúmpýngd fallryks úr Hvalfjarðargöngum, úr fyrri rannsókn

Dagsetning sýnatöku	Stöð	Kornarúmpýngd, g/cm <sup>3</sup>
17.10.2017	2568	0,9377
17.10.2017	5100	0,8900
21.03.2018	2560	1,0140
21.03.2018	4603	0,9226
21.03.2018	5100	0,7767
13.06.2018 (50 cm hæð)	5100	0,8633
13.06.2018 (110 cm hæð)	5100	1,0034

Rúmpýngd sýnanna mælist á bilinu frá 0,7767 til 1,0140 g/cm<sup>3</sup>. Miðað við þessar niðurstöður er ekki að sjá að rúmpýngd ryksins breytist milli sumar- og vetrardekkjatímabils. Fyrir fram var búist við að rúmpýngd ryksins minnka yfir sumardekkjatímabilið vegna minnkandi malbiksslits, en gera má ráð fyrir að malbiksslitið auki rúmpýngd ryksins.

### Setmyndunarhraði

Setmyndunarhraði var mældur í göngunum í nokkrum stöðvum. Mælingin fór þannig fram að ryki var safnað af láréttu yfirborði í hverri stöð. Yfirborðið var efra borð rafmagnsskápa í hverri stöð. Í upphafi hveggarmælingar var yfirborðið hreinsað. Síðan féll rykið til á viðkomandi skáp. Í lok tímabilsins var rykinu safnað saman í þar tilgert ílát, þýngd þess skráð og setmyndunarhraði reiknaður fyrir tímabilið.

Ryki var safnað ofan af nokkrum rafmagnsskápum í göngunum þann 09.05.2018. Skáparnar voru hreinsaðir 15 dögum fyrir sýnatöku. Þótt nagladekkjatímabilinu hafi þá verið lokið var mikill meirihluti bíla enn með nagladekk, enda var vorið kalt. Setmyndunarhraðinn var eftirfarandi:

Stöð 2560: tveir skápar austan megin. Setmyndunarhraði: 0,6780 og 0,2740 mg/cm<sup>2</sup> dag

Stöð 4600 : tveir skápar austan megin. Setmyndunarhraði: 1,8807 og 1,4047 mg/cm<sup>2</sup> dag

Stöð 6027: einn skápur vestan megin. Setmyndunarhraði: 0,8292 mg/cm<sup>2</sup> dag

Stöð 5100 (Guðlaug): tveir skápar vestan megin. Setmyndunarhraði: 0,7420 og 0,6114 mg/cm<sup>2</sup> dag

Meðalsethraði: 0,9171 mg/cm<sup>2</sup>/dag.

Miðað er við að meðalsethraðinn 0,9171 mg/cm<sup>2</sup>/dag, eigi við tímabil þegar nagladekk eru í notkun.

Ryki var safnað í sömu stöðvum þann 13.06.2018. Rykið hafði safnast fyrir í stöðvunum á 35 dögum. Setmyndunarhraðinn var eftirfarandi:

Stöð 2560: tveir skápar austan megin. Setmyndunarhraði: 0,1550 og 0,1597 mg/cm<sup>2</sup> dag

Stöð 4600 : einn skápur austan megin. Setmyndunarhraði: 0,1566 mg/cm<sup>2</sup> dag

Stöð 6027: einn skápur vestan megin. Setmyndunarhraði: 0,2435 mg/cm<sup>2</sup> dag

Stöð 5100 (Guðlaug): tveir skápar vestan megin. Setmyndunarhraði: 0,2322 og 0,1367 mg/cm<sup>2</sup> dag

Meðalsethraði: 0,1806 mg/cm<sup>2</sup>/dag.

Miðað er við að meðalsethraði 0,1806 mg/cm<sup>2</sup>/dag, eigi við tímabil þegar nagladekk eru ekki í notkun.

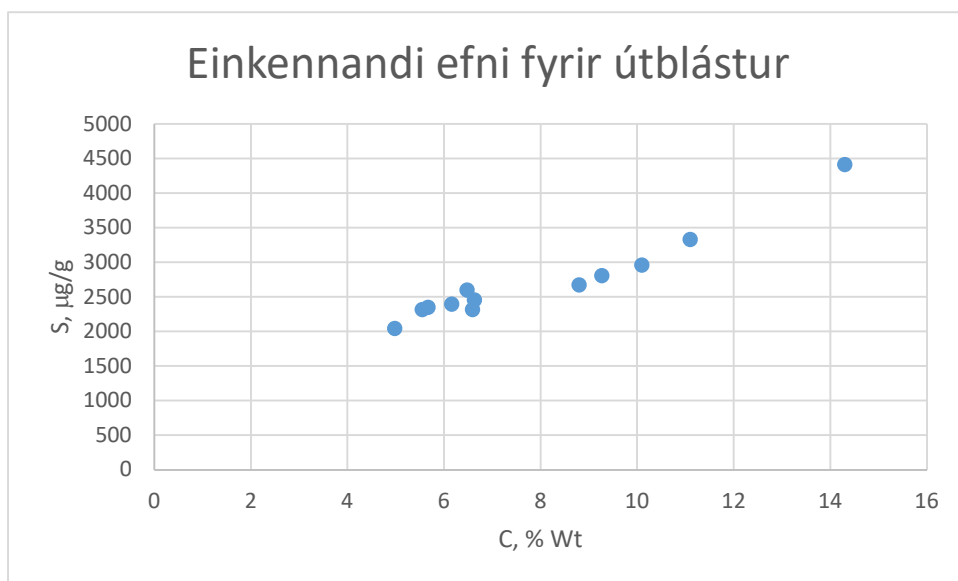


Á mælingatímabilinu frá apríllokum fram í miðjan júní 2018 er umferðarpunginn nokkuð vaxandi, sjá Tafla 2, en engu að síður er setmyndunin í göngunum u.þ.b. 5 sinnum meiri að vetrarlagi (24. apríl til 9. maí) en að sumarlagi (9. maí til 13. júní). Þegar niðurstöðurnar eru skoðaðar, ber að hafa í huga að mælingarnar eru gerðar uppi við gangaveggina. Ekki er ljóst hvernig dreifingu ryksins er háttað yfir þverskurðarflatarmál ganganna.

## Snefilefnagreiningar

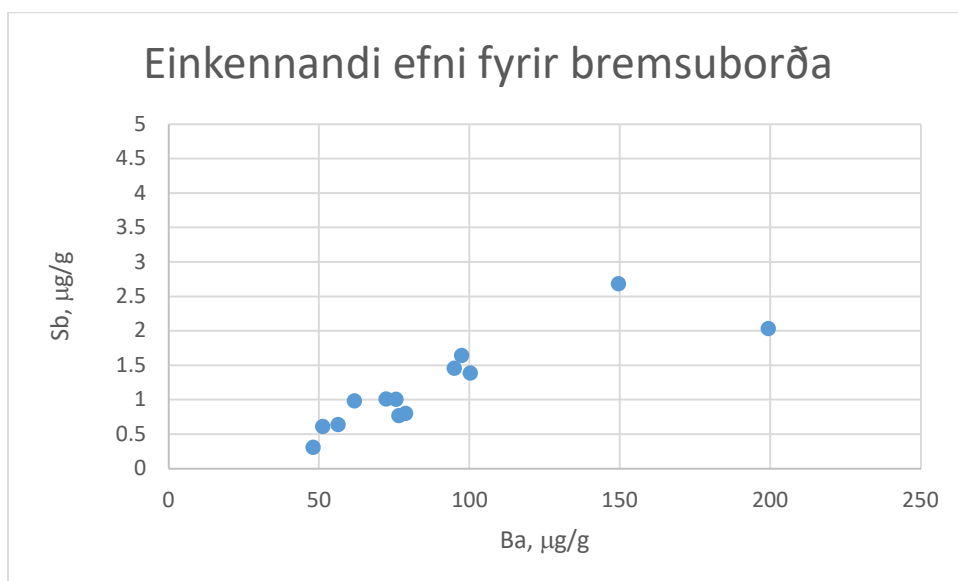
Styrkur snefilefna í 12 ryksýnum úr Hvalfjarðargöngum var efnagreindur hjá Nýsköpunarmiðstöð Íslands með ICP (plasma) mælitæki og s.k. Dumas tæki (kolefni (C) og köfnunarefni (N)). Við val á frumefnum til greiningar var miðað við að uppruni ryksins væri aðallega útblástur farartækja, úr bremsuborðum, 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), járni (Fe), kalíni (K), magnesíni (Mg), 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, járni, kalíni, magnesíni, natríni (Na), títani (Ti), brennisteini auk þungmálma kadmín (Cd), króm (Cr), kopar, nikkell (Ni), blý, selen (Se) og sink (Zn). Að lokum má búast við eftirfarandi frumefnum úr malbiki: áli, kalsíni, járni, kalíni, magnesíni, natríni, títani, kísli, auk annarra efna í minna mæli.

Á mynd Mynd 8 er sýndur styrkur brennisteins sem fall af kolefni í ryksýnum úr Hvalfjarðargöngum. Þokkalega gott samband er á milli styrks þessara tveggja efna. Sambandið bendir til þess að efni frá útblæstri ökutækja sé ríkjandi þáttur í samsetningu ryksins.



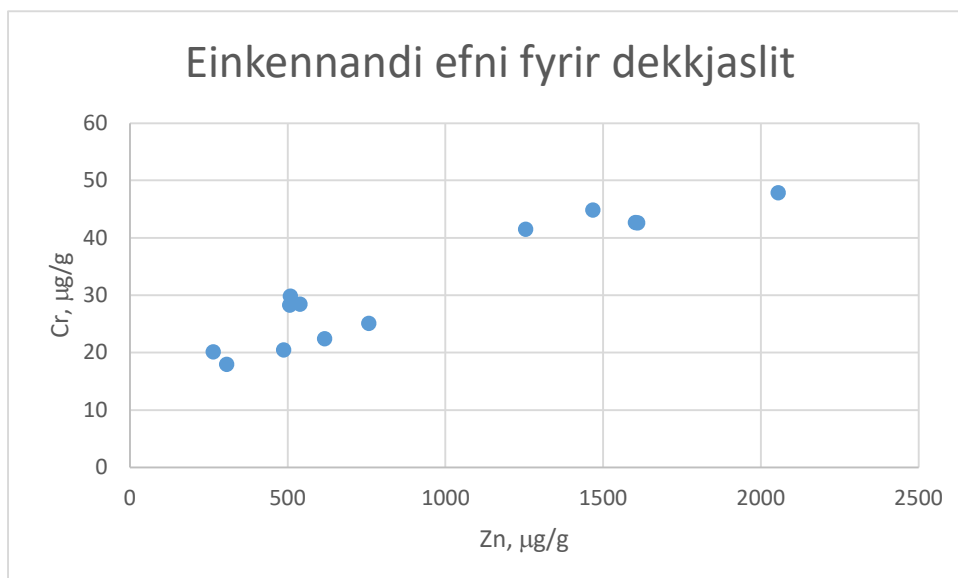
Mynd 8. Styrkur brennisteins sem fall af kolefni í ryksýnum úr Hvalfjarðargöngum. Búast má við að styrkur brennisteins og kolefnis sé hár í útblæstri ökutækja.

Á Mynd 9 má sjá styrk antimons sem fall af styrk baríns. Gott samband milli þessara tveggja efna í rykinu, nema e.t.v. í einu sýni, bendir til þess að töluverður hluti ryksins sé upprunninn úr bremsuborðum ökutækja sem fara um Hvalfjarðargöng.



