

Samsetning og uppruni svifryks í Hvalfjarðargöngum

Desember 2019





Efnisyfirlit

Myndaskrá.....	i
Töfluskrá.....	iii
Inngangur	1
Sýnataka í Hvalfjarðargöngum	2
Rannsóknir frá fyrri áfanga	4
Umferð um Hvalfjarðargöng árin 2016 og 2017	4
Styrkur svifryks í Hvalfjarðargöngum	4
Kornastærðagreining og rúmpýngdarmælingar	7
Setmyndunarhraði	8
Snefilefnagreiningar	9
Rafeindasmásjá fyrri áfangi – helstu niðurstöður	12
Efnagreiningar í rafeindasmásjá á svifryki	12
Áreiðanleiki SEM greininga	13
Fylliefni í malbiki	13
Stöð 2560 nr 2 – 17.10.2017 (sumardekkjatímabil)	14
Stöð 2560 nr 5 – 21.03.2018 (nagladekkjatímabil)	17
Stöð 4603 nr 1 – 13.06.2018 (sumardekkjatímabil)	25
Stöð 4603 nr 4 – 21.03.2018 (nagladekkjatímabil)	38
Stöð 5100 nr 3 - 17.10.2017 (sumardekkjatímabil)	54
Stöð 5100 nr 7 - 21.03.2017 (nagladekkjatímabil)	60
Stöð 6027 nr 2 – 13.06.2018 (sumardekkjatímabil)	73
Samsetning og uppruni svifryks í Hvalfjarðargöngum	78
Umræða og samantekt	80
Heimildalisti	82

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. Umferð á mánuði um Hvalfjarðargöng (www.spolur.is)	4
Mynd 4. Styrkur svifryks (< 10 µm) í Hvalfjarðargöngum árið 2016 sem µg /m³.	5
Mynd 5. Styrkur svifryks (< 10 µm) í Hvalfjarðargöngum árið 2017 sem µg /m³.	5
Mynd 6. Styrkur svifryks á Grensásvegi árið 2016. Hálf tíma meðaltöl (www.ust.is)	7
Mynd 7. Styrkur brennisteins sem fall af kolefni í ryksýnum úr Hvalfjarðargöngum.	9
Mynd 8. Styrkur antimons sem fall af styrk baríns í ryksýnum úr Hvalfjarðargöngum.	10
Mynd 9. Styrkur króms sem fall af sinki í ryksýnum úr Hvalfjarðargöngum.	10
Mynd 10. Styrkur króms sem fall af kadmíni í ryksýnum úr Hvalfjarðargöngum.	11



Mynd 11. Myndin sýnir hvernig styrkur sinka breytist í ryki úr Hvalfjarðargöngum yfir rannsóknartímabilið, sem stóð frá október 2017 til júní 2018.	11
Mynd 12. Greining á uppruna ryks í Hvalfjarðargöngum.	12
Mynd 13. Þrjár rafeindasmásjármyndir af ryksýni úr stöð 2560 teknu 17.10.17.	15
Mynd 14. Tvær rafeindasmásjármyndir af ryksýni úr stöð 2560 teknu 17.10.17.	15
Mynd 15. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 2560 teknu 17.10.17, svæði 1.	16
Mynd 16. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 2560 teknu 17.10.17, svæði 2.	17
Mynd 17. Sjö rafeindasmásjármyndir af ryksýni úr stöð 2560 teknu 21.03.18.	18
Mynd 18. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 2560 teknu 21.03.18, svæði 1.	19
Mynd 19. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 2560 teknu 21.03.18, svæði 2.	20
Mynd 20. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 2560 teknu 21.03.18, svæði 3.	21
Mynd 21. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 2560 teknu 21.03.18, svæði 4.	22
Mynd 22. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 2560 teknu 21.03.18, svæði 5.	23
Mynd 23. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 2560 teknu 21.03.18, svæði 6.	24
Mynd 24. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 2560 teknu 21.03.18, svæði 7.	25
Mynd 25. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 4603 teknu 13.06.18, svæði 1.	26
Mynd 26. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 4603 teknu 13.06.18, svæði 1.	27
Mynd 27. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 4603 teknu 13.06.18, svæði 2.	28
Mynd 28. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 4603 teknu 13.06.18, svæði 3.	29
Mynd 29. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 4603 teknu 13.06.18, svæði 4.	30
Mynd 30. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 4603 teknu 13.06.18, svæði 5.	31
Mynd 31. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 4603 teknu 13.06.18, svæði 6.	32
Mynd 32. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 4603 teknu 13.06.18, svæði 7.	33
Mynd 33. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 4603 teknu 13.06.18, svæði 8.	34
Mynd 34. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 4603 teknu 13.06.18, svæði 9.	35
Mynd 35. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 4603 teknu 13.06.18, svæði 10.	36
Mynd 36. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 4603 teknu 13.06.18, svæði 11.	37
Mynd 37. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 4603 teknu 13.06.18, svæði 12.	38
Mynd 38. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 4603 teknu 21.03.18, svæði 1.	39
Mynd 39. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 4603 teknu 21.03.18, svæði 2.	40
Mynd 40. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 4603 teknu 21.03.18, svæði 3.	41
Mynd 41. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 4603 teknu 21.03.18, svæði 4.	42
Mynd 42. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 4603 teknu 21.03.18, svæði 5.	43
Mynd 43. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 4603 teknu 21.03.18, svæði 6.	44
Mynd 44. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 4603 teknu 21.03.18, svæði 7.	45
Mynd 45. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 4603 teknu 21.03.18, svæði 8.	46
Mynd 46. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 4603 teknu 21.03.18, svæði 9.	47
Mynd 47. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 4603 teknu 21.03.18, svæði 10.	48
Mynd 48. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 4603 teknu 21.03.18, svæði 11.	49
Mynd 49. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 4603 teknu 21.03.18, svæði 12.	50
Mynd 50. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 4603 teknu 21.03.18, svæði 13.	51
Mynd 51. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 4603 teknu 21.03.18, svæði 14.	52
Mynd 52. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 4603 teknu 21.03.18, svæði 15.	53
Mynd 53. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 4603 teknu 21.03.18, svæði 16.	54
Mynd 54. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 5100 teknu 17.10.17. Yfirlitsmynd.	55
Mynd 55. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 5100 teknu 17.10.17, svæði 1.	56
Mynd 56. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 5100 teknu 17.10.17, svæði 2.	57
Mynd 57. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 5100 teknu 17.10.17, svæði 3.	58



Mynd 58. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 5100 teknu 17.10.17, svæði 4.....	59
Mynd 59. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 5100 teknu 21.03.17, svæði 1.....	60
Mynd 60. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 5100 teknu 21.03.17, svæði 2.....	61
Mynd 61. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 5100 teknu 21.03.17, svæði 3.....	62
Mynd 62. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 5100 teknu 21.03.17, svæði 4.....	63
Mynd 63. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 5100 teknu 21.03.17, svæði 5.....	64
Mynd 64. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 5100 teknu 21.03.17, svæði 6.....	65
Mynd 65. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 5100 teknu 21.03.17, svæði 7.....	66
Mynd 66. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 5100 teknu 21.03.17, svæði 8.....	67
Mynd 67. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 5100 teknu 21.03.17, svæði 9.....	68
Mynd 68. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 5100 teknu 21.03.17, svæði 10.....	69
Mynd 69. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 5100 teknu 21.03.17, svæði 11.....	70
Mynd 70. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 5100 teknu 21.03.17, svæði 12.....	71
Mynd 71. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 5100 teknu 21.03.17.	72
Mynd 72. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 5100 teknu 21.03.17.	73
Mynd 73. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 6027 teknu 13.06.2018..	74
Mynd 74. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 6027 teknu 13.06.18, svæði 1.....	75
Mynd 75. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 6027 teknu 13.06.18, svæði 2.....	76
Mynd 76. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 6027 teknu 13.06.18, svæði 3.....	77
Mynd 77. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 6027 teknu 13.06.18, svæði 5.....	78
Mynd 78. Myndin sýnir hvernig styrkur sinks breytist í ryki yfir rannsóknartímabilið, en rannsóknin stóð frá október 2017 til júní 2018.....	81

Töfluskrá

Tafla 1. Sýnatökuferðir og stöðvar.....	3
Tafla 2. Meðaltalsstyrkur svifryks og umferðarálag í Hvalfjarðargöngum.	6
Tafla 3. Niðurstöður mælinga á rúmþyngd fallryks úr Hvalfjarðargöngum.....	7
Tafla 4. Ryksýni úr Hvalfjarðargöngum sem rannsökuð voru með rafeindasmásjá.....	13



SKÝRSLA

Skýrsla nr: NMÍ 19-02

Dreifing:

Opin Lokuð

Unnið fyrir:

Vegagerðina

Tengiliður verkkaupa:

Þórir Ingason

Heiti skýrslu:	Útgáfutími: Desember 2019
Samsetning og uppruni svifryks í Hvalfjarðargöngum	Fjöldi síða: 83 bls.
Höfundur/-ar:	Verkefnastjóri: GG
Gísli Guðmundsson	
Deild:	
Rb við Nýsköpunarmiðstöð Íslands	

Úrdráttur:

Miðað við þær 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 uppruna ryksins að mestu til fylliefna í malbiki. Eðlilegt er að álíta að bikið eða bindiefni malbiksins 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. Ryk sem myndast vegna útblásturs frá ökutækjum sem fara um göngin, sem og vegna slits bremsuborða og dekkjaslits, eru einnig þáttur í rykmynduninni í göngunum, samanber snefilefnagreiningar úr fyrri rannsókn.

Ef magn svifryks í göngunum er skoðað yfir heilt ár (2016 og 2017), kemur í ljós að verulegur munur er á svifryksmyndun yfir vetrartímann annars vegar og sumartímann hins vegar, þ.e. tímabilin með og án nagladekkja. Meðalsvifryksmagn fyrir allt árið 2017 er um $116 \mu\text{g}/\text{m}^3$, fyrir tímabilið frá áramótum til 1. maí (nagladekkjatímabil) er styrkurinn um $186 \mu\text{g}/\text{m}^3$ og fyrir tímabilið frá 1. nóv. til áramóta er styrkurinn um $128 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (nagladekkjatímabil) og yfir sumarmánuðina frá 1. júní til 1. október er meðaltalið um $43 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (tímabil án nagladekkja). Sambærilegar niðurstöður fengust fyrir árið 2016. Niðurstöður mælingar á sethraða eða fallhraða í göngunum eru einnig á þá leið að setmyndunin í göngunum er u.þ.b. 5 sinnum meiri að vetrarlagi en að sumarlagi.

Af þessum niðurstöðum er ljóst að notkun nagladekkja hefur veruleg áhrif á svifryksmyndun í göngunum.

3 lykilorð: Á íslensku

Á ensku

Hvalfjörður veggöng	Hvalfjörður road tunnel
Samsetning svifryks	Composition of traffic-generated emission
Uppruni svifryks	Source of traffic-generated emission

Inngangur

Almennt er talað um agnir í andrúmsloftinu í föstu formi sem svifryk. Á heimasíðu Umhverfisstofnunar (www.ust.is) eru agnir sem eru 10-15 μm að stærð taldar til fallryks, en þær sem eru smærri en 10 μm til svifryks. Svifryki er skipt í gróft (2,5 - 10 μm) og fínt svifryk (smærra en 2,5 μm).

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)
- Slitbúnaður ökutækja (bremsuborðar ofl. þ.h.)
- Útblástur ökutækja (sem ryk/sót)
- Annað (jarðvegur, eldfjallaska, vegsalt, ofl.).

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 veðurfarsþætti 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 vera í rúmmálseiningu vera álíka mikið og í sænskum veggöngum, sjá Mats Gustafsson ofl.

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.

Í fyrri áfanga verksins var sýnum safnað úr göngunum frá október 2017 til júní 2018¹. Verkefnið var styrkt af Speli ehf. Í áfanganum var heildarsamsetning ryksins efnagreind sem og samsetning grófari hluta sýnanna, þ.e. fallryks (> 10 mikron). Markmið með þessum seinni áfanga verkefnisins er að greina samsetningu svifryks (< 10 mikron) í Hvalfjarðargöngum og ákvarða hlut einstakra þátta sem mynda svifrykið. Við vinnu þessa seinni áfanga var unnið með sömu sýni og fyrri rannsóknin byggir á. Þessi áfangi er beint framhald af hinum fyrri og heilmikið af rannsóknarniðurstöðum úr honum eru nýttar í þessum áfanga og eru endurbirtar hér.

Seinni áfanginn var styrktur af Rannsóknarsjóði Vegagerðarinnar (2018 – 2019).

¹ RYK Í HVALFJARÐARGÖNGUM. MV 2018-005.



Höfundur skýrslunnar bera 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. Sýnatakan fór þannig fram að ryki sem féll til ofan á skápa í göngunum var safnað saman. Skáparnir eru allir upp við gangaveggina. Sýnum af ryki sem safnaðist á veggi ganganna var einnig safnað. Sýnunum var safnað frá um 50 til 180 cm hæð, mælt frá gangstétt. Á **Mynd 1** og **Mynd 2** 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.

Alls voru farnar fjórar 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, var nagladekkjatímabilið liðið, en þar sem vorið var kalt var verulegur hluti bifreiða enn á nagladekkjum. Í hverri ferð voru sýni tekin af 3 til 5 stöðvum. Sýni af stöð 250 og 5100 voru tekin í öllum ferðunum. Sýni af stöðvum 4146, 4603, 4851 og 6027 voru tekin í færri ferðum. Nánari útlistun má sjá í **Tafla 1**.

Tafla 1. Sýnatökuferðir og stöðvar.

Stöð	17/10/17	21/3/18	9/5/18	13/6/18
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
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 þrífnaar. 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 þrífir 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 þrífir sérstaklega nokkrum dögum fyrir sýnatöku.

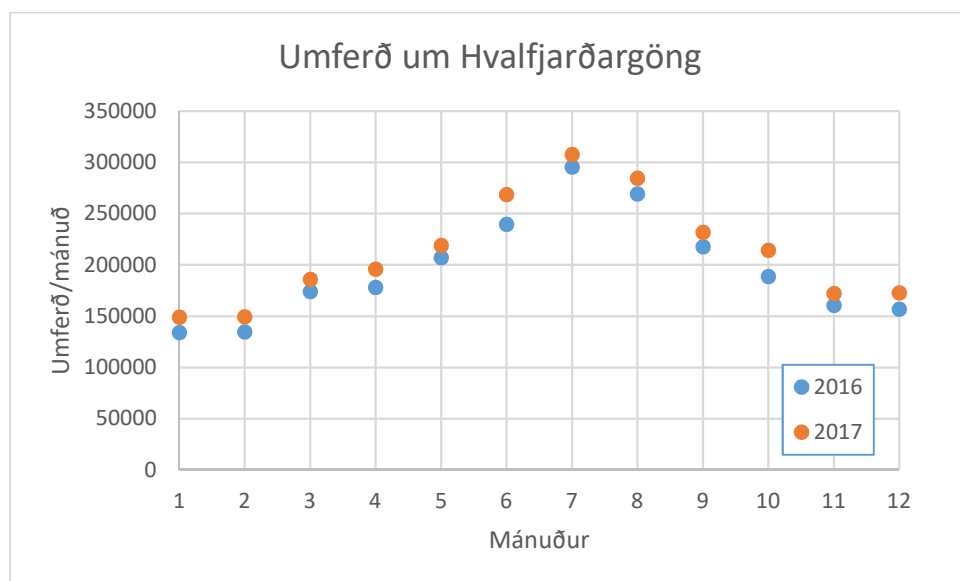
Rannsóknir frá fyrri áfanga

Eftirfarandi rannsóknir voru gerðar á sýnum af ryki úr Hvalfjarðargöngum:

- Svifryk undir 10 μm að stærð – sjálfvirkar mælingar í göngunum í umsjá Raftákns ehf
- Kornastærðagreiningar og rúmþyngdarmælingar – framkvæmdar hjá Háskóla Íslands (HÍ) – fyrri áfangi
- Setmyndunarhraði – sjálfvirkar mælingar í göngunum – fyrri áfangi
- Snefilefnagreiningar – framkvæmdar hjá NMÍ – fyrri áfangi
- Rafeindasmásjá, greining á fallryki – framkvæmd hjá HÍ
- Rafeindasmásjá, greining á svifryki – framkvæmd hjá NMÍ

Umferð um Hvalfjarðargöng árin 2016 og 2017

Mánaðarleg umferð um Hvalfjarðargöng fyrir árin 2016 og 2017 er sýnd á **Mynd 3**. Gögnin voru sótt á heimasíðu Spalar (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 samfellt út árið.



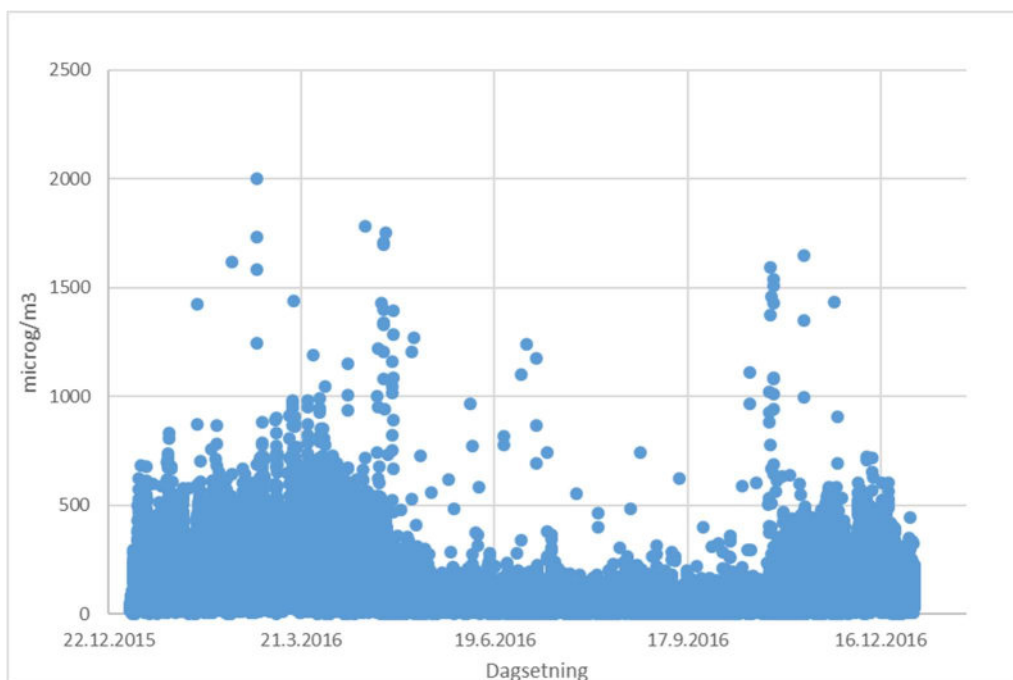
Mynd 3. Umferð á mánuði um Hvalfjarðargöng (www.spolur.is)

Styrkur svifryks í Hvalfjarðargöngum

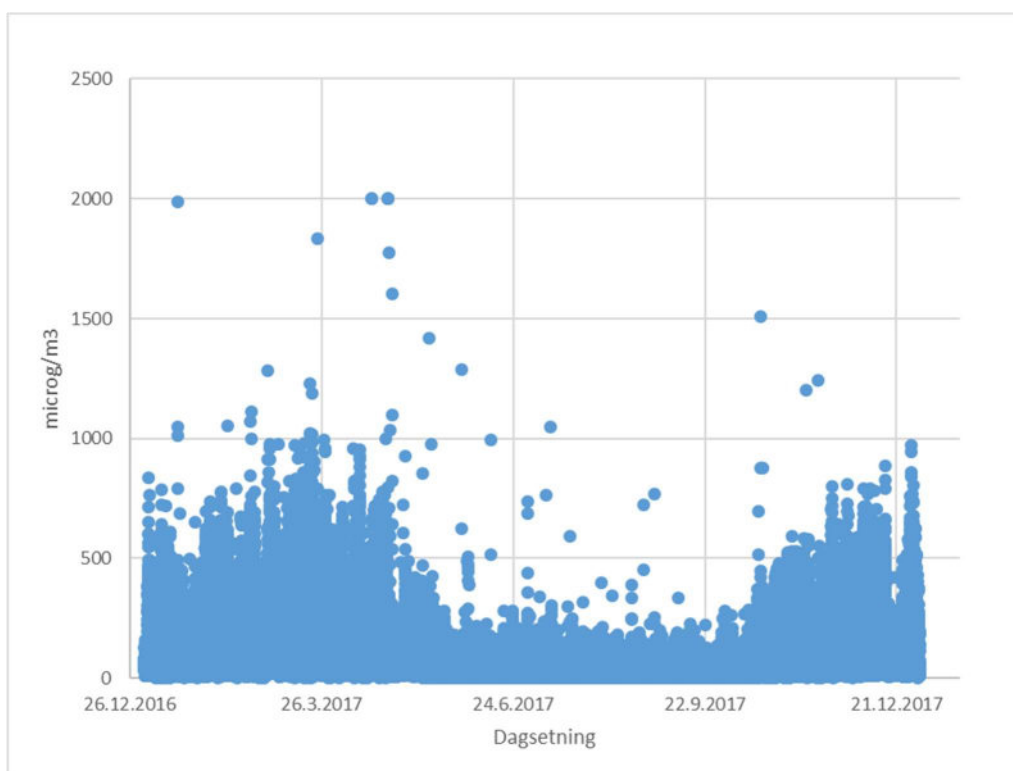
Fylgst er með magni svifryks í Hvalfjarðargöngum. Um er að ræða sjálfvirkar mælingar þar sem styrkur svifryks sem $\mu\text{g}/\text{m}^3$ er mælt sem meðaltalsgildi fyrir hverjar 10 mínútur allan sólarhringinn. Mælingarnar eru gerðar á ryki sem er smærra en 10 μm . Raftákn ehf. heldur utan um mælingarnar.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



Niðurstöður mælinganna fyrir árin 2016 og 2017 eru sýndar á **Mynd 4** og **Mynd 5**².



Mynd 4. Styrkur svifryks ($< 10 \mu\text{m}$) í Hvalfjarðargöngum árið 2016 sem $\mu\text{g} / \text{m}^3$.



Mynd 5. Styrkur svifryks ($< 10 \mu\text{m}$) í Hvalfjarðargöngum árið 2017 sem $\mu\text{g} / \text{m}^3$.

Eins og sjá má á myndum 4 og 5 þá er svifryksmagnið mest á nagladekkjatímabilinu (1. nóvember til 14. apríl), en magn svifryks minnkar verulega yfir sumardekkjatímabilið (15. apríl til 31. október).

² Gögn fengin hjá Raftákni.



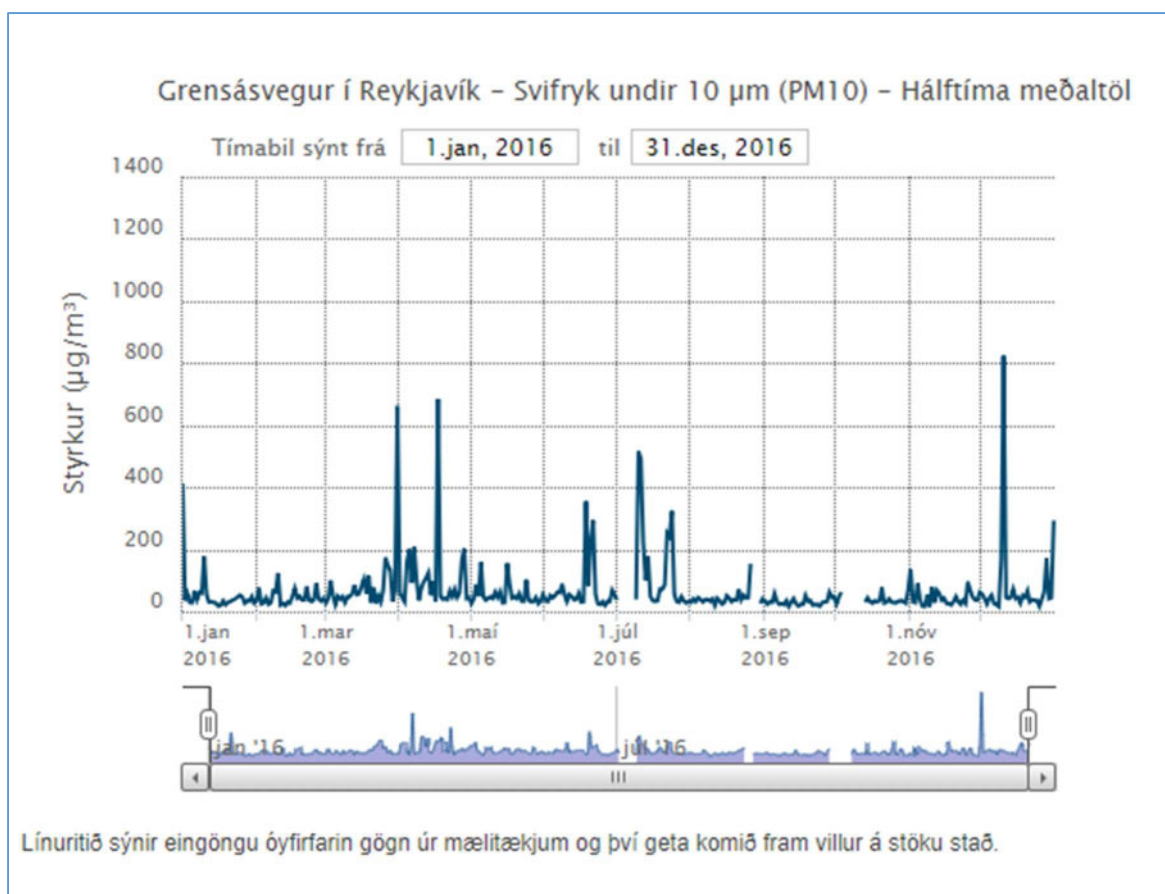
Reiknuð voru meðaltöl fyrir magn svifryks í göngunum fyrir hvort árið fyrir sig, fyrir tímabilið frá janúar til maí, frá júní til september og frá nóvember til desember. Í þessum meðaltöl var mánuðunum maí og október sleppt. Niðurstöðurnar eru gefnar í **Tafla 2**. Þessar niðurstöður eru þvert á fjölda þeirra ökutækja sem fara um göngin. Þegar umferðarálagið er mest, er svifrykið minnst, sjá **Tafla 2**.

Tafla 2. Meðaltalsstyrkur svifryks og umferðarálág 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 til maí	180	620.647	186	679.614
Nóvember og desember	174	317.234	128	344.632
Júní til 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 Pétri Sigurjónssyni hjá Meitli).

Til samanburðar við svifryksmælingar í Hvalfjarðargöngum eru sýndar niðurstöður úr svifryksmælingum Umhverfisstofnunar árið 2016 á Grensásvegi, **Mynd 6**. Niðurstöður mælinga úr Hvalfjarðargöngum (**Mynd 4**) 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 vinds né regns gætir. Þar af leiðandi verður mun meira magn af svifryki í loftrými Hvalfjararganga, en í opnu rými eins og við Grensásveg.



Mynd 6. Styrkur svifryks á Grensásvegi árið 2016. Hálf tíma meðaltöl (www.ust.is).

Kornastærðagreining og rúmþyngdarmælingar

Kornastærðagreiningar á fallryki misfórust, mögulega vegna þess hve lág kornarúmþyngd sýnanna var, a.m.k. réð kornastærðagreininirinn ekki við sýnin. Samfara greiningu á kornastærð, var rúmþyngd sýnanna mæld. Niðurstöður rúmþyngdamælinganna eru sýndar í **Tafla 3**.

Tafla 3. Niðurstöður mælinga á rúmþyngd fallryks úr Hvalfjarðargöngum

Dagsetning sýnatöku	Stöð	Kornarúmþyngd, g/cm ³
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



Rúmþyngd sýnanna mælist á bilinu frá 0,7767 til 1,0140 g/cm³. Miðað við þessar niðurstöður er ekki að sjá að rúmþyngd ryksins breytist milli sumar- og vetrardekkjatímabils. Fyrir fram var búist við að rúmþyngd ryksins minnka yfir sumardekkjatímabilið vegna minnkandi malbiksslits, en gera má ráð fyrir að malbiksslitið auki rúmþyngd 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 efraborð rafmagnsskápa í hverri stöð. Í upphafi hverrar mælingar var yfirborðið hreinsa. Síðan féll rykið til á viðkomandi skáp. Í lok tímabilsins var rykinu safnað saman í þar tilgert ílát, þyngd þess skráð og setmyndunarhraði reiknaður fyrir tímabilið.

Ryki var safnað ofan af nokkrum rafmagnsskápum í göngunum, þann 09.05.2018. Skáparnir voru hreinsaðir 15 dögum fyrir sýnatöku. Þótt nagladekkjatímabilinu hafi 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/cm² dag

Stöð 4600 : tveir skápar austan megin. Setmyndunarhraði: 1,8807 og 1,4047 mg/cm² dag

Stöð 6027: einn skápur vestan megin. Setmyndunarhraði: 0,8292 mg/cm² dag

Stöð 5100 (Guðlaug): tveir skápar vestan megin. Setmyndunarhraði: 0,7420 og 0,6114 mg/cm² dag

Meðalsethraði: 0,9171 mg/cm²/dag.

Miðað er við að meðalsethraðinn 0,9171 mg/cm²/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/cm² dag

Stöð 4600 : einn skápur austan megin. Setmyndunarhraði: 0,1566 mg/cm² dag

Stöð 6027: einn skápur vestan megin. Setmyndunarhraði: 0,2435 mg/cm² dag

Stöð 5100 (Guðlaug): tveir skápar vestan megin. Setmyndunarhraði: 0,2322 og 0,1367 mg/cm² dag

Meðalsethraði: 0,1806 mg/cm²/dag.

Miðað er við að meðalsethraði 0,1806 mg/cm²/dag, eigi við tímabil þegar nagladekk eru ekki í notkun.

Á mælingatímabilinu frá lok apríl 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 upp við gangaveggina. Ekki er ljóst hvernig dreifingu ryksins er háttað yfir þverskurðarflatarmál ganganna.

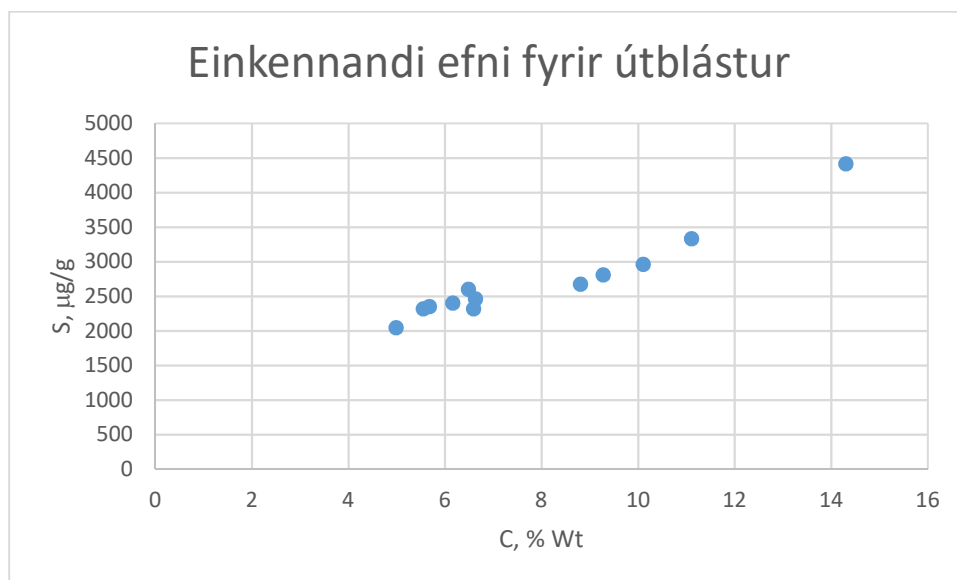


Snefilefnagreiningar

Styrkur snefilefna í 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), járn (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, járn, 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 má við eftirfarandi frumefnum úr malbiki: ál, kalsíni, járn, kalíni, magnesíni, natríni, títani, kísli, auk annarra efna í minna mæli.

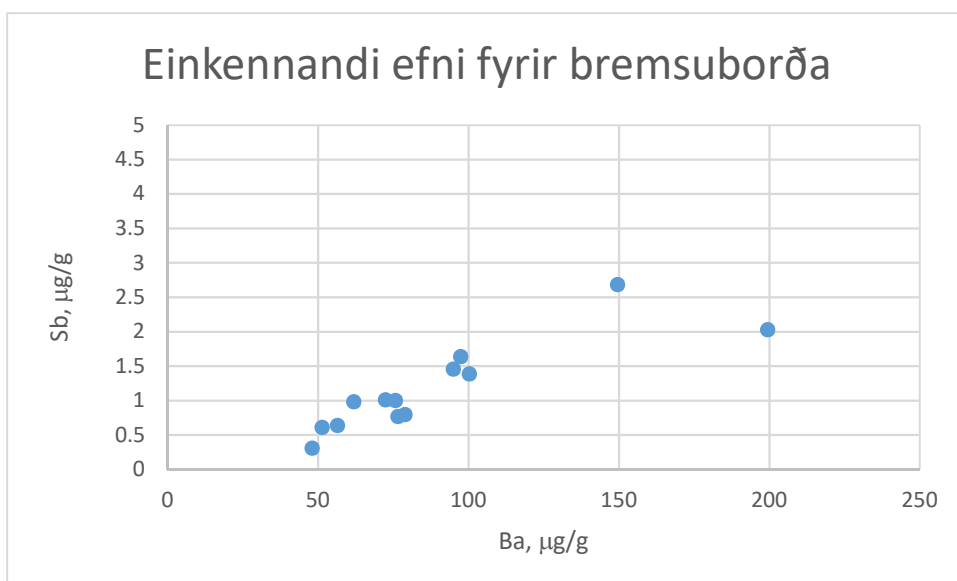
Eftirfarandi efni voru efnagreind í 12 ryksýnum með ICP (plasma) mælitæki: barín, kadmín, króm, kopar, nikkell, blý, antímon, sink og brennisteinn. Síðan voru kolefni og köfnunarefni greind í 14 ryksýnum með Dumas tæki. Niðurstöður efnagreininganna eru sýndar í Viðauki A.

Á mynd **Mynd 7** er sýndur styrkur brennisteins sem fall af kolefni. 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.



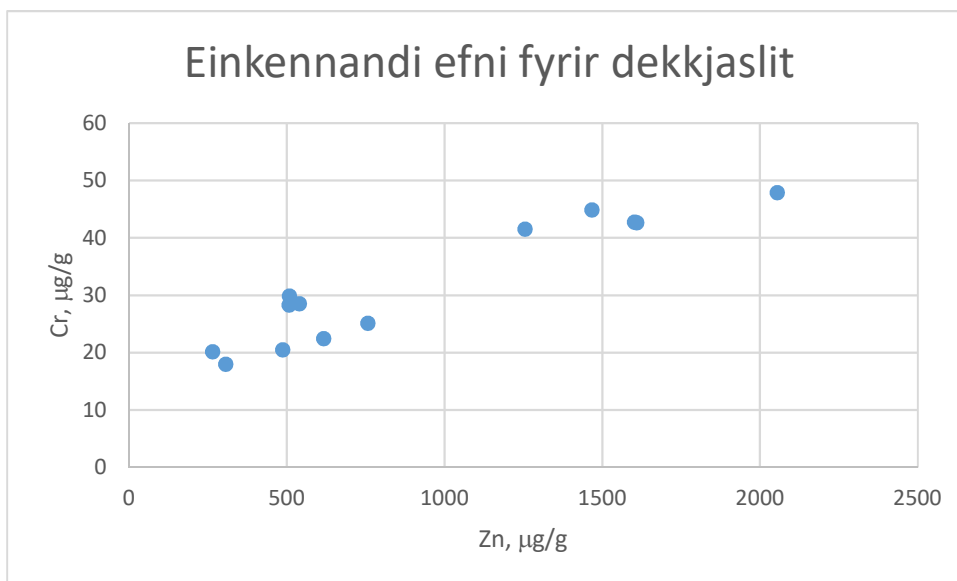
Mynd 7. Styrkur brennisteins sem fall af kolefni í ryksýnum úr Hvalfjarðargöngum. Búast má við að styrkur brennisteins og kolefnis sé hár í útblæstri ökutækja.

Á **Mynd 8** má sjá styrk antímons 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.



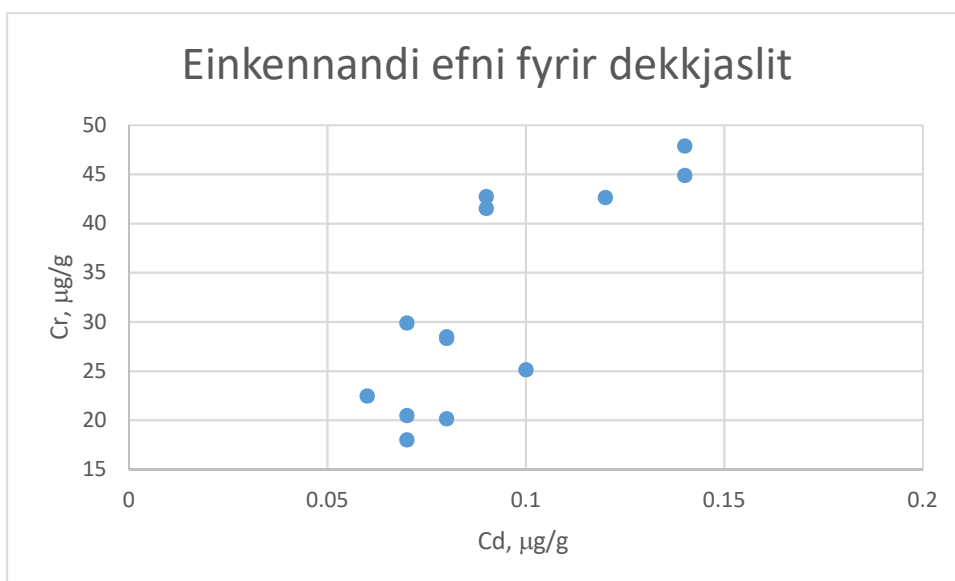
Mynd 8. Styrkur antimons sem fall af styrk baríns í ryksýnum úr Hvalfjarðargöngum. Búast má við að styrkur antimons og baríns sé hér í ryki sem myndast vegna slits á bremsuborðum ökutækja.