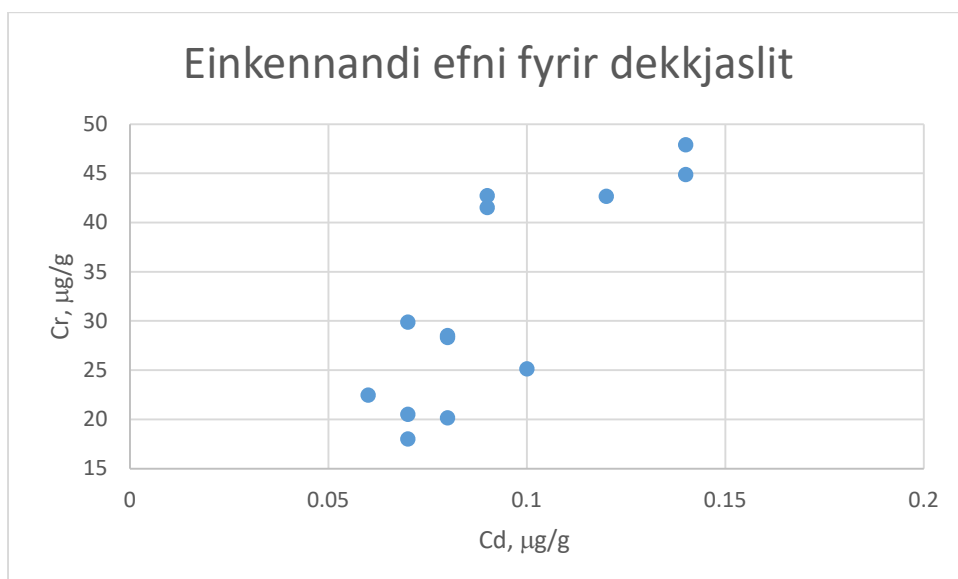
Mynd 9. Styrkur antimons sem fall af styrk baríns í ryksýnum úr Hvalfjarðargöngum. Búast má við að styrkur antimons og baríns sé hár í ryki sem myndast vegna slits á bremsuborðum ökutækja.

Á Mynd 10 má sjá styrk króms sem fall af styrk sinkis í ryksýnum úr Hvalfjarðargöngum. Gott samband milli þessara tveggja efna í rykinu, bendir til þess að töluverður hluti ryksins sé stafi frá sliti á dekkjum ökutækja sem fara um göngin.



Mynd 10. Styrkur króms sem fall af sinki í ryksýnum úr Hvalfjarðargöngum. Gott samband milli þessara tveggja efna í rykinu bendir til þess að töluverður hluti ryksins stafi frá sliti á dekkjum ökutækja sem fara um göngin.

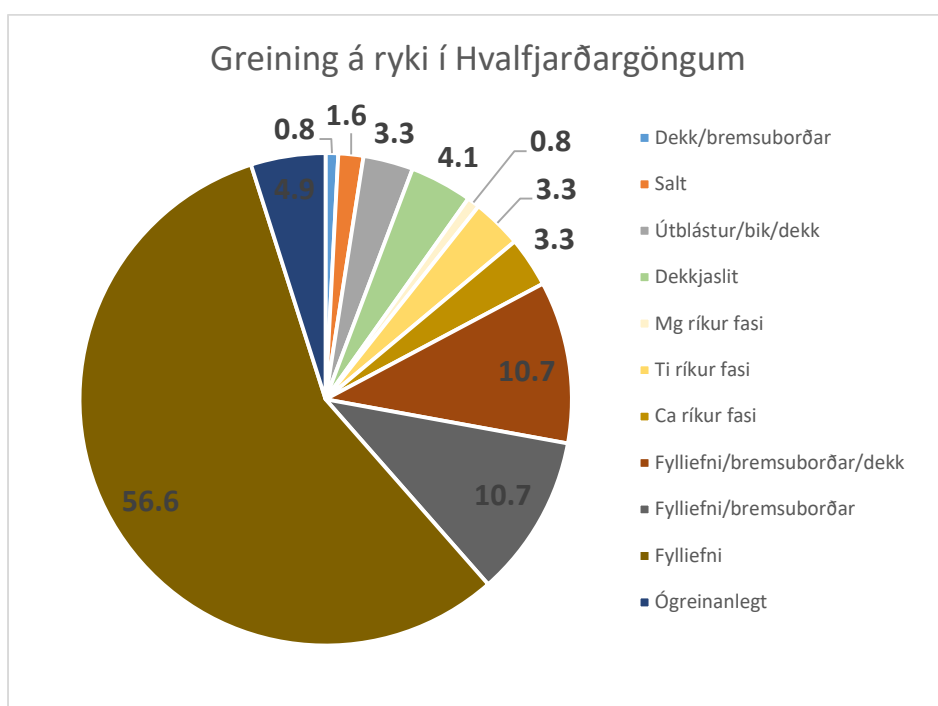
Á Mynd 11 má sjá styrk króms sem fall af styrk kadmíns í ryksýnum úr Hvalfjarðargöngum. Gott samband milli þessara tveggja efna í rykinu, bendir til þess að töluverðan hluta ryksins megi rekja til slits á dekkjum ökutækja sem fara um göngin.



Mynd 11. Styrkur króms sem fall af kadmíni í ryksýnum úr Hvalfjarðargöngum. Gott samband milli þessara tveggja efna í rykinu bendir til þess að töluverður hluti ryksins sé upprunninn frá dekkjasliti ökutækja sem fara um göngin.

## Rafeindasmásjá 1. áfangi – helstu niðurstöður

Helstu niðurstöður efnagreininga í rafeindasmásjá á sýnum sem tekin voru í Hvalfjarðargöngunum og greind á fyrra ári eru teknar saman í þessum kafla. Varðandi niðurstöður einstakra greininga er vísað í skýrslu úr fyrsta áfanga<sup>1</sup>. Mynd 12 sýnir yfirlit yfir greiningar á uppruna ryks í Hvalfjarðargöngum. Hafa ber í huga að þessar niðurstöður byggjast á aðeins 122 stökum efnagreiningum, þannig að úrtakið er ekki stórt. Segja má með nokkurri vissu að um 57 % kornanna eru fylliefni úr malbiki, um 4 % eru vegna útblásturs og um 2 % er salt (væntanlega sem vegsalt, þó þarf svo ekki að vera þar sem grunnvatnið í göngunum er að hluta til salt). Uppruni annarra korna er af margvíslegum toga. Mögulegt er að járn, kalsín, magnesín og kísilrík korn séu að a.m.k. að hluta úr fylliefni og því er mögulegt að hluti fylliefna í fallrykinu sé töluvert meiri en 56,6 % og jafnvel allt að 85,4 %.



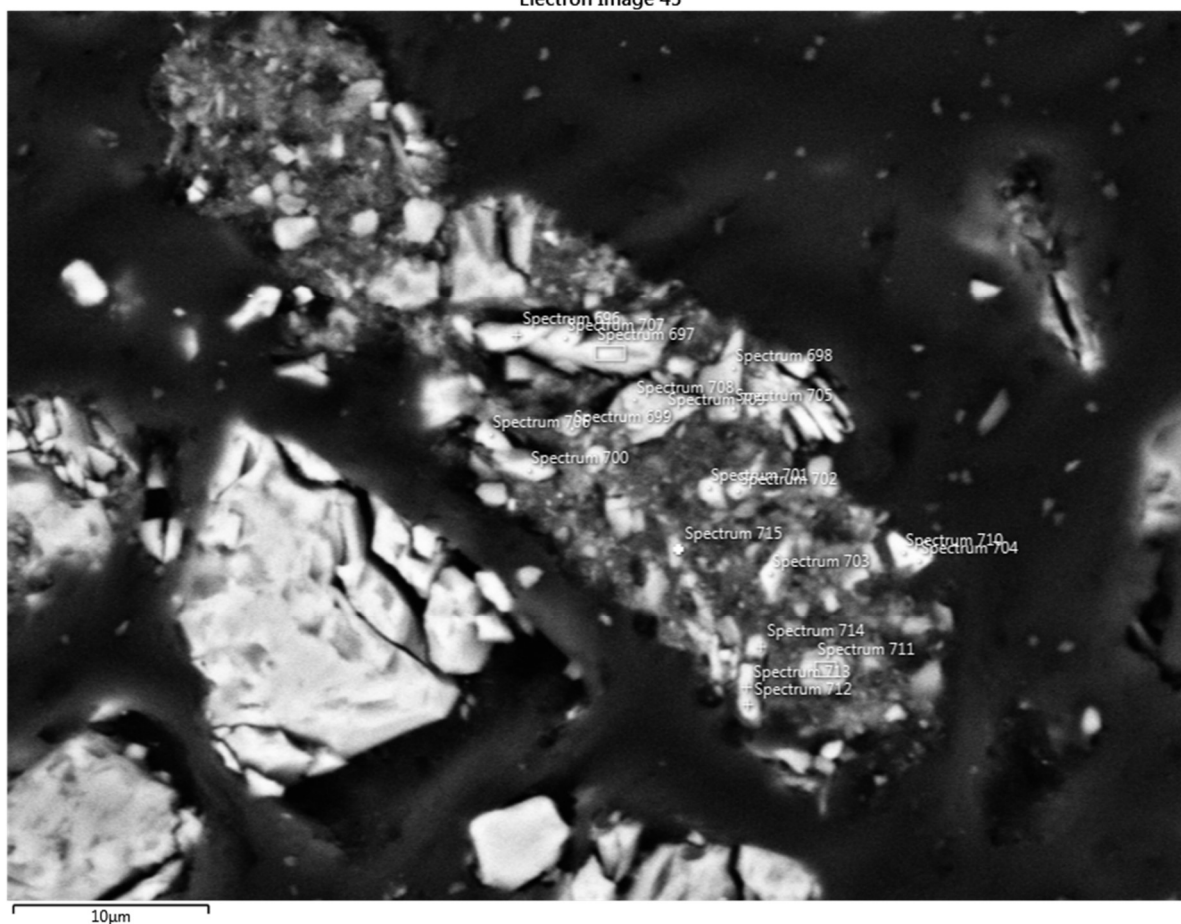
Mynd 12. Greining á uppruna ryks í Hvalfjarðargöngum. Byggt á niðurstöðum rafeindasmásjargreininga.



## Rafeindasmásjá 2. áfangi – helstu niðurstöður

Í öðrum áfanga voru sýnin úr 1. áfanga rannsökuð ítarlega með rafeindasmásjá. Einblínt var á smærri korn en 10  $\mu\text{m}$ , þótt stærri korn hafi einnig verið skoðuð. Alls voru um 900 efnagreiningar gerðar. Við skoðun á svifryki í rafeindasmásjá kom í ljós að svifryk úr Hvalfjarðargöngum er samsett úr tvennskonar fösum, annars vegar stakar steindir sem eru allt að 100  $\mu\text{m}$  að stærð og hins vegar samsettum kornum með tiltölulega mörg smá korn (< 10  $\mu\text{m}$ ) bundin saman af grunnmassa, sjá Mynd 13. Grunnmassinn er kolefnisríkur og væntanlega er kolefnið sem greindist í heildarsýnunum í fyrri rannsókn að finna í þessum kornum. Ekki er óeðlilegt að telja að kolefnið í grunnmassanum sé komið úr malbiki, þar sem bikið (bindiefnið) í malbiki hlýtur að kvarnast niður til jafns við fylliefni en þó er réttu hlutfalli við hluta biks í malbikinu. Bikhloti malbiks er vanalega um 6 til 7 % af þyngd. Miðað við að bindiefnishlutfallið í malbikinu sé 6 til 7 % (15 % af rúmmáli) er líklegt að kolefnið í grunnmassanum sé einnig komið annars staðar frá, eins og frá dekkjasliti og í mun minna mæli frá sóti úr útblæstri og bremsuborðum ökutækja.

Electron Image 45



Mynd 13. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 2560 teknu 17.10.17, svæði 1. Ílanga kornið fyrir miðri mynd er ágætt dæmi um samsett svifrykskorn, þar sem smá korn eru bundin saman af fínkorna grunnmassa. Á myndinni má sjá staðsetningu á efnagreiningum. Lengdarkvarði í vinstra horni niðri.

## 3. áfangi

Þar sem kornastærðargreiningar, sem átti að framkvæma í 1. áfanga, misfórust voru þær gerðar með laser kornastærðargreini hjá NMÍ. Efnagreiningar með rafeindasmásjá á fingerðu svifryki og samsettum kolefnisríkum grunnmassa var haldið var áfram frá 2. áfanga. Til þess að auka magn létts efnis í sýnunum voru sýnin aðskilin með 1,202 g/cm<sup>3</sup> lausn. Létti hlutinn var síðan rannsakaður með rafeindasmásjá. Nýtt malbik var malað niður og svarfið rannsakað með rafeindasmásjá. Að lokum var sýni safnað af gangstétt í stöð 5100 rannsakað.





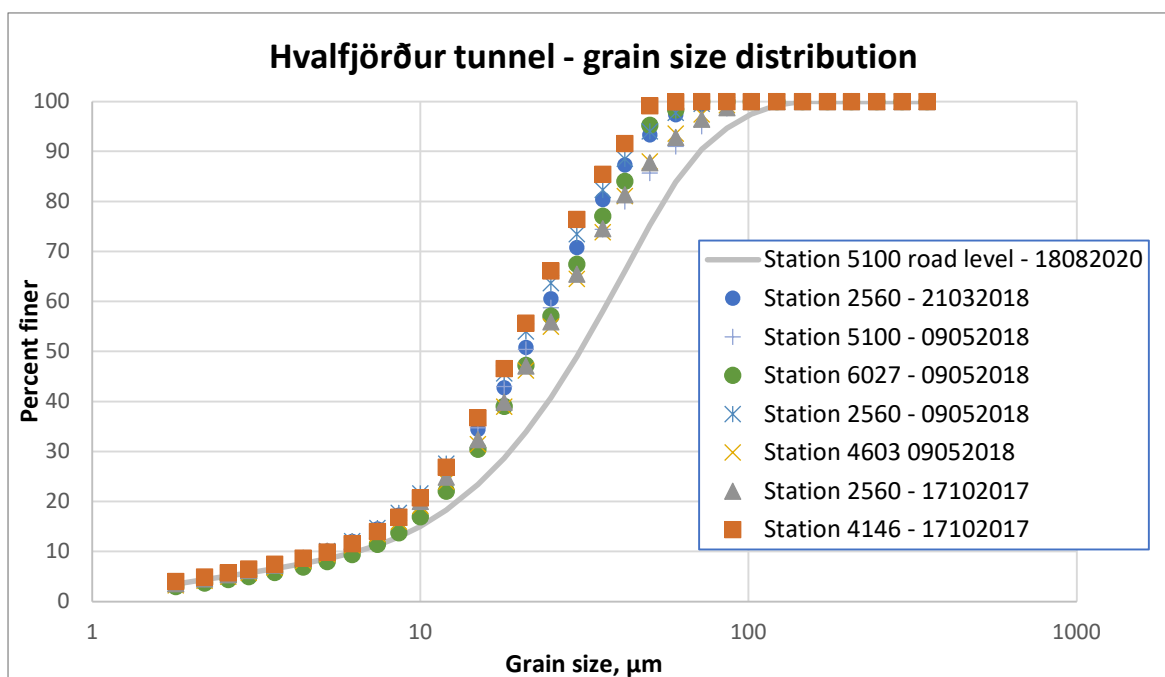
## Kornastærðargreiningar

Kornastærðargreining nokkurra svifrykssýna var mæld í kornastærðargreini á NMÍ. Kornastærðargreinirinn er s.k. laser kornastærðargreini sem greinir kornastærð frá 1,8 til 350  $\mu\text{m}$ . Í Tafla 4 er yfirborðsflatarmál korna tilgreint sem  $\text{cm}^2/\text{g}$  (Blaine) miðað við að rúmþyngd sýnanna sé 1  $\text{g}/\text{cm}^3$ . Í Tafla 3 er tilgreind mæld rúmþyngd og liggur hún á bilinu frá 0,8 til 1  $\text{g}/\text{cm}^3$ , þannig að 1  $\text{g}/\text{cm}^3$  er aðeins ofmetin rúmþyngd. Í Tafla 4 er einnig gefið upp hlutfall korna smærri en 2,5; 10 og 60  $\mu\text{m}$ . Miðað við þessar niðurstöður er ekki mikill munur á þessum sýnum, nema hvað sýnið úr stöð 5100 af gangstétt inniheldur minnst af efni grófara en 10  $\mu\text{m}$ , auk þess sem yfirborðsflatarmál þess er minnst. Athyglisvert er að efni finna en 2,5  $\mu\text{m}$  þ.e. sá hluti sem flokkast sem eiginlegt svifryk er svipaður í öllum sýnunum frá 4,3 til 5,6 %.

Tafla 4. Yfirborðsflatarmál (Blaine) svifryks miðað við að rúmþyngd sýnanna sé 1  $\text{g}/\text{cm}^3$ . Hlutfall efnis smærra en 2, 5, 10 og 60  $\mu\text{m}$  er einnig tilgreint. Sýnin eru tekin í um 1,6 til 1,8 m hæð frá gangstétt, nema sýni 5100 190820, sem var tekið af gangstétt.

Stöð	Blaine, $\text{cm}^2/\text{g}$	< 2,5 $\mu\text{m}$ , %	< 10 $\mu\text{m}$ , %	< 60 $\mu\text{m}$ , %	Dekkjatímabil
Stöð 5100 19082020	5090	4,92	15,00	83,88	Sumardekk
Stöð 2560 21032018	6090	5,13	20,81	97,41	Vetrardekk
Stöð 5100 09052018	5740	4,54	20,42	91,03	Vetrardekk
Stöð 6027 09052018	5410	4,26	16,98	98,34	Vetrardekk
Stöð 2560 09052018	6230	5,17	21,67	97,75	Vetrardekk
Stöð 4603 09052018	5710	4,80	19,20	93,63	Vetrardekk
Stöð 2560 17102017	5940	5,20	20,06	92,85	Sumardekk
Stöð 4146 17102017	6390	5,60	20,77	99,93	Sumardekk

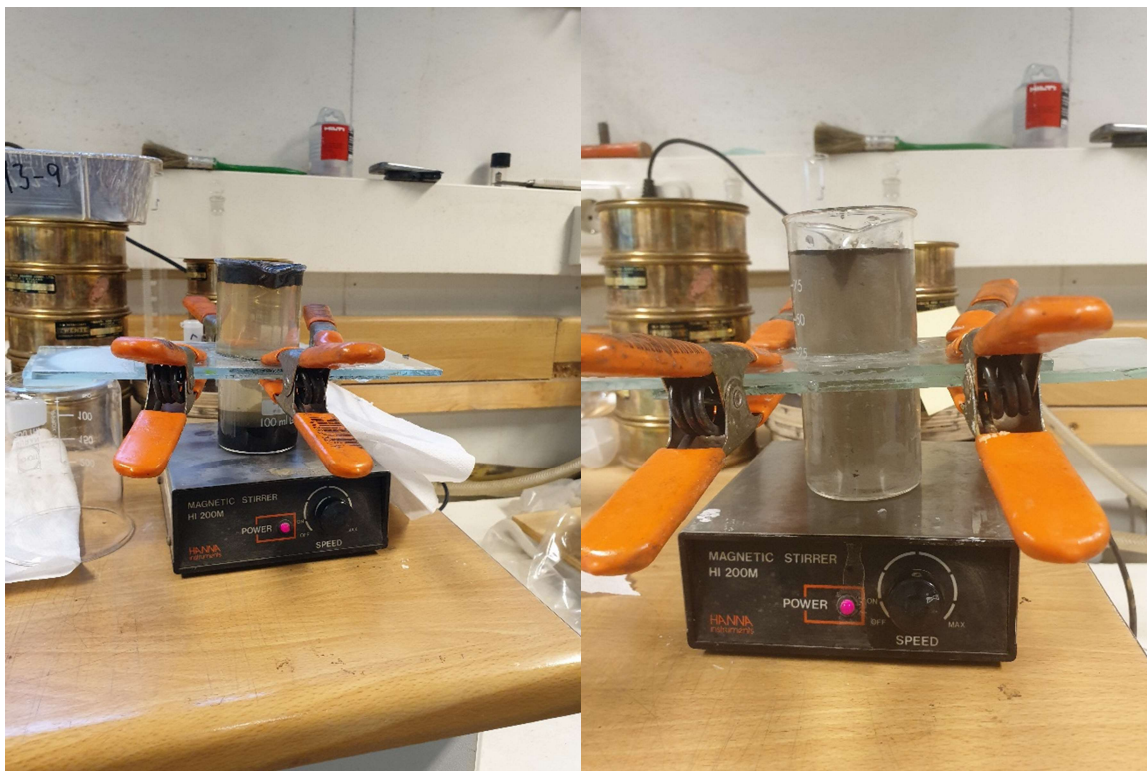
Á Mynd 14 má sjá niðurstöður af kornastærðargreiningu af sömu sýnum og koma fyrir í Tafla 4. Kornakúrfa allra sýnanna er svipuð, nema fyrir sýni 5100 sem tekið var niðri við jörðu. Sýni 5100 við jörðu er greinilega meira grófkorna en önnur sýni. Eins og sjá má á Mynd 14 eykst munurinn milli sýna með aukinni kornastærð, en ekki er að sjá að dekkjagerðin hafi áhrif á kornadreifinguna.



Mynd 14. Kornakúrfur af svifryki úr Hvalfjarðargöngum. Öllum sýnunum nema sýni 5100 af gangstétt var safnað af fleti í 1,6 til 1,8 m hæð.

## Meðhöndlun sýna fyrir greiningu í rafeindasmásjá

Til þess að halda kostnaði í lágmarki var ákveðið að vinna með sýni sem safnað var í 1. áfanga. Reynt var að skipta sýnunum í eðlisléttan og eðlisþungan hluta með því að nota mettaða NaCl lausn. Sýnum var komið fyrir í þar til gerðri sýnaskilju, skiljan fyllt með mettaðri NaCl lausn og hrært í með segulhræru, sjá Mynd 15. Rúmþyngd mettaðrar NaCl lausn við stofuhita er  $1,202 \text{ g/cm}^3$ . Miðað við það ætti það að vera tiltölulega auðvelt að skilja frá svifryk með rúmþyngd um 0,8 til  $1,0 \text{ g/cm}^3$ , sbr. Tafla 3, í ljósi þess að rúmþyngd fylliefna í malbiki er um  $2,5 \text{ g/cm}^3$ .



Mynd 15. Sýnaskilja með sýni í mettaðri saltlausn. Skiljan situr á segulhræru.

Í þessari rannsókn var unnið með þrjú sýni, sjá Tafla 5. Sýnin voru aðskilin í sýnaskiljunni í tvo hluta hvert, þ.e. léttan og þungan hluta. Hlutfallslegt magn hvors hluta er tilgreint í Tafla 5. Til viðmiðunar var haft sýni af venjulegu malbiki, og því var einnig skipt í léttan og þungan hluta. Malbikssýnið var fengið hjá Vegagerðinni og bar nafnið H3-9. Létti hluti sýnanna lá á bilinu frá 1,5 til 6,4 % og var malbikið innan þess bils.

Tafla 5. Svifryk í Hvalfjarðargöngum. Aðskilnaður með mettaðri saltlausn, þyngdarprósentur.

Stöð	Rúmþyngd minni en $1,2 \text{ g/cm}^3$ , %	Rúmþyngd meiri en $1,2 \text{ g/cm}^3$ , %
Stöð 4603 09052018	2,04	97,96
Stöð 2560 17102017	1,48	98,52
Stöð 2560 21032018	6,42	93,58
Malbikssvarf (H3-9) finna en $75 \mu\text{m}$	4,55	95,45

Sýni til greiningar í rafeindasmásjá voru útbúin af hverjum léttum hluta, malbikið þar með talið. Þar sem markmiðið með þessari rannsókn var að rannsaka kolefnisríkan grunnmassa og smágernt svifryk var ekki ástæða til að rannsaka þunga hlutann. Sýnin voru límd saman með epoxy, slípuð niður og yfirborð þeirra kolefnishúðað. Malbikssýnið var gullhúðað.