Á **Mynd 9** 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.



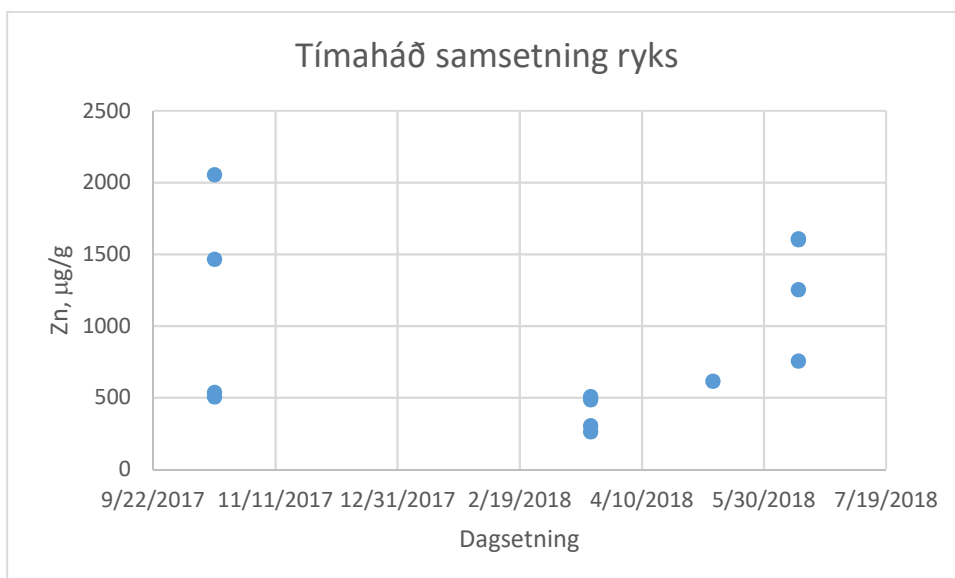
Mynd 9. Styrkur króms sem fall af sinki í ryksýnum úr Hvalfjarðargöngum. Gott samband milli þessara tveggja efna í rykinu, bendir til þess að töluverður hluti ryksins stafi frá sliti á dekkjum ökutækja sem fara um göngin.

Á **Mynd 10** 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 10. 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 uppruninn frá dekkjasliti ökutækja sem fara um göngin.

Dæmi um hvernig/hvort samsetning ryksins breytist með tíma er sýnt á **Mynd 11**. Á myndinni er sýnt hvernig styrkur sinks breytist yfir rannsóknartímabilið, en rannsóknin stóð frá október 2017 til júní 2018. Sýnum var safnað í október 2017, í mars 2018, í maí 2018 og að lokum í júní 2018. Eins og sjá má á **Mynd 11** þá sveiflast sinkstyrkurinn nokkuð sem fall af tíma. Svipaða dreifingu má sjá fyrir önnur efni, þ.e. töluverða dreifingu í styrk í upphafi og lok tímabils, en tiltölulega lágan styrk þar á milli. Erfitt er að túlka þessar niðurstöður, væntanlega þyrfti að framkvæma fleiri greiningar til þess að skera úr um hvort samsetning ryksins sé tímaháð eða ekki.

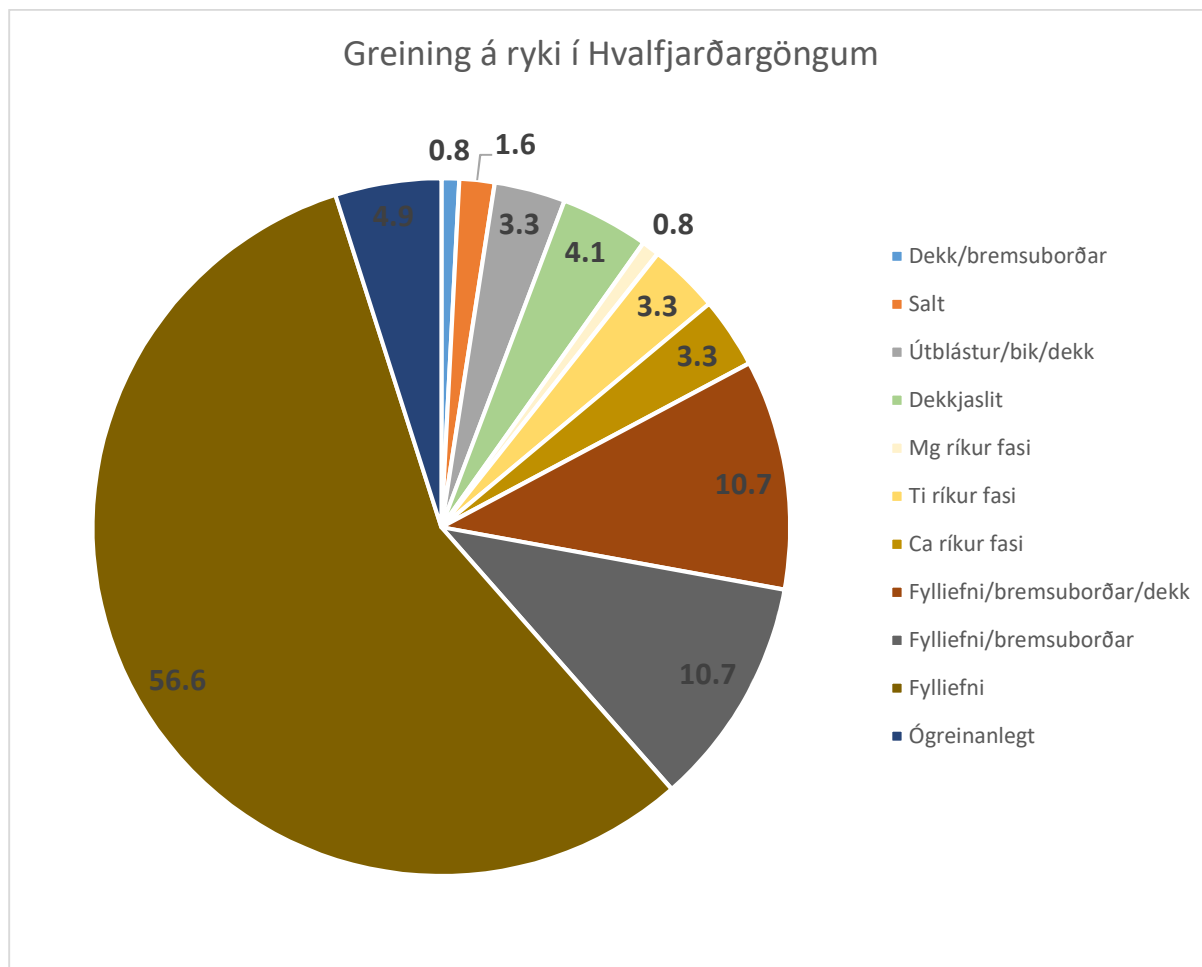


Mynd 11. Myndin sýnir hvernig styrkur sinks breytist í ryki úr Hvalfjarðargöngum yfir rannsóknartímabilið, sem stóð frá október 2017 til júní 2018.



Rafeindasmásjá fyrri áfangi – helstu niðurstöður

Helstu niðurstöður efnagreininga í rafeindasmásjá á sýnum sem tekin voru í Hvalfjarðargöngunum og greind fyrri ári eru teknar saman í þessum kafla. Varðandi niðurstöður einstakra greininga er vísað í fyrri skýrslu¹. **Mynd 12** sýnir ágríp af niðurstöðum greininganna á uppruna ryks í Hvalfjarðargöngum. Hafa ber í huga að þessar 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 % eða jafnvel allt að 85,4 %.



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

Efnagreiningar í rafeindasmásjá á svifryki

Ryksýni úr Hvalfjarðargöngum voru rannsökuð í rafeindasmásjá (SEM) á Nýsköpunarmiðstöð Íslands. Um er að ræða sömu sýni og voru rannsökuð í fyrri rannsókn¹. Í þessari rannsókn var lögð áhersla á korn sem eru minni en 10 míkron, þ.e. svifryk. Fyrir greininguna voru sýnin límd betur saman, slípuð aðeins niður og kolefnishúðuð. Alls voru sjö sýni rannsökuð í rafeindasmásjanni, sjá **Tafla 4**. 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 er flestar 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 rafeindasmásjóni ekki áreiðanlegar, auk þess sem límið sem notað var til að líma sýnin saman er kolefnisríkt. Einnig var styrkur súrefnis efnagreindur í sérhverju korni; búast má við að þessar súrefnisgreiningar séu ekki sérlega áreiðanlegar. Eftirfarandi frumefni fundust í sýnunum í mismiklu magni, raðað frá léttasta frumefni til þess þyngsta: **C, N, O, F, Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Zr, Mo, Pd, Cd, In, Sn, Sb, Ba, W, Os** og **Ir**. Feitletruðu efnin voru efnagreind með ICP og Dumas tækjum í fyrri rannsókn.

Greiningar á sýnum frá stöð 5100 voru uppreiknaðar í 100 %, meðan greiningar úr sýnum 2560 og 4603 voru ekki uppreiknaðar í 100 %.

Tafla 4. Ryksýni úr Hvalfjarðargöngum sem rannsökuð voru með rafeindasmásjá.

Dagsetning, sýnataka	Stöð	Sýni nr	Fjöldi greininga	Dekkjatímabil
17.10.17	2560	2	65	Sumardekk
21.03.18	2560	5	146	Nagladekk
13.06.18	4603	1	159	Sumardekk
21.03.18	4603	4	274	Nagladekk
17.10.17	5100	3	41	Sumardekk
21.03.18	5100	7	137	Nagladekk
13.06.18	6027	2	56	Sumardekk

Áreiðanleiki SEM greininga

Magnbundnar kolefnisgreiningar með rafeindasmásjóni á einstökum fösum virðast ekki vera mjög áreiðanlegar a.m.k. ekki í þessum sýnum. Sýnin eru kolefnishúðuð auk þess sem sýnin eru límd upp með epoxy lími, en slíkt efni er byggt upp af kolefniskeðjum. Þannig að kolefnisgreiningarnar, þar sem þær voru framkvæmdar, voru aðeins notaðar sem ómagnbundnar greiningar, þ.e. hvort kolefni væri til staðar í miklu eða litlu magni.

Nokkrar greiningar voru gerðar á kolefnishúð/lími. Greiningar á sýni 4603 13.06.18, svæði 2, sýna rúmlega 80 % kolefni, um 14 % súrefni, um 1,7 % klóríð og um 0,4 % brennistein, allt miðað við 100 % summu. Stök greining á kolefnishúð/lími í sýni 4603 20.03.18, svæði 2, sýnir um 84 % kolefni, um 13 % súrefni, um 2,1 % klóríð og 0,24 brennistein, auk fleiri efna, einnig miðað við 100 % summu. Vegna þess hve mikið klóríð og brennisteinn greinist í kolefnishúð/lími verður ekki unnið frekar með þessi efni í þessari skýrslu.

Efnagreiningar á kvarsí (SiO_2) voru notaðar til þess að meta áreiðanleika greininga á súrefni annars vegar og hins vegar kísli. Hafa ber í huga að greiningarnar voru framkvæmdar á kvarsí sem ekki hafði þekkta efnagreiningu og því er ekki um staðlaða greiningu að ræða. Stuðst var við 30 efnagreiningar á kvarsí, þar sem magn snefilefna var mjög lágur og efnagreiningin var ekki uppreiknuð sem 100 %. Hreint kvars (SiO_2) er 53,3 % súrefni og 46,7 % kísill. Að meðaltali var magn súrefnis í þessum 30 greiningum 52,7 % með staðalfrávik um 3,6 og magn kísils var 45,4 % með staðalfrávik um 1,4. Ef þessar greiningar eru reiknaðar upp í 100 % þá verður súrefnið 53,7 og kísillinn 46,3 %, sem verður að teljast nokkuð gott, en skekkjan á súrefnisgreiningunum er nokkur meiri en á kísilgreiningunum.

Þessar niðurstöður benda til þess að SEM greiningarnar séu vel viðunandi fyrir greiningar á O og Si. Ekki var talin ástæða til þess að kanna áreiðanleika greininga á öðrum frumefnum.

Fylliefni í malbiki



Eins og þegar hefur komið fram (kafla 3.6) var ríflega helmingur þess svifryks sem rannsakaður var í fyrri áfanga upprunninn úr malbiki. Samkvæmt ástandsskoðunarskýrslu Mannvits um Hvalfjarðargöng frá 2018³ voru 25 % af fylliefninu í slitlagi ganganna „Durasplitt“ sem er innflutt, slitsterkt og ljóst fylliefni (kvarsdíórít)⁴. Gömul berggreining á „Durasplitt“ efninu segir að bergið samstandi af 32 % kvasi, 63 % plagióklas, 4,5 % klóríð og 0,5 % glimmer/sericite. Allar þessar steindir eru siliköt.

Hreint kvars (SiO_2) inniheldur um 46,7 % Si og er um 53,3 % O.

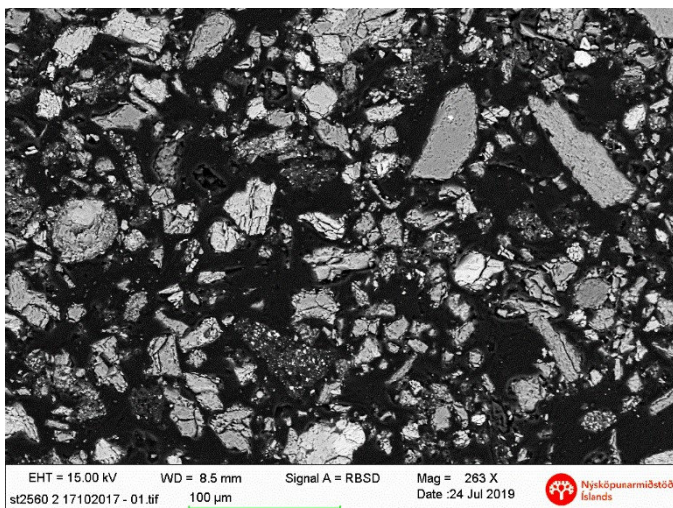
Efnasamsetning á plagióklas er $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8 - \text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$. Um er að ræða samfellda blandröð af þessum tveimur hópum.

Efnasamsetning á klóríð er $(\text{Mg,Al,Fe})_{12}((\text{Si,Al})_8\text{O}_{20})(\text{OH})_{16}$.

Efnasamsetning á glimmer er margbreytileg og er einnig breytileg á sericite, en steindin inniheldur m.a. Si og Mg.

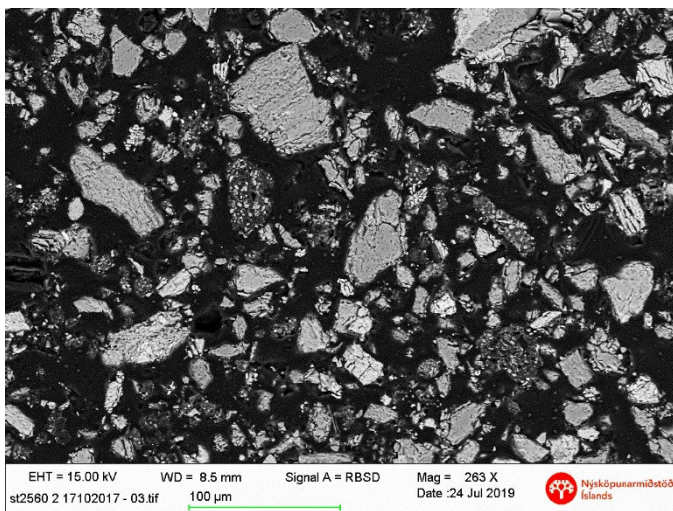
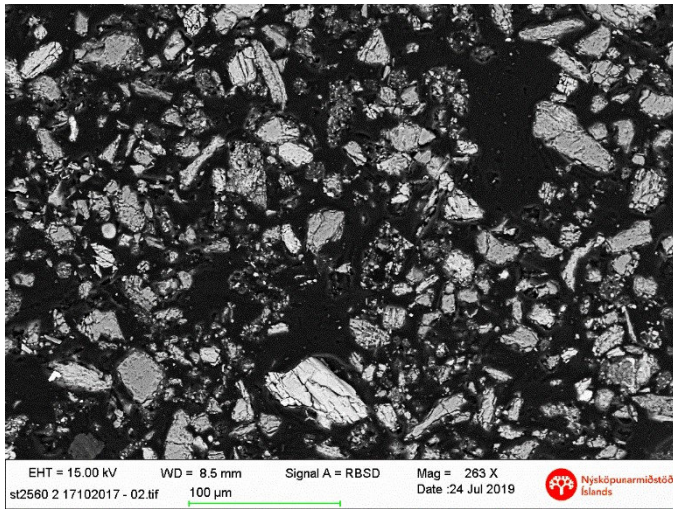
Stöð 2560 nr 2 – 17.10.2017 (sumardekkjatímabil)

Mynd 13 sýnir þrjár yfirlitsmyndir af sýninu. Hver mynd er tekin í 263 x stækkun. Skipta má kornunum í tvo hópa, annars vegar stök fylliefni úr malbiki og hins vegar tiltölulega smá korn sem bundin eru saman af gráleitu efni sem myndar einskonar grunnmassa utan um smáu kornin. Samsetning korna í tveimur grunnmassahópum var könnuð nánar, sjá **Mynd 14**.

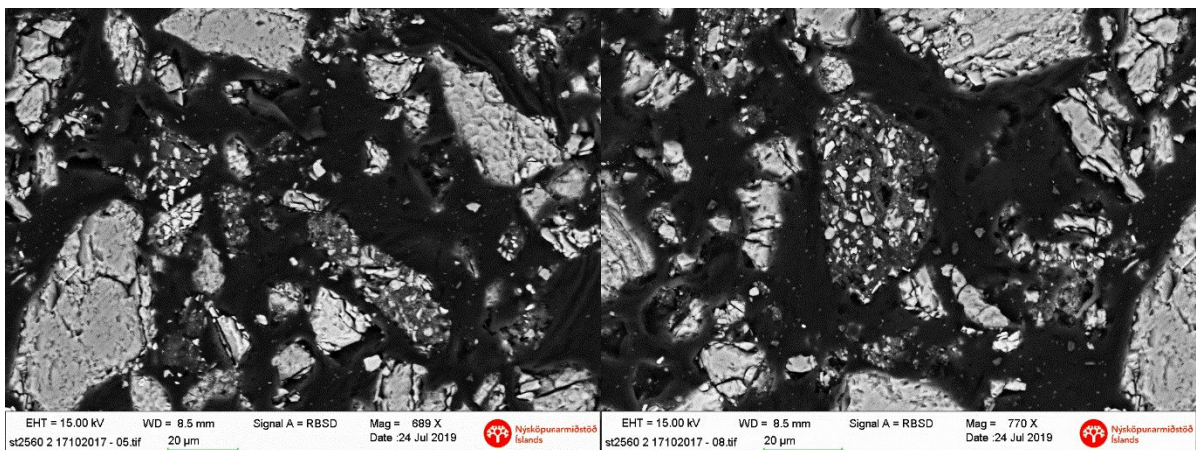


³ Úttekt á Hvalfjarðargöngum. Mannvit 2018.

⁴ Ekki hefur fengist staðfest að „aðeins“ 25 % af „Durasplitt“ hafi verið notað og hvaða efni hafi verið notað í þau 75 % sem uppá vantar.



Mynd 13. Þrjár rafeindasmásjarmyndir af ryksýni úr stöð 2560 teknu 17.10.17. Myndirnar eru teknar í 263 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.

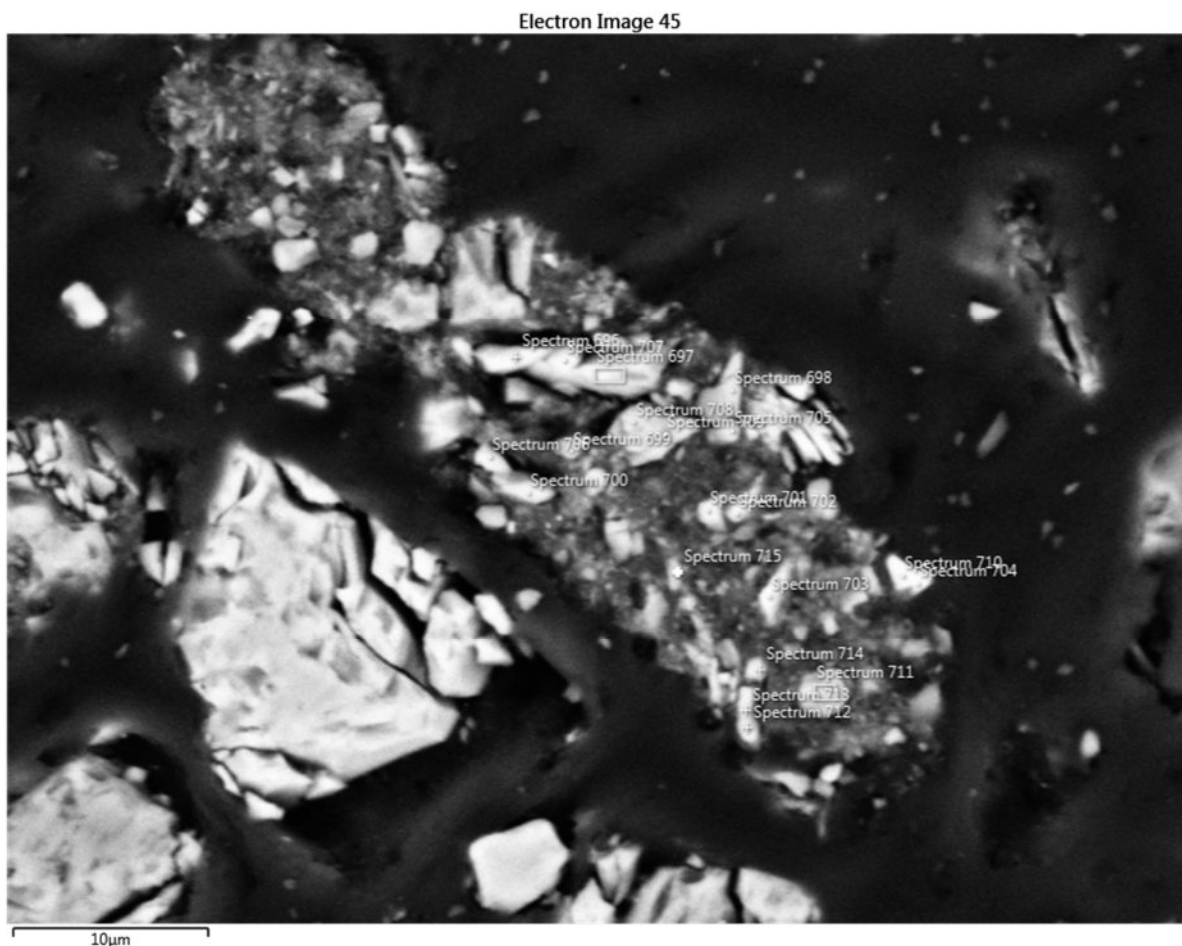


Mynd 14. Tvær rafeindasmásjarmyndir af ryksýni úr stöð 2560 teknu 17.10.17. Myndirnar eru teknar í um 700 x stækkun. Á myndunum má annars vegar sjá stök fylliefniskorn úr malbiki og hins vegar smærri korn umlukin gráleitum massa. Báðar myndirnar sýna afmörkuð svæði í Mynd 13 (neðsta myndin).

Svæði 1



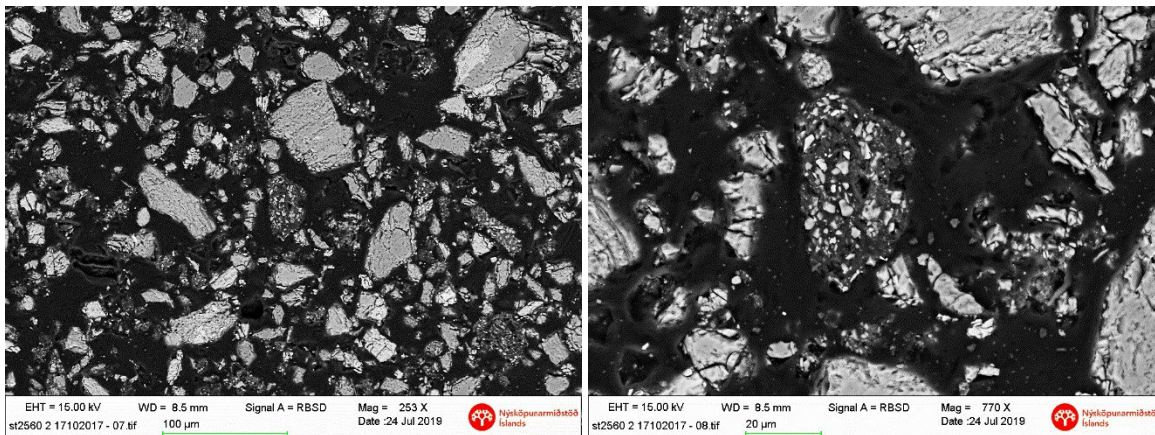
Lýsing: Tiltölulega smáar agnir í grunnmassa. Alls voru gerðar 20 efnagreiningar í svæði 1, sjá **Mynd 15**. Engar greiningar voru gerðar á grunnmassanum, aðeins á völdum kornum í grunnmassanum. Öll kornin eru með Si frá 16 til 28 %. Fe er frekar lágt en þrjú korn með um 15 % járn, þau þrjú eru einnig með hátt Mg en um 4 %, einnig er nokkuð af Mn í þessum kornum. Ekkert af þyngri efnunum en Fe. Summan er léleg á síðustu fjórum greiningunum. Miðað við þessar greiningar eru kornin í grunnmassanum aðallega plagioklas. Fe-ríku kornin eru sennilega pyroxen. Allar greiningarnar benda til þess að kornin séu upprunnin sem fylliefni í malbiki.



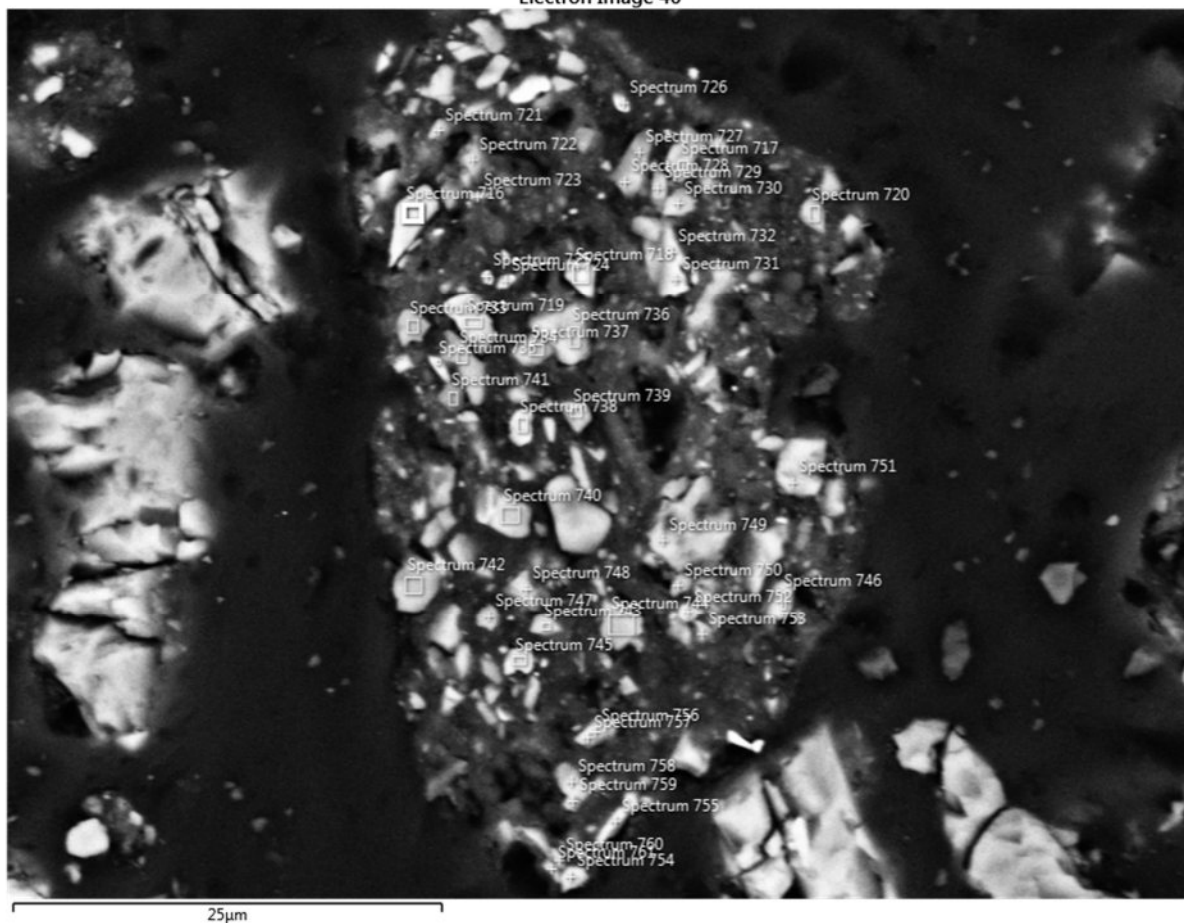
Mynd 15. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 2560 teknu 17.10.17, svæði 1. Ílanga kornið fyrir miðri mynd er ágætt dæmi um samsett svifrykskorn, þar sem smá korn eru bundin saman af fínkorna grunnmassa. Á myndinni má sjá staðsetningu á efnagreiningum 696 til 715. Krossar sýna staðsetningu á punktgreiningum og ferhyrningar sýna staðsetningu á svæðum sem hafa verið efnagreind saman. Lengdarkvarði í vinstra horni niðri.

Svæði 2

Lýsing: Tiltölulega smáar agnir í grunnmassa. Alls voru gerðar 44 greiningar, sjá **Mynd 16**. Engar greiningar voru gerðar á grunnmassanum. Si er á milli 15 og 40 % í öllum kornunum, nema þremur, þar er hann um 5 %. Þessi þrjú korn eru með um 5 % Ti og um 25 % Fe og lélega summu. Lítið af þyngri efnunum en Fe. Kornin með Si á milli 15 og 40 % eru mismunandi tegundir af silikötum, þ.e. fylliefnum í malbiki. Kornin þrjú sem eru með 25 % Fe eru væntanlega einnig upprunnin sem fylliefni í malbiki.



Electron Image 46



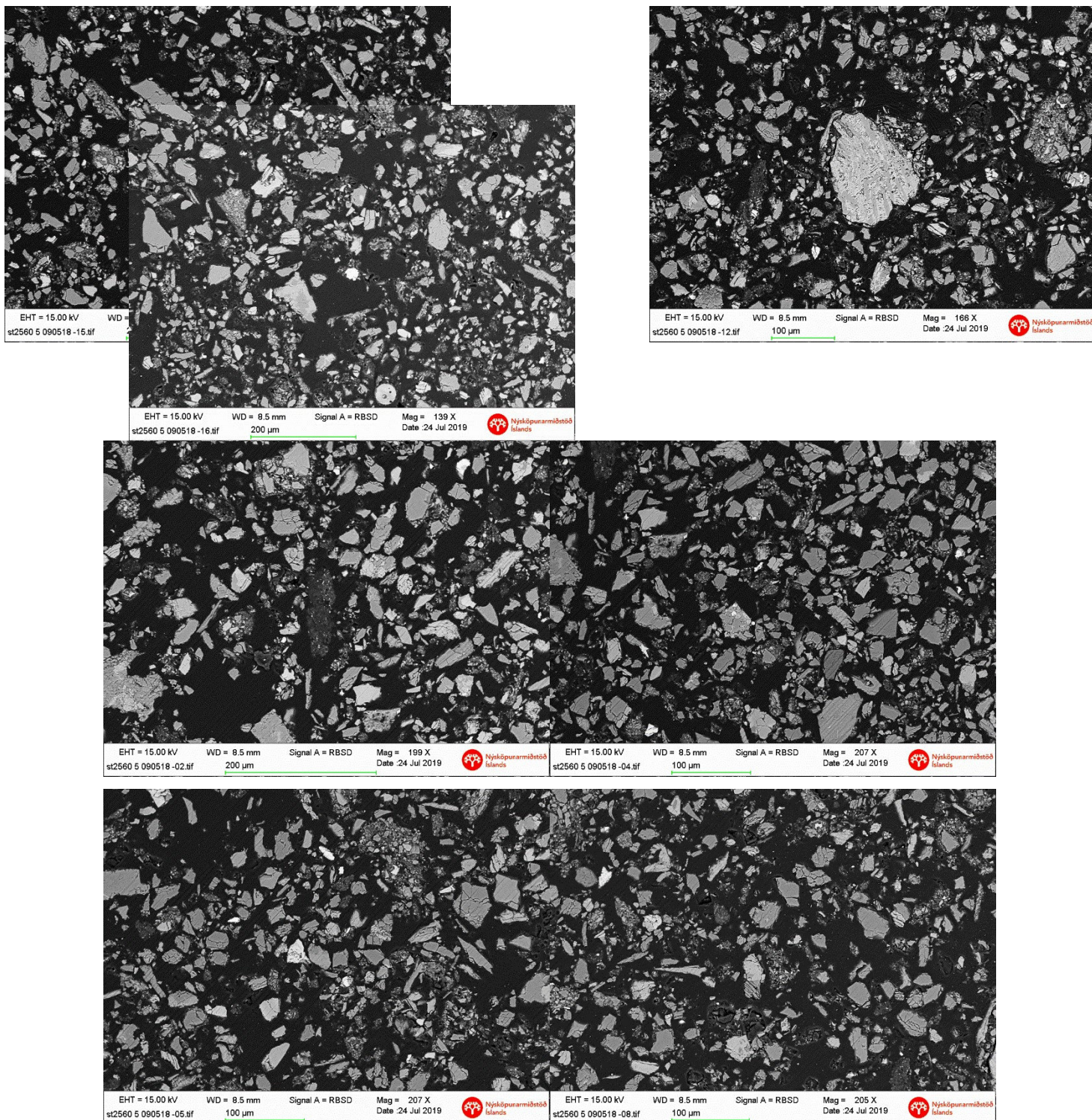
Mynd 16. Rafeindasmásjarmynd af ryksýni úr stöð 2560 teknu 17.10.17, svæði 2. Kornid fyrir miðri mynd er ágætt dæmi um samsett svifrykskorn, þar sem smá korn eru bundin saman af finkorna grunnmassa. Á myndinni má sjá staðsetningu á efnagreiningum 716 til 761. Krossar sýna staðsetningu á punktgreiningum og ferhyrningar sýna staðsetningu á svæðum sem hafa verið efnagreind saman. Lengdarkvarði í vinstra horni niðri.

Stöð 2560 nr 5 – 21.03.2018 (nagladekkjatímabil)

Mynd 17 gefur yfirlit yfir sýnið í um 200 x stækkun. Eins og sjá má er aðallega um að ræða tvennskonar korn, annarsvegar stök fylliefni úr malbiki og hinsvegar korn, y.l. smærri, sem bundin eru saman af fínun grunnmassa. Ekki hefur verið gerð nákvæm stærðagreining á þessum kornum en þau eru vel



flest minni en 50 míkron í þvermál. Alls voru gerðar efnagreiningar á mismunandi kornum á sjö svæðum.



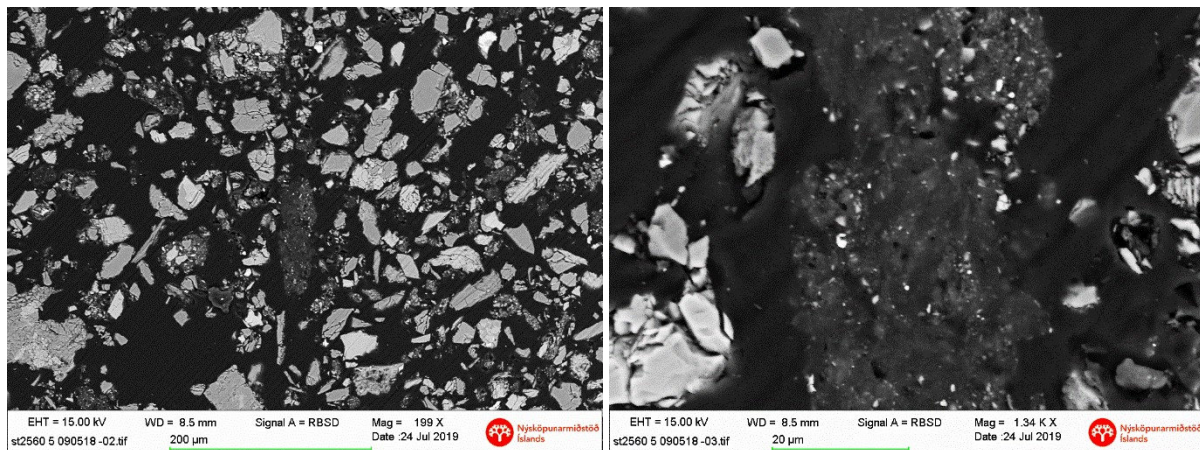
Mynd 17. Sjö rafeindasmásjarmyndir af ryksýni úr stöð 2560 teknu 21.03.18. Myndirnar eru teknar í um 200 x stækkun.