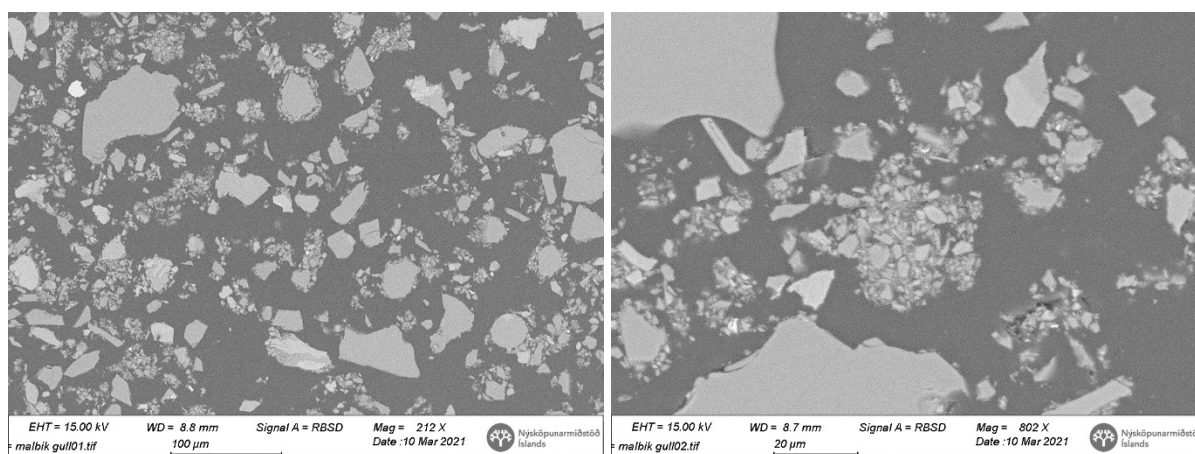
## Efnagreiningar – rafeindasmásjá

Ryksýni úr Hvalfjarðargöngum voru rannsökuð í rafeindasmásjá (SEM) á Nýsköpunarmiðstöð Íslands. Um er að ræða sömu sýni og voru rannsökuð í fyrri áföngum<sup>1</sup>. Í þessari rannsókn var lögð áhersla á korn sem eru minni en 10  $\mu\text{m}$ , þ.e. svifryk. Rannsóknin fólst í því að taka myndir af sýnunum í mismikilli stækkun og svo að efnagreina valin korn. Myndirnar sem birtar eru í þessari skýrslu eru s.k. „backscattered“ myndir, þær gefa hugmynd um samsetningu þeirra steinda eða annarra fasa ryksins sem verið er að efnagreina. Niðurstöður efnagreininganna eru birtar sem frumefnagreiningar. Ekki var reynt að reikna út samsetningu þeirra fasa sem eru til staðar í sýnunum. Styrkur kolefnis var greindur í völdum sýnum, en þar sem sýnin voru húðuð með kolefni eru kolefnisgreiningar með rafeindasmásjánni ekki áreiðanlegar. Til þess að auka áreiðanleika greininganna var malbikssýnið gullhúðað, en þannig var hægt að fá mat á hversu raunhæfar kolefnisgreiningarnar eru. Einnig var styrkur súrefnis efnagreindur í sérhverju korni; búast má við að súrefnisgreiningarnar séu ekki sérlega áreiðanlegar. Allar efnagreiningarnar voru uppreiknaðar í 100 % til samans.

### Malbik – H3-9

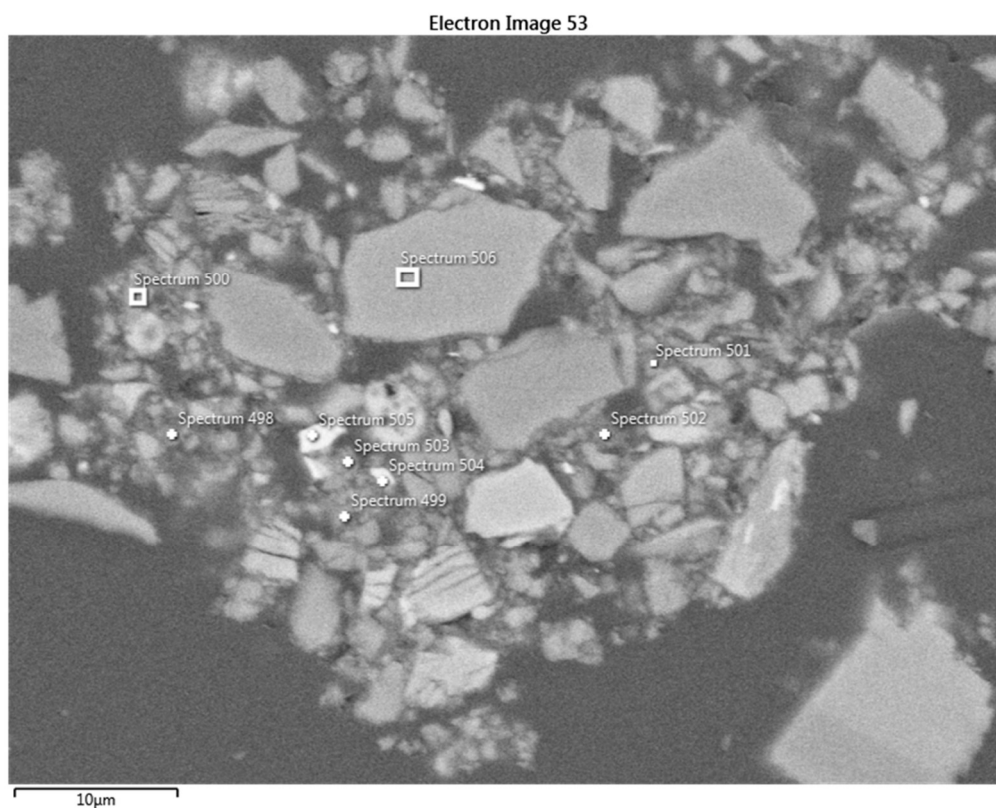
Byrjað var á því að greina hreint malbik sem malað var niður með demantsbor. Sýnið var unnið niður í fínt svarf með smáum (10 cm þvermál) kjarnabor. Svarfið var síðan sigtað á 75  $\mu\text{m}$  sigti. Efni smærra en 75  $\mu\text{m}$  var skoðað í þessari rannsókn. Fyrir greiningu með rafeindasmásjá var sýnið gullhúðað en ekki kolefnishúðað eins og vaninn hefur verið í þessu verkefni. Gullhúðun tryggir áreiðanlegri kolefnisgreiningar, aðeins ætti að greinast kolefni í bikinu, ekkert kolefni ætti að vera til staðar í þessum fylliefnum. Almennt má segja að kolefnishúðun tryggir betri efnagreiningar.

Á Mynd 16 má sjá mynd af sýni í bæði 212 x og 802 x stækkun. Sjá má stök fylliefniskorn og svo köggla úr smáum fylliefniskornum, bundin saman með biki.



Mynd 16. Rafeindasmásjármynd af malbiki (H3-9). Myndin t.v. er tekin í 212 x stækkun og myndin t.h. í 802 x stækkun. Malbikið var sorfið niður og sigtað á 75  $\mu\text{m}$  sigti. Sjá má stök fylliefniskorn og svo köggla af smáum fylliefniskornum, bundin saman með biki. Lengdarkvarði er til vinstri niðri.

Mynd 17 sýnir staðsetningar á níu efnagreiningum og niðurstöður greininganna er að finna í Tafla 6.



Mynd 17. Rafeindasmásjármynd af malbiki (H3-9). Á myndinni má sjá staðsetningu á efnagreiningum 498 til 506. Krossar sýna staðsetningu á punktgreiningum og ferhyrningar sýna staðsetningu á svæðum sem hafa verið efnagreind saman. Lengdarkvarði í vinstra horni niðri.

Greiningar nr. 505 og 506 eru gerðar á fylliefnum. Kolefnið í greiningunum liggur á bilinu 5 til rúmlega 8 %. Greiningar 499, 500, 501, 502 og 503 eru gerðar á bikinu. Kolefnismagnið liggur á bilinu 25 til 52 %. Áhugavert er að í þessum greiningum greinist töluvert magn af kísli eða á bilinu frá um 10 til 20 %.

Tafla 6. Malbik H3-9. Niðurstöður efnagreininga á bæði svifryki og grunnmassa í þyngdarprósentum. Staðsetningar efnagreininganna eru sýndar á myndinni hér fyrir ofan.

Greining	498	499	500	501	502	503	504	505	506
C	44.34	32.04	25.18	33.3	51.65	39.97	25.17	8.53	5.08
O	29.48	39.96	43.6	39.62	26.03	33.9	31.52	29.86	47.92
Na	2.5	2.63	4.8	3.26	2.4	2.36	0.57		3.2
Mg	0.41	0.17	0.33		0.28	0.17	0.61		
Al	4.63	3.81	6.26	5.25	4.34	3.77	1.7	0.27	13.8
Si	14.14	19.83	17.75	15.75	12.68	10.31	3.89	0.97	22.14
S	0.57	0.3	0.36	0.43	0.41	0.55			
Cl					0.15				
K	0.55	0.39	0.44	1.38	0.39	0.99	0.25		
Ca	1.15	0.49	0.83	0.5	0.85	0.26	0.21		7.22
Ti						1.45	8.35		
Fe	2.23	0.38	0.45	0.5	0.83	6.28	27.72	60.36	0.63
Heild	100	100	100	100	100	100	100	100	100



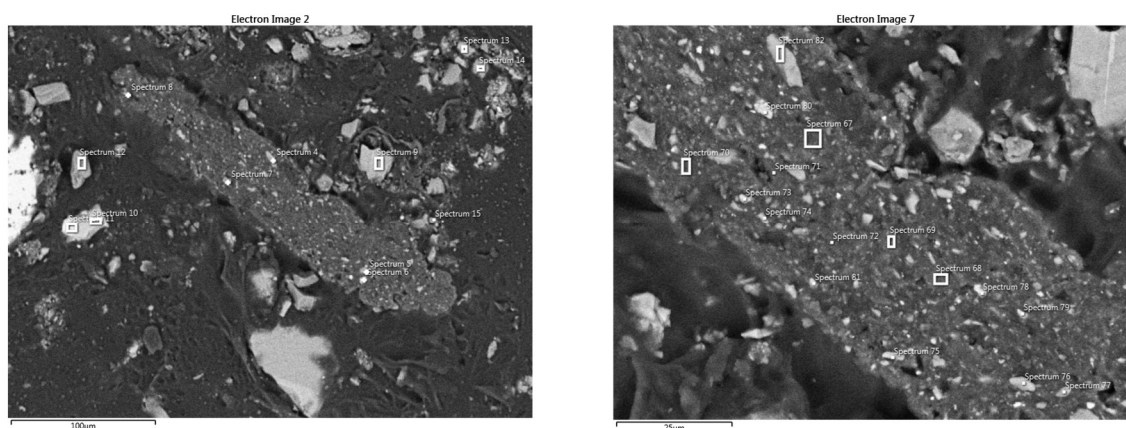
Sambærilegar greiningar bikinu eins og þeim sem lýst er hér að ofan, voru gerðar á tveimur svæðum til viðbótar, alls 29 greiningar. Meðaltal af niðurstöðum greininga á hverju svæði og enn fremur meðaltal allra greininganna er birt í Tafla 7. Svipaðar niðurstöður fengust úr greiningunum.

Tafla 7. Malbik H3-9. Meðaltöl af niðurstöðum 29 efnagreininga á biki í þyngdarprósentum. Tölurnar í svigum sýna fjölda greininga per meðaltal.

Svæði	1 - meðaltal (4)	2 - meðaltal (19)	3 – meðaltal (6)	Heildarmeðaltal
C	40.42	40.04	37.75	<b>39.40</b>
O	33.73	33.42	35.43	<b>34.19</b>
Na	2.13	1.94	2.99	<b>2.35</b>
Mg	0.28	0.58	0.27	<b>0.38</b>
Al	5.63	4.13	4.68	<b>4.81</b>
Si	13.73	16.37	15.08	<b>15.06</b>
S	0.36	0.54	0.44	<b>0.44</b>
Cl	0.22	0.27	0.15	<b>0.21</b>
K	3.22	1.50	0.69	<b>1.80</b>
Ca	2.19	0.92	0.68	<b>1.26</b>
Ti		0.44	1.45	<b>0.94</b>
Fe	0.79	1.82	1.78	<b>1.46</b>
Heild	100	100	100	<b>100</b>

#### Stöð 4603 09052018

Töluvert var um samsett korn í sýninu, þar sem smá fylliefniskorn eru bundin saman af kolefnisríkum grunnmassa, sjá Mynd 18. Kornid sem sést allt á myndinni til vinstri er tæplega 300 µm á lengd og um 50 µm á breidd. Þetta korn og önnur í sýninu er svipað sambærilegum kornum sem hafa fundist í fyrri áföngum þessarar rannsóknar<sup>2,3</sup>. Smáu fylliefnin sem eru bundin í grunnmassanum eru stærst um 12-13 µm á lengd (greining nr. 82, Tafla 9), en flest kornanna eru töluvert smærri.



Mynd 18. Rafeindasmásjármýndir af sýni úr stöð 4603 09052018. Á myndinni t.h. má sjá staðsetningu á efnagreiningum 67 til 72 sem gerðar voru á kolefnisríka grunnmassanum. Krossar sýna staðsetningu á punktgreiningum og ferhyrningar sýna staðsetningu á svæðum sem hafa verið efnagreind saman. Lengdarkvarði við hvora mynd er í vinstra horni niðri.

Í Tafla 8 eru sýndar niðurstöður efnagreininga nr. 67 til 72, en þær voru allar gerðar á kolefnisríka grunnmassanum. Meðaltal allra greininganna er einnig sýnt.



Tafla 8. Stöð 4603 090518. Niðurstöður efnagreininga á kolefnisríkum grunnmassa í þyngdarprósentum. Staðsetningar efnagreininganna eru sýndar á myndinni hér fyrir ofan.

Greining nr.	67	68	69	70	71	72	Grunnmassi, meðaltal
C	71.24	68.76	63.43	68.33	74.26	70.68	69.45
O	13.98	16.3	19.23	14.91	14.32	15.18	15.65
Na		0.38	0.36	0.86	0.44	0.34	0.48
Mg	0.62	0.6	1.03	0.47	0.38	0.71	0.63
Al	2.18	2.32	1.89	3.04	1.9	2.2	2.26
Si	6.87	6.25	7.47	7.73	4.8	5.61	6.46
S	0.82	0.9	0.87	0.71	0.79	0.78	0.81
Cl			0.22	0.16	0.17	0.2	0.19
K	0.22	0.27	0.2	0.17	0.21	0.27	0.22
Ca	0.87	0.82	2.05	0.97	0.57	0.97	1.04
Ti			0.3			0.24	0.27
Fe	2.51	2.77	2.36	2.08	1.69	2.18	2.27
Zn	0.7	0.64	0.6	0.58	0.47	0.64	0.61
Heild	100	100	100	100	100	100	100

Þar sem sýnið er kolefnishúðað bætist kolefni við efnagreininguna frá kolefnishúðinni. Fyrri rannsóknir sýna að kolefni í kolefnishúðinni gefur frá 10 til 20 % miðað við greiningar á fylliefnum. Miðað við þetta gæti kolefnishluti grunnmassa legið á á bilinu 50 til 60 %. Því magni ber ágætlega saman við greiningar á gullhúðuðu malbiki, sjá Tafla 6. Sé leiðrétt fyrir kolefni verður samsetning annarra efna svipuð greiningunum á bikinu í malbiki, þ.e. tiltölulega mikill kísill og ál, og minna af öðrum efnum. Einu efnin sem passa ekki við greiningu á malbiki er járn og sink, en mun meira er af þeim efnum í grunnmassa sýnis en í malbikinu.

Samsetning á smáum fylliefnakornum er tilgreind í Tafla 9. Greiningarnar benda til þess að um siliköt sé að ræða og bendir það eindregið til þess að um sé að ræða korn sem eiga uppruna að rekja til fylliefna í malbiki eða slitlagi í göngunum.



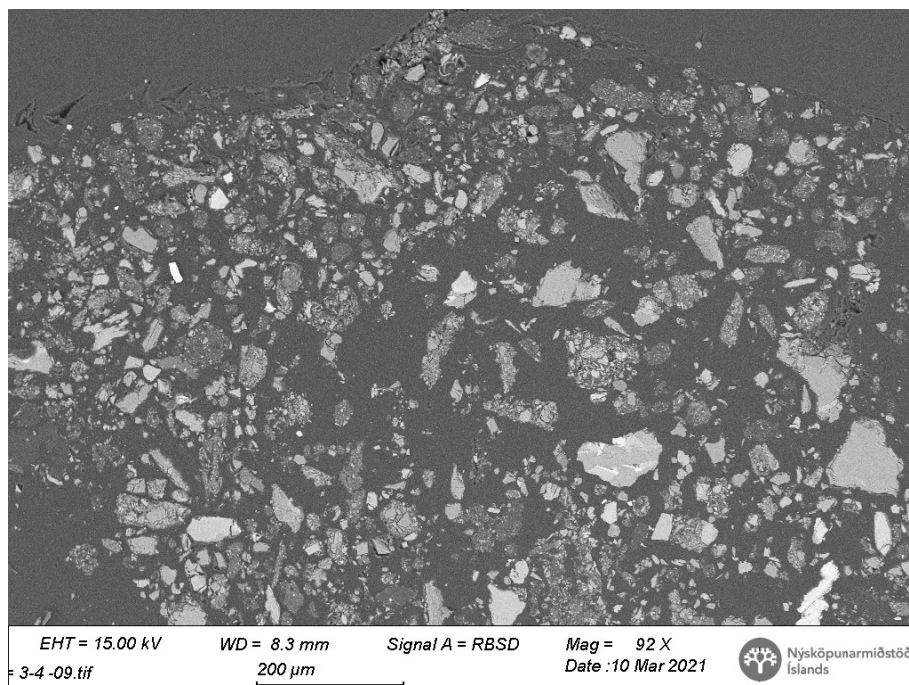
Tafla 9. Stöð 4603 090518. Niðurstöður efnagreininga á svifryk í þyngdarprósentum. Staðsetningar efnagreininganna eru sýndar á myndinni hér fyrir ofan.

Greining nr.	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82
C	26.79	35.96	38.84	28.33	36.1	37.14	36.19	23.24	36.47	21.81
O	37.38	36.61	28.47	36.62	35.67	25.71	27.62	31.4	30.48	36.04
Na		4.54	0.25	3.23	4.42			0.51		3.74
Mg		0.2	5.15		0.16	6.65	2.94	1.86		
Al	8.94	5.78	1.54	8.81	5.87	0.32	0.94	2.51	8.38	11.28
Si	11.65	15.71	13.56	18.37	16.54	9.12	13.24	15.97	10.51	22.15
S		0.19				0.14	0.16			
K				0.36				0.21		
Ca	10.24	0.63	7.48	3.69	0.65	0.25	6.93	9.2	9.73	4.97
Ti			0.46				0.45	2.65		
Mn							0.44			
Fe	4.99	0.39	4.26	0.58	0.58	20.68	11.07	12.45	4.42	
Heild	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Stöð  
2560

17102017

Á Mynd 19 má sjá fallryk í 92 x stækkun. Töluvert er um tiltölulega stór korn, bæði stök og samsett korn. Þar sem búið var að skipta sýninu í léttan og þungan hluta er nokkuð mikið af samsettum kornum. En einhverra hluta vegna eru tiltölulega stór einstök fylliefnakorn til staðar. Mögulega þyrfti að betrumbæta ferlið við skiljunina.

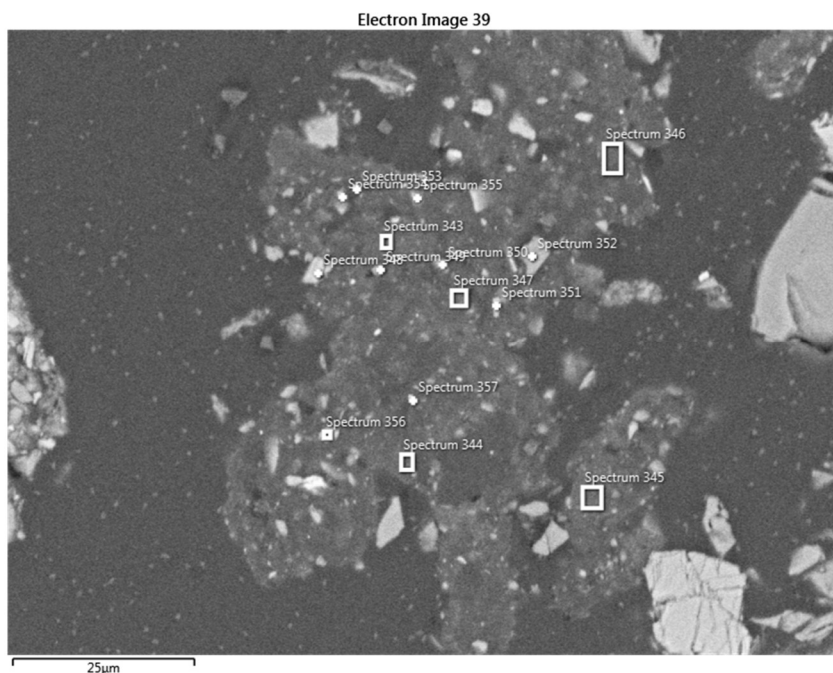


Mynd 19. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 2560 teknu 171017. Myndin er tekin í 92 x stækkun. Skipta má kornunum í tvo hópa, annars vegar stök fylliefniskorn úr malbiki og hins vegar tiltölulega smá korn sem bundin eru saman af gráleitu efni sem myndar einskonar grunnmassa. Lengdarkvarði er til vinstri niðri.

Á Mynd 20 má sjá dæmi um korn úr smágerðum fylliefnum og kolefnisríkum grunnmassa. Kornid er um 95  $\mu\text{m}$  á lengd og um 55  $\mu\text{m}$  á breidd. Í korninu má sjá tiltölulega smá korn bundin saman og umlukin af



grunnmassanum. Stærstu kornin umlukin grunnmassanum eru um 7  $\mu\text{m}$  á lengd. Smæstu kornin sem eru sæmilega greinanleg á myndinni eru smærri en 0.5  $\mu\text{m}$ .



Mynd 20. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 2560 teknu 171017. Kornid fyrir miðri mynd er dæmi um samsett svifrykskorn, þar sem smá korn eru bundin saman af finkorna grunnmassa. Á myndinni má sjá staðsetningu á efnagreiningum 343 til 357. Krossar sýna staðsetningu á punktgreiningum og ferhyrningar sýna staðsetningu á svæðum sem hafa verið efnagreind saman. Lengdarkvarði í vinstra horni niðri.

Efnagreiningar (nr. 343 til 347) voru gerðar á kolefnisríkum fasa af grunnmassanum. Niðurstöður þeirra eru gefnar í Tafla 10.

Tafla 10. Stöð 2560 frá 171017. Niðurstöður efnagreininga á kolefnisríkum grunnmassa í þyngdarprósentum. Staðsetningar efnagreininganna eru sýndar á myndinni hér fyrir ofan.