Svæði 1

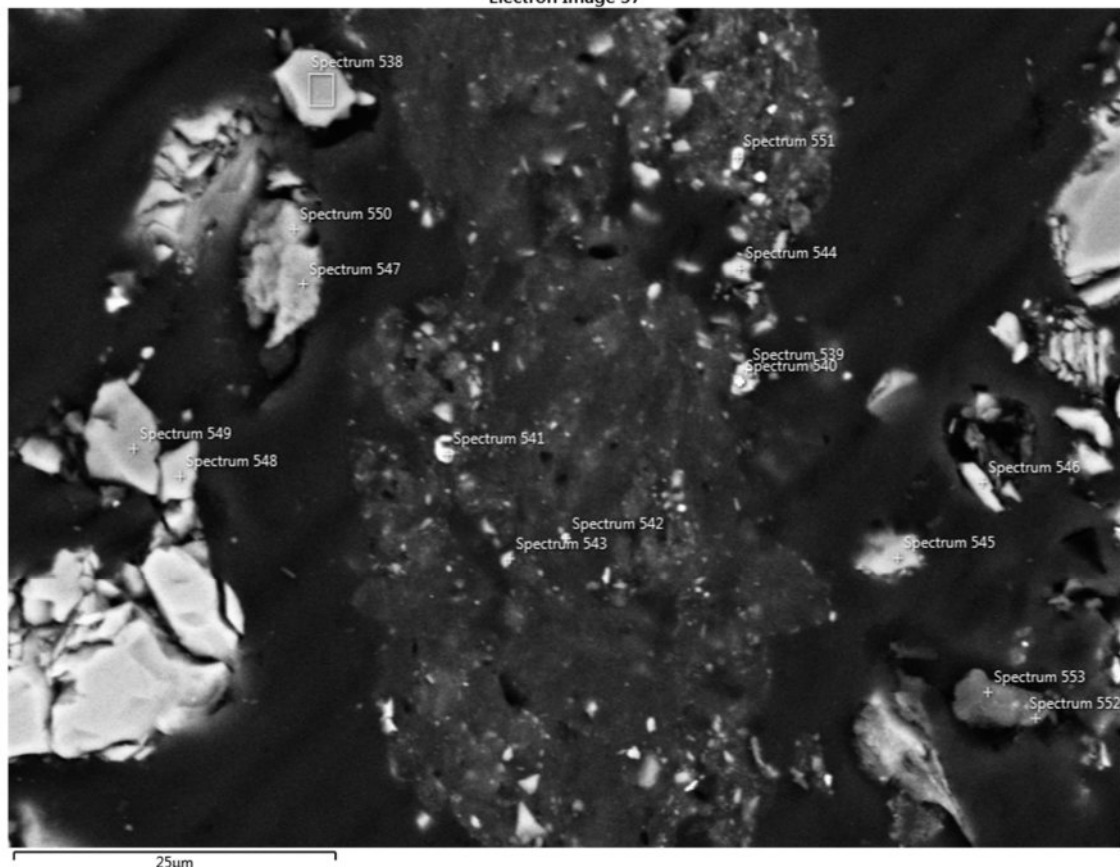
Lýsing: Alls voru gerðar 16 efnagreiningar, sjá Mynd 18. Eitt nokkuð stórt korn sem er Na og Al silikat (plagioklas), síðan eru fimm smá korn í dökkum grunmassa, þar af eitt Ti og Fe ríkt og annað Fe og S



ríkt, hin þrjú eru siliköt, síðan eru nokkur tiltölulega smá korn, þar af eru 7 siliköt. Væntanlega eru öll þessi korn fylliefni úr malbiki. Síðan er stakt Fe, Cu, Zn, og Sn ríkt korn (551), uppruni þess er óljós, en hægt er að útiloka að um sé að ræða fylliefni úr malbiki. Síðustu tvær greiningarnar (552 og 553) eru gerðar á sama korninu og eru báðar með lága summu, sem gæti bent til þess að kolefnisinnihald þeirra sé hátt, en magn kolefnis var ekki greint.



Electron Image 37

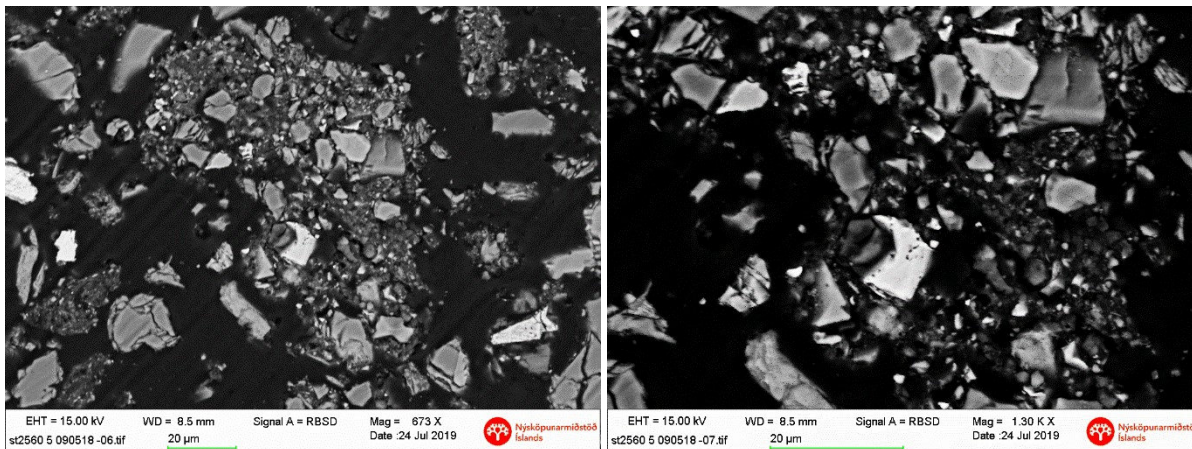


Mynd 18. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 2560 teknu 21.03.18, svæði 1. Á myndinni má sjá staðsetningu á efnagreiningum 538 til 553. Krossar sýna staðsetningu á punktgreiningum og ferhyrningur sýnir staðsetningu á svæði sem hefur verið efnagreint saman. Lengdarkvarði í vinstra horni niðri.

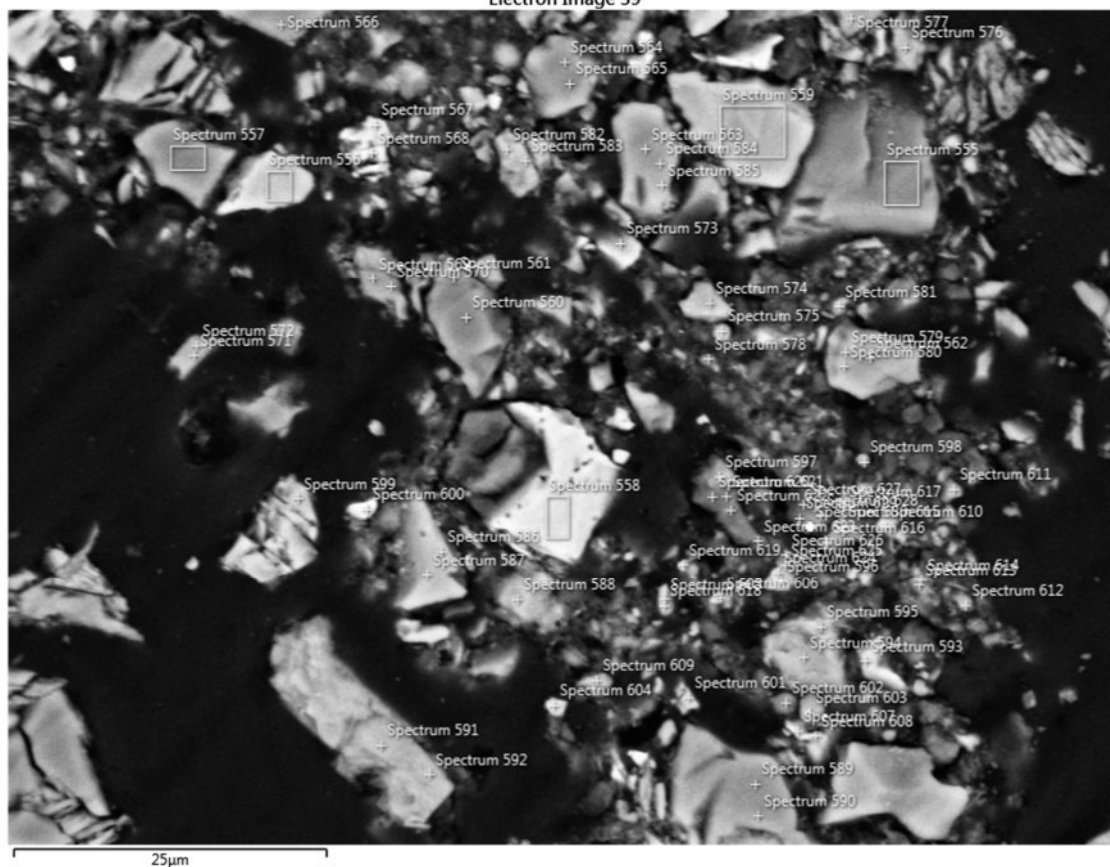
Svæði 2

Lýsing: Alls voru gerðar 76 greiningar. Greiningarnar eru gerðar á um og innan við 10 mikron kornum í einhverskonar grunnmassa, sjá Mynd 19. Si er um og yfir 10 % í öllum kornum nema 10, en Si er þó til

staðar í öllum kornum. Gott samband milli S og Cl, alls 42 korn innihalda annað hvort efnið eða bæði. Ágætt samband milli Fe og Mg, mun meira af Fe. Lágt Si, er vanalega Fe og Ca rík korn en einnig Ca rík korn. Væntanlega eru allar þessar greiningar gerðar á fylliefnskornum úr malbiki.



Electron Image 39



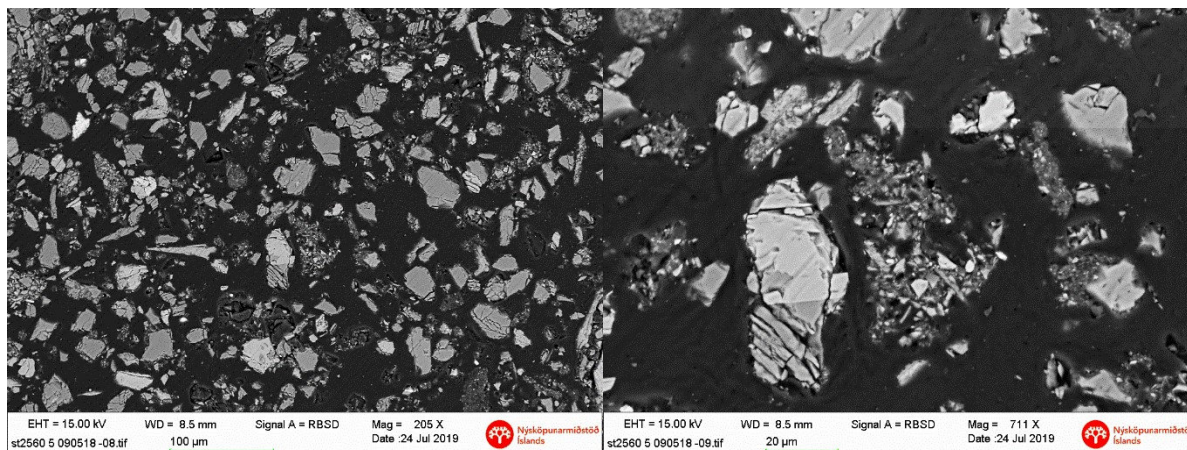
Mynd 19. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 2560 teknu 21.03.18, svæði 2. Á myndinni má sjá staðsetningu á efnagreiningum 555 til 630. Krossar sýna staðsetningu á punktgreiningum og ferhyrningar sýna staðsetningu á svæðum sem hafa verið efnagreind saman. Lengdarkvarði í vinstra horni niðri.

Svæði 3

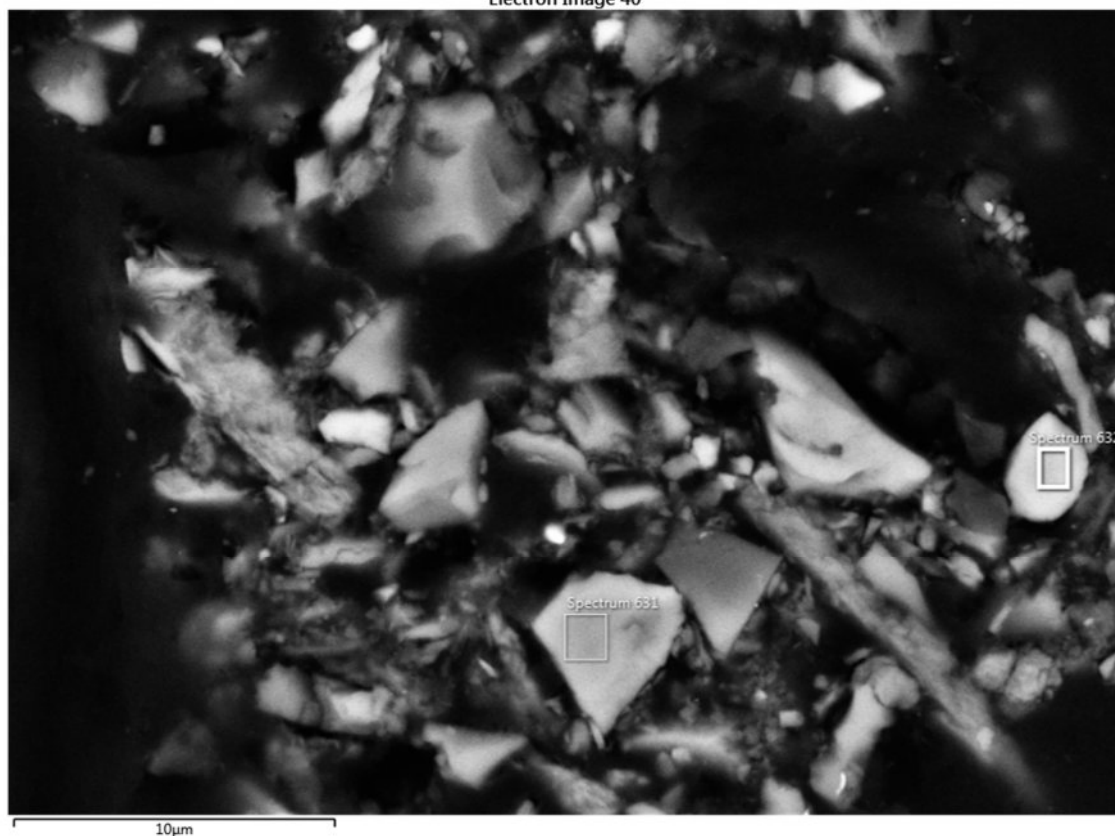
Lýsing: Tvær greiningar á sitthvoru korninu, bæði eru töluvert minni en 10 mikron, sjá Mynd 20. Bæði eru siliköt, það fyrra er Ca, Al, Fe silikat og það seinna Fe og Mg silikat, með lítið sem ekkert Al (olivín). Samsetning á þessum tveimur kornum gefur til kynna að uppruni þeirra sé fylliefni í malbiki, en þetta



eru ekki steindir sem er að finna í „Durasplitt“ efninu, samkvæmt berggreiningu. Járnmagníð í þeim er tiltölulega hátt og því eru steindirnar ekki líklegar til þess að vera úr íslensku bergi.



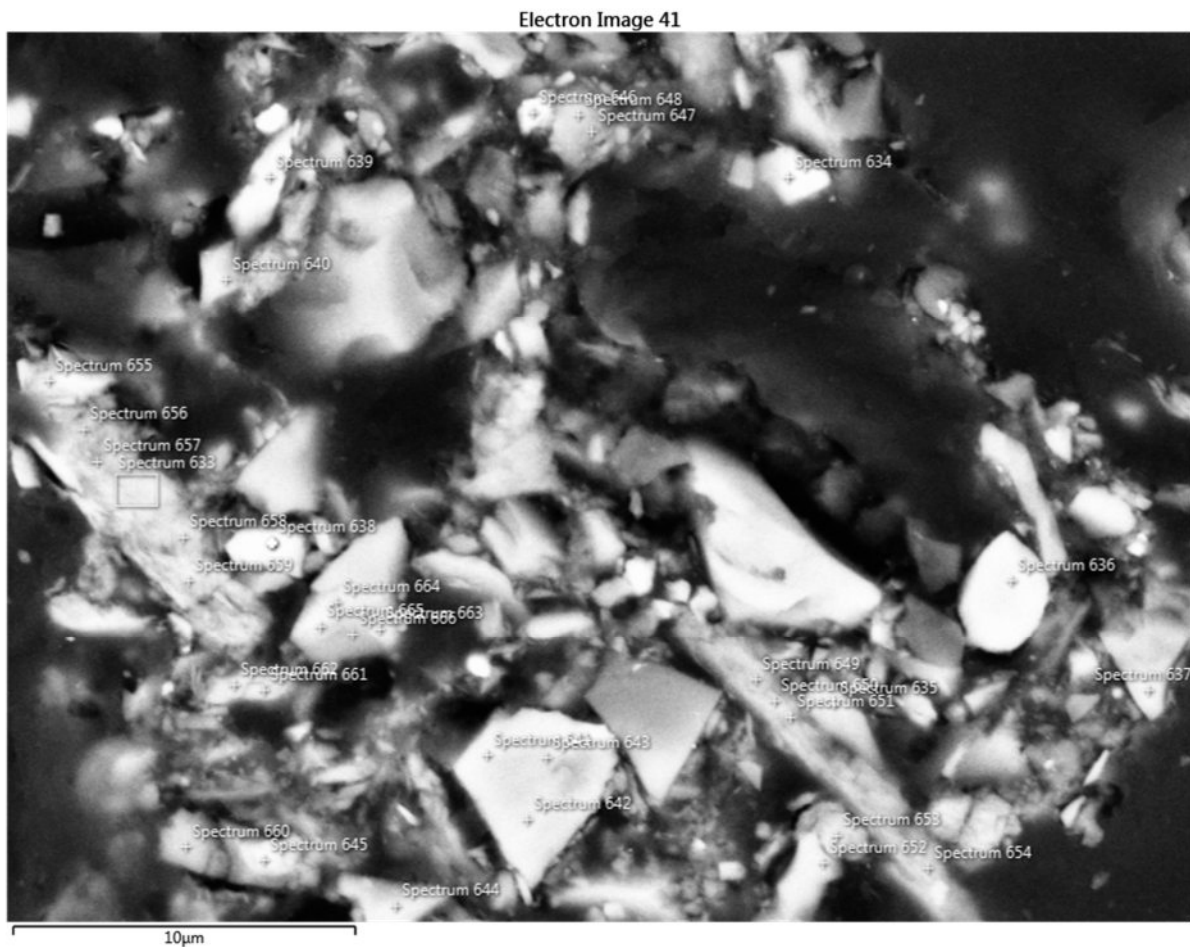
Electron Image 40



Mynd 20. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 2560 teknu 21.03.18, svæði 3. Á myndinni má sjá staðsetningu á efnagreiningum 631 til 632. Ferhyrningar sýna staðsetningu á svæðum sem hafa verið efnagreind saman. Lengdarkvarði í vinstra horni niðri.

Svæði 4

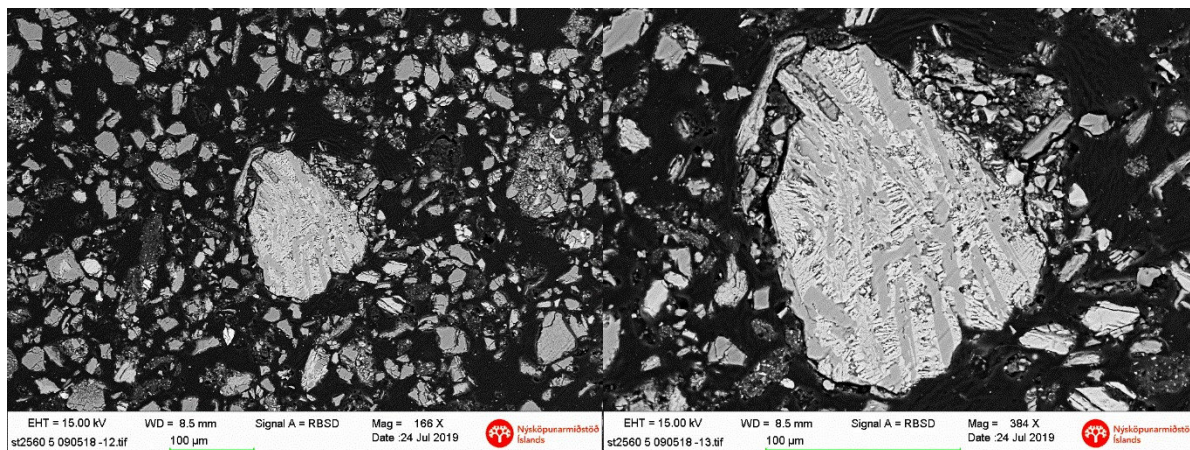
Lýsing: Alls 34 greiningar, sama og svæði 3, sjá **Mynd 20**. Kornin loða saman og virðast ekki vera bundin saman í grunnmassa, sjá **Mynd 21**. Si er til staðar í öllum kornum. Aðeins tvö korn með Si undir 10%. Gott samband milli Fe og Mg, Fe töluvert hærra. Ef Si er lágt (undir og um 10%) er Fe hátt. Greiningar 655 til 659 eru gerðar á sama korninu, væntanlega er um klóríð að ræða. Líklega eru allar greiningarnar gerðar á silikötum og líklega eru upprunnin úr fylliefni í malbiki.



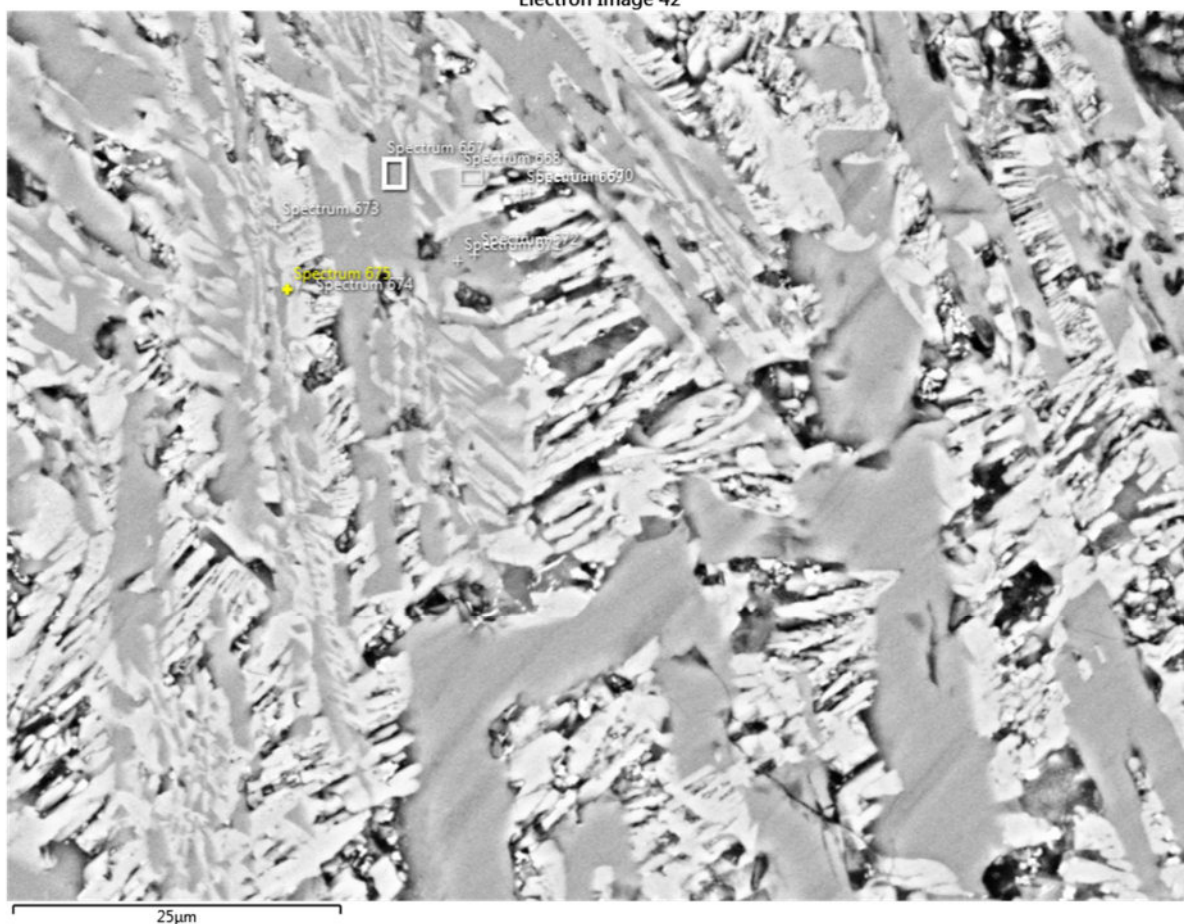
Mynd 21. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 2560 teknu 21.03.18, svæði 4 (3080 x stækkun). Á myndinni má sjá staðsetningu á efnagreiningum 633 til 666. Krossar sýna staðsetningu á punktgreiningum og ferhyrningur sýnir staðsetningu á svæði sem hefur verið efnagreint saman. Lengdarkvarði í vinstra horni niðri.

Svæði 5

Lýsing: Eitt stórt fylliefniskorn úr malbiki. Alls 9 greiningar, sjá Mynd 17 og Mynd 22. Allt siliköt, Fe rík annars vegar og Al rík hins vegar.



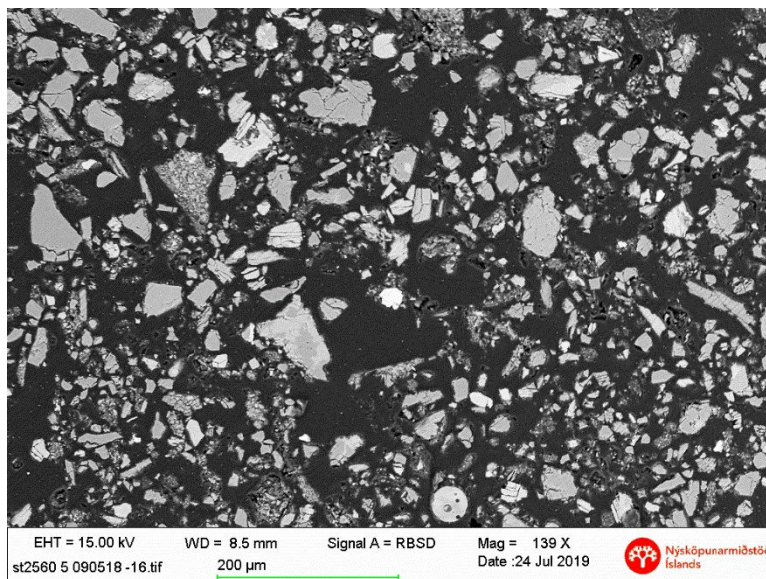
Electron Image 42



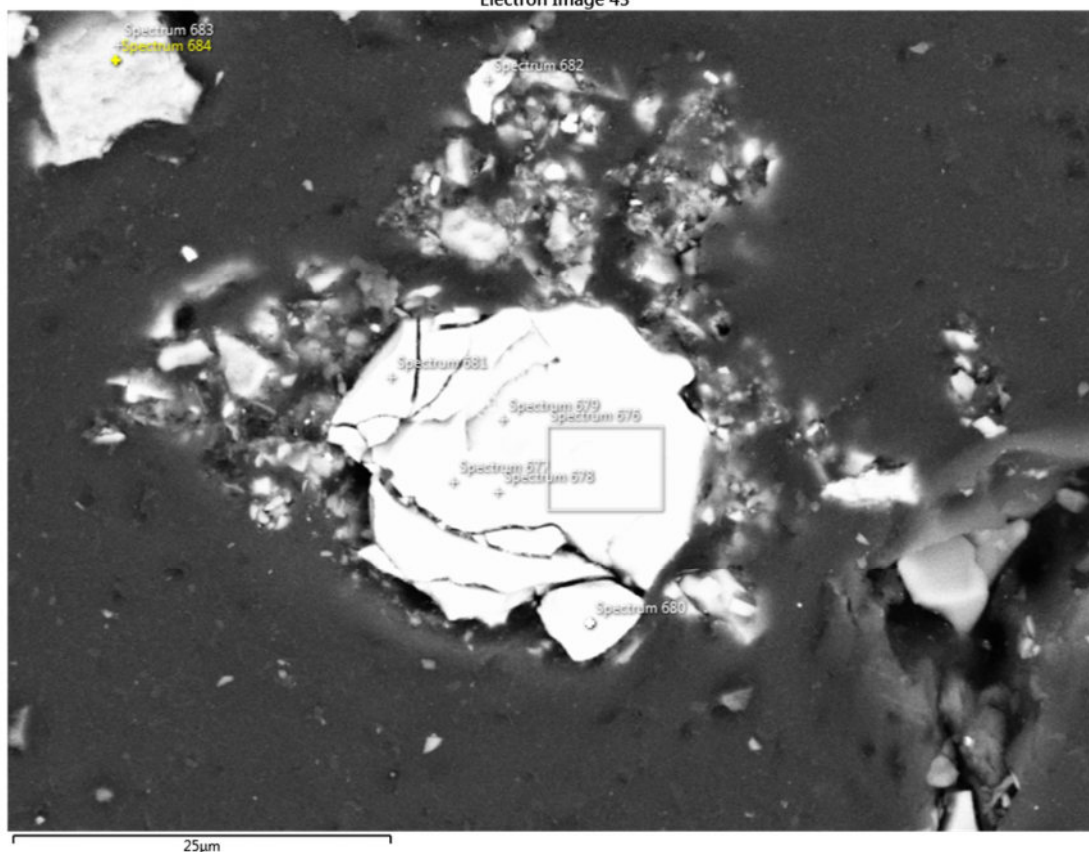
Mynd 22. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 2560 teknu 21.03.18, svæði 5. Á myndinni má sjá staðsetningu á efnagreiningum 667 til 675. Krossar sýna staðsetningu á punktgreiningum og ferhyrningar sýnar staðsetningu á svæðum sem hafa verið efnagreind saman. Lengdarkvarði í vinstra horni niðri.

Svæði 6

Lýsing: Alls 9 greiningar. Eitt tiltölulega stórt korn með um 50 % Fe og um 14 % Ti, með um 25 % O. Síðan er ein greining á Fe og Mg ríku silikati með hátt Fe og svo tvær greiningar á einu korni sem inniheldur álíka mikið af Si og Al, aðeins minna af Mg og töluvert mikið Fe (er væntanlega klóríð), sjá **Mynd 23**. Allt eru þetta fylliefni úr malbiki.



Electron Image 43

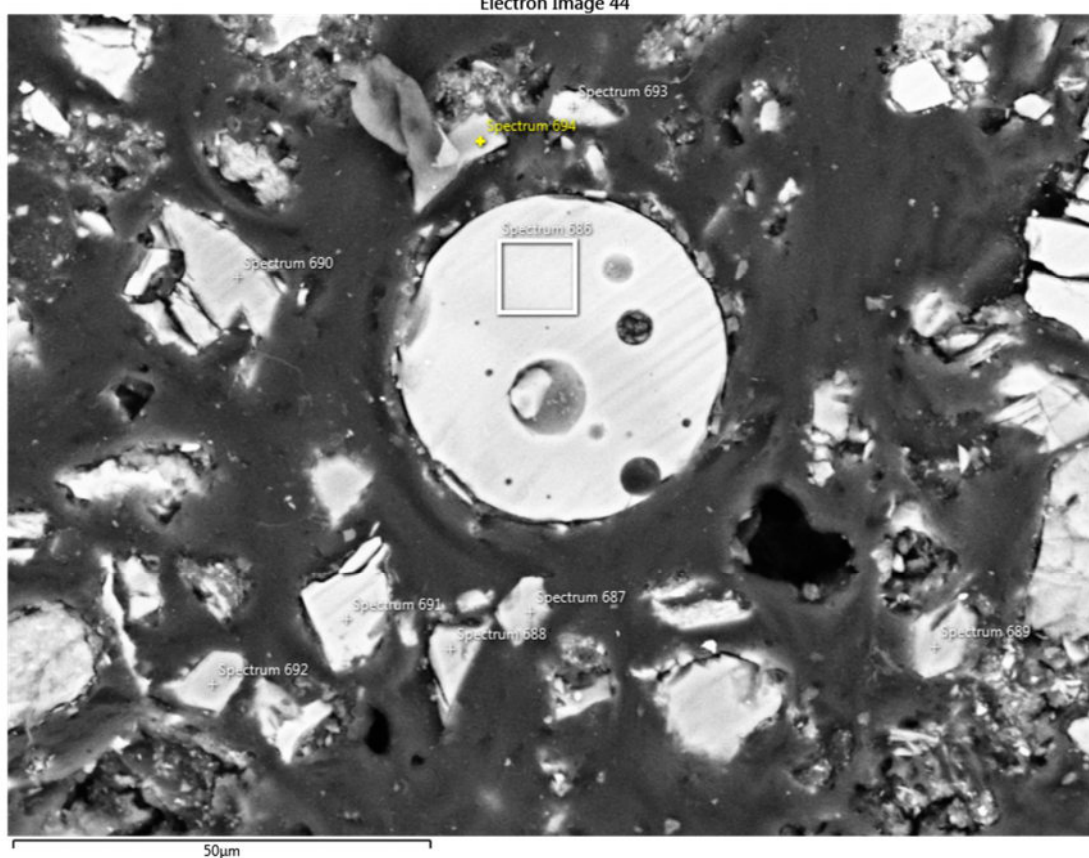
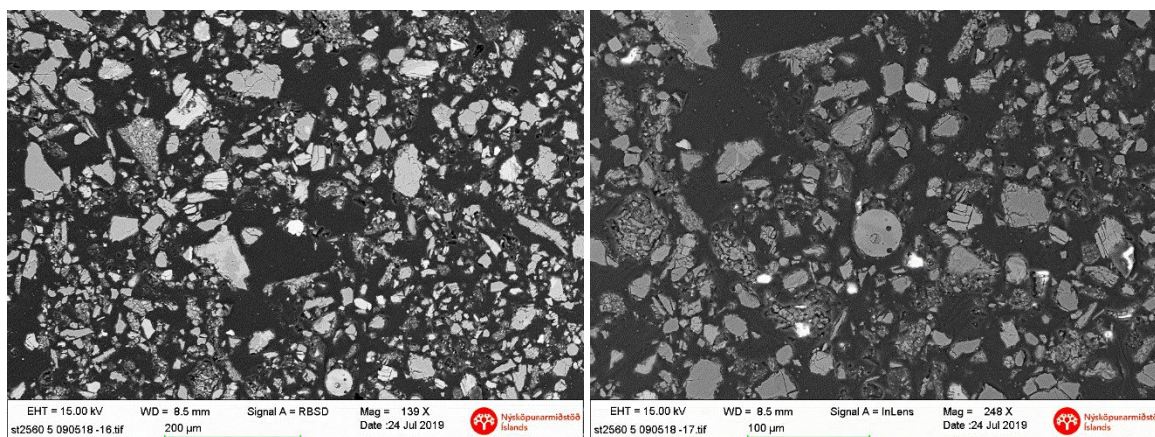


Mynd 23. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 2560 teknu 21.03.18, svæði 6. Á myndinni má sjá staðsetningu á efnagreiningum 676 til 684. Krossar sýna staðsetningu á punktgreiningum og ferhyrningur sýnir staðsetningu á svæði sem hefur verið efnagreint saman. Lengdarkvarði í vinstra horni niðri.

Svæði 7

Lýsing: Alls 9 greiningar, sjá **Mynd 24**. Greining 686 er gerð á hringlaga (kúlulaga) korni. Mögulega er hér um að ræða korn sem hefur farið í gegnum bílvél og bráðnað, a.m.k. er lögun kornsins óvenjuleg og bendir til þess að kornið hafi bráðnað. Greiningar 687, 688, 689, 692 og 694 eru gerðar á kvasi. Greiningar 690 og 691 eru gerðar á silikötum. Uppruni þessara korna er því væntanlega fylliefni í

malbiki. Greining 693 er gerð á járnríku silikati með töluverðu af öðrum efnum og lága summu en kolefni virðist a.m.k. ekki vera mjög hátt.

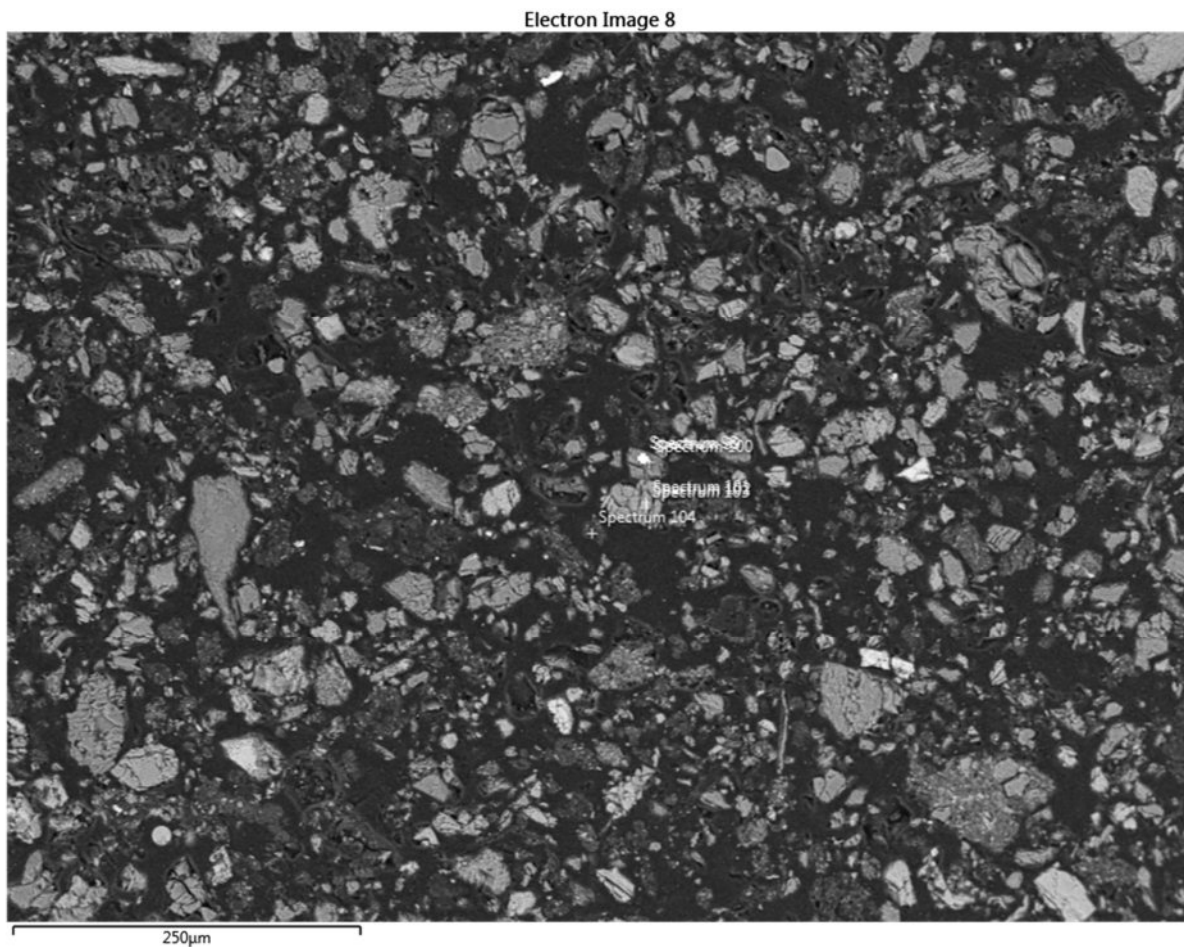


Mynd 24. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 2560 teknu 21.03.18, svæði 7. Á myndinni má sjá staðsetningu á efnagreiningum 686 til 694. Krossar sýna staðsetningu á punktgreiningum og ferhyrningur sýnir staðsetningu á svæði sem hefur verið efnagreint saman. Lengdarkvarði í vinstra horni niðri.

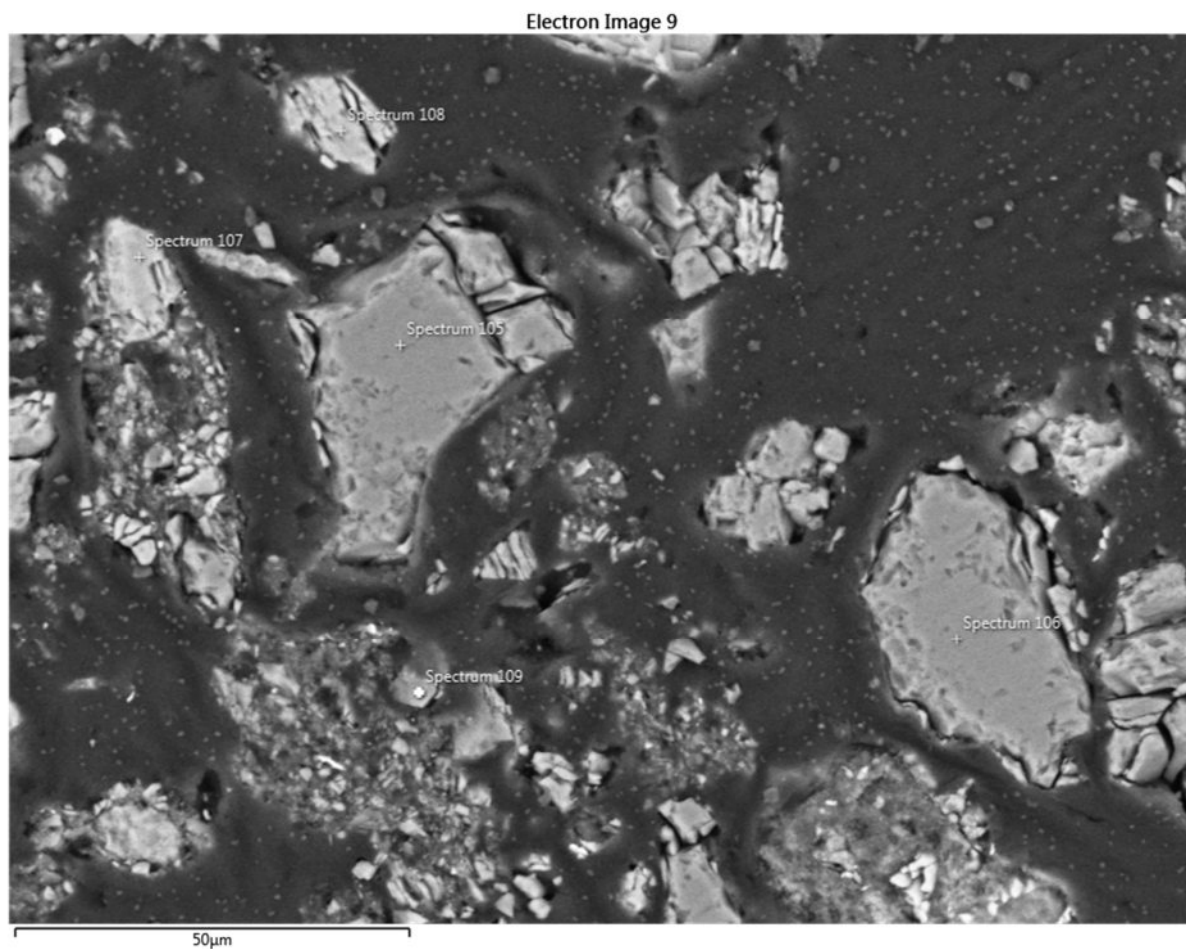
Stöð 4603 nr 1 – 13.06.2018 (sumardekkjatímabil)

Svæði 1

Lýsing: Alls 7 greiningar, sjá **Mynd 25** og **Mynd 26**. Tvær greiningar (105 og 106) eru gerðar á sitt hvoru, tiltölulega stórum, kvarskornum. Þrjár greiningar eru gerðar á mun smærri kornum sem innihalda Mg, Fe og Ca siliköt. Allar greiningarnar eru gerðar á silikötum og eru því fylliefni úr malbiki.



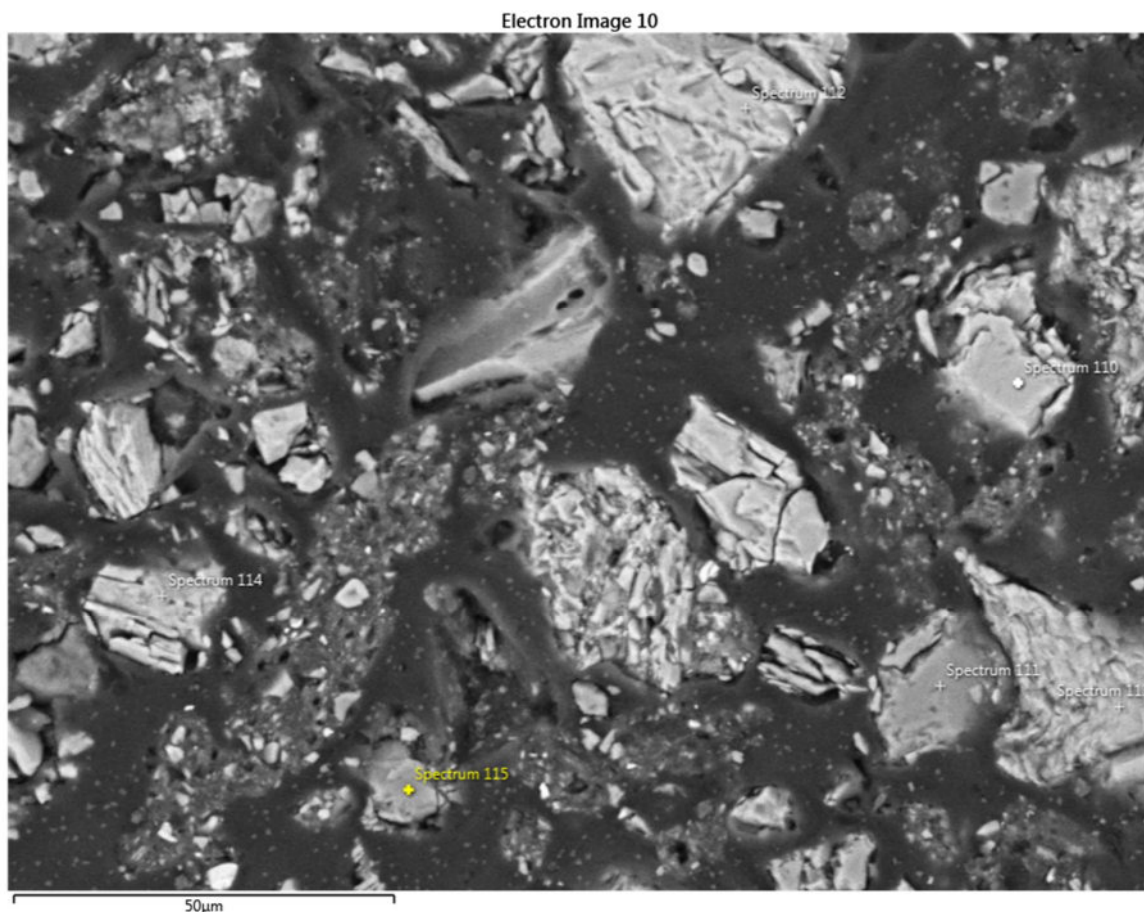
Mynd 25. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 4603 teknu 13.06.18, svæði 1. Á myndinni má sjá staðsetningu á efnagreiningum 98 til 104. Krossar sýna staðsetningu á punktgreiningum. Lengdarkvarði í vinstra horni niðri.



Mynd 26. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 4603 teknu 13.06.18, svæði 1. Á myndinni má sjá staðsetningu á efnagreiningum 105 til 109. Krossar sýna staðsetningu á punktgreiningum. Lengdarkvarði í vinstra horni niðri.

Svæði 2

Lýsing: Sex greiningar af nokkuð stórum kornum, allt siliköt, þar af öll nema eitt Fe-rík, sjá Mynd 27. Engin þyngri efni en Fe tilstaðar.



Mynd 27. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 4603 teknu 13.06.18, svæði 2. Á myndinni má sjá staðsetningu á efnagreiningum 110 til 115. Krossar sýna staðsetningu á punktgreiningum. Lengdarkvarði í vinstra horni niðri.

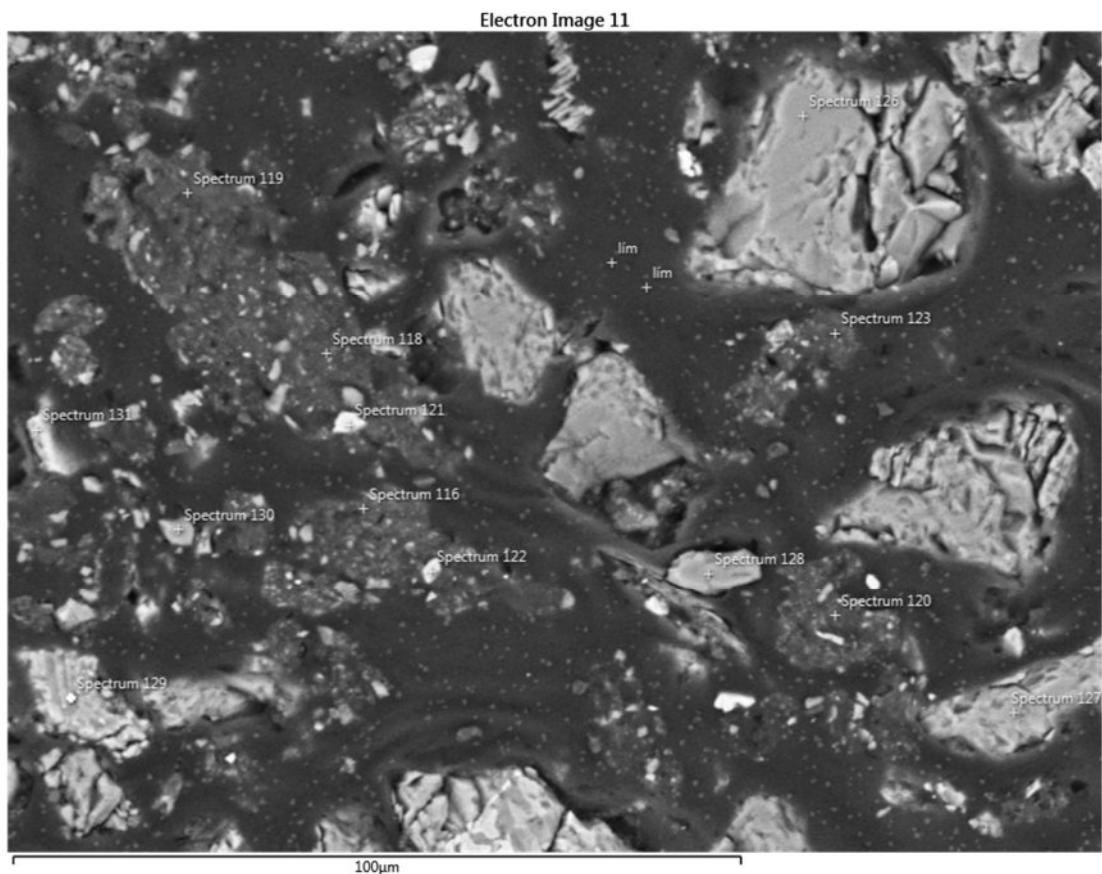
Svæði 3

Lýsing: Fimm greiningar gerðar á grunnmassa (116, 118 til 120 og 123), sjá **Mynd 28**. Summan er þokkaleg, C er um 50 til 65 %, O um 22 % og Si frá 7 til 14 %. Nokkuð af Fe, S og Cl sem og öðrum efnum eins og Zn. Uppruni þessa grunnmassa er ekki ljós og erfitt að ráða í það út frá þessum greiningum, mögulega gæti tiltölulega mikill kísill gefið einhverjar vísbendingar.

Tvær greiningar voru gerðar á epoxy-lími, önnur með góða summu og um 80 % kolefni og töluvert magn af Cl.

Greining 121 er gerð á Fe-Ti oxíði og greiningar 126 til 130 eru gerðar á silikötum.

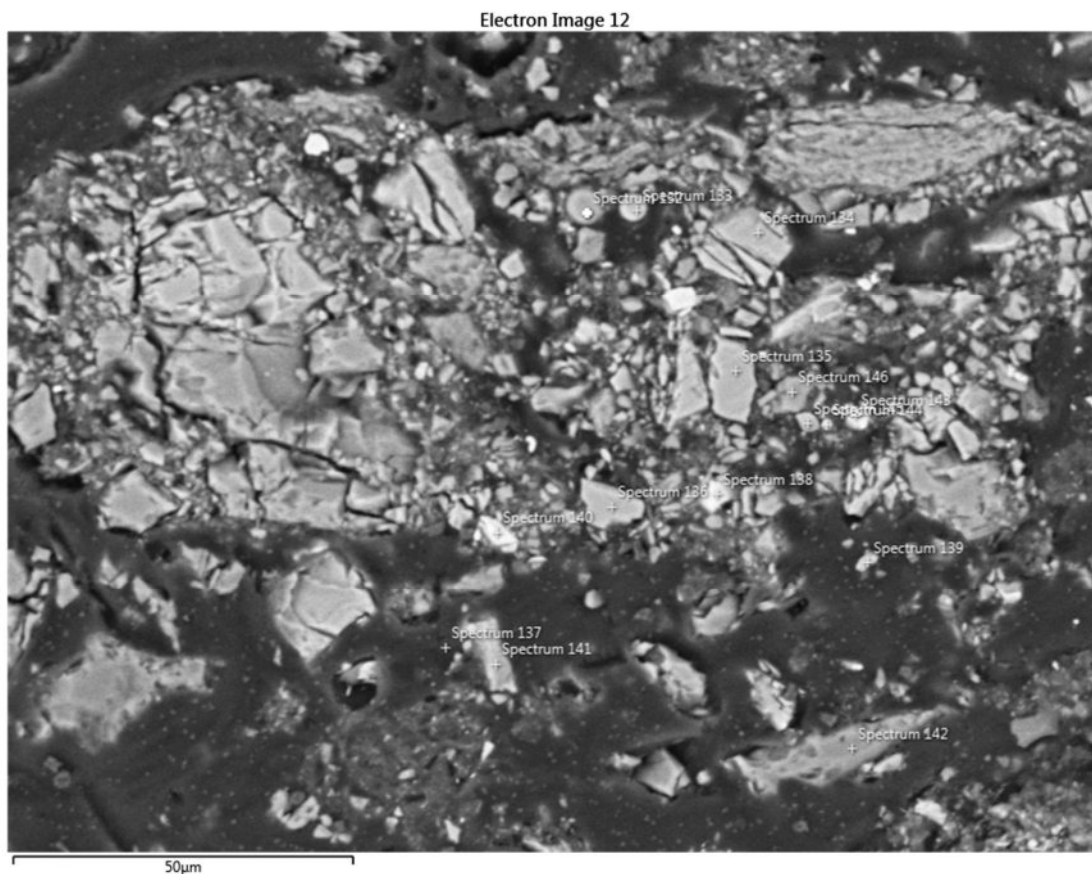
Greining 131 misheppnaðist.



Mynd 28. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 4603 teknu 13.06.18, svæði 3. Á myndinni má sjá staðsetningu á efnagreiningum 116 til 131 og svo tvo staði þar sem greiningar á lími og kolefnishúð voru gerðar. Krossar sýna staðsetningu á punktgreiningum. Lengdarkvarði í vinstra horni niðri.

Svæði 4

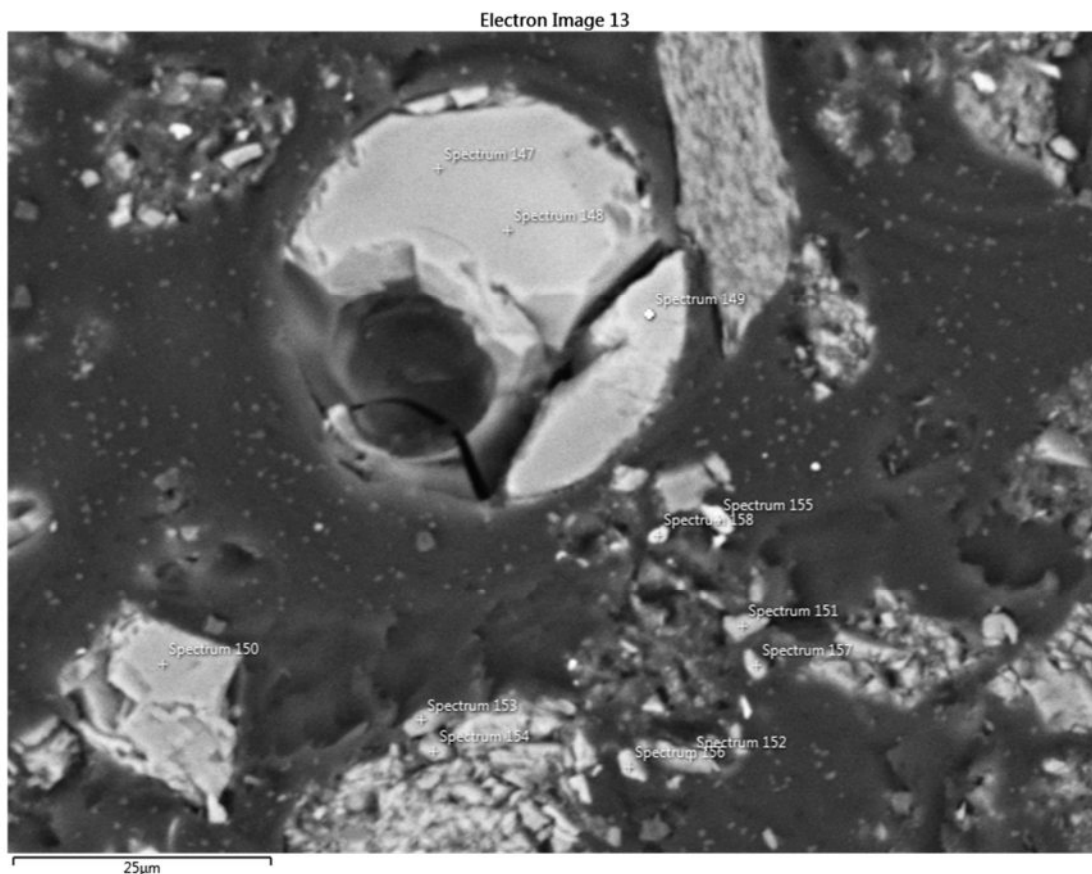
Lýsing: Einhverskonar samloðum af misstórum kornum. Alls 15 greiningar, sjá **Mynd 29**. 10 greiningar eru gerðar á hefðbundnum silikat fylliefnum eins og fundist hafa í öðrum sýnum. Flest eru Fe rík og Mg er yfirleitt minna en Fe. Te-Ti oxíð algeng, þ.e. 4 greiningar. Ein greining er ónýt. Greiningar 132 og 133 eru gerðar á sitthvoru hringlaga korninu.



Mynd 29. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 4603 teknu 13.06.18, svæði 4. Á myndinni má sjá staðsetningu á efnagreiningum 132 til 146. Krossar sýna staðsetningu á punktgreiningum. Lengdarkvarði í vinstra horni niðri.

Svæði 5

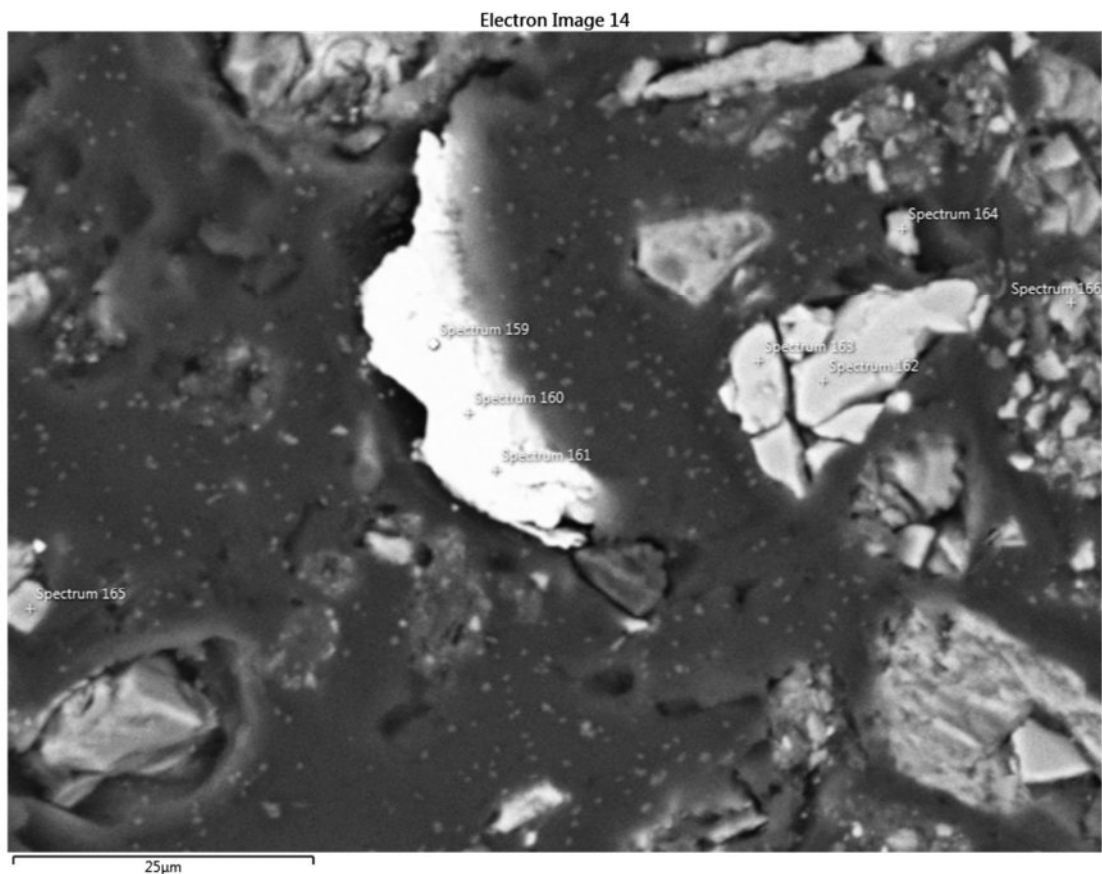
Lýsing: Alls 12 greiningar. Svæðið samanstendur af einu tiltölulega stóru (>25 mikron) hringlaga korni og svo öðrum mun smærri, sjá **Mynd 30**. Stóra kornið er Fe, Mg, Ca ríkt fylliefni (silikat) með lágt Al. Spurning er hvort kornið hafi farið í gegnum bílvél, en væntanlega er kornið upprunið úr göngunum. Hin kornin eru siliköt, með ekkert Mg og lítið Fe og eru þrjú þeirra kvars (152 til 154). Tvö korn (155 og 158) eru Fe rík oxíð. Uppruni þessara korna er fylliefni í malbiki.



Mynd 30. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 4603 teknu 13.06.18, svæði 5. Á myndinni má sjá staðsetningu á efnagreiningum 147 til 158. Krossar sýna staðsetningu á punktgreiningum. Lengdarkvarði í vinstra horni niðri.

Svæði 6

Lýsing: Alls átta greiningar á fjórum kornum. Tvö eru nokkuð stór og tvö eru tiltölulega smá, **Mynd 31**. Annað stóra kornið er u.þ.b. hreint Fe (159, 160 og 161), og hitt er Fe ríkt silikat (ólivín). Síðan eru þrjú tiltölulega smá Al, Ca, Na silikat korn, greiningar 164 til 166 (plagioklas). Silikötin eru upprunnin úr malbiki, en járneið hefur óljósan upprunna. Áhugavert er að um hreint járn er að ræða.



Mynd 31. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 4603 teknu 13.06.18, svæði 6. Á myndinni má sjá staðsetningu á efnagreiningum 159 til 166. Krossar sýna staðsetningu á punktgreiningum. Lengdarkvarði í vinstra horni niðri.

Svæði 7

Lýsing: Alls 14 greiningar, sjá **Mynd 32**.

Greiningar 167 til 169 eru gerðar á um 25 mikrona stóru korni. Greiningar 167 og 168 eru nánast hreint Fe og greining 169 sem og greiningar 172 og 173 eru járnnoxíð með frekar lága summu.

Greiningar 170, 171 og 179 eru gerðar á smáum kvarskornum.

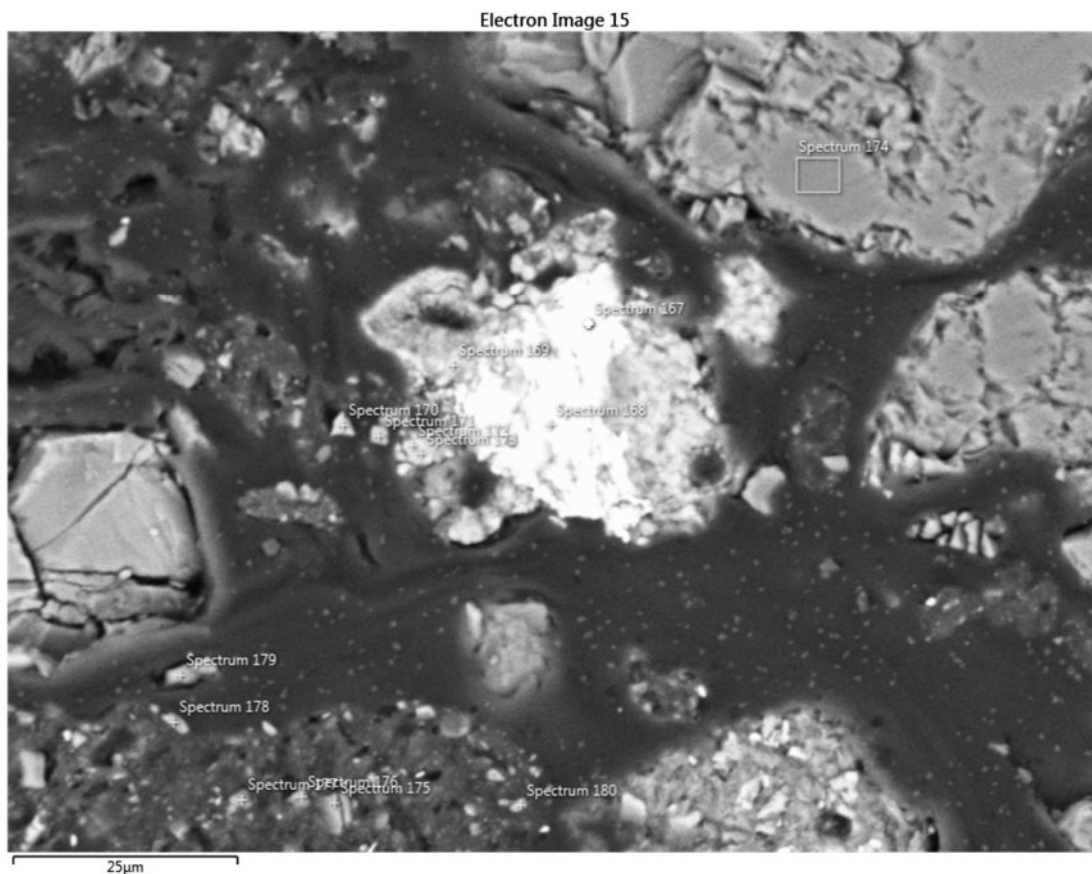
Greiningar 174 og 175 eru gerðar annars vegar á nokkuð stóru (< 25 mikron) og smáu korni. Bæði eru Al, Na siliköt (plakióklas).

Greining 176 er gerð á smáu korni sem saman stendur af Ca, Mg og O, summan er aðeins um 79 %. Væntanlega er um Ca, Mg karbónat að ræða.

Greiningar 177 og 178 eru gerðar á smáum Al, Ca silikat kornum (plagióklas).

Greining 180 er gerð á smáu Al, K silikat korni, með lága summu (feldspat).

Kornin sem fylliefnin eru gerð úr eru öll upprunnin úr fylliefni í malbiki, nema járníð og járnnoxíðið, uppruni þess er óljós.



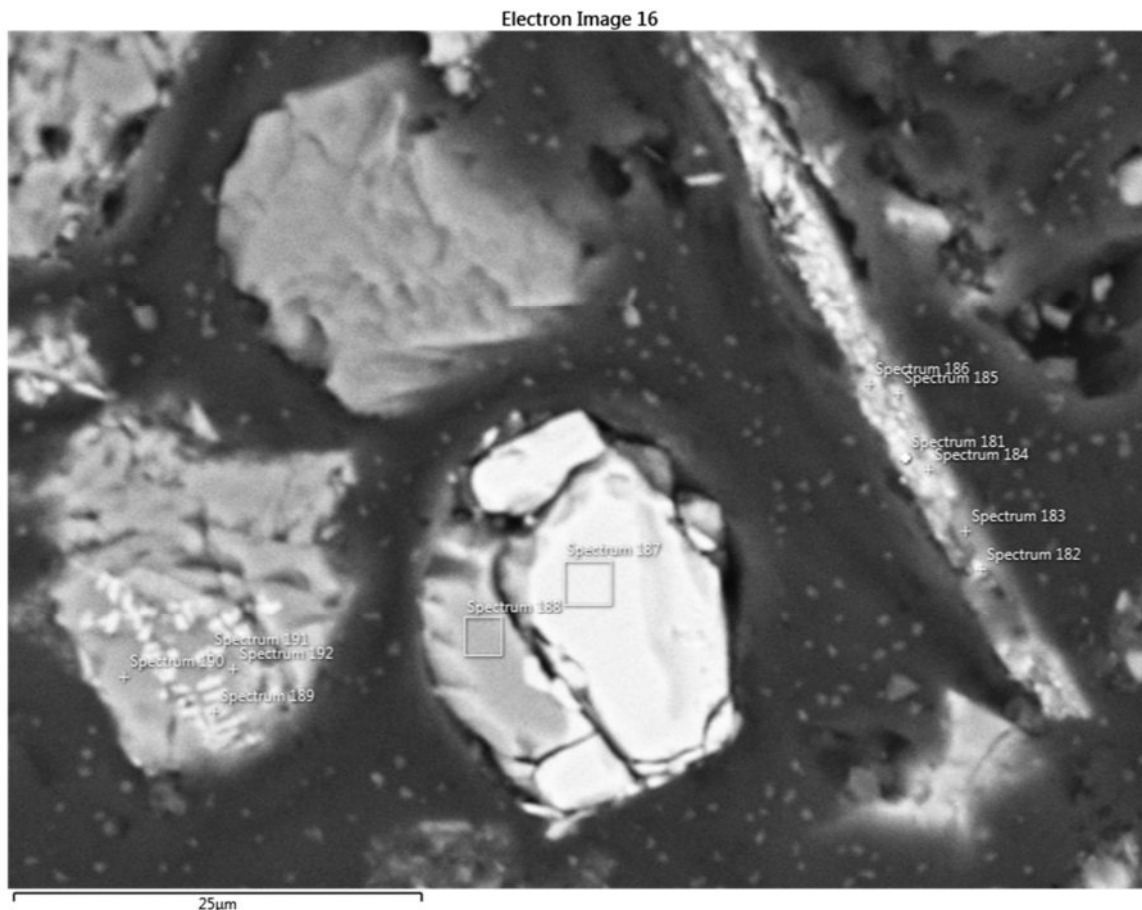
Mynd 32. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 4603 teknu 13.06.18, svæði 7. Á myndinni má sjá staðsetningu á efnagreiningum 167 til 180. Krossar sýna staðsetningu á punktgreiningum og ferhyrningur sýnir staðsetningu á svæði sem hefur verið efnagreint saman. Lengdarkvarði í vinstra horni niðri.

Svæði 8

Lýsing: Alls 12 greiningar á þremur kornum, tvö kubbslaga og eitt ílangt, sjá **Mynd 33**.

Ílanga kornið, er um 50 mikron á lengd og innan við 5 mikron á breidd. Greiningar 181 til 186 voru gerðar á korninu. Greiningarnar eru allar með mislága summu, Fe er um 30 til 50 %, O er um 7 til 14 %, Ba er um 2 til 5 % í öllum greiningunum og velflestar með nokkuð af Cu, Zn og Zr, einnig Cr, S og Cl. Greiningarnar eru ekki góðar, þ.e. þær eru mjög breytilegar. Mögulega er um að ræða baríum járn oxíð að ræða.

Annað stóra kornið er annars vegar Fe ríkt, Ti oxíð (187) og hins vegar er Ca, Mg, Fe silikat með lítið af Al (188). Hitt stóra kornið er tveggja fasa, annars vegar Fe, Ti, Al silikat (189 og 190) og hins vegar Fe, Al, Ca silikat (191 og 192). Uppruni þessara korna er fylliefni í malbiki.



Mynd 33. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 4603 teknu 13.06.18, svæði 8. Á myndinni má sjá staðsetningu á efnagreiningum 181 til 192. Krossar sýna staðsetningu á punktgreiningum og ferhyrningar sýna staðsetningu á svæði sem hefur verið efnagreint saman. Lengdarkvarði í vinstra horni niðri.

Svæði 9

Lýsing: Alls 29 korn. Tvö stór korn og síðan tveir hópar af smáum kornum í grunnmassa og greiningar á grunnmassa, sjá **Mynd 34**.

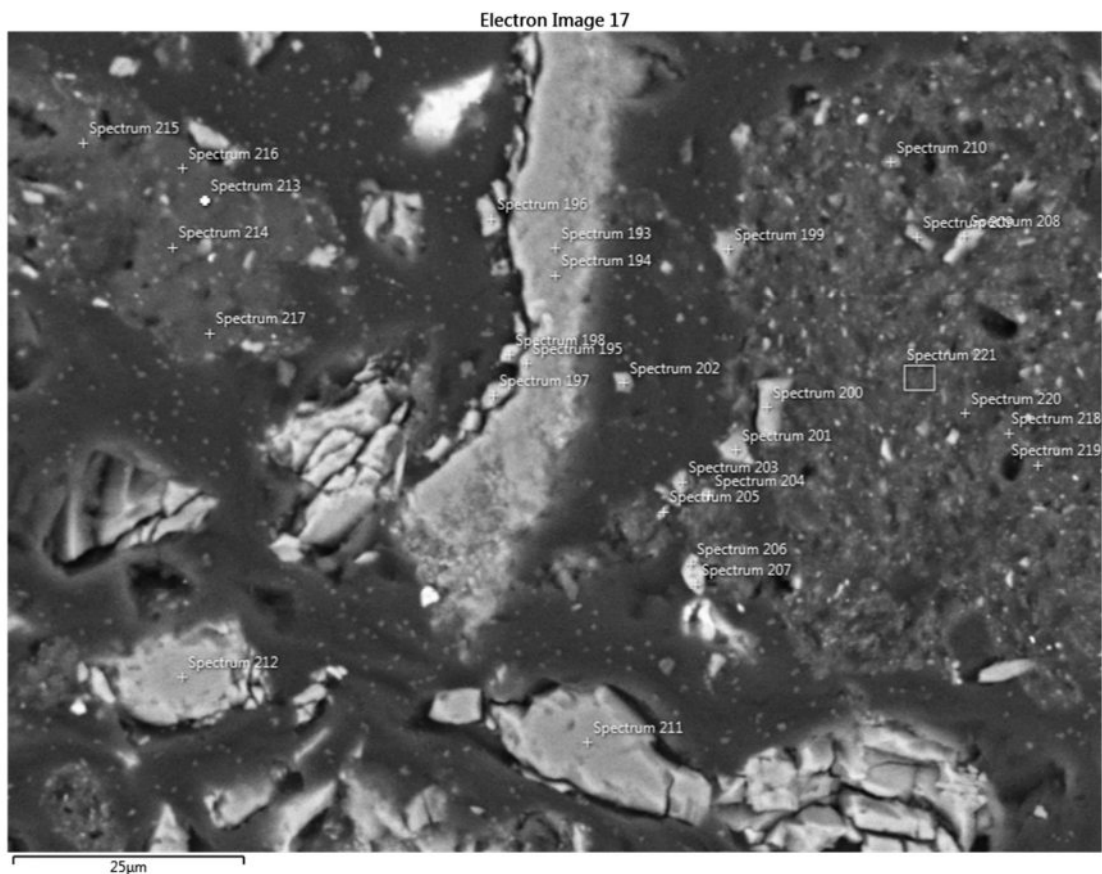
Ílanga, stóra kornið er Al, Na, Ca silikat (193 til 198).

Næstu tólf greiningar eru gerðar á smáum fösum í grunnmassa, allt siliköt (greiningar 199 til og með 210).

Greining 211 er um 25 mikrona stórt kvars korn. Greining 212 er einnig um 25 mikrona stórt Al, Ca, Na silikat (plagioklas).

Greiningar 213 til 217 eru gerðar á grunnmassa vinstra megin við ílanga kornið. C er um 60 %, O er um 23 %, Si um 12 til 14 %, slatti af S og Cl, meira af S en Cl eins og vanalega, Zn er um 0,5 %. Summan er mjög góð eða um 100 %. Þessar greiningar eru mjög svipaðar greiningum á grunnmassa af svæði 3, sjá **Mynd 28**.