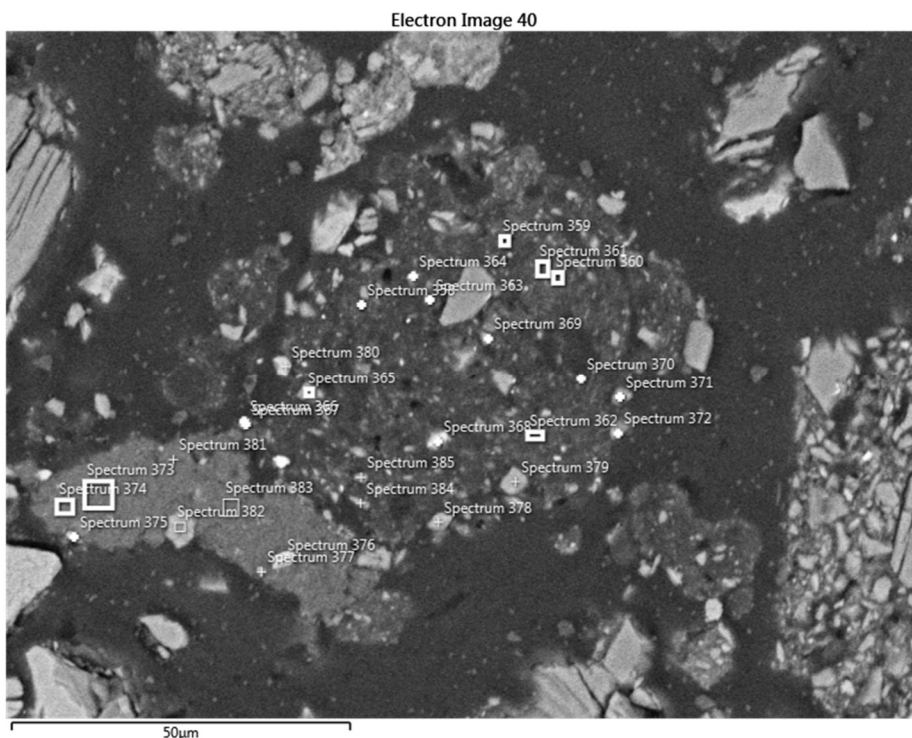
Greining nr.	343	344	345	346	347	Grunnmassi meðaltal
C	68.35	70.42	65.78	73.44	69.84	69.57
O	18.27	17.37	19.69	15.16	17.36	17.57
Na	0.3	0.36	0.27	0.21	0.35	0.30
Mg	0.4	0.29	0.39	0.27	0.38	0.35
Al	1.04	1.2	1.33	0.92	1.11	1.12
Si	7.72	6.8	8.83	5.98	7.06	7.28
S	1.13	0.83	0.8	0.86	0.94	0.91
Cl	0.37	0.4	0.46	0.5	0.48	0.44
K				0.26		0.26
Ca	0.64	0.58	0.86	0.74	0.7	0.70
Fe	1.25	1.26	1.21	1.22	1.36	1.26
Zn	0.54	0.49	0.4	0.46	0.43	0.46
Total	100	100	100	100	100	100

Efnagreiningarnar í Tafla 10 eru mjög svipaðar og efnagreiningar af grunnmassa sem eru tilgreindar í Tafla 8, járnmagnið er aðeins lægra.





Á Mynd 21 má sjá annað dæmi um svifryk umlukið kolefnisríkum grunnmassa. Svifrykskornin eru frá um 5 x 10  $\mu\text{m}$  (þau stærstu) og niður í um 2,5  $\mu\text{m}$ . Smærri korn eru til staðar en erfitt er að greina þau. Stóra grunnmassakornið er um 60 x 55  $\mu\text{m}$  að stærð.



Mynd 21. Rafeindasmásjámynd af ryksýni úr stöð 2560 teknu 171017. Kornid fyrir miðri mynd er dæmi um samsett svifrykskorn, þar sem smá korn eru bundin saman af finkorna grunnmassa. Á myndinni má sjá staðsetningu á efnagreiningum 358 til 385. Krossar sýna staðsetningu á punktgreiningum og ferhyrningar sýna staðsetningu á svæðum sem hafa verið efnagreind saman. Lengdarkvarði í vinstra horni niðri.

Niðurstöður efnagreininga á kolefnisríka grunnmassanum (nr. frá 358 til 362 og 385) eru sýndar í Tafla 11.

Tafla 11. Stöð 2560 frá 171017. Niðurstöður efnagreininga á kolefnisríkum grunnmassa í þyngdarprósentum. Staðsetningar efnagreininganna eru sýndar á myndinni hér fyrir ofan.

Greining nr.	358	359	360	361	362	385	Grunnmassi, meðaltal
C	69.67	71.39	64.91	65.94	66.99	66.78	67.61
O	17.12	15.11	18.81	18.11	17	16.67	17.14
Na	0.57	0.37	0.41	0.64	0.28	0.38	0.44
Mg	0.35	0.47	0.41	0.47	0.16	0.18	0.34
Al	2.35	1.97	1.5	1.77	1.39	1.26	1.71
Si	5.27	5.6	9.61	8.97	10.79	11.68	8.65
S	0.91	0.79	0.96	0.91	0.92	0.39	0.81
Cl	0.42	0.31	0.31	0.25	0.23	0.5	0.34
K	0.29				0.27		0.28
Ca	0.93	1.02	0.72	0.81	1.17	0.64	0.88
Fe	1.19	2.36	2.35	2.12	0.8	1.53	1.73
Zn	0.93	0.62					0.78
Total	100	100	100	100	100	100	100



Í Tafla 12 eru sýndar niðurstöður efnagreininga á einstökum svifrykskornum sem eru bundin saman í kolefnisríka fasanum sem sjá má á Mynd 21.

Tafla 12. Stöð 2560 frá 171017. Niðurstöður efnagreininga á svifrykskornum í þyngdarprósentum. Staðsetningar efnagreininganna eru sýndar á myndinni hér fyrir ofan.

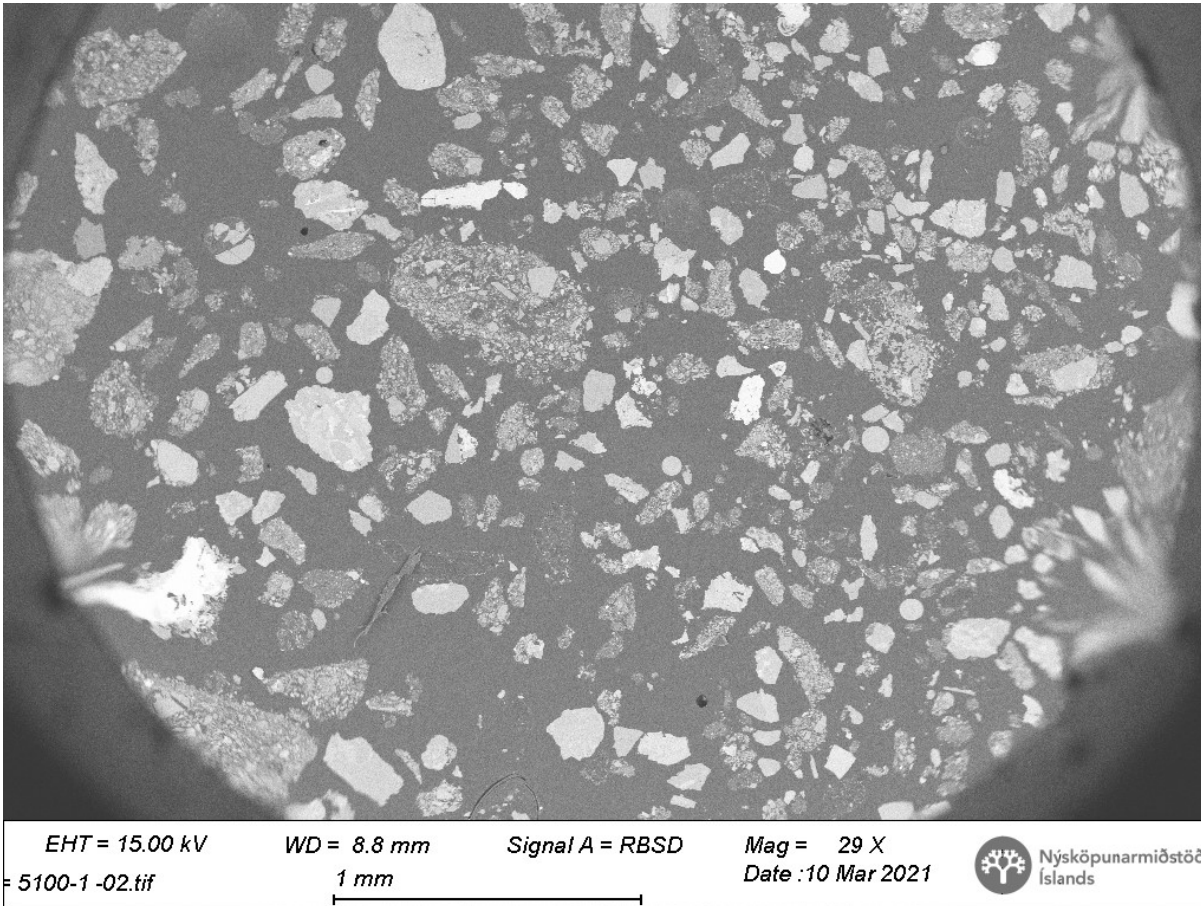
Greining nr.	363	364	365	366	367	368	369	371	372	373	374	375
C	46.12	32.43	27.04	18.23	22.19	14.97	34.98	32.75	40.78	35.68	33.44	28.13
O	31.04	31.58	39	24.01	25.42	26.04	32.82	39.7	33.37	37.44	38.78	37.6
Na	0.55	0.86	5.26				0.37		2.38			0.61
Mg	0.3	0.28					3.93					2.37
Al	2.86	2.02	7.81	0.23	0.29	1.38	1.37		7.09	10.73	11.35	4.9
Si	5.6	6.98	19.69	0.19	0.33	0.7	12.72	27.55	12.62	13	13.46	12.42
P		0.19										
S	0.34											
Cl									0.12	0.31		
K	0.35	0.98										
Ca	1.57	0.69	1.2			0.36	5.42		3.23	0.29	0.29	5.5
Ti		10.87				7.82	0.31			1.4	1.48	1.9
Fe	11.26	13.14		57.34	51.77	48.73	8.08		0.42	1.15	1.21	6.57
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Efnagreiningar á svifrykskornum benda til þess að uppruni flestra þeirra sé fylliefni úr malbiki sem siliköt eða járn-títaníum oxíð. Þau sem flokkast ekki sem siliköt eru járnnoxíð. Ekki er hægt að útiloka að uppruni járnnoxíðkorna tengist farartækjum sem fara um göngin. Áhugavert er að töluvert greinist af kolefni í þessum kornum, en það bendir til þess að kolefnið sé að hluta til upprunið úr kolefnismassanum sem umlykur kornin. Sé það rétt, þá eru kornin sem verið er að greina of smá fyrir greiningu með rafeindasmásjá, a.m.k. miðað við þá uppsetningu beitt var við greininguna.

Stöð 5100 190820 – gangstétt

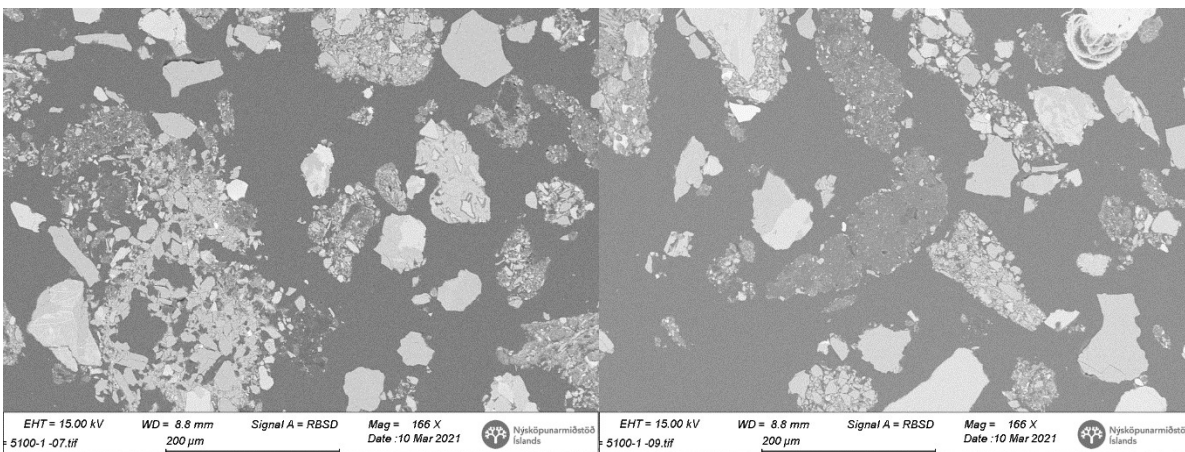
Þessu sýni, sem rannsakað var með rafeindasmásjá, var ekki skipt í þungan og léttan hluta.