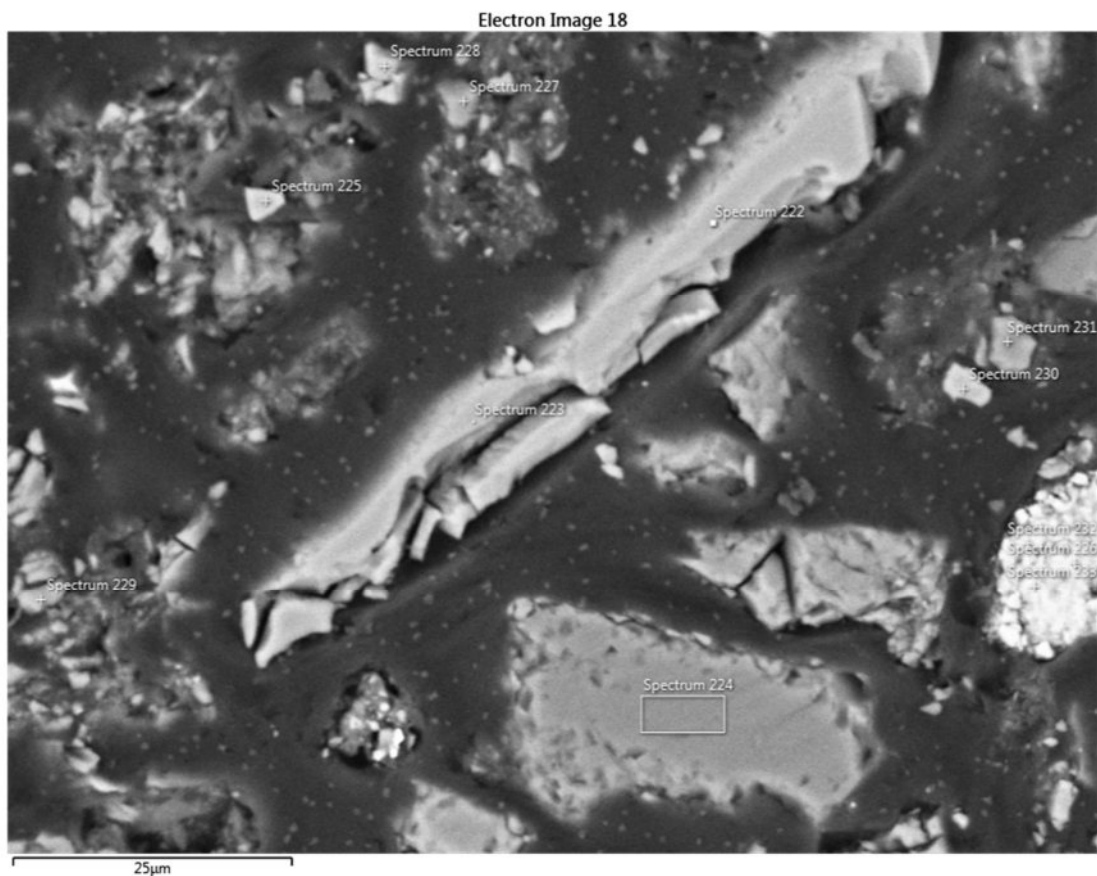
Greiningar 218 til 221 eru gerðar á grunnmassa hægra megin við ílanga kornið. Summa allra greininganna er tiltölulega há nema hjá 221 þar sem summan er í lagi. Þegar efnagreiningarnar eru uppreiknað í 100 %, er C er um 70 %, O um 16 %, Si um 5 %, Al um 2 % Zn um 0,5 til 1,5, Fe um 2 til 2,5 % og minna af öllum aðalefnum en ekkert af þyngra en Fe nema Zn, en það er um 1,3 % af Zn.



Mynd 34. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 4603 teknu 13.06.18, svæði 9. Á myndinni má sjá staðsetningu á efnagreiningum 193 til 221. Krossar sýna staðsetningu á punktgreiningum og ferhyrningur sýnir staðsetningu á svæði sem hefur verið efnagreint saman. Lengdarkvarði í vinstra horni niðri.

Svæði 10

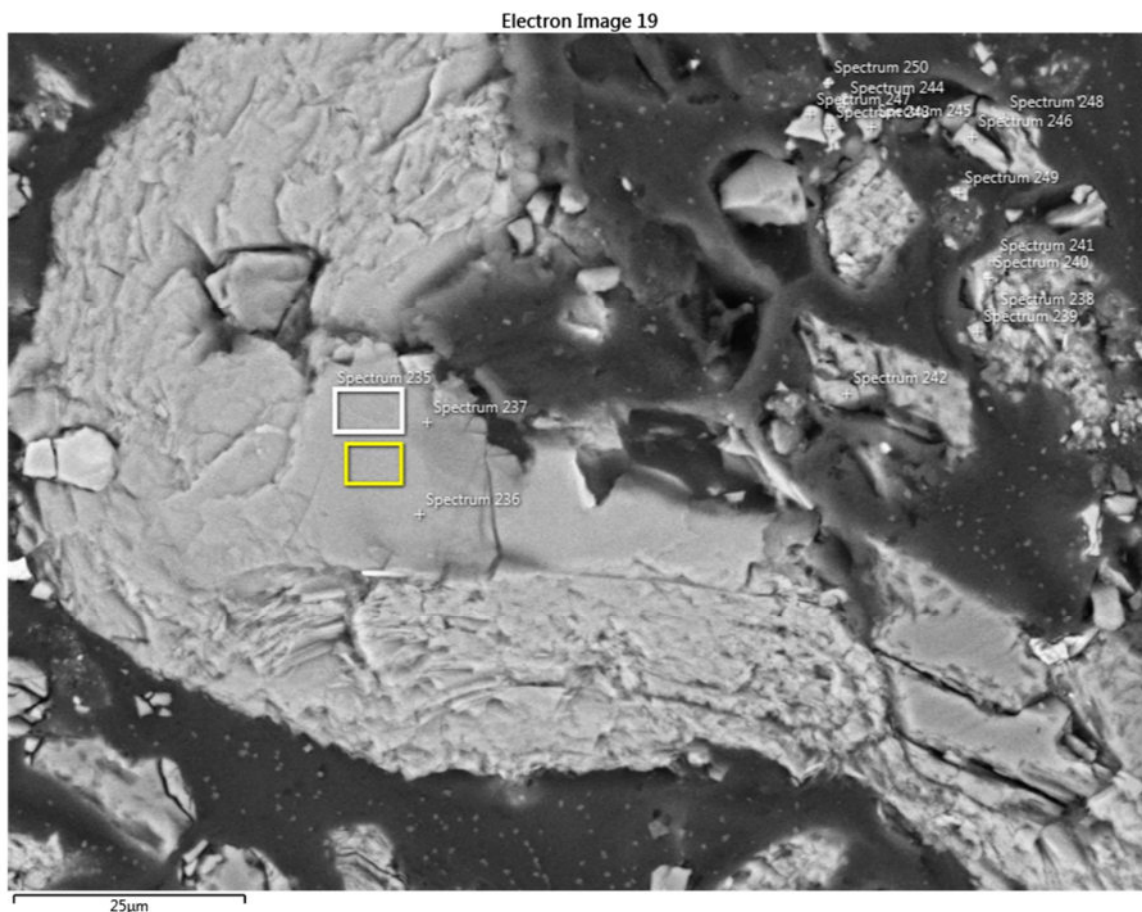
Lýsing: Alls 12 greiningar, gerðar á þremur stórum (um og yfir 25 mikron) og svo smærri kornum, sjá **Mynd 35**. Summan er þökkaleg góð. Stóra ílanga kornið er Fe, Ca, Al silikat (greiningar 222 og 223). Greining 224 er gerð á kvasi. Greiningar eru gerðar á smáum kornum 225, 227, 228, 229, 230 og 231 og eru allt siliköt. Greiningar 226, 232 og 233 eru gerðar á Fe oxíðum, virðist vera samsettur fasi. Engin efni þyngri en Fe til staðar. Uppruni járnnoxíðsins er óljós, en járn og járnnoxíð eru nokkuð algeng í þessum sýnum.



Mynd 35. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 4603 teknu 13.06.18, svæði 10. Á myndinni má sjá staðsetningu á efnagreiningum 222 til 233. Krossar sýna staðsetningu á punktgreiningum og ferhyrningur sýnir staðsetningu á svæði sem hefur verið efnagreint saman. Lengdarkvarði í vinstra horni niðri.

Svæði 11

Lýsing: Alls 16 greiningar á bæði stórum og smáum fösum, sjá **Mynd 36**. Stóra kornið er hefðbundið silikat með hátt Fe, Al og Mg og greiningarnar eru ekki góðar (235, 236 og 237). Greiningar 238 til 249 eru gerðar á smáum fösum. Greiningar 238, 240 og 241 er gerðar á Ca ríkum fasa. Greiningar 239, 242 til 249 eru gerðar á silikötum með tiltölulega litlu Mg, nema 249. Greining 250 er ónýt.



Mynd 36. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 4603 teknu 13.06.18, svæði 11. Á myndinni má sjá staðsetningu á efnagreiningum 235 til 250. Krossar sýna staðsetningu á punktgreiningum og ferhyrningar sýna staðsetningu á svæðum sem hafa verið efnagreind saman. Lengdarkvarði í vinstra horni niðri.

Svæði 12

Lýsing: Tvennskonar fasar, annars vegar tiltölulega langt (< 25 mikron) málmkorn (251 og 252) og hinsvegar fylliefni í grunnmassa, alls 12 greiningar, sjá **Mynd 37**. Málmkornið er með um 96 % Fe með smávegis af Mn og Ca. Fylliefnin í grunnmassanum (253 til 262) eru Si rík með Si frá 15 til 35. Mg er lágt, Fe hátt í einu korni (8,6 %). Engin efni þyngrri en Fe. Summa frá 60 til 110 %. Uppruni þessara korna er að silikötin koma úr malbiki, en uppruni járnsins er óljós.

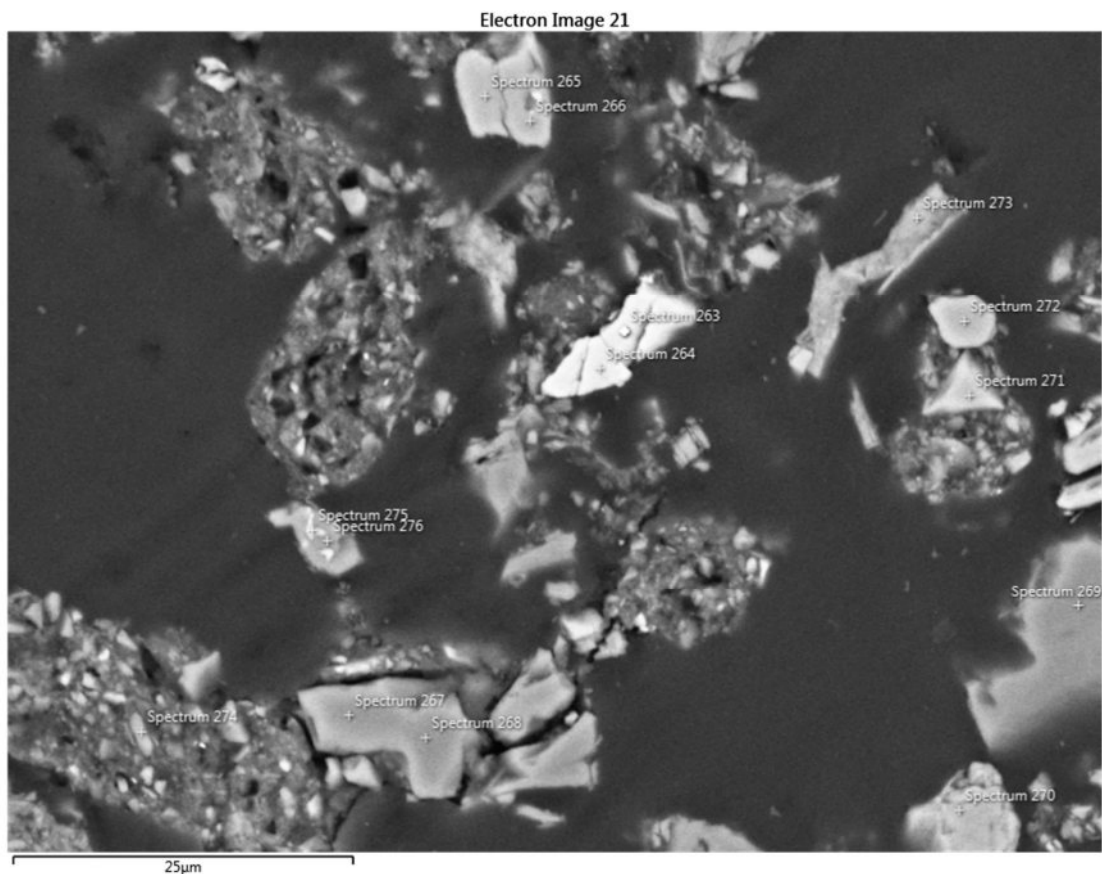


Mynd 37. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 4603 teknu 13.06.18, svæði 12. Á myndinni má sjá staðsetningu á efnagreiningum 251 til 262. Krossar sýna staðsetningu á punktgreiningum. Lengdarkvarði í vinstra horni niðri.

Stöð 4603 nr 4 – 21.03.2018 (nagladekkjatímabil)

Svæði 1

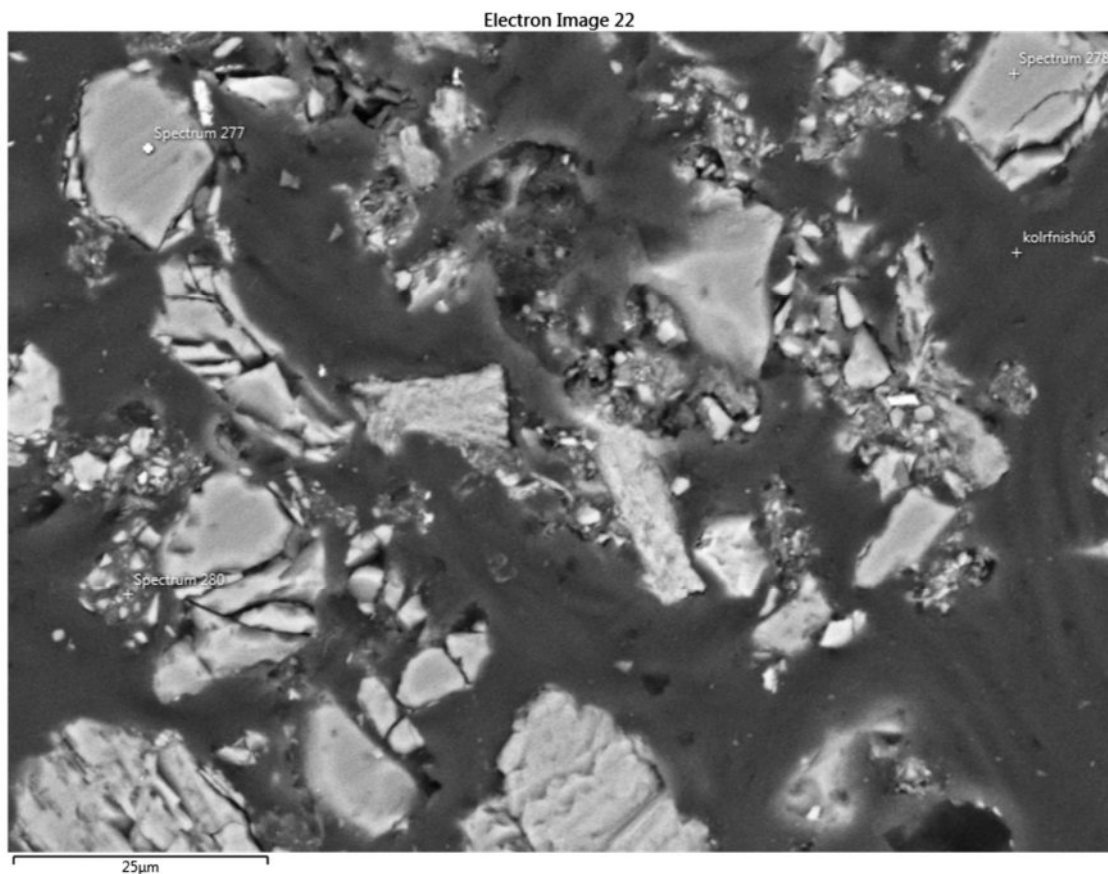
Lýsing: Alls 14 greiningar á fösum minni en 10 mikron eða á því bili, **Mynd 38**. Greiningar 263 og 264 eru gerðar á Fe, Ti oxíð fasa með smávegis af V. Greiningar 265 og 266 eru gerðar á Fe, Ca, Mg silikötum. Greiningar 267 og 268 eru gerðar á sama korninu sem er samsett af feldspat og kvars steindum, ekki sjást fasaskil á milli þessara fasa í „backscatter“. Greining 269 er gerð á kvasi. Greiningar 270 til 273 eru gerðar á smáum fösum, Fe ríkum silikötum. Greining 274 er gerð á smáu kvasi í grunnmassa. Greiningar 275 og 276 eru gerðar á sama korninu, greining 275 er gerð á Fe ríkum silikat fasa og greining 276 er einnig gerð á silikati.



Mynd 38. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 4603 teknu 21.03.18, svæði 1. Á myndinni má sjá staðsetningu á efnagreiningum 263 til 276. Krossar sýna staðsetningu á punktgreiningum. Lengdarkvarði í vinstra horni niðri.

Svæði 2

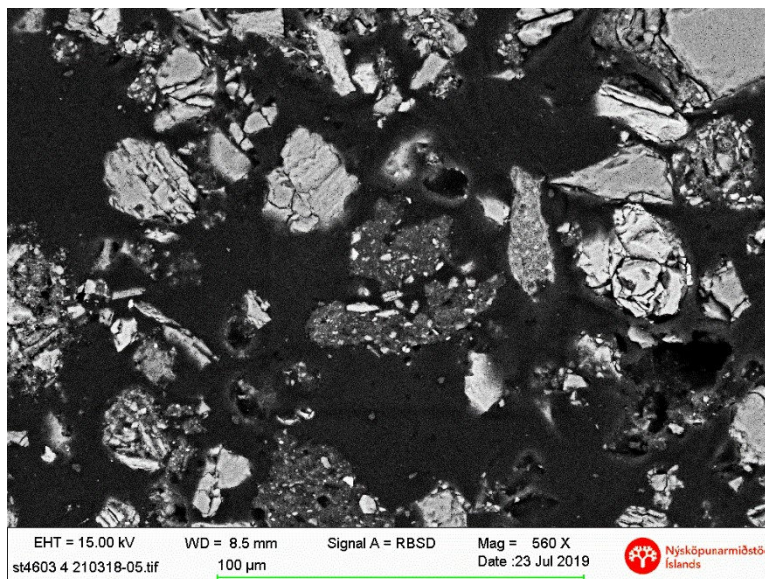
Lýsing: Fjórar greiningar, sjá **Mynd 39**. Greiningar 277 og 278 eru gerðar á tveimur tæplega 25 mikrona kvars kornum. Næsta greining er gerð á kolefnishúð og lími, summan er aðeins um 58 %. Ef efnagreiningin er uppreiknuð í 100 % verður C um 84 %, O um 13 % og Cl um 2 %. Greining 280 er gerð á ljósgráum grunnmassa, summa efnagreiningarinnar er um 87 %, en uppreiknað í 100 % verður C um 51 %, O um 22 %, Si um 12 % og minna af öðrum aðalefnum, Fe er hæst um 4 %. Þegar efnagreining 280 er uppreiknuð í 100 % án kolefnis, þá situr eftir greining sem svipar mjög til hefðbundins silikats eins og það greinist í þessari rannsókn.



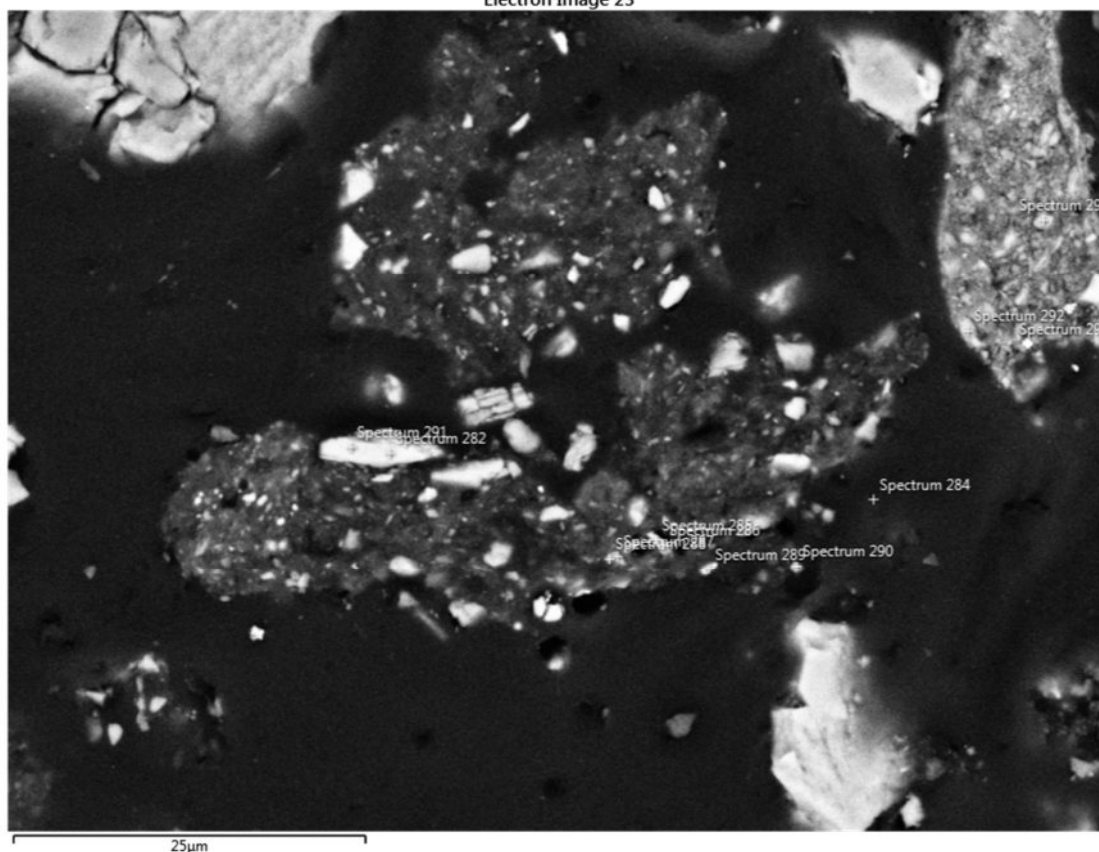
Mynd 39. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 4603 teknu 21.03.18, svæði 2. Á myndinni má sjá staðsetningu á efnagreiningum 277, 278 og 280 og eina staðsetningu þar sem samsetning líms og kolefnihúðar var greind. Krossar sýna staðsetningu á punktgreiningum. Lengdarkvarði í vinstra horni niðri.

Svæði 3

Lýsing: Alls 13 greiningar á smáum fösum í tveimur grunnmassahópum, annars vegar í ljósum og hins vegar í dekkri grunnmassa, sjá **Mynd 40**. Greiningar 282, 283 og 285 til og með 291 eru gerðar á fösum í dekkri grunnmassanum, í þessum greiningum er summan mjög lág en kolefni var ekki greint. Af þessum greiningum er greining 291 sú eina sem gerð er á Ca, Mg, Fe silikat fylliefni. Greiningar 292 til 294 eru gerðar á fösum í ljósum grunnmassa. Greiningarnar eru allar með hærri summu en í fyrri hópnum en engu að síður lága summu. Allar þrjár greiningarnar eru gerðar á silikötum. Greining 284 var gerð á kolefnishúð og lími, C var ekki greint en summan var aðeins um 11 %.



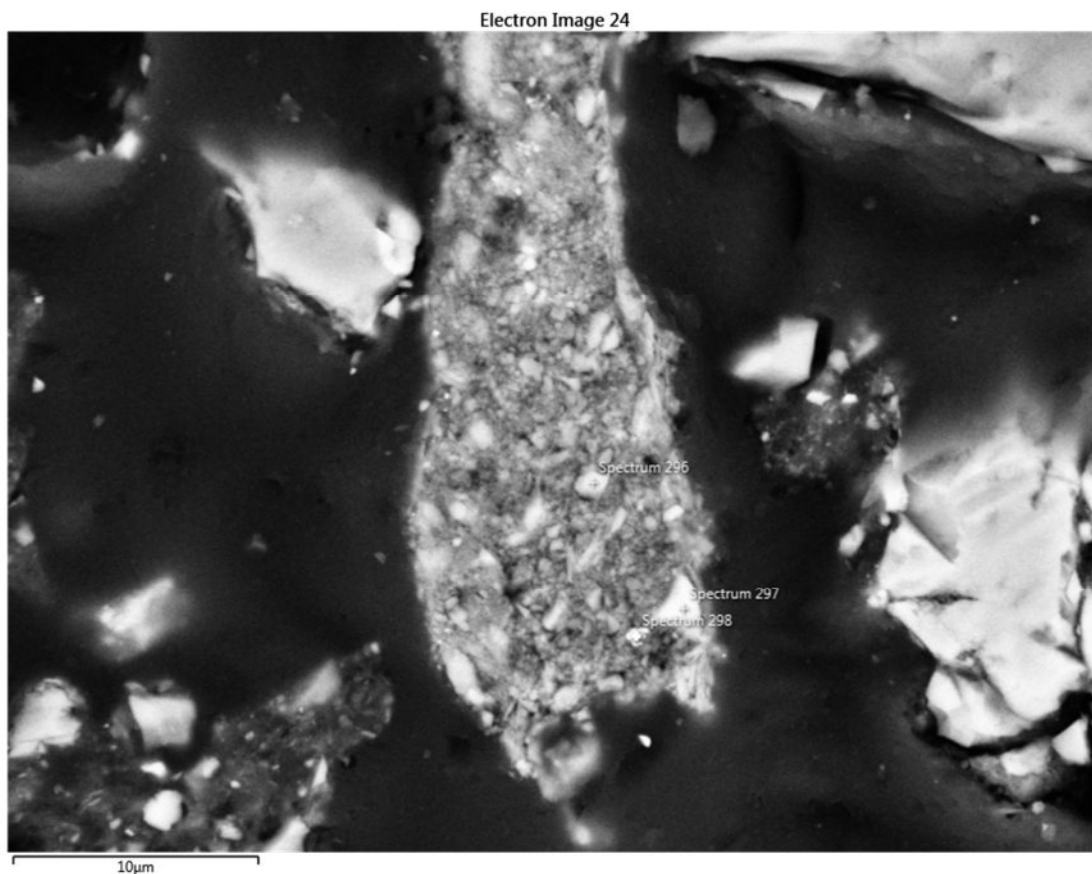
Electron Image 23



Mynd 40. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 4603 teknu 21.03.18, svæði 3. Efri myndin sýnir svæðið í 560 x stækkun. Á neðri myndinni má sjá staðsetningu á efnagreiningum 282 til 294. Krossar sýna staðsetningu á punktgreiningum. Lengdarkvarði í vinstra horni niðri.

Svæði 4

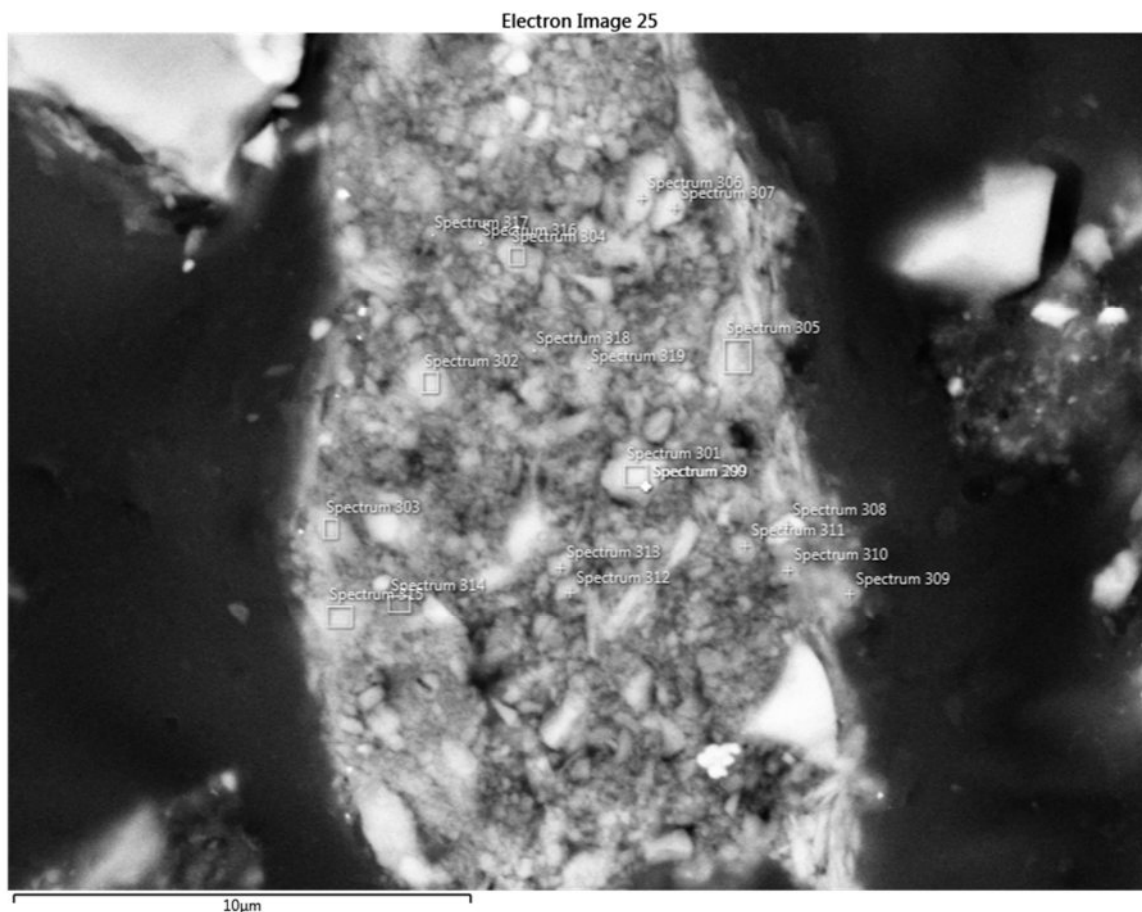
Lýsing: Ljósgrái fasinn frá svæði nr 3, sjá **Mynd 40**. Þrjár greiningar á smáum fösum, sjá **Mynd 41**. Allt siliköt, summa frekar lág.



Mynd 41. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 4603 teknu 21.03.18, svæði 4. Á myndinni má sjá staðsetningu á efnagreiningum 296 til 298. Krossar sýna staðsetningu á punktgreiningum. Lengdarkvarði í vinstra horni niðri.

Svæði 5

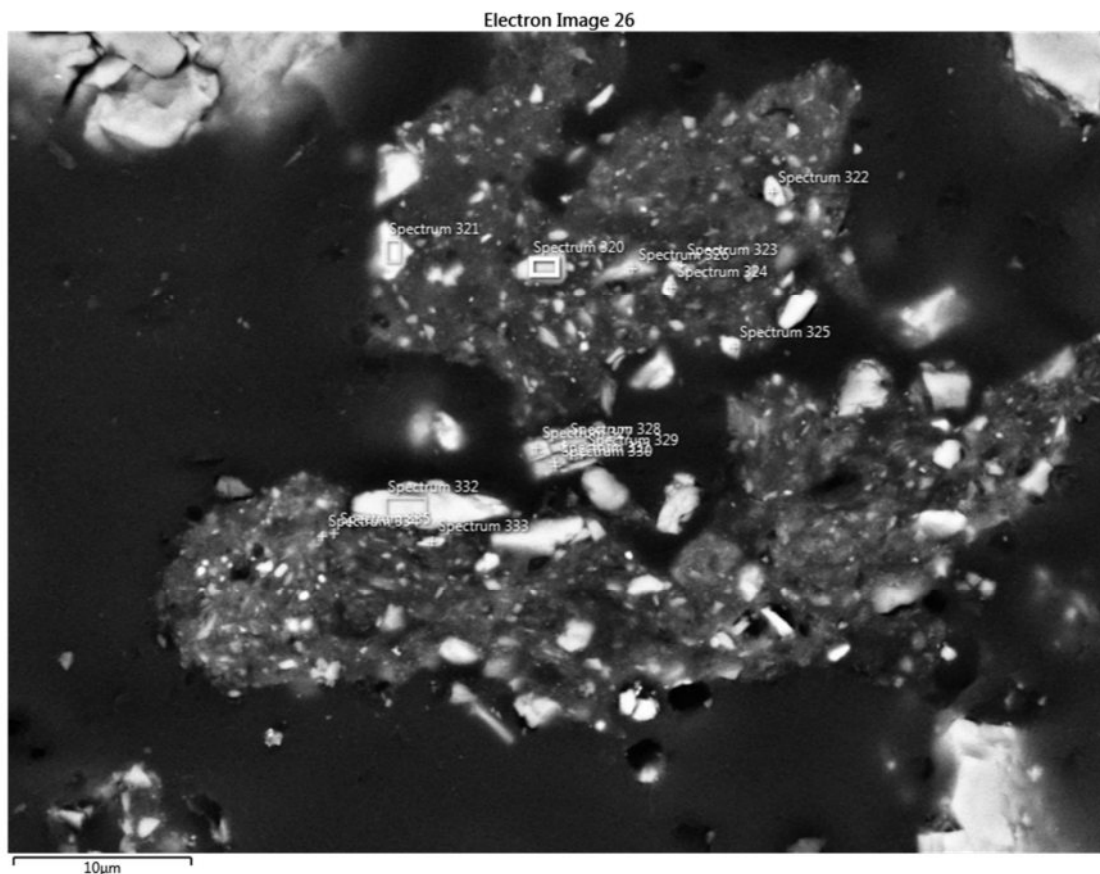
Lýsing: Ljósgrái fasinn frá svæðum nr. 3 og 4, en í meiri stækkun. Alls 21 greining af misgráum og smáum fösum og ein af grunnmassa (314), sjá **Mynd 42**. C var ekki greint í þessum greiningum. Allt Si ríkir fassar, Si > 10 %, summa er frekar lág, eins og í fyrri greiningum. Tiltölulega lágt Fe og enn minna Mg, en mjög gott samband er á milli Fe og Mg. Na, Mg, Al, Si, K, Ca og Fe til staðar í öllum greiningum. Lítið um þungmálma. Greining 314 af grunnmassa er mjög svipuð og greiningar af einstökum kísílríkum steindum.



Mynd 42. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 4603 teknu 21.03.18, svæði 5. Á myndinni má sjá staðsetningu á efnagreiningum 299 til 319. Krossar sýna staðsetningu á punktgreiningum og ferhyrningar sýna staðsetningu á svæðum sem hafa verið efnagreind saman. Lengdarkvarði í vinstra horni niðri.

Svæði 6

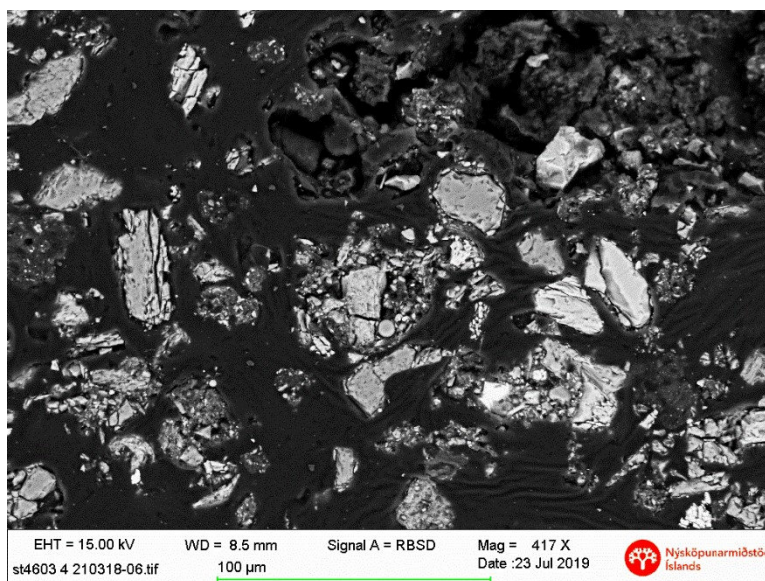
Lýsing: Nánari greining á dökkgráa grunnmassanum frá svæði 3, sjá **Mynd 40**. Alls 16 greiningar á smáum fösum í grunnmassanum, sjá **Mynd 43**. Si er til staðar í öllum greiningum frá 13 til 27 %, nema tvær greiningar með um 6 (335) og 9 (334) %. Summa frekar lág. Tæplega 50 % C í greiningum 334 og 335, en summan er engu að síður lág. Þegar greiningarnar eru uppreiknaðar í 100 % án C, þá situr eftir greining sem svipar mjög til hefðbundins silikats eins og það greinist í þessum sýnum.



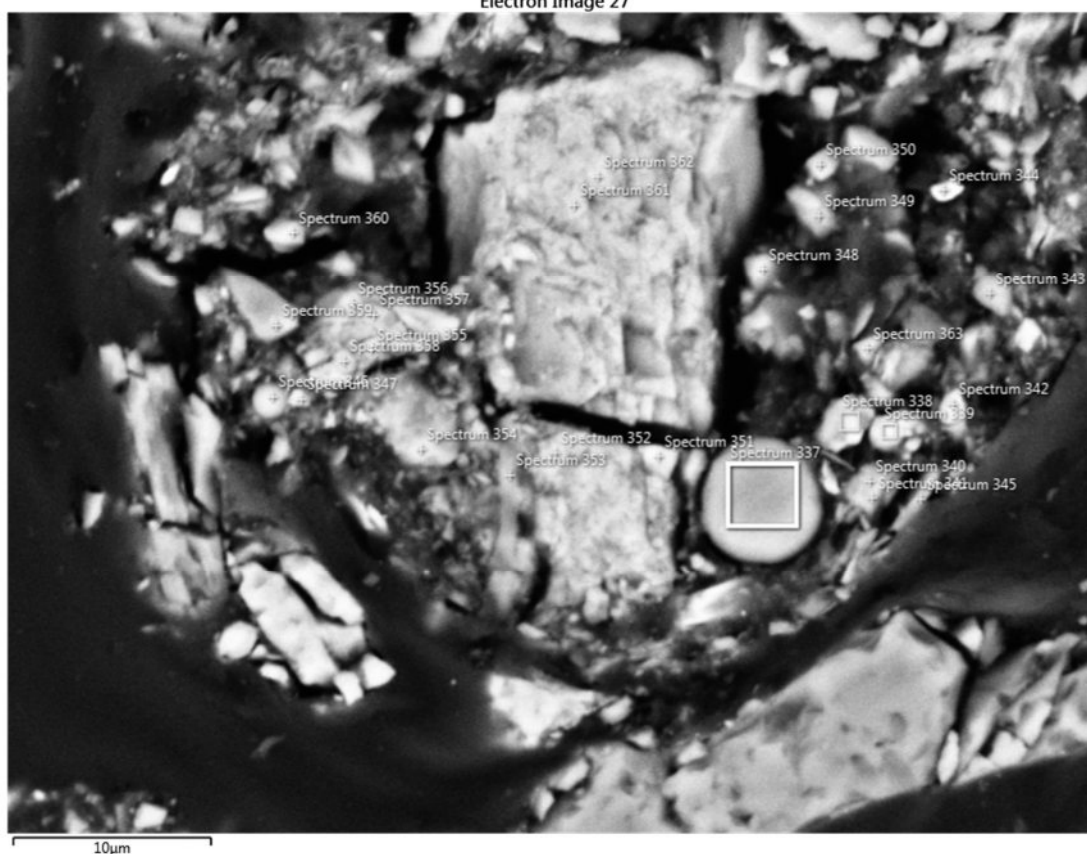
Mynd 43. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 4603 teknu 21.03.18, svæði 6. Á myndinni má sjá staðsetningu á efnagreiningum 320 til 335. Krossar sýna staðsetningu á punktgreiningum og ferhyrningar sýna staðsetningu á svæðum sem hafa verið efnagreind saman. Lengdarkvarði í vinstra horni niðri.

Svæði 7

Lýsing: Alls 27 greiningar. Alls samhangandi misstór korn úr fylliefni, sjá **Mynd 44**. Summa greininganna er þokkaleg en C er ekki greint. Greining 337 er gerð á hringlaga (kúlulaga?) korni og er Al, Na silikat. Greining 346 er einnig af hringlaga korni, en það er mun minna og samsetning þess er svipuð og greining 337. Óvanalega mörg fylliefniskorn án eða með lágt Si magn. Greiningar 348, 351, 352 og 353, 355 til 358 og 361 og 362 eru allar með lágt Si, en um 25 til 35 % Ca, væntanlega er um kalsíum karbónat að ræða. Greiningar 344 og 349 eru Fe oxíð. Greiningar 337 til 343, 345 til 347, 350, 354, 359, 360 og 363 eru gerðar á mismunandi silikötum. Þokkalegt samband er á milli Fe og Mg, en mun meira er af Fe.



Electron Image 27



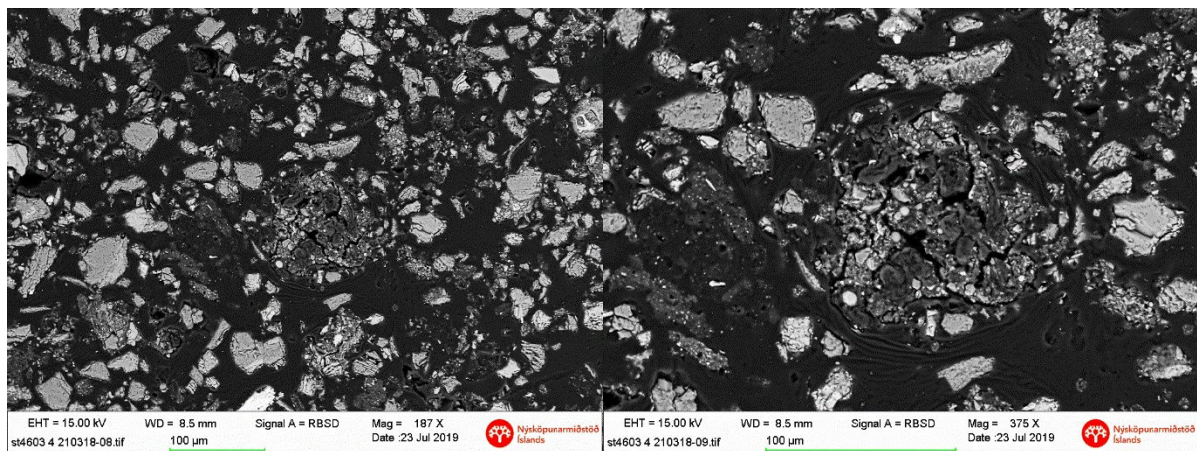
Mynd 44. Rafeindasmásjarmynd af ryksýni úr stöð 4603 teknu 21.03.18, svæði 7. Efri myndin sýnir svæðið í 261 x stækkun. Á neðri myndinni má sjá staðsetningu á efnagreiningum 337 til 363. Krossar sýna staðsetningu á punktgreiningum og ferhyrningar sýna staðsetningu á svæðum sem hafa verið efnagreind saman. Lengdarkvarði í vinstra horni niðri.

Svæði 8

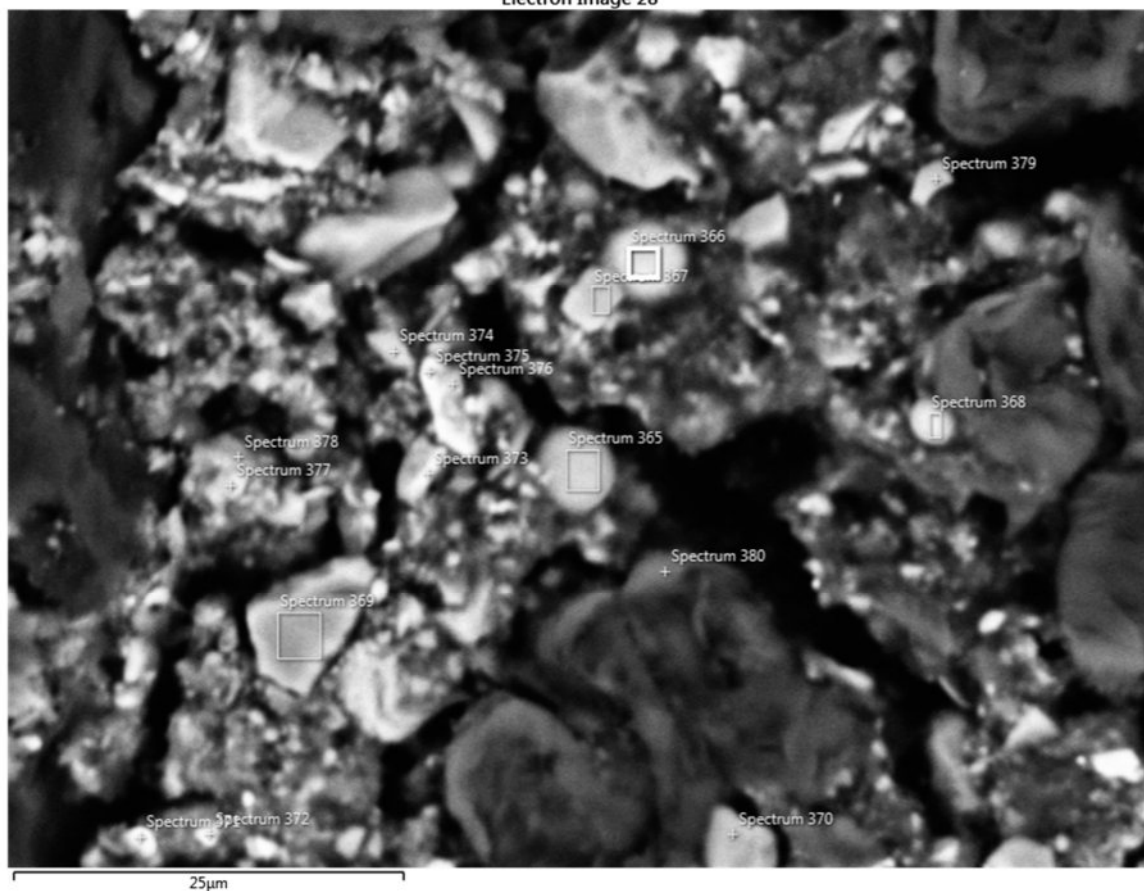
Lýsing: Alls 16 greiningar á kornum minni en 10 míkron, sjá Mynd 45. Sjö greiningar sýna lágt Si magn, minna en 5 %. Sex þessara korna eru Ca rík (371, 372, 375 til 378), en summan misgóð. C var ekki greint.

Væntanlega er um einhvers konar Ca karbónat að ræða og því væntanlega um fylliefni úr malbiki að ræða.

Si ríku kornin (365 til 370, 373 og 374 og 379) eru hefðbundin siliköt, eins og fundist hafa í öðrum sýnum.



Electron Image 28

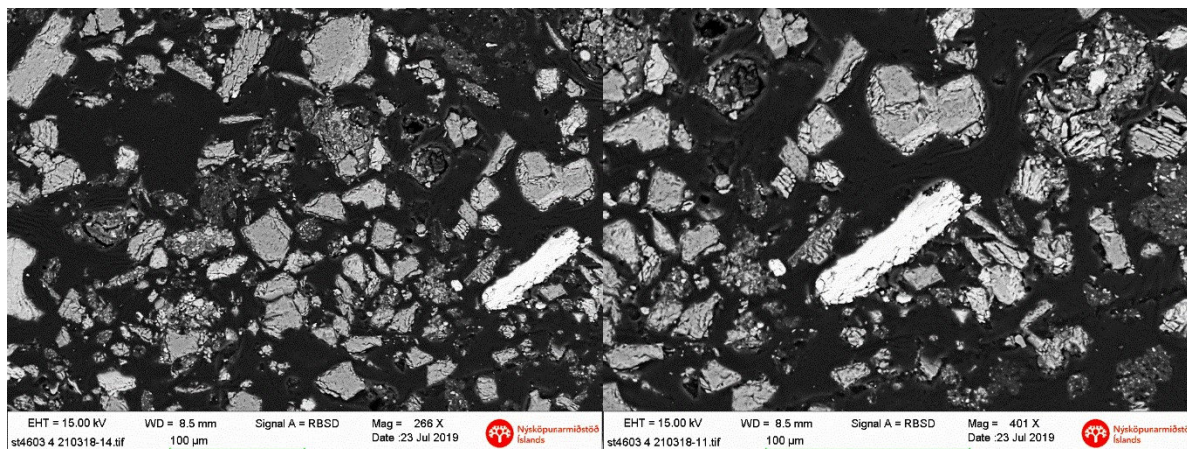


Mynd 45. Rafeindasmásjarmynd af ryksýni úr stöð 4603 teknu 21.03.18, svæði 8. Efri myndin til vinstri sýnir svæðið í 187 x stækkun og efri myndin til hægri sýnir svæðið í 375 x stækkun. Á neðri myndinni má sjá staðsetningu á efnagreiningum 365 til 380. Krossar sýna staðsetningu á punktgreiningum og ferhyrningar sýna staðsetningu á svæðum sem hafa verið efnagreind saman. Lengdarkvarði í vinstra horni niðri.

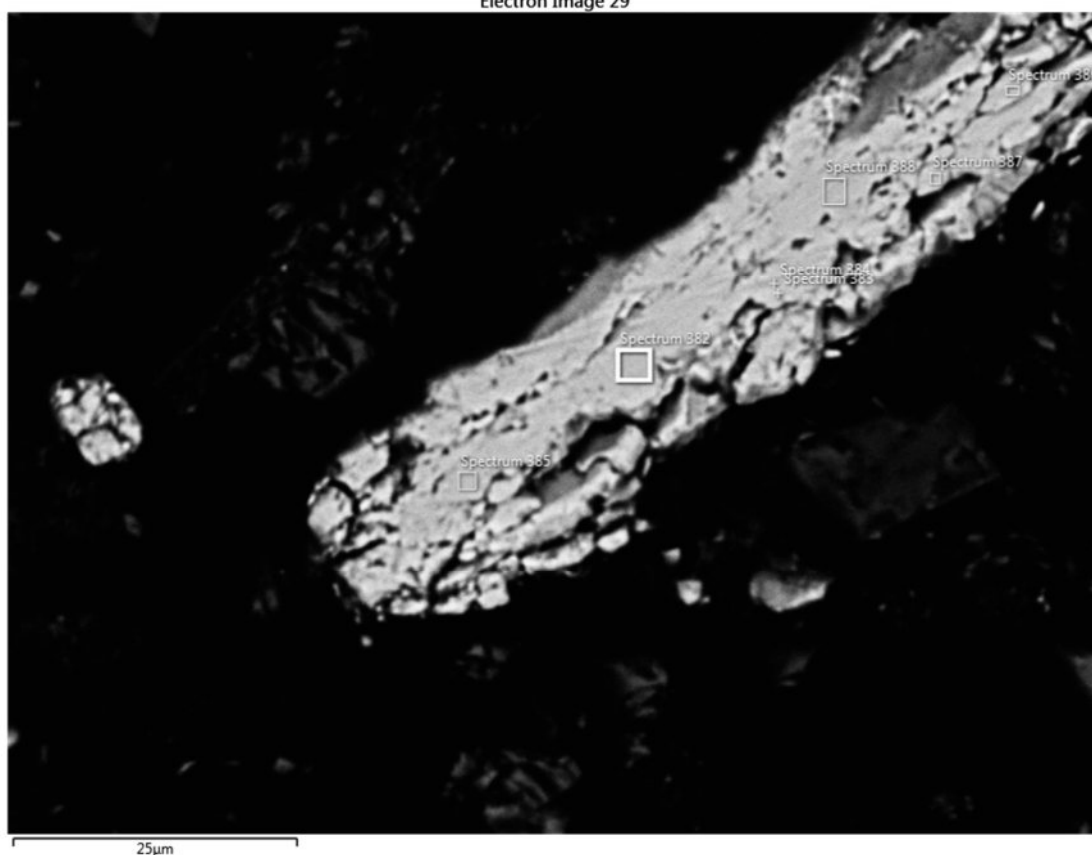
Svæði 9



Lýsing: Eitt tiltölulega stórt korn, ílangt, sjá **Mynd 46**. Alls sjö greiningar, allar með Fe um 70 til 73 % og O um 20 %, summa hærri en 90 %. Ekki er óalgengt að finna korn í þessum sýnum með svipaða samsetningu, en uppruninn er óljós.



Electron Image 29



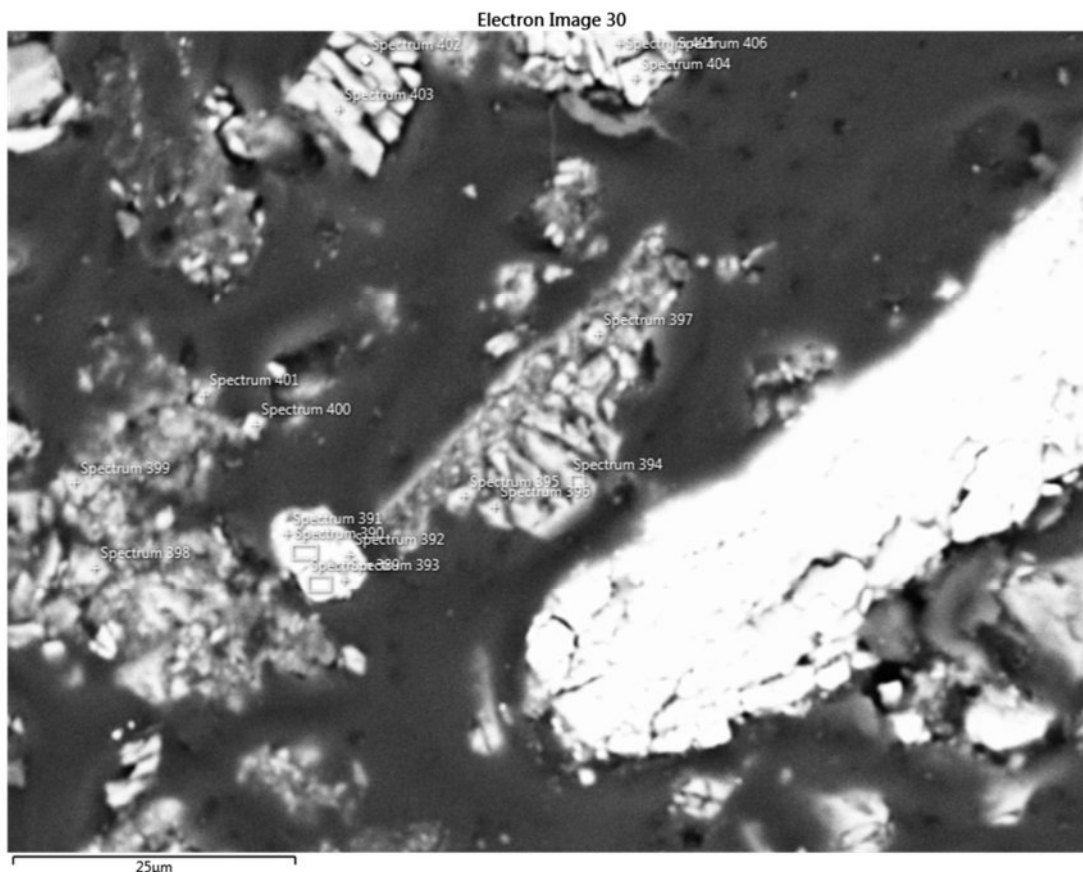
Mynd 46. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 4603 teknu 21.03.18, svæði 9. Efri myndin til vinstri sýnir svæðið í 266 x stækkun og efri myndin til hægri sýnir svæðið í 401 x stækkun. Á neðri myndinni má sjá staðsetningu á efnagreiningum 382 til 388. Krossar sýna staðsetningu á punktgreiningum og ferhyrningar sýna staðsetningu á svæðum sem hafa verið efnagreind saman. Lengdarkvarði í vinstra horni niðri.

Svæði 10

Lýsing: Alls 18 greiningar á misstórum fösum, sjá **Mynd 47**, við Fe ríka kornið frá svæði nr 9, sjá **Mynd 46**. Myndin er töluvert yfirlýst miðað við **Mynd 46**, til þess að draga fram fasa umhverfis Fe ríka kornið. Þetta eru fimm hópar af kornum með svipaðar greiningar. Fyrsti hópurinn, greiningar 389 til 393, eru



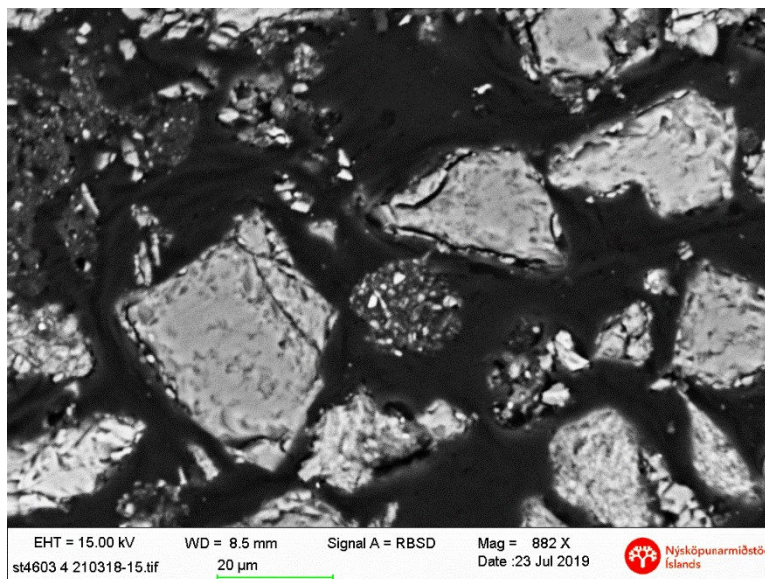
gerðar á Fe ríku efni með Fe rétt tæp 50 % og O um 20 %, síðan liggur magn af Al, Si, S, Cr, Zn, Zr og Sb milli 1 og 2 %. Magn Cu og Ba er 4 til 6 % með meira af Cu en Ba. Einnig er nokkuð af Cl, Ca, Mn í minna magni. Mögulega er uppruni þessa hóps bremsborðar í farartæki. Næsti hópur, greiningar 394 til 397 eru gerðar á kvasi og Al, Na silikati. Næsti hópur, greiningar 398 til 401 eru gerðar á Al, Na silikötum (398, 399 og 401) og pyroxen (400) með meira Fe en Mg. Næsti hópur, greiningar 402 og 403 eru gerðar á Al, Ca, Na silikati. Næsti hópur, greiningar 404 til 406 eru einnig gerðar á silikötum (pyroxen) með meira af Fe en Mg. Summur allra greininganna eru þokkalegar. Uppruni silikatanna er fylliefni í malbiki, en uppruni járnoxíðsins er óljós.



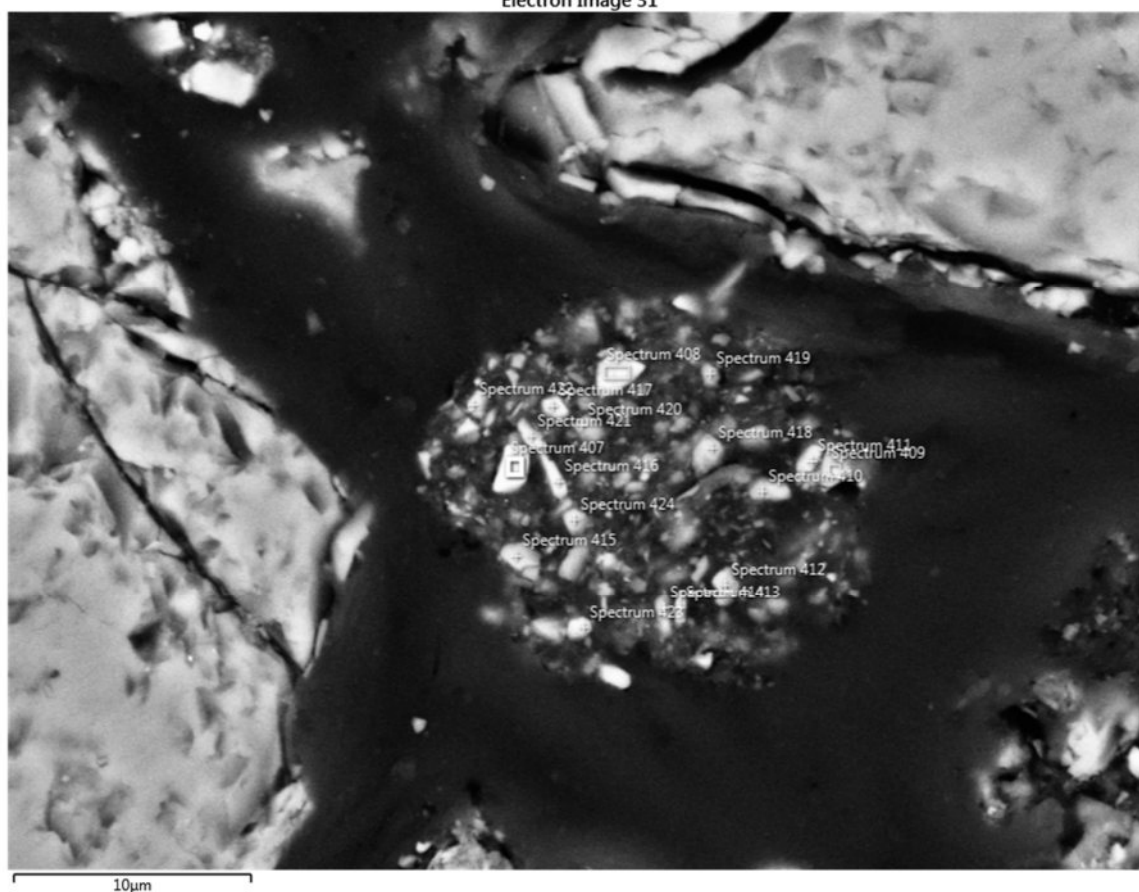
Mynd 47. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 4603 teknu 21.03.18, svæði 10. Á myndinni má sjá staðsetningu á efnagreiningum 389 til 406. Krossar sýna staðsetningu á punktgreiningum og ferhyrningar sýna staðsetningu á svæðum sem hafa verið efnagreind saman. Lengdakvarði í vinstra horni niðri.

Svæði 11

Lýsing: Alls 18 greiningar á smáum fylliefniskornum í dökkgráum grunnmassa, sjá **Mynd 48**. Si er til staðar yfir 15 % í öllum greiningunum nema í einni greiningu (407), því eru þetta allt siliköt nema greining 407. Greining 407 er gerð á Fe, Ti oxíði með nokkru af öðrum efnum, en engum þyngri en Fe. Greining 422 er Fe ríkt silikat, en summan er aðeins um 70 %. Gott samband er á milli Fe og Mg (fyrir utan greiningar 407 og 422) þar sem styrkur Fe er mun meiri. Ekkert um þyngri efni en Fe.



Electron Image 31



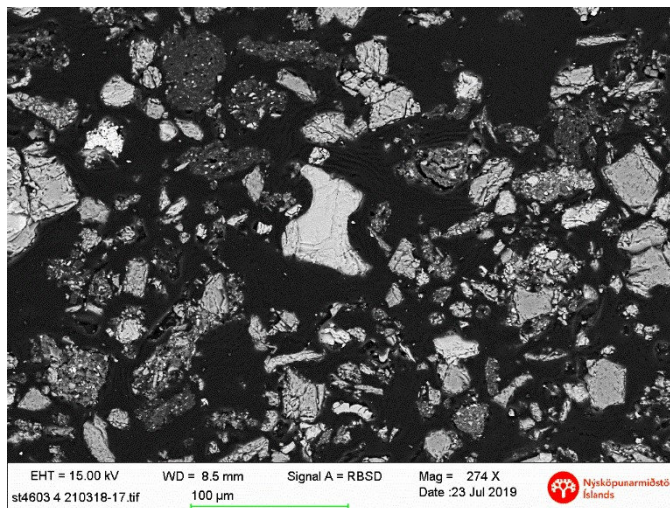
Mynd 48. Rafeindasmásjarmynd af ryksýni úr stöð 4603 teknu 21.03.18, svæði 11. Efri myndin sýnir svæðið í 882 x stækkun. Á neðri myndinni má sjá staðsetningu á efnagreiningum 407 til 424. Krossar sýna staðsetningu á punktgreiningum og ferhyrningar sýna staðsetningu á svæðum sem hafa verið efnagreind saman. Lengdarkvarði í vinstra horni niðri.

Svæði 12

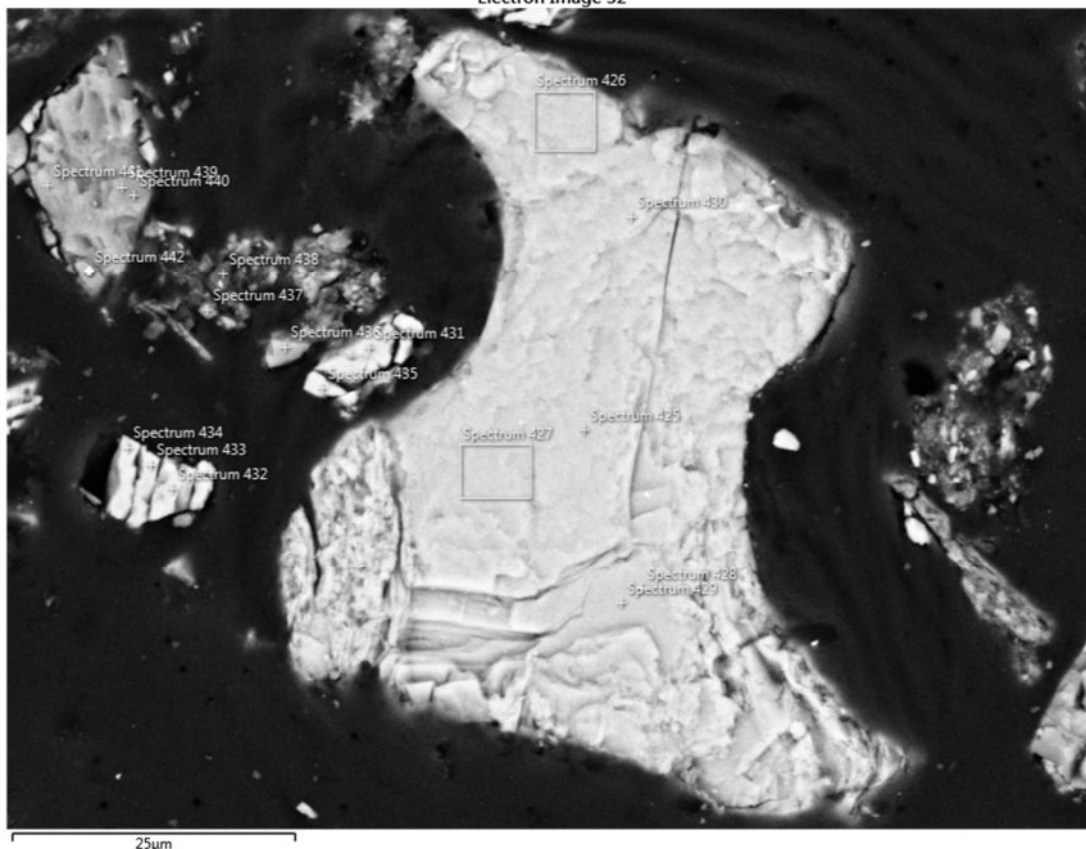
Lýsing: Alls 18 greiningar gerðar í fimm hópum, sjá **Mynd 49**. Greiningar 425 til 430 eru gerðar á stóru korni (> 25 míkron) með Fe um 25 %, Al um 11 %, Si um 10 % og Mg um 5 %, O var um 32 til 41 %, og



summan um 90 %. Greiningar 431 og 435 eru gerðar á um tæplega 10 mikrona korni, silikat (pyroxen) með meira af Fe en Mg. Greiningar 432 til 434 eru gerðar á Fe ríkum pyroxenkornum, eins og greiningar 431 og 435. Greiningar 436 til 438 eru gerðar á smáum silikötum, greiningar 437 og sérstaklega 438 eru með lága summu. Greiningar 439 til 442 eru gerðar á stöku um 10 mikrona stóru korni sem er Na, Al silikat (plagioklas). Væntanlega er uppruni þessara korna fylliefni úr basalti.



Electron Image 32

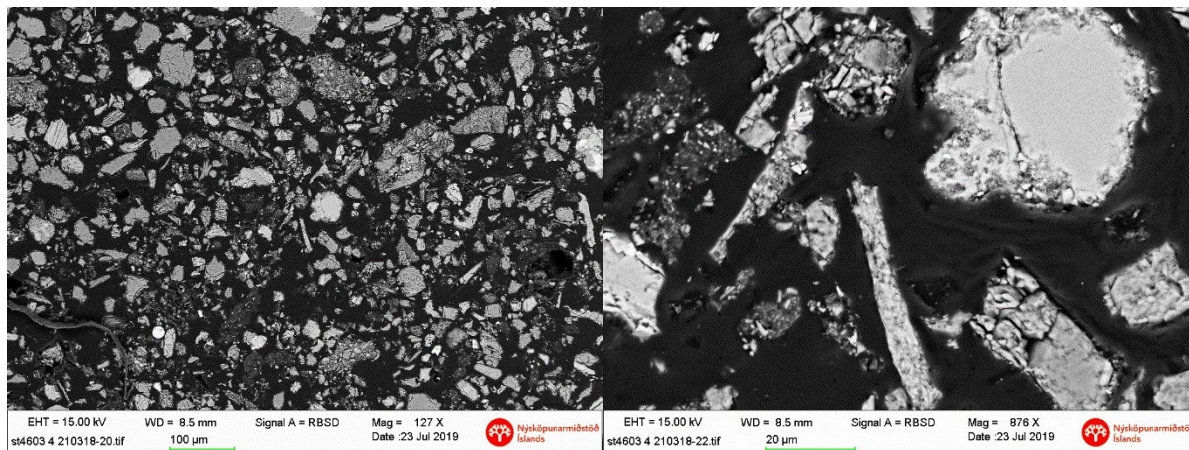


Mynd 49. Rafeindasmásjarmynd af ryksýni úr stöð 4603 teknu 21.03.18, svæði 12. Efri myndin sýnir svæðið í 274 x stækkun. Á neðri myndinni má sjá staðsetningu á efnagreiningum 425 til 442. Krossar sýna staðsetningu á punktgreiningum og ferhyrningar sýna staðsetningu á svæðum sem hafa verið efnagreind saman. Lengdarkvarði í vinstra horni niðri.

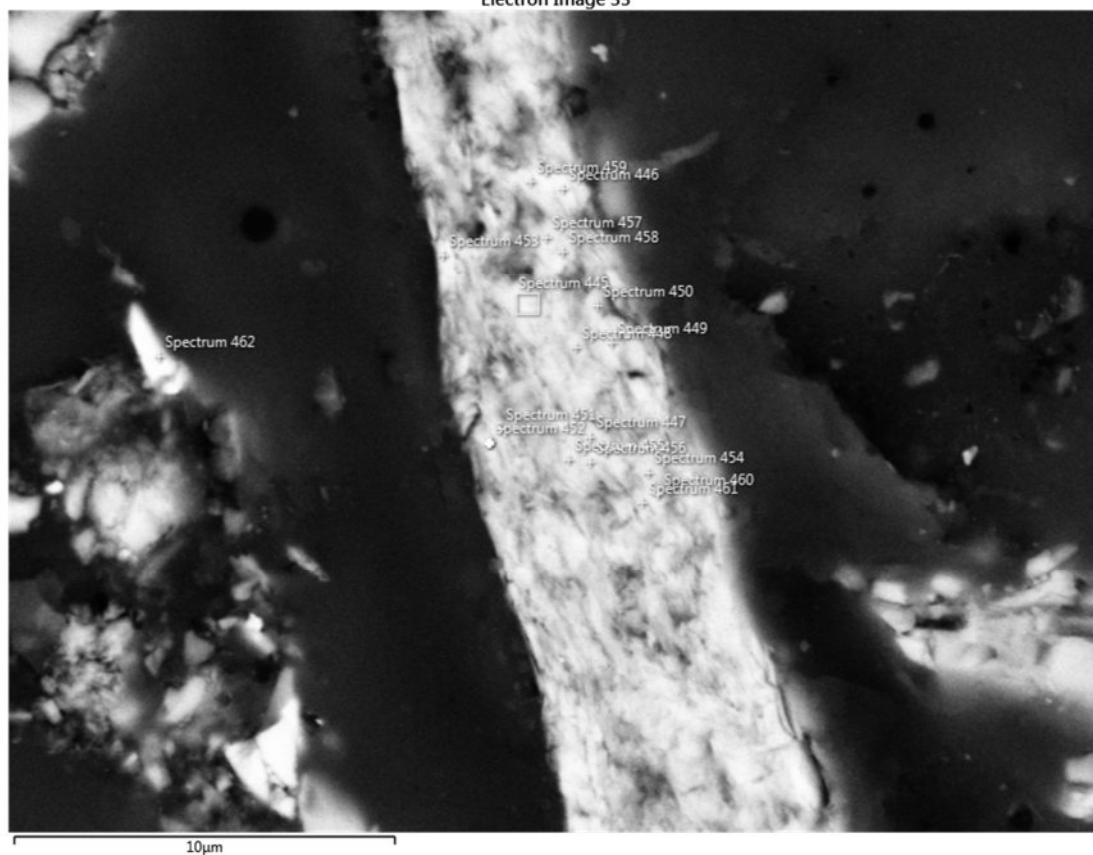
Svæði 13



Lýsing: Alls 18 greiningar á tveimur kornum, 17 greiningar voru gerðar á stóru korni (> 10 míkron á lengd) og síðan stök greining á smáum fasa (462), sjá **Mynd 50**. Greiningarnar á ílanga fasanum eru með Si milli 10 og 12 %, nema ein greining er um 14 % og þrjár milli 8 og 10 %. Fe um 20 % og Mg um 7 %, gott samband á milli Fe og Mg, Al um 10 %, ekkert af þyngri efnum en Fe. Greining 462 er Fe, Ti ríkt oxíð með lélega summu. Uppruni ílanga kornsins er mögulega fylliefni í malbiki og þá sem klórít.



Electron Image 33

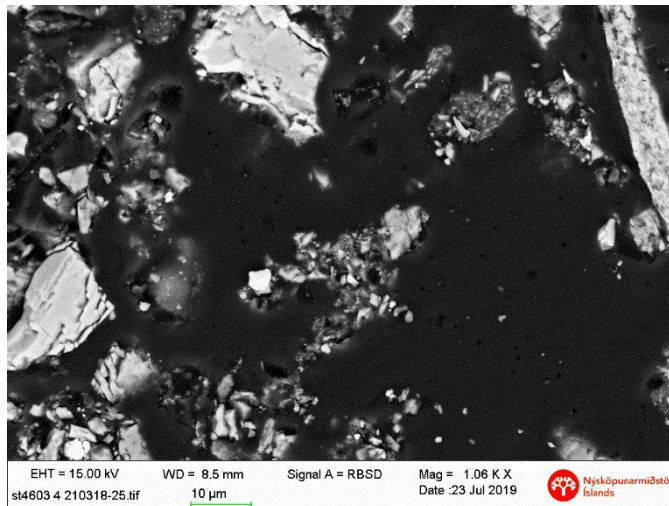


Mynd 50. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 4603 teknu 21.03.18, svæði 13. Efri myndin til vinstri sýnir svæðið í 127 x stækkun og efri myndin til hægri sýnir svæðið í 876 x stækkun. Á neðri myndinni má sjá staðsetningu á efnagreiningum 445 til 462. Krossar sýna staðsetningu á punktgreiningum og ferhyrningar sýna staðsetningu á svæðum sem hafa verið efnagreind saman. Lengdarkvarði í vinstra horni niðri.