Á Mynd 22 má sjá rafeindasmásjármynd af sýninu í aðeins 29 x stækkun. Stærsta kornið, u.þ.b. fyrir miðri mynd, er um 370 x 665 µm að stærð. Kornadreifingin virðist vera nokkuð jöfn niður í um 45 µm korn. Samsetning kornanna er svipuð og áður, þ.e. kolefnisríkur grunnmassi sem bindur smærri korn saman og fylliefnisagnir úr malbiki. Þó má sjá korn af öðrum toga, eins og t.d. sementssteindir hvers uppruni er sprautusteypan í göngunum, járnnoxíð og aluminiumoxíð. Einnig má finna hringlaga (kúlulaga?) korn, sbr. Mynd 25, sem eru einhvers konar siliköt.



Mynd 22. Rafeindasmásjármynd af fallryki úr stöð 5100 190820, sýnið er tekið af gangstétt. Myndin er tekin í 29 x stækkun. Sýnið er frekar grófkorna. Sjá má stök fylliefniskorn og svo köggla úr smáum fylliefniskornum, bundin saman með biki. Lengdarkvarði er fyrir miðri mynd niðri.

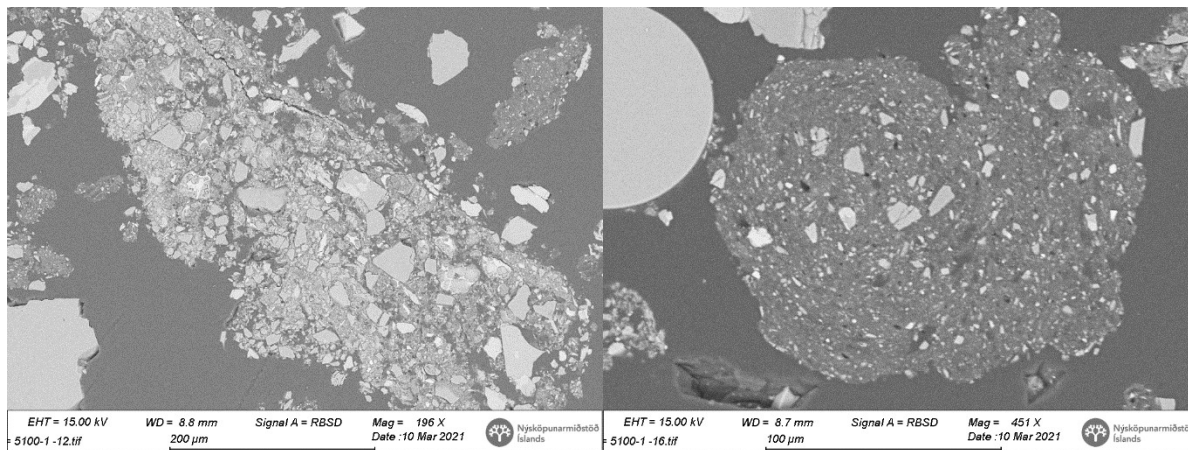
Á Mynd 23 má sjá tvær myndir af fallrykskornum. Á myndunum sjást bæði samsett og stök korn á stærðabilinu frá um 300  $\mu\text{m}$  á lengd og niður í um 15 til 20  $\mu\text{m}$ .



Mynd 23. Rafeindasmásjármyndir af fallryki úr stöð 5100 190820, sýnið er tekið af gangstétt. Myndirnar eru teknar í 166 x stækkun. Sýnið er frekar grófkorna. Sjá má stök fylliefniskorn og svo köggla úr smáum fylliefniskornum, bundin saman með biki. Lengdarkvarði fyrir hvora mynd er fyrir miðri mynd niðri.

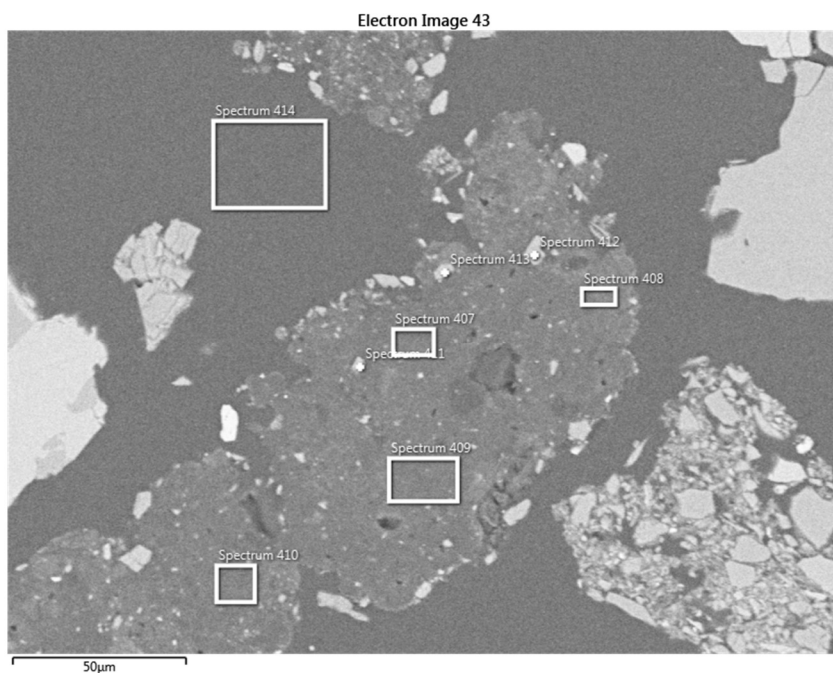
Á Mynd 24 má sjá tvær rafeindasmásjármyndir af fallrykinu. Á myndinni til vinstri er tiltölulega stórt samsett korn. Kornid er um 600  $\mu\text{m}$  á lengd og um 240  $\mu\text{m}$  á breidd. Steindirnar sem eru umluktar grunnmassanum eru frá um 55  $\mu\text{m}$  á lengd og niður í 5-10  $\mu\text{m}$ . Á myndinni til hægri má sjá um 150 x 130  $\mu\text{m}$  stórt samsett korn,

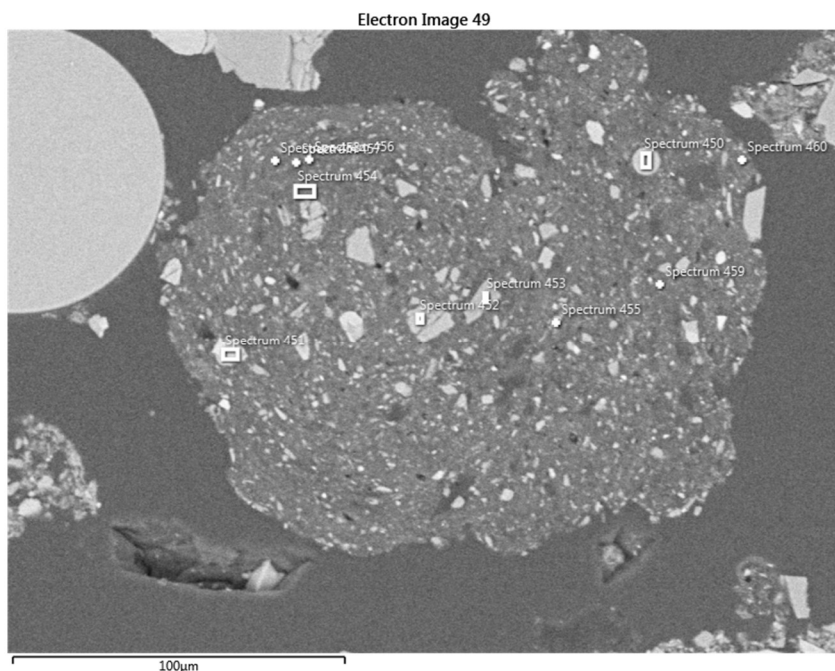
með steindum sem eru frá um 5 til 15  $\mu\text{m}$  að stærð. Í stóra korninu á myndinni til hægri má greina að smáurykkornin hafi að einhverju leyti stefnubundna legu, eins og samsetta kornið hafi rúllast upp.



Mynd 24. Rafeindasmásjarmyndir af fallryki úr stöð 5100 190820, sýnið er tekið af gangstétt. Myndin t.v. er tekin í 196 x stækkun og myndin t.h. er tekin í 451 x stækkun. Myndin t.v. sýnir tiltölulega stórt samsett korn, bundið saman með ljósgráum grunnassa. Myndin t.h. sýnir stóran klump af kolefnisríkum grunnassa með smáum svifrykskornum. Lengdarkvarði fyrir hvora mynd er fyrir miðri mynd niðri.

Á Mynd 25 má sjá staðsetningar nokkurra efnagreininga á kolefnisríkum grunnassa.





Mynd 25. Rafeindasmásjarmyndir af fallryki úr stöð 5100 190820, sýnið er tekið af gangstétt. Á efri myndinni má sjá staðsetningu á efnagreiningum nr. 407 til 414 og á neðri myndinni má sjá staðsetningu á greiningum nr. 450 til 460. Krossar sýna staðsetningu á punktgreiningum og ferhyrningar sýna staðsetningu á svæðum sem hafa verið efnagreind saman. Lengdarkvarði í vinstra horni niðri.

Niðurstöður efnagreininga á kolefnisríka grunnmassanum eru sýndar í Tafla 13. Niðurstöður greininganna eru svipaðar og fyrri greiningar.

Tafla 13. Stöð 5100 frá 190820. Niðurstöður efnagreininga á kolefnisríkum grunnmassa í þyngdarprósentum. Staðsetningar efnagreininganna eru sýndar á myndum hér fyrir ofan.

Greining nr.	407	408	409	410	454	456	457	458	459	Grunnmassi meðaltal
C	79.31	72.84	78	78.35	67.8	64.12	71.37	68.61	68.55	72.11
O	11.47	15.82	11.57	11.38	17.26	20.95	16.77	18.28	17.69	15.69
Na		0.42			0.69	0.25	0.67	0.41	0.71	0.53
Mg	0.17		0.17		0.6	0.66	0.47	0.39	0.59	0.44
Al	0.32	0.57	0.44	0.39	2.62	1.76	2.05	2.2	2.18	1.39
Si	5.94	7.92	6.32	6.34	5.74	7.03	4.56	4.88	5.12	5.98
S	1.28	1.24	1.39	1.36	0.89	0.84	0.72	0.83	1.04	1.07
Cl	0.25	0.25	0.23	0.36		0.24	0.21	0.22		0.25
K							0.22	0.38		0.30
Ca	0.26	0.34	0.41	0.4	1.3	0.77	1.19	1.04	1.53	0.80
Ti								0.28		0.28
Fe		0.61	0.47	0.67	2.43	2.36	1.76	1.89	2.58	1.60
Zn	1.01		0.99	0.75	0.65	1		0.61		0.84
Heild	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

## Samsetning og uppruni svifryks í Hvalfjarðargöngum

Samsetning svifryks í Hvalfjarðargöngum er, eins og komið hefur fram í fyrri áföngum þessa verkefnis, blanda af slitleifum úr slitlagi, bæði fylliefni og bindiefni, slitleifum af hjólbörðum og útblæstri ökutækja. Vegna



aðstæðna hafa utanaðkomandi þættir eins og sandfok og veðurfarslegir þættir, svo sem úrkoma og vindur, lítil áhrif á samsetninguna. Í þessari rannsókn fannst einnig musl úr sprautusteypu í fallryki safnað við jörðu í stöð 5100.