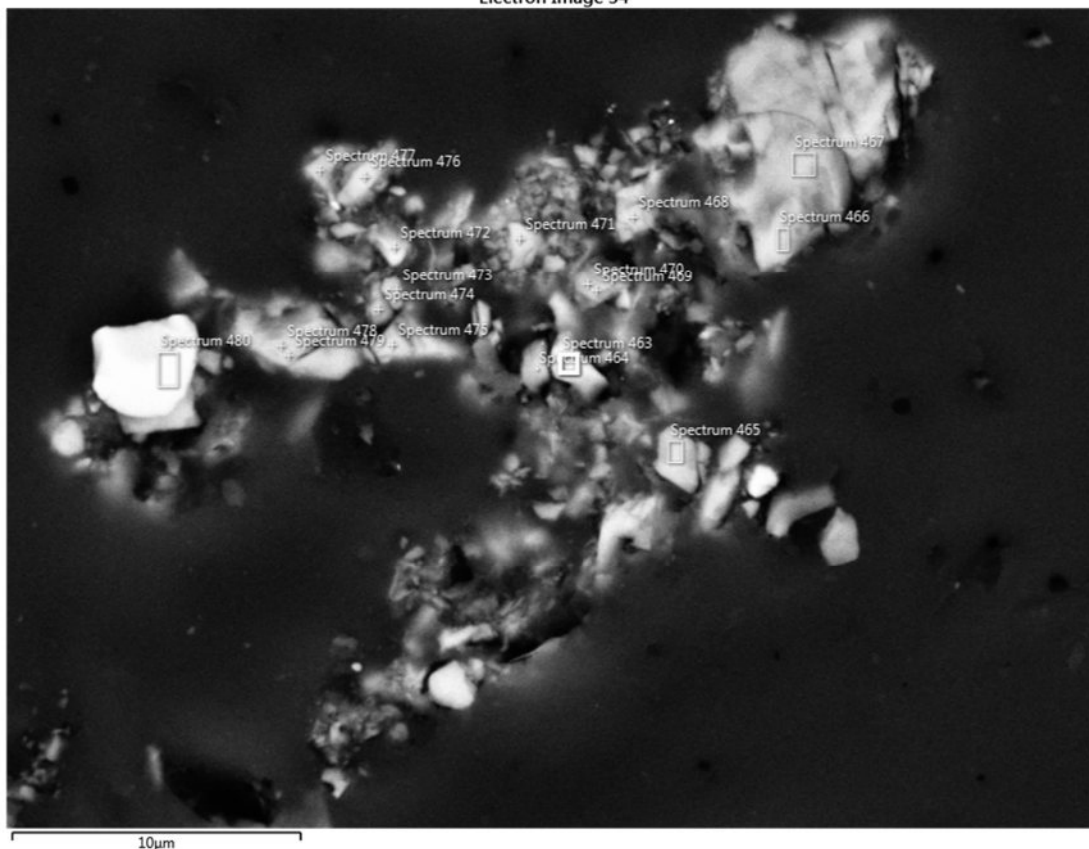
Svæði 14



Lýsing: Alls 18 greiningar á smáum samhangandi fösum (<10 míkron), sjá **Mynd 51**. Si yfir 15 % í öllum greiningum nema tveimur, greiningum 468 og 480. Silikötin eru hefðbundin fylliefni með meira Fe en Mg, summan er frekar lág. Greining 468 er Ca og Mg ríkt korn, með um 75 % summu. Greining 380 er Fe, Ti ríkt oxíð. Lítið til staðar af efnum þyngrri en Fe. Líklega eru þessi korn upprunnin sem fylliefni í malbiki.



Electron Image 34

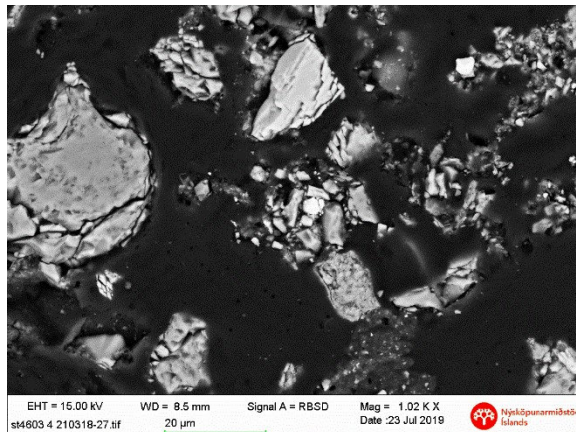


Mynd 51. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 4603 teknu 21.03.18, svæði 14. Efri myndin sýnir svæðið í 1060 x stækkun. Á neðri myndinni má sjá staðsetningu á efnagreiningum 463 til 480. Krossar sýna staðsetningu á punktgreiningum og ferhyrningar sýna staðsetningu á svæðum sem hafa verið efnagreind saman. Lengdarkvarði í vinstra horni niðri.

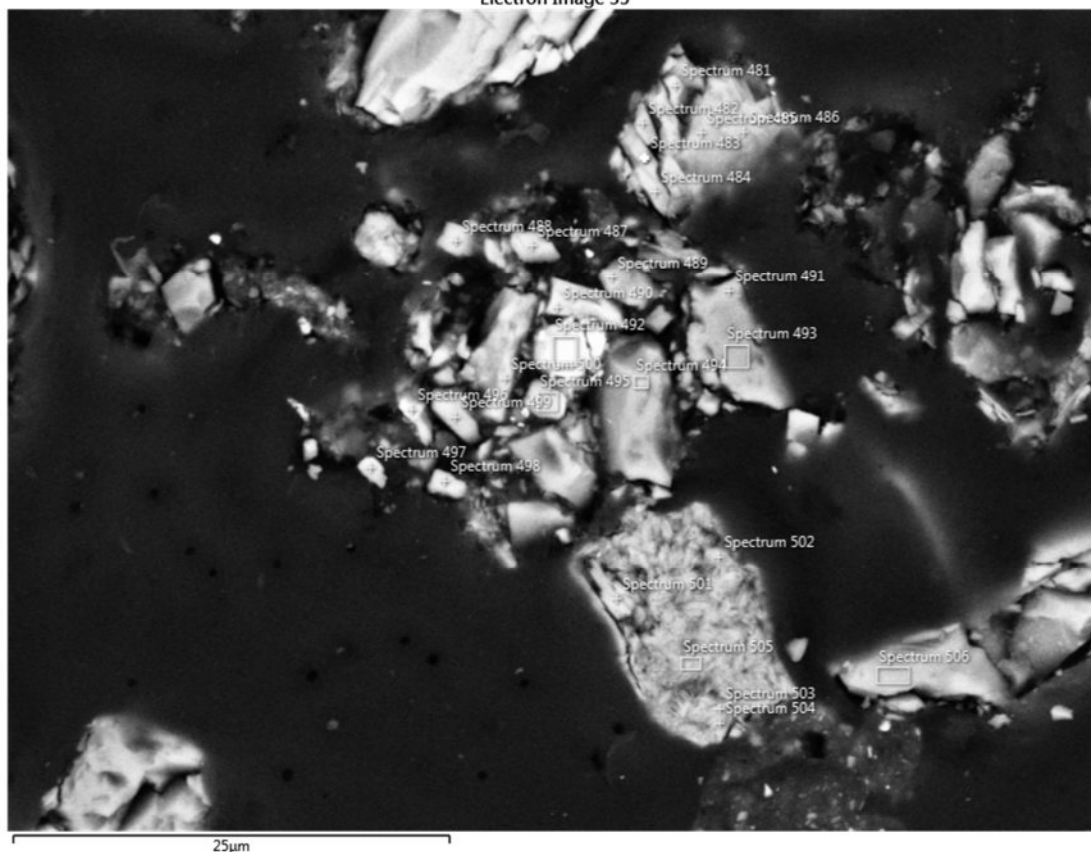
Svæði 15



Lýsing: Alls 26 greiningar gerðar á þremur hópum, sjá **Mynd 52**. Greiningar 481 til 486 eru gerðar á einu (sprungnu) korni, um 10 mikron að stærð. Um er að ræða Al, Ca, Na silikat (plagioklas). Greiningar 487 til 500 eru gerðar á nokkuð smáum samhangandi fösum, flestar eru hefðbundin siliköt fyrir utan tvær greiningar, 492 og 496, en þær eru gerðar á Fe, Ti oxíðum. Greiningar 501 til 505 eru gerðar á einum samsettum fasa Al, Ca silikat. Greining 506 er gerð á stöku korni tæplega 10 mikron að stærð, um er að ræða kvars. Uppruni allra kornanna líklega fylliefni úr basalti.



Electron Image 35

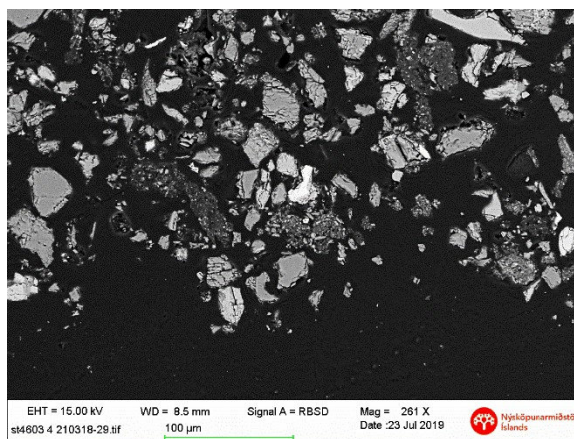


Mynd 52. Rafeindasmásjarmynd af ryksýni úr stöð 4603 teknu 21.03.18, svæði 15. Efri myndin sýnir svæðið í 261 x stækkun. Á neðri myndinni má sjá staðsetningu á efnagreiningum 481 til 506. Krossar sýna staðsetningu á punktgreiningum og ferhyrningar sýna staðsetningu á svæðum sem hafa verið efnagreind saman. Lengdarkvarði í vinstra horni niðri.

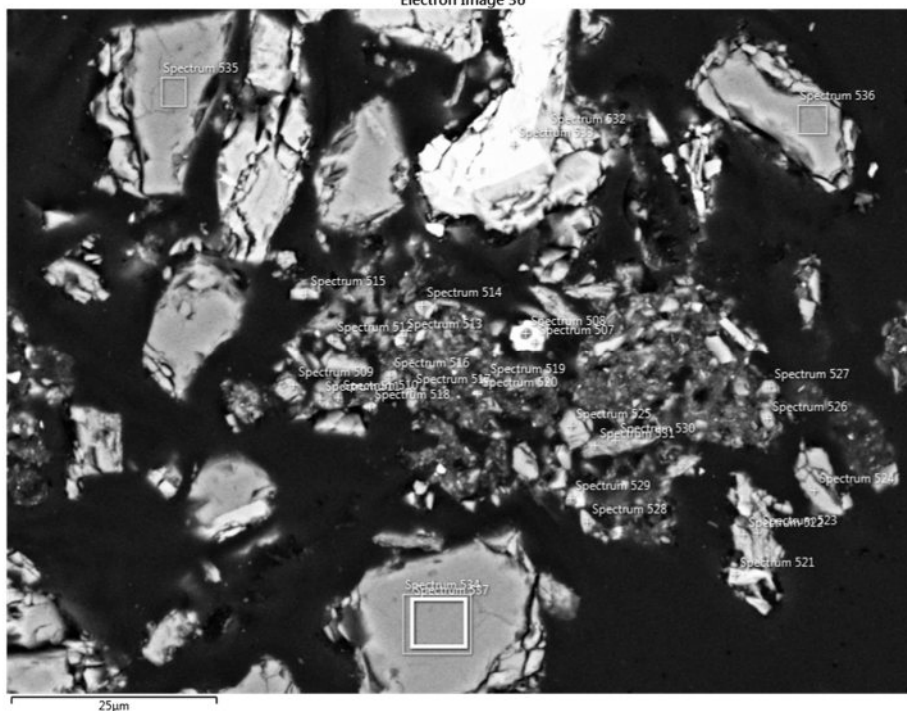
Svæði 16



Lýsing: Alls var gerð 31 greining á fjórum tiltölulega stórum kornum (10 míkron) og svo smáum samhangandi fösum í grunnmassa, sjá **Mynd 53**. Flestar greiningarnar eru með Si hærra en 15 %, aðeins fimm greiningar eru með minna Si. Greiningar 507 til 531 eru gerðar á smáum fösum í grunnmassa. Flestar greiningarnar eru venjuleg siliköt sem hafa greinst í öðrum sýnum. Greiningar 507, 508 og 520 eru gerðar á Fe, Ti ríkum fösum. Greining 509 Ca ríkum fasa. Greining 532 gerð á pyroxen korni. Greining 533 er gerð á Fe, Ti oxíði. Greiningar 534 til 537 eru gerðar á þremur kvars kornum þar sem greiningar 534 og 537 eru gerðar á sama korninu. Uppruni allra kornanna er líklega fylliefni úr basalti.



Electron Image 36

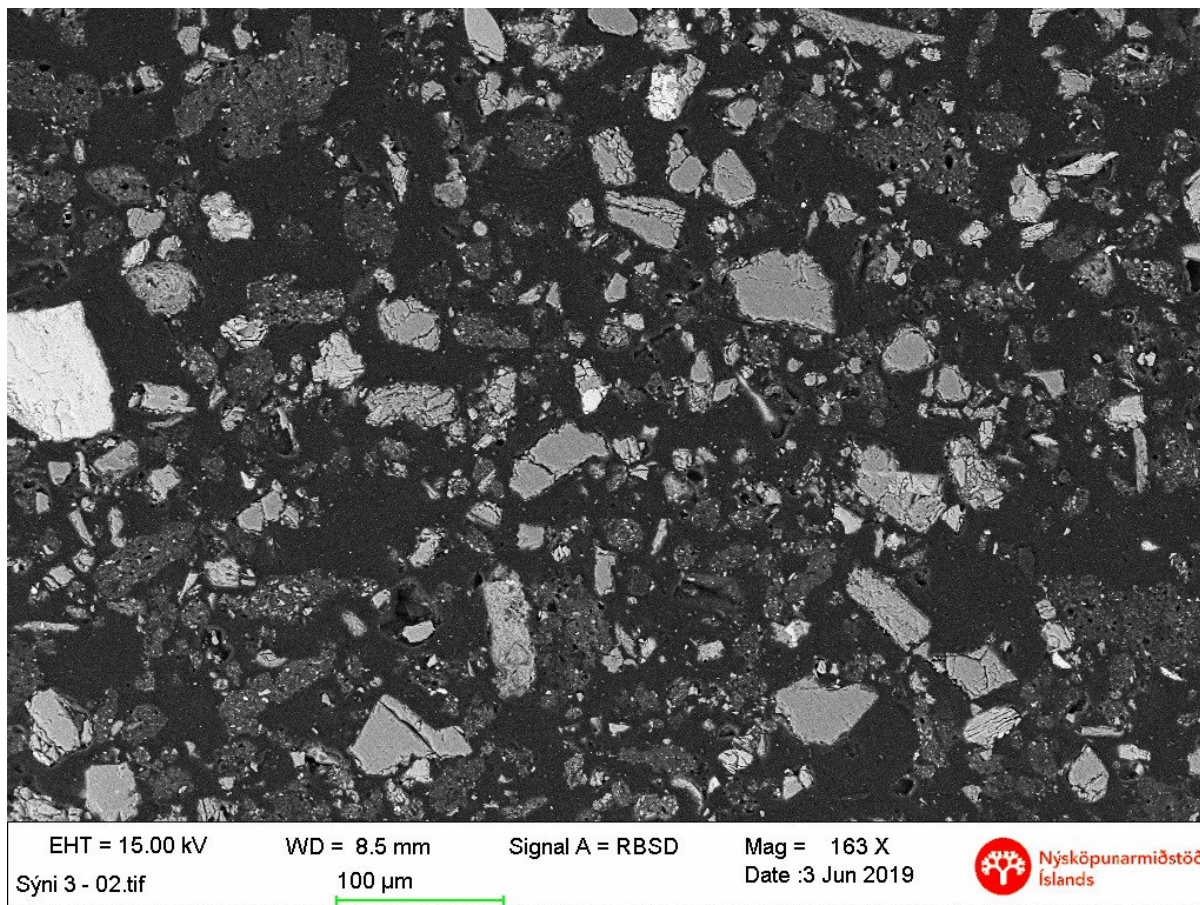


Mynd 53. Rafeindasmásjarmynd af ryksýni úr stöð 4603 teknu 21.03.18, svæði 16. Efri myndin sýnir svæðið í 261 x stækkun. Á neðri myndinni má sjá staðsetningu á efnagreiningum 507 til 537. Krossar sýna staðsetningu á punktgreiningum og ferhyrningar sýna staðsetningu á svæðum sem hafa verið efnagreind saman. Lengdarkvarði í vinstra horni niðri.

Stöð 5100 nr 3 - 17.10.2017 (sumardekkjatímabil)

Mynd 54 er yfirlitsmynd af sýninu, skipta má kornunum í sýninu í tvo hópa, annars vegar í stök korn allt að 100 mikron að stærð og hins vegar í mun smærri korn sem gjarnan eru bundin saman í gráann grunnmassa. Stöku kornin eru flest siliköt, að uppruna til fylliefni í malbiki. Smærri kornin eru einnig flest siliköt, upprunin úr malbiki. Grunnmassinn sem bindur smáu kornin saman er kolefnisríkt efni með

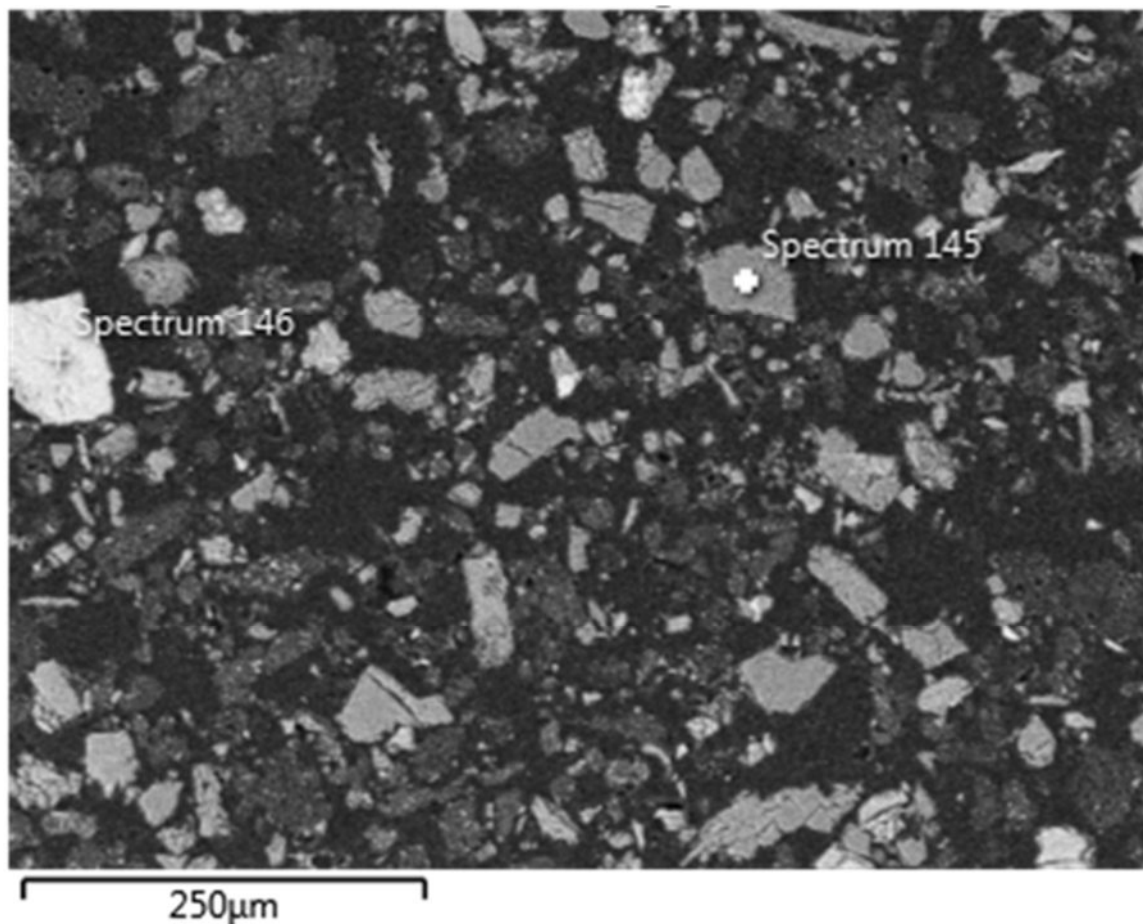
óljósan uppruna, en er væntanlega blanda af biki, útblæstri og/eða leifum úr hjólbörðum. Athygli vekur að þessi sýni greinast með mest kolefni eða rúm 14 %, sjá viðauka A.



Mynd 54. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 5100 teknu 17.10.17. Yfirlitsmynd af sýninu í 163 x stækkun. Alengt er að sjá smágerð fylliefniskorn bundin saman í gráleitum grunnmassa. Lengdarkvarði í vinstra horni niðri.

Svæði 1

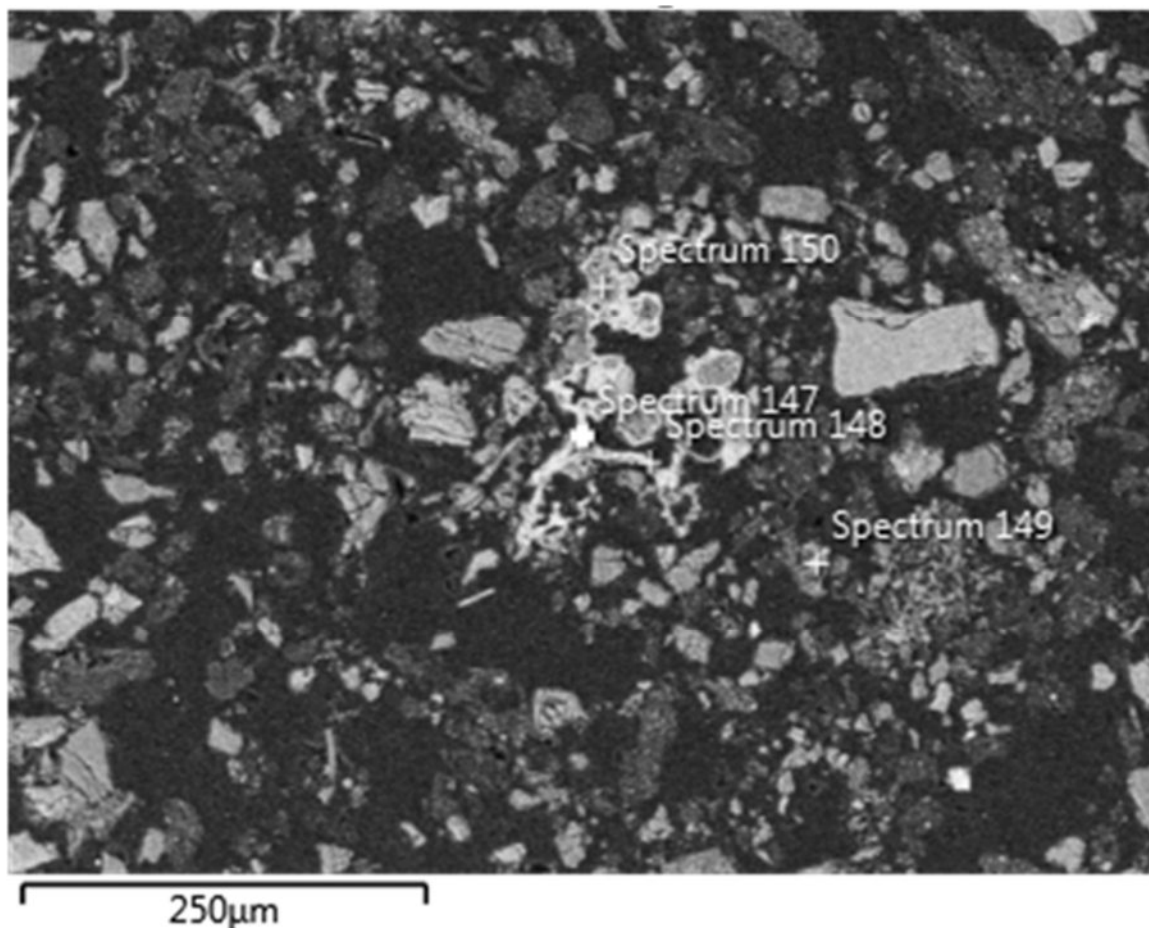
Lýsing: Tvær greiningar á tveimur stórum (> 25 míkron) kornum, annað kornið er kvars og hitt er járnnoxíð, sjá **Mynd 55**. Uppruni kornanna er líklega fylliefni úr basalti.



Mynd 55. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 5100 teknu 17.10.17, svæði 1. Á myndinni má sjá staðsetningu á efnagreiningum 145 og 146. Krossar sýna staðsetningu á punktgreiningum. Lengdarkvarði í vinstra horni niðri.

Svæði 2

Lýsing: Fjórar greiningar á fjórum kornum, **Mynd 56**. Fyrstu tvö kornin eru járnoxíð, það þriðja er Fe, Ti oxíð. Fjórða kornið er Al, Ca, Na silikat (plagioklas).



Mynd 56. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 5100 teknu 17.10.17, svæði 2. Á myndinni má sjá staðsetningu á efnagreiningum 147 og 150. Krossar sýna staðsetningu á punktgreiningum. Lengdarkvarði í vinstra horni niðri.

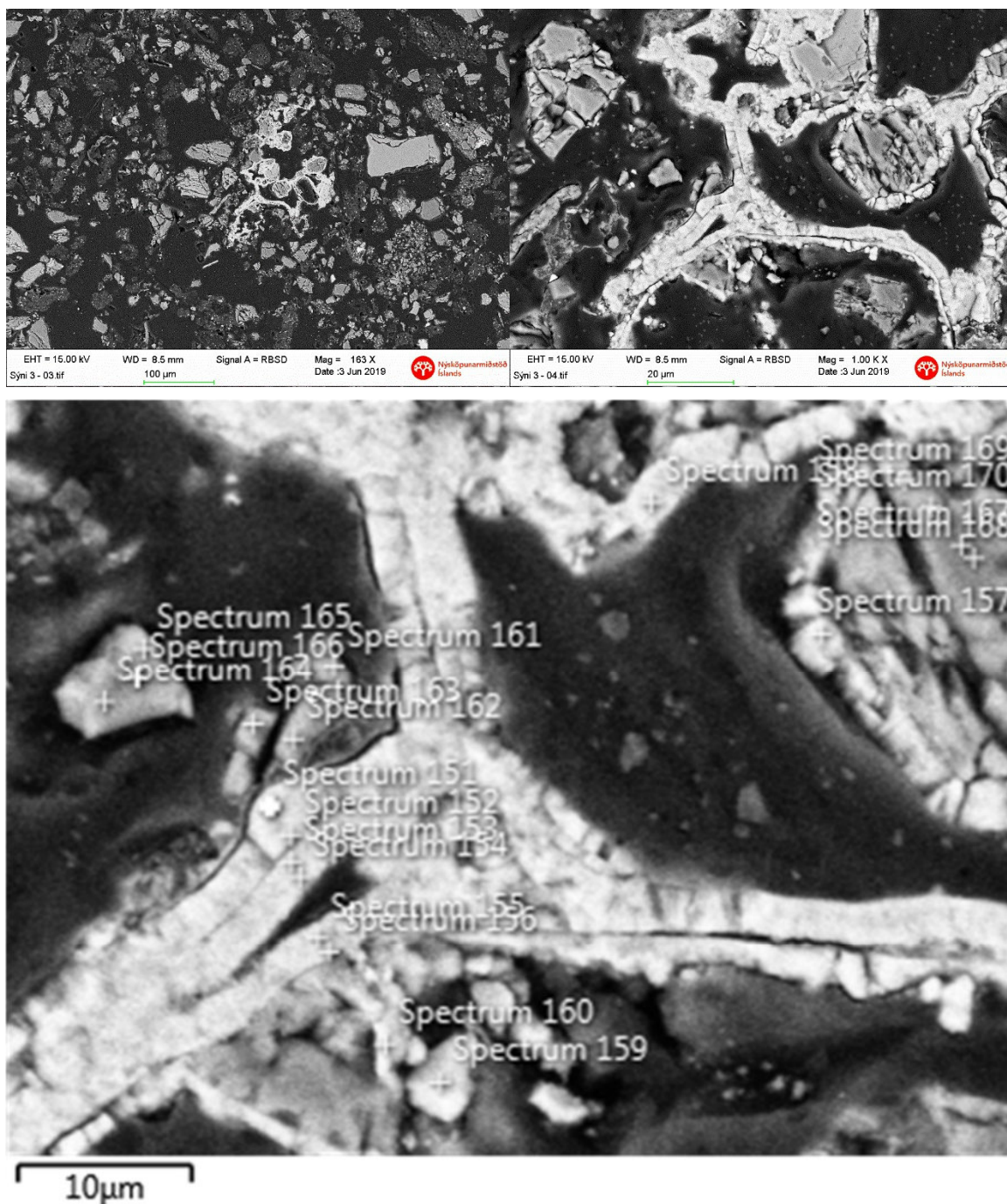
Svæði 3

Lýsing: Alls 20 greiningar á lagskiptu efni, sjá **Mynd 57**. Svæðið er hluti af svæði 2, þar sem greining 147 var gerð, sjá **Mynd 56**.

Greiningar 151 til og með 160 eru gerðar á Fe oxíði. Því miður eru þessar greiningar normaliseraðar í 100 %. Þrátt fyrir það er ljóst að greiningarnar eru ekki gerðar á hreinu járn oxíði, þ.e. FeO, Fe₃O₄ eða Fe₂O₃. Öllu líklegra er að um sé að ræða járn hydroxíð eins og goethite (FeOOH), limonít (FeOOH·nH₂O) og fleiri svipaðar steindir, þ.e.a.s. ryð.

Greiningar 161 til 163 eru gerðar á kvasi. Greiningar 164 til 166 eru gerðar á Al, Ti, Na silikati. Greiningar 167 til 170 eru gerðar á Al, Na, Ca silikati (plagioklas). Uppruni þessara korna er því fylliefni í malbiki.

Áhugavert er að sjá að járn hydroxíðið myndar samfelld lag utan um silikötin. Erfitt er að sjá fyrir sér að slíkt ferli eigi sér stað við myndun svifryks og því spurning hvort járn hydroxíð sé einnig upprunið sem fylliefni í malbiki.



Mynd 57. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 5100 teknu 17.10.17, svæði 3. Efri myndin til vinstri sýnir svæðið í 163 x stækkun og efri myndin til hægri sýnir svæðið í 1000 x stækkun. Á neðri myndinni má sjá staðsetningu á efnagreiningum 151 til 170. Krossar sýna staðsetningu á punktgreiningum. Lengdarkvarði í vinstra horni niðri.

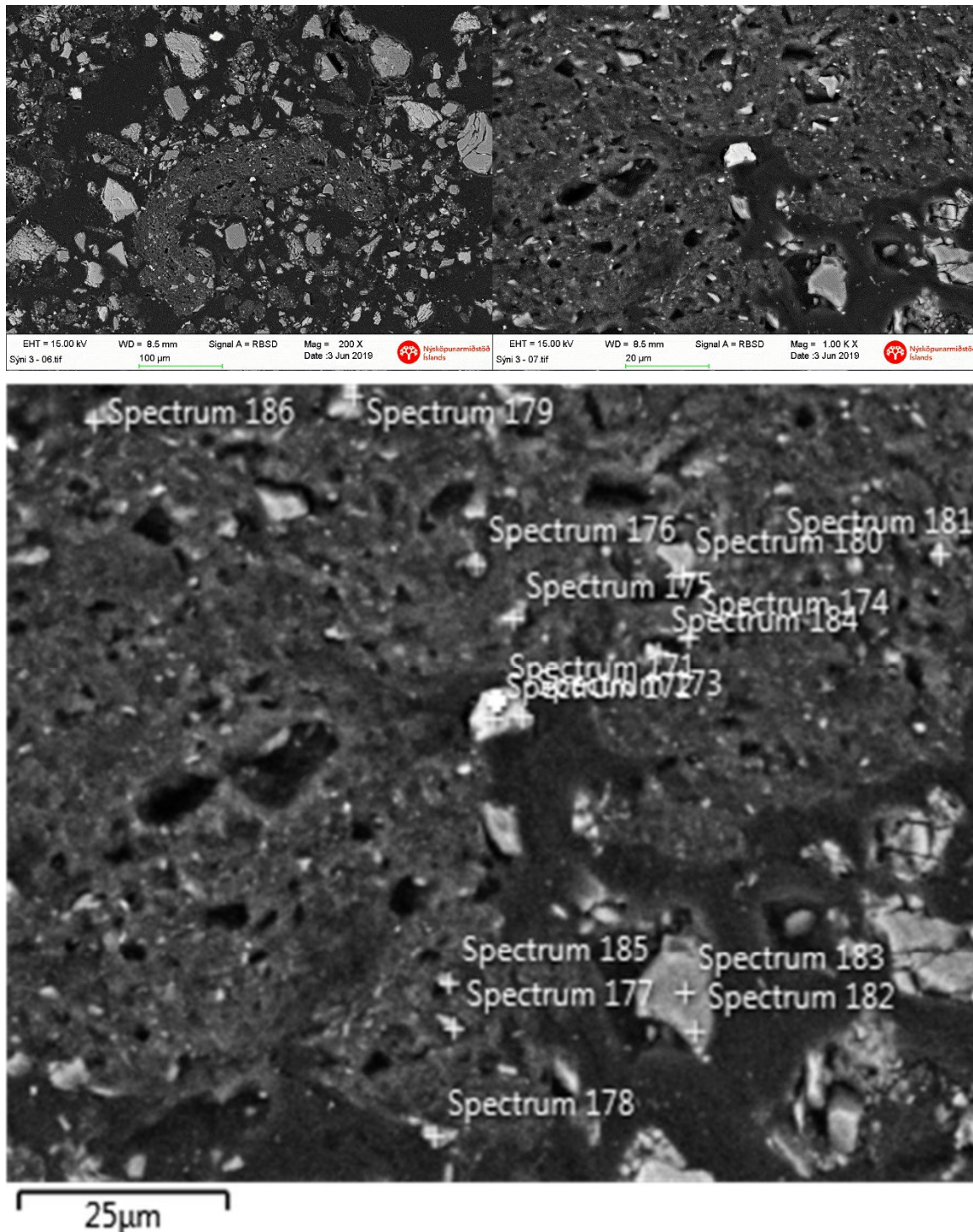
Svæði 4

Lýsing: Alls 16 efnagreiningar á kornum sem eru < 10 mikron, sjá **Mynd 58**. Kornin eru bundin saman í gráum grunnmassa.

Greiningar 171 til 173 eru gerðar á sama Fe, Ti oxíð korninu. Greining 174 er gerð á Fe, Ti oxíði með miklu Ti. Uppruni þessara tveggja korna er ekki ljós. Miðað við þessar efnagreiningar, þá eru þetta ekki hefðbundin náttúruleg Fe-Ti oxíð steindir (ilmenít og ulvöspinel).



Greiningar 175 til 185 eru gerðar á mismunandi silikötum, þar af eru greiningar 182 og 183 eru gerðar á kvasi. Greining 186 gerð á Ca ríkum fasa, sem væntanlega er kalsít. Uppruni þessara korna er væntanlega í öllum tilfellum fylliefni í malbiki.



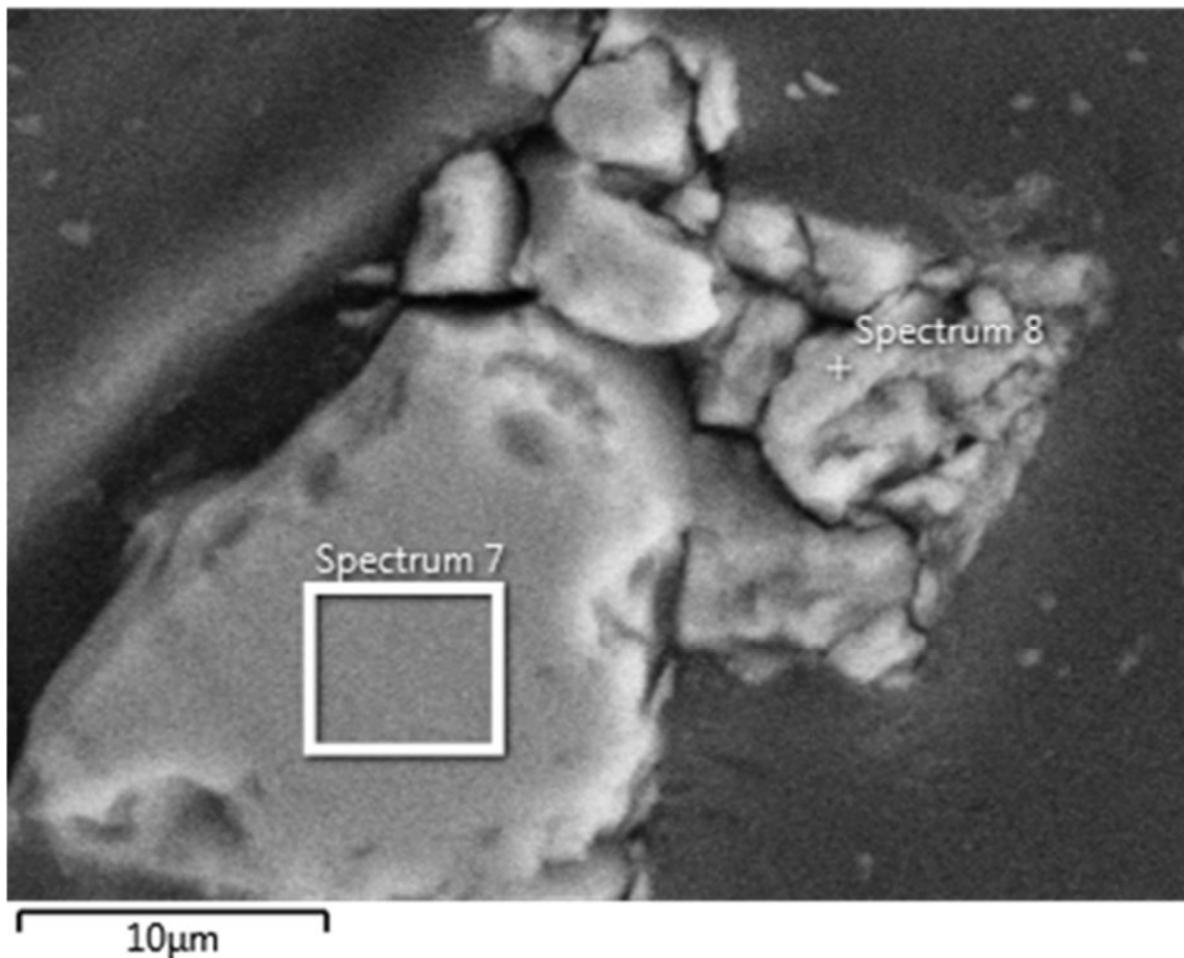
Mynd 58. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 5100 teknu 17.10.17, svæði 4. Efri myndin til vinstri sýnir svæðið í 200 x stækkun og efri myndin til hægri sýnir svæðið í 1000 x stækkun. Á neðri myndinni má sjá staðsetningu á efnagreiningum 171 til 186. Krossar sýna staðsetningu á punktgreiningum. Lengdarkvarði í vinstra horni niðri.