Kornastærð sýnanna sem var safnað í þessu verkefni er mjög svipuð, enda var sýnunum safnað af svæðum við svipaðar aðstæður, þ.e. ofan af skápum í 1 m til 1,8 m hæð, en mestmegnis af flötum í 1,6 til 1,8 m hæð uppi við gangavegg. Hlutfall smærra efnis en 2,5  $\mu\text{m}$ , þ.e. raunverulegt svifryk, liggur á bilinu 4,3 til 5,6 % og hlutfall smærra efnis en 10  $\mu\text{m}$  er á bilinu 15 til 20 %. Miðað við þessar niðurstöður hefur dekkjagerðin (þ.e. sumar-eða vetradekk) ekki áhrif á kornastærð ryksins, aðeins magnið af rykinu. Of er talað um að umferðaryrk þurfi að vera smærra en 10  $\mu\text{m}$  til þess að berast í lofti. Ef svo er, næði „aðeins“ 20 % að hámarki af rykinu í Hvalfjarðargöngum að verða loftborið utan gangnanna.

Í fyrri rannsókn voru sýni m.a. rannsökuð með rafeindasmásjá. Sami háttur var hafður á í þessari rannsókn, sömu sýnin voru rannsökuð nýjan leik með rafeindasmásjá, en eftir breyttan undirbúning. Í þessari rannsókn voru sýnin fyrst meðhöndluð í sýnaskilju þar sem léttara efni en 1,2  $\text{g}/\text{m}^3$  var skilið frá þyngra efni. Í fyrri áföngum kom í ljós að svifryk úr Hvalfjarðargöngum er samsett úr tvennskonar fösum, annars vegar stakar steindir sem eru allt að 100  $\mu\text{m}$  að stærð og hins vegar samsettum kornum með tiltölulega mörg smá korn (< 10  $\mu\text{m}$ ) bundin saman af kolefnisríkum grunnmassa. Í þessum áfanga var einblínt á þessi samsettu korn.

Kornin sem bundin eru af kolefnisríka grunnmassanum liggja á stærðabilinu frá 13  $\mu\text{m}$  og niður fyrir 0,5  $\mu\text{m}$ , en erfitt er að greina smærri korn. Svifrykskornin sem voru rannsökuð í þessari rannsókn voru um 500 og í fyrri rannsóknum um 900 og eru meira eða minna komin úr fylliefnum í malbiki. Járnoxíð finnst í grunnmassanum, uppruni þess getur verið margvíslegur.

Hvað varðar kolefnisríka grunnmassann getur kolefnið hafa komið úr bikinu í slitlaginu, sem leifar frá dekkjasliti eða sem sótagnir í útblæstri. Að einhverju leyti geta bremsuborðar o.f.þ.h. einnig lagt til kolefni, en væntanlega ekki í nægjanlegu magni til að skipta máli. Erfitt er að greina á milli þessara þátta en með því að styðjast við einkennandi efni fyrir sérhvern þátt er hægt að nálgast upprunann. Útblástur er hár í brennisteini og hjólbarðaleifar hafa tiltölulega mikið sink og króm, svo dæmi sé tekið.

Nýtt malbikssýni var sorfið niður og svarfið skoðað í rafeindasmásjá. Að mörgu leyti líkist svarfið venjulegu fallryki úr göngunum, er bæði stök og samsett korn. Eini munurinn er sá að samsettu kornin eru mun smærri en í rykinu úr Hvalfjarðargöngum og kolefnisríki grunnmassinn er frekar rýr. Segja má að með því að sverfa malbik niður með demantskrónu sé verið að líkja eftir vegsliti.

Efnagreiningar á kolefnisríka grunnmassanum voru gerðar á kolefnishúðuðum sýnum. Greining á kolefni í sýnum með kolefnishúðun er ekki nákvæm þar sem efnagreiningin fær þá aukaskammt af kolefni, meðan ekkert kolefni bætist við þegar gullhúðuð sýni eru efnagreind. Erfitt er að ákvarða hve mikið kolefni bætist við og leiðrétting vegna kolefnis úr kolefnishúð yrði ónákvæm og óréttlæt看anleg. Ef greining á kolefnisríkum grunnmassa í malbiksýni H3-9 er lögð til grundvallar og endurreiknuð þannig að kolefnismagnið sé sett það sama og meðaltalsgildið fyrir kolefni í grunnmassa sýna úr Hvalfjarðargöngum fæst efnagreining sem er sláandi lík efnagreiningum á kolefnisríka grunnmassanum úr Hvalfjarðargöngum, sjá Tafla 14. Nokkuð sink greindist í grunnmassa sýnanna úr Hvalfjarðargöngum en ekkert í grunnmassanum úr malbikinu. Ef sink er einkennisefni fyrir dekkjaslit bendir það til þess að kolefnið sé að verulegu leyti upprunnið í leifum af dekkjasliti. Áhugavert er að töluvert magn af kísli greindist í báðum sýnagerðunum, þ.e. malbikssýninu og ryksýnunum. Uppruni kísils getur varla verið annar en fylliefnin. Sé svo má mögulega segja það sama um mörg önnur efni eins og t.d. alumíníum, kalsíum og járn. Mögulega er til staðar í grunnmassanum örsmátt efni með uppruna úr fylliefnum og greinist í greiningum á grunnmassanum. Töluvert greinist af brennisteini í grunnmassanum í rykinu úr Hvalfjarðargöngum, reyndar einnig í malbiki H3-9. Ef brennisteinn er einkennisefni fyrir útblástur frá bifreiðum má segja að útblástur bifreiða hefur einhver áhrif einhver á samsetningu ryksins. Þau gögn sem safnað



hefur verið í þessari rannsókn sýna ekki fram á framlag biksins í myndun kolefniríka grunnmassans. Væntanlega er hægt að greina það með RAMAN eða IR spectroscopy.

Tafla 14. Samanburður á kolefnisríkum grunnmassa í vegsliti úr Hvalfjarðargöngum og svarfi úr nýju malbiki.

	Grunnmassi, meðaltal Hvalfjarðargöng	Malbik H3-9, endurreiknað meðaltal	Malbik H3-9, upphaflegt meðaltal
C	68.88	68.88	39.4
O	16.79	16.92	34.19
Na	0.41	1.16	2.35
Mg	0.44	0.19	0.38
Al	1.70	2.38	4.81
Si	7.46	7.45	15.06
S	0.84	0.22	0.44
Cl	0.32	0.10	0.21
K	0.25	0.89	1.8
Ca	0.87	0.62	1.26
Ti	0.27	0.47	0.94
Fe	1.75	0.72	1.46
Zn	0.62	0	0

Sýnin úr stöð 5100 sem safnað var af gangstétt í veghæð er tiltölulega grófkorna. Engu að síður hefur rykið sömu eiginleika og annað fallryk, þ.e. það er samsett úr stökum kornum og samsettum kornum. Áhugavert er að samsettu kornin eru stærri en vanalega og það á einnig við kornin sem bundin eru í grunnmassanum. Mögulega má sjá merki um að samsettu kornin hafi byggst upp við að velta um og safna á sig fíngerðu efni. Sjá mátti korn hvers uppruni var sprautusteypan í göngunum.

## Umræða og samantekt

Miðað við greiningar sem gerðar voru í þessari rannsókn á uppruna ryks sem safnað var úr Hvalfjarðargöngum yfir tímabilið 17.01.17 til 13.06.18, má rekja upprunann að mestu til fylliefna í malbiki og svo vegna slits á dekkjum. Gögn, sem safnað hefur verið í þessari rannsókn, sýna ekki með óyggjandi hætti að bik (bindiefni malbiksins) sé hluti af rykinu. Hins vegar er eðlilegt að álykta að bikið slitni í réttu hlutfalli við hluta þess í malbiki á móti hluta fylliefna. Því má segja að malbikið í göngunum sé langstærsti þáttur í uppruna fallryks í Hvalfjarðargöngum og leifar af dekkjasliti komi þar næst á eftir. Ryk sem myndast vegna útblásturs frá ökutækjum sem fara um göngin, sem og vegna slits bremsborða, eru einnig þáttur í rykmynduninni í göngunum, sbr. snefilefnagreiningar úr fyrri rannsókn. Ekki er hægt að segja nákvæmlega til um hlut hvers þáttar. Kornarúþyngd ryksins mælist tiltölulega lág eða frá 0,8 til 1 g/cm<sup>3</sup> sem bendir til þess að verulegur hluti ryksins samanstandi af léttu efni, sjá Tafla 3. Léttu efnið í svifryki er kolefni, eðlisþyngd bikbindiefnis er rétt rúmlega 1 g/cm<sup>3</sup> og fylliefni í malbiki hafa eðlisþyngd meiri en 2,4 g/cm<sup>3</sup>. Miðað við að meirihluti ryksins sé fylliefni, kemur nokkuð á óvart að kornarúþyngd þess mælist lág. Mögulega má rekja lág gildi til þess að illa hafi gengið að pakka sýninu saman þegar kornarúþyngdarmælingin var gerð.

Ljóst er að utanaðkomandi efni eins og t.d. jarðvegur, foksandur eða eldfjallaaska eru a.m.k. ekki stór hluti ryksins í Hvalfjarðargöngum. Efnasamsetning silikatanna sem greindust í svifryki bendir til þess að þau séu að langmestu leyti upprunnin sem erlend fylliefni í malbikinu.



Umferðartengt ryk, hvort sem það kallast fallryk eða svifryk, hafa svipaða ásýnd hvað varðar kornagerðina. Kornagerðin er annars vegar stök korn, upprunnin úr fylliefnum í malbikinu og hins vegar samsett efni, þar sem smá korn mynduð úr fylliefnum í malbiki eru umlukin kolefnisríkum grunnmassa. Kolefnisríki grunnmassinn er myndaður úr leifum af dekkjaslit og biki.

Kornastærðargreiningar á rykinu benda til þess að hluti eiginlegs svifryks ( $< 2,5 \mu\text{m}$ ) liggi á bilinu 4,3 til 5,6 % og allt svifryk ( $< 10 \mu\text{m}$ ) liggi á bilinu 15 til 22 %, sjá Tafla 4. Kolefnið í rykinu bindur að því er virðist tiltölulega mikið af fínu ryki og myndar tiltölulega stór samsett korn, sem sökum stærða sinnar eru ólíklegt til að berast langt frá upprunastað. Þannig má e.t.v. segja að kolefnið dragi úr myndun fíns svifryks. Þó ber að hafa í huga að sýnunum var flestum safnað í 1,6 til 1,8 m hæð, en nálægt upprunastaðnum.

Þar sem kolefnisríki grunnmassinn bindur töluvert af fínu efni, þá dregur hann úr myndun fíngerðs svifryks. Fína svifrykið er einn af stóru áhættuþáttum varðandi heilsu fólks. Annar stór áhættuþáttur er myndun umferðatengds örplasts. Með örplasti er átt við leifar af dekkjaslit og mögulega bik, þótt bik flokkist alla jafna ekki sem plast. Ljóst er að dekkjaslit og bik mynda tiltölulega stór korn sem að öllu jöfnu berast ekki með lofti. Hins vegar getur ryk sem safnast fyrir á yfirborði vega borist til sjávar um yfirborðsdrenlagnir. Ef slíkt efni berst til sjávar getur það borist í fæðukeðjuna og valdið skaða.

## Þakkarorð

Vegagerðinni er þakkað fyrir stuðning við þetta verk. Birgi Jóhannessyni og Jóni Matthíassyni er þökkuð aðstoð við rafeindasmásjár greiningarnar. Ásbirni Jóhannessyni er þökkuð aðstoð við skýrsluskrif.