Stöð 5100 nr 7 - 21.03.2017 (nagladekkjatímabil)

Svæði 1

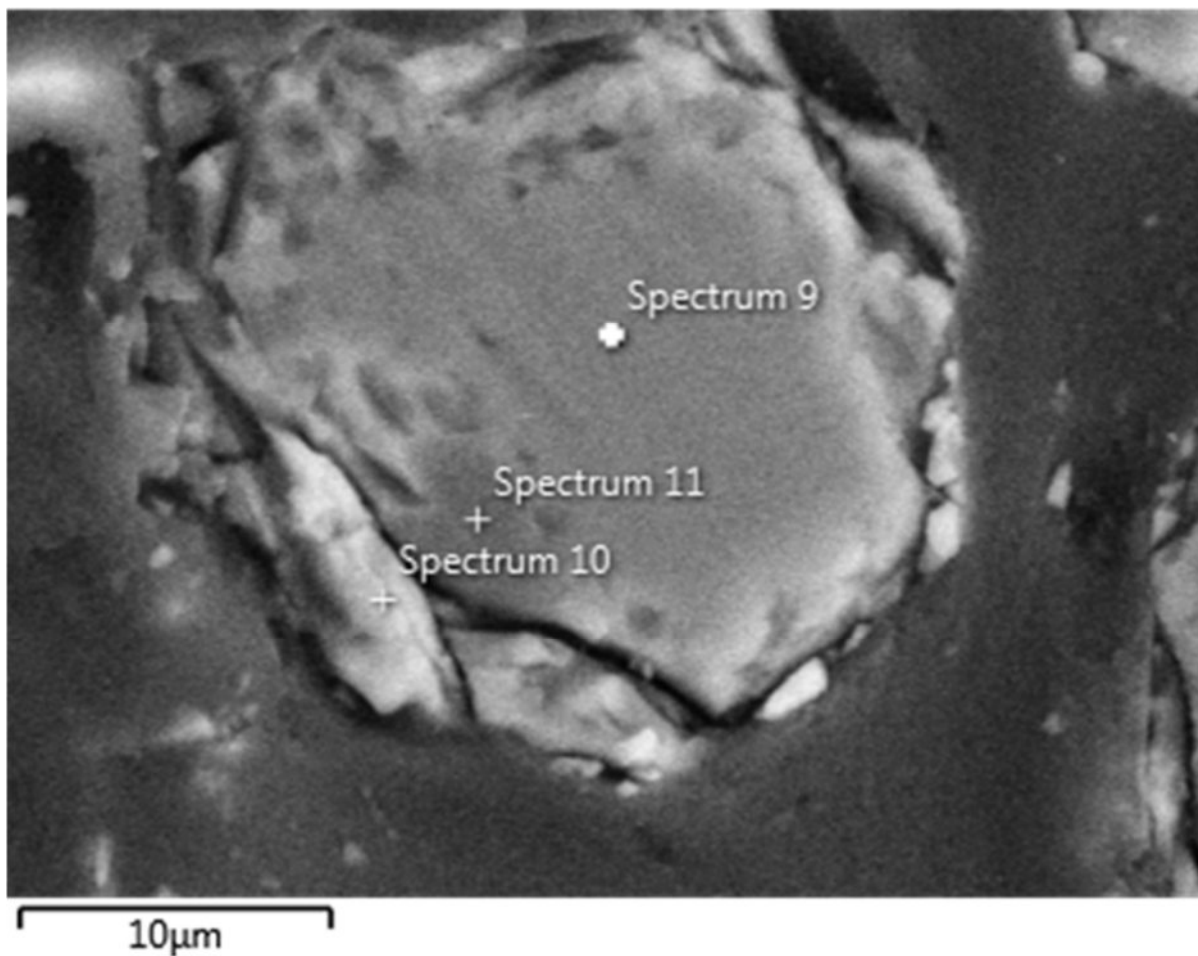
Lýsing: Tvær greiningar á stóru (> 25 mikron) brotnu en samhangandi korni, sjá **Mynd 59**. Greining 7 er gerð á kvasi og greining 8 er gerð á Al, Na silikati (plagioklas).



Mynd 59. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 5100 teknu 21.03.17, svæði 1. Á myndinni má sjá staðsetningu á efnagreiningum 7 og 8. Krossinn sýnir staðsetningu á punktgreiningu og ferhyrningur sýnir staðsetningu á svæði sem hefur verið efnagreint saman. Lengdarkvarði í vinstra horni niðri.

Svæði 2

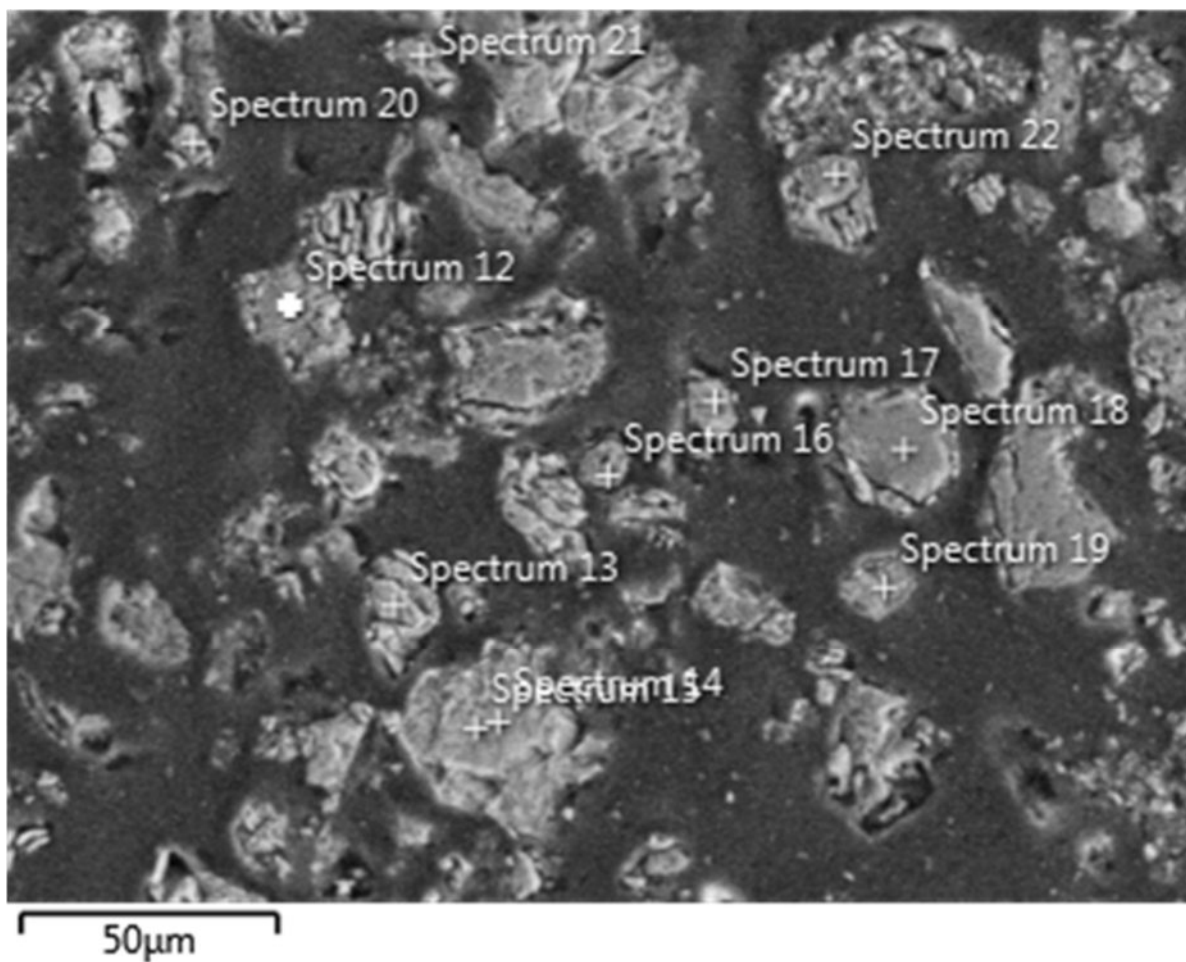
Lýsing: Þrjár greiningar á sama korni, um 25 míkrona stóru, sjá **Mynd 60**. Kornid er væntanlega kvas, en greiningar 10 og 11 eru lélegar.



Mynd 60. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 5100 teknu 21.03.17, svæði 2. Á myndinni má sjá staðsetningu á efnagreiningum 9 til 11. Krossar sýna staðsetningu á punktgreiningum. Lengdarkvarði í vinstra horni niðri.

Svæði 3

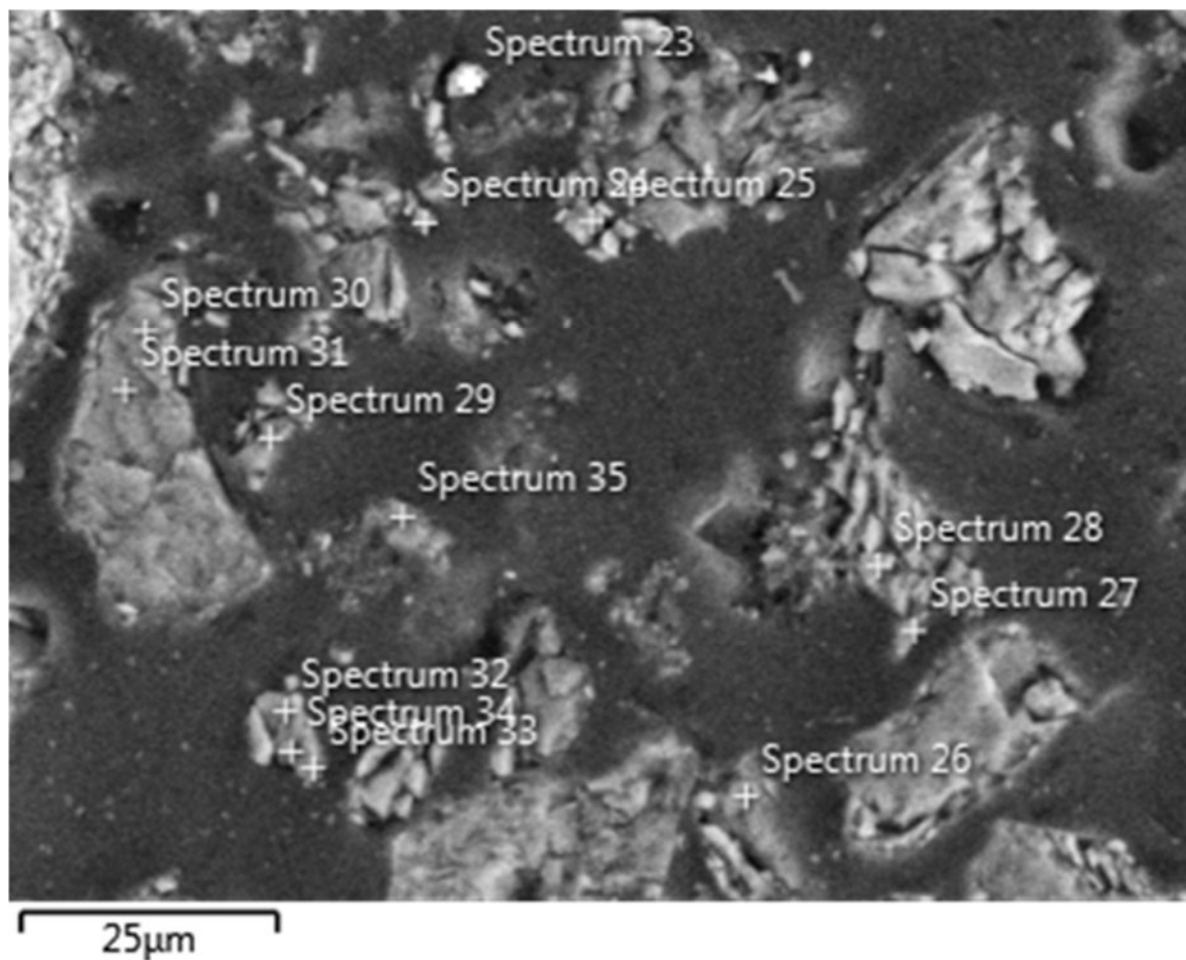
Lýsing: Alls 11 greiningar á 10 til 25 mikrona stórum kornum, allt mismunandi siliköt, sjá **Mynd 61**. Greining 22 er gerð á Al, Mg ríku silikati.



Mynd 61. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 5100 teknu 21.03.17, svæði 3. Á myndinni má sjá staðsetningu á efnagreiningum 12 til 22. Krossar sýna staðsetningu á punktgreiningum. Lengdarkvarði í vinstra horni niðri.

Svæði 4

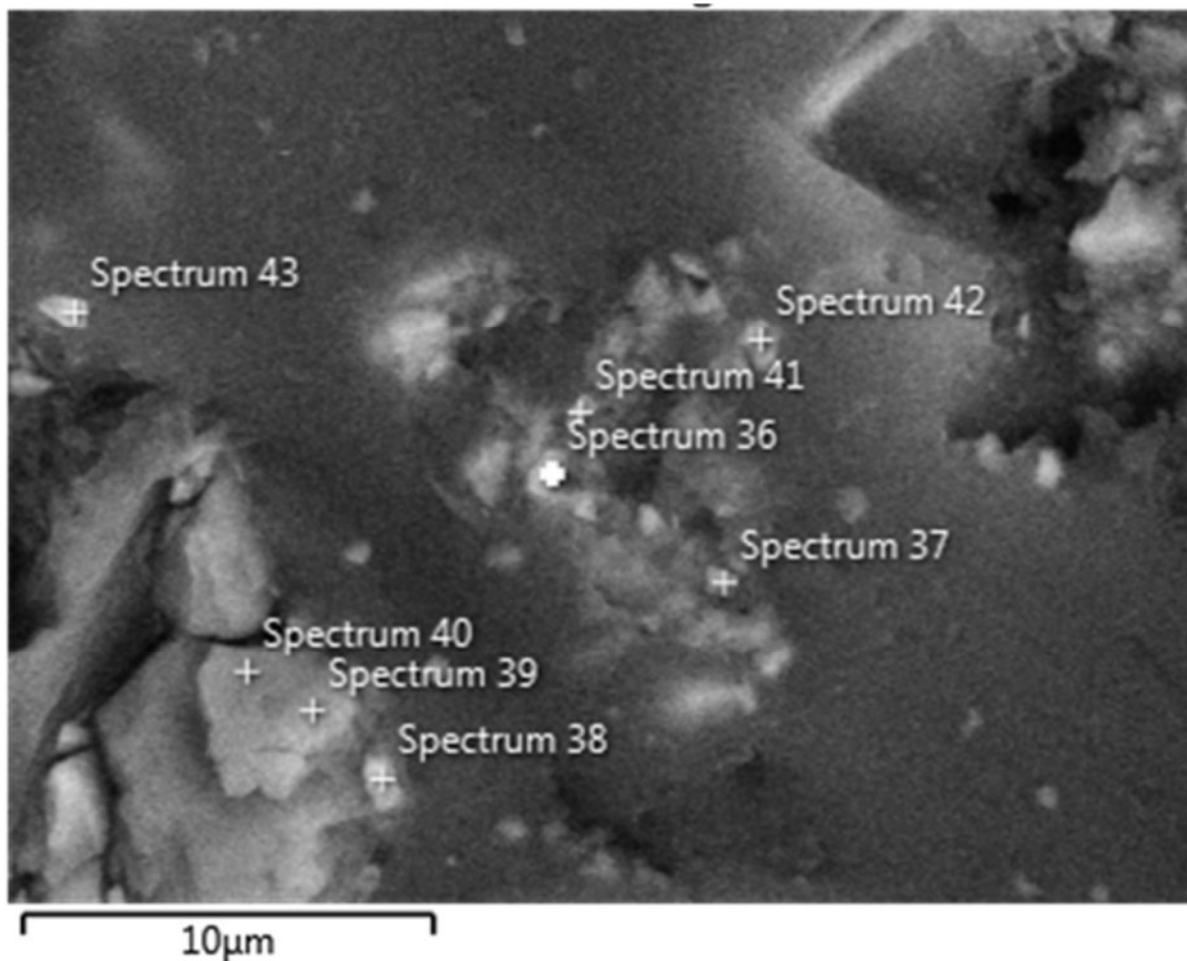
Lýsing: Alls 13 greiningar á tiltölulega stórum fösum, sjá **Mynd 62**. Allt mismunandi siliköt.



Mynd 62. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 5100 teknu 21.03.17, svæði 4. Á myndinni má sjá staðsetningu á efnagreiningum 23 til 35. Krossar sýna staðsetningu á punktgreiningum. Lengdarkvarði í vinstra horni niðri.

Svæði 5

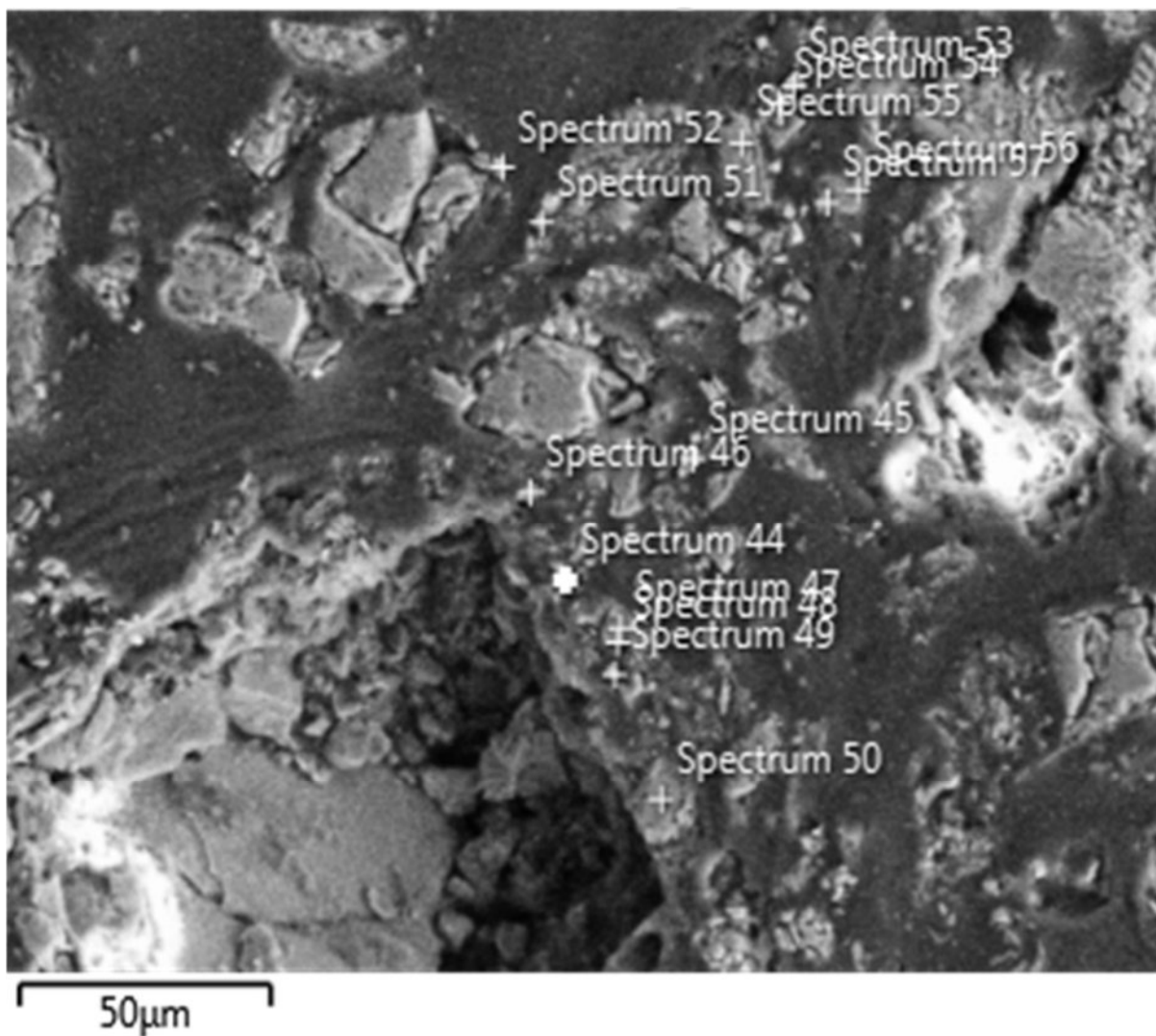
Lýsing: Alls 8 greiningar á smáum fösum, sjá **Mynd 63**. Allar greiningar eru gerðar á mismunandi silikötum.



Mynd 63. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 5100 teknu 21.03.17, svæði 5. Á myndinni má sjá staðsetningu á efnagreiningum 36 til 43. Krossar sýna staðsetningu á punktgreiningum. Lengdarkvarði í vinstra horni niðri.

Svæði 6

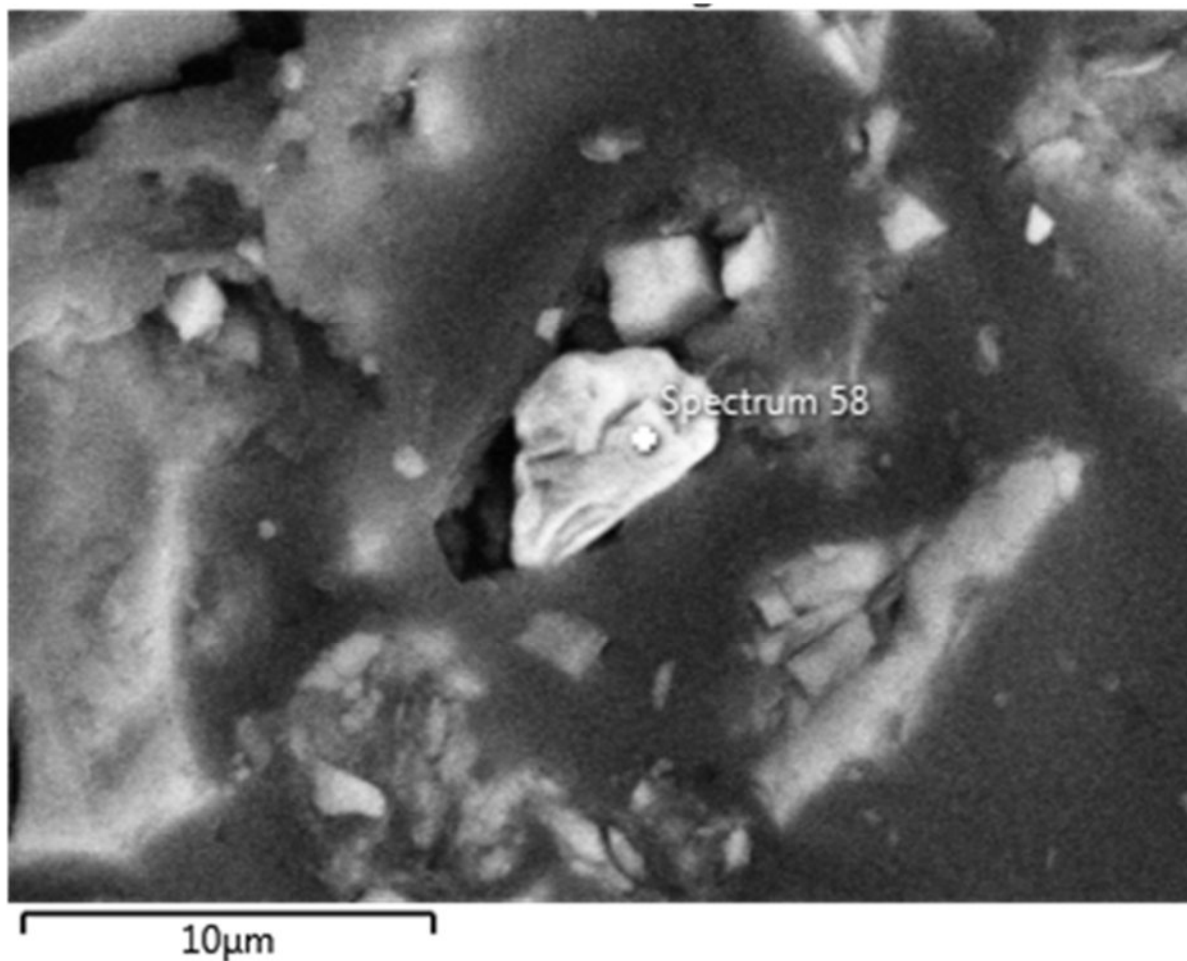
Lýsing: 14 greiningar. Allar gerðar á misstórum og mismunandi silikötum, nema greining 45, sú er gerð á Fe, Cr, Ni, Mo, Mn, Si melmi, sjá **Mynd 64**.



Mynd 64. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 5100 teknu 21.03.17, svæði 6. Á myndinni má sjá staðsetningu á efnagreiningum 44 til 57. Krossar sýna staðsetningu á punktgreiningum. Lengdarkvarði í vinstra horni niðri.

Svæði 7

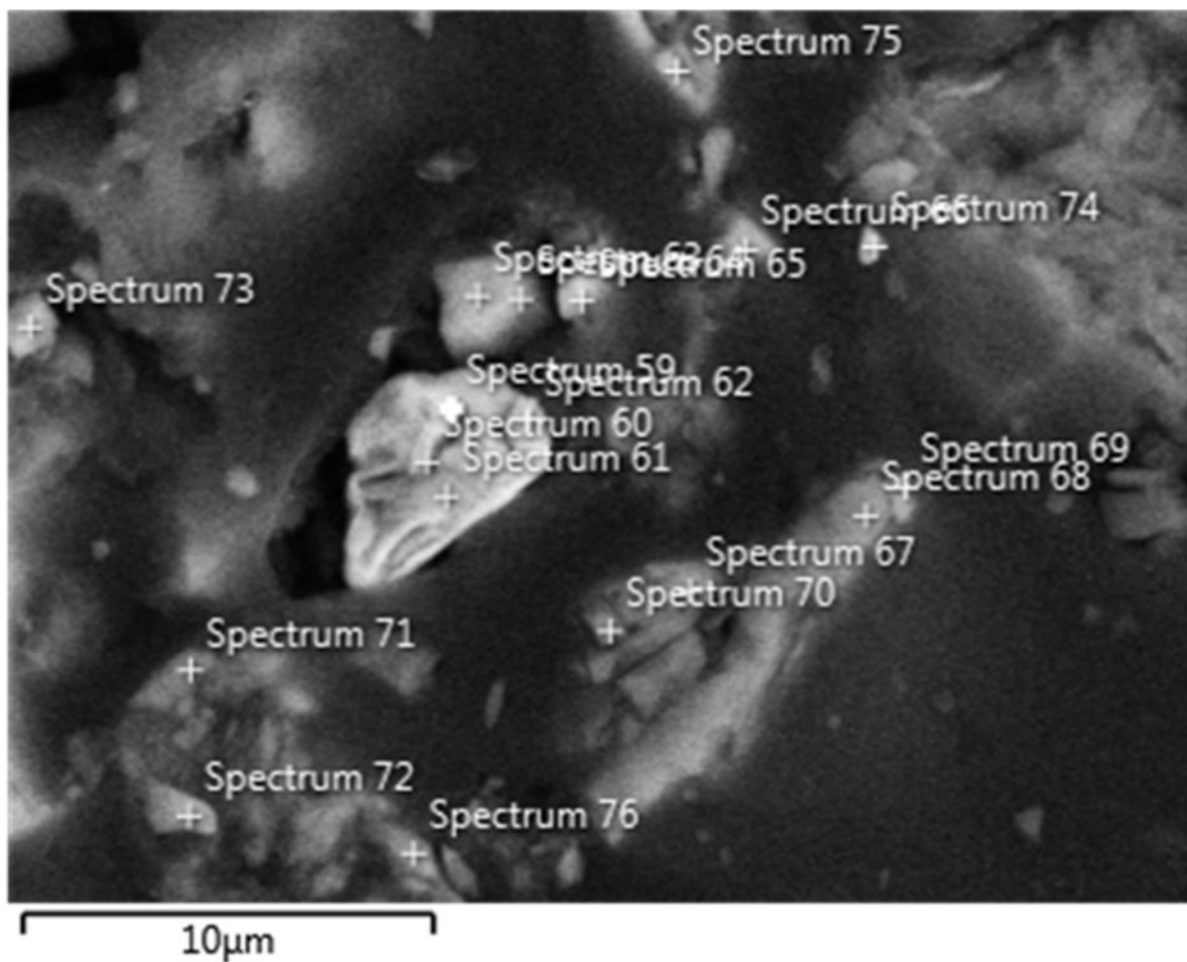
Lýsing: Fe, Cr, Ni, Mo, Mn, Si melmi, sama korn og greining 45 var gerð á, sjá **Mynd 65**. Uppruni þessa korns er ekki ljós, a.m.k. ekki er um fylliefni úr malbiki að ræða.



Mynd 65. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 5100 teknu 21.03.17, svæði 7. Á myndinni má sjá staðsetningu á efnagreiningu 58. Krossinn sýnir staðsetningu á greiningunni. Lengdarkvarði í vinstra horni niðri.

Svæði 8

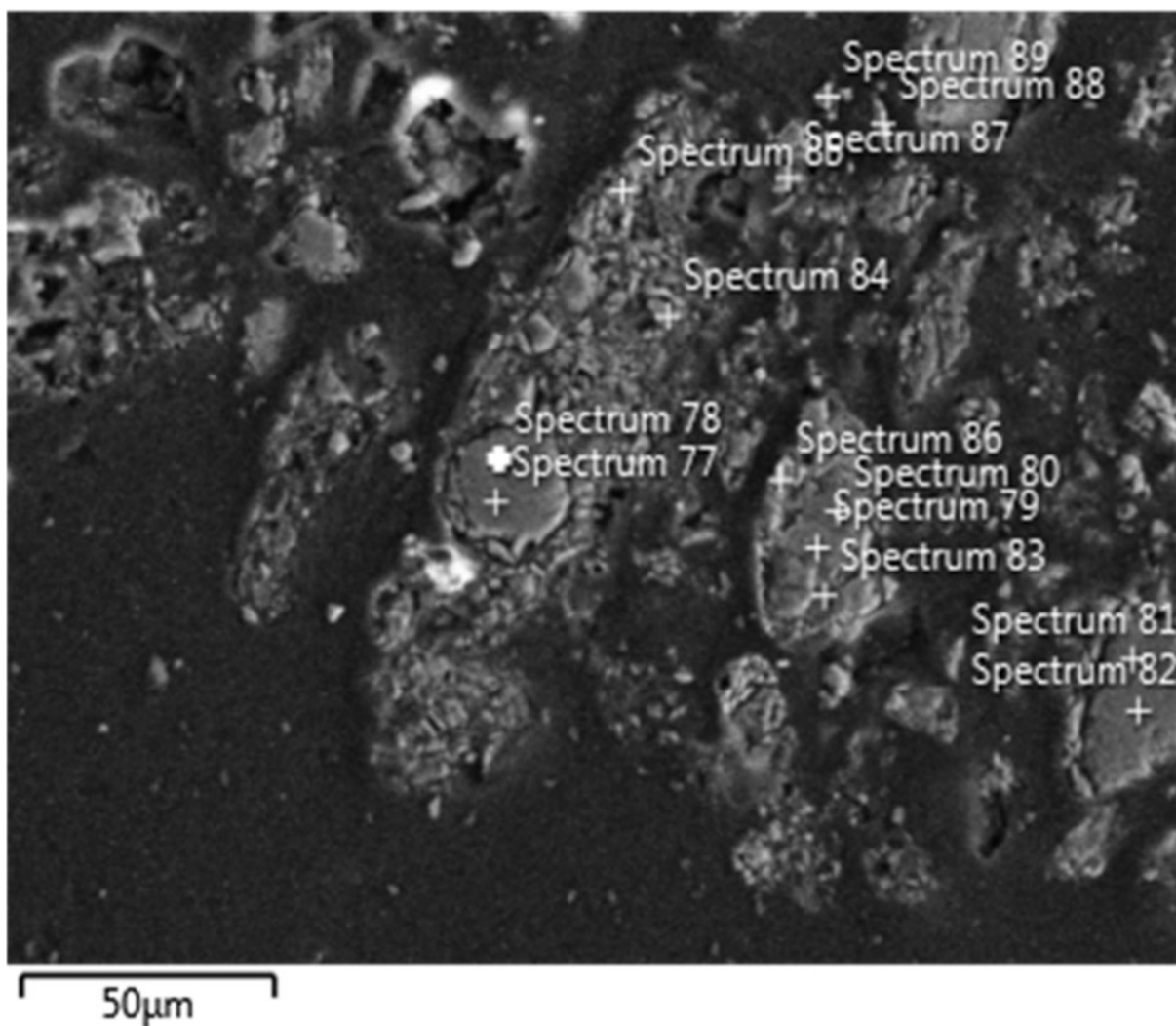
Lýsing: Alls 18 greiningar gerðar á smáum kornum (<10 mikron), sjá **Mynd 66**. Sama svæði og svæði 7 hér á undan, sjá **Mynd 65**. Greiningar 59 til 62 eru gerðar á sama korni og var efnagreint í svæði 7 hér á undan. Greiningar 63 til 65 eru gerðar á smáum Ca, P ríkum fasa (apatít?). Greiningar 66 til 76 eru gerðar á mismunandi silikötum. Apatít finnst sem náttúruleg steind, þannig að greiningar 63 til 65 gætu vel verið upprunar úr berginu sem notað var í malbikið.



Mynd 66. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 5100 teknu 21.03.17, svæði 8. Á myndinni má sjá staðsetningu á efnagreiningum 59 til 76. Krossar sýna staðsetningu á punktgreiningum. Lengdarkvarði í vinstra horni niðri.

Svæði 9

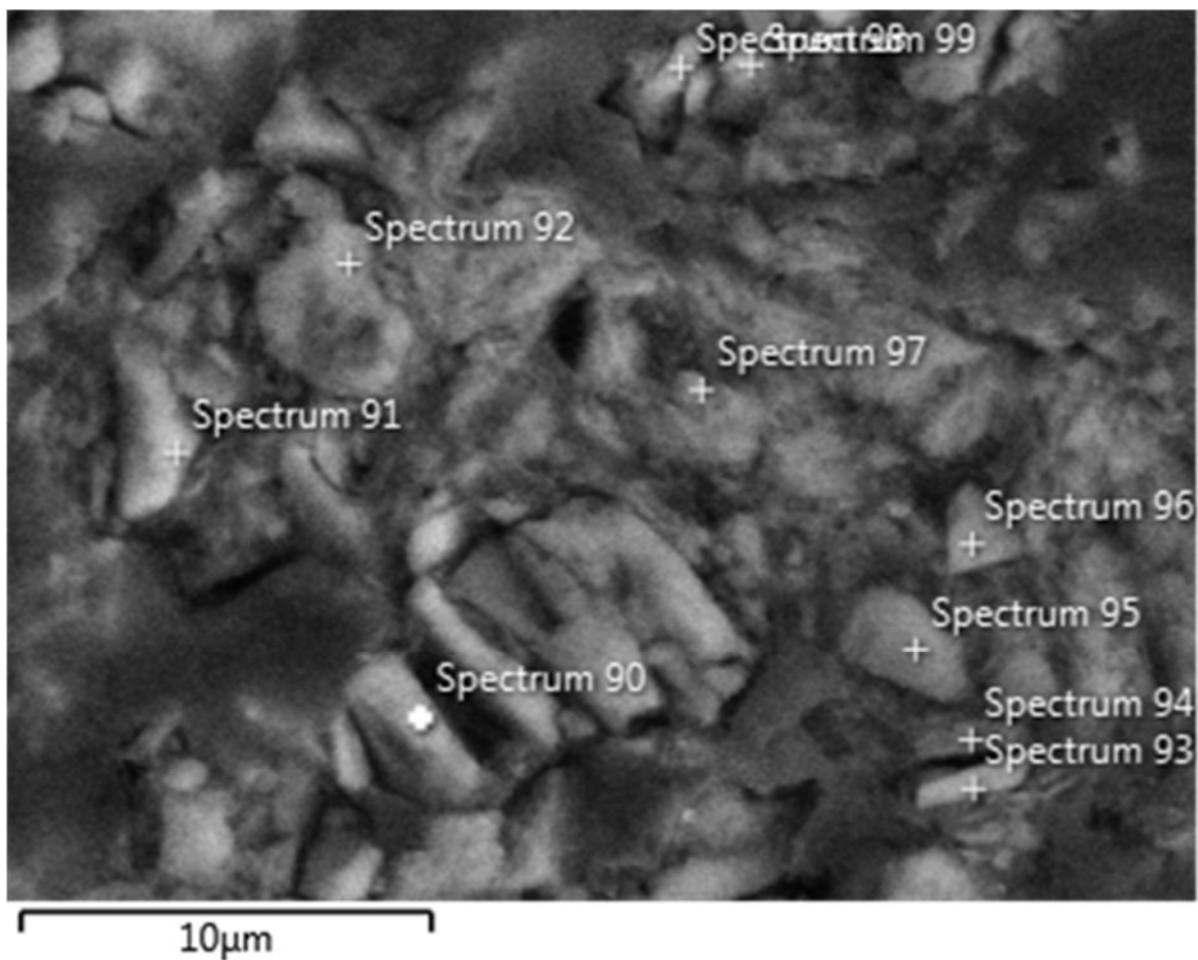
Alls 13 greiningar á 10 til 25 mikrona stórum kornum, sjá **Mynd 67**. Allar greiningarnar eru gerðar á silikötum. Greining 84 er með meira Mg en Fe (pyroxen).



Mynd 67. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 5100 teknu 21.03.17, svæði 9. Á myndinni má sjá staðsetningu á efnagreiningum 77 til 89. Krossar sýna staðsetningu á punktgreiningum. Lengdarkvarði í vinstra horni niðri.

Svæði 10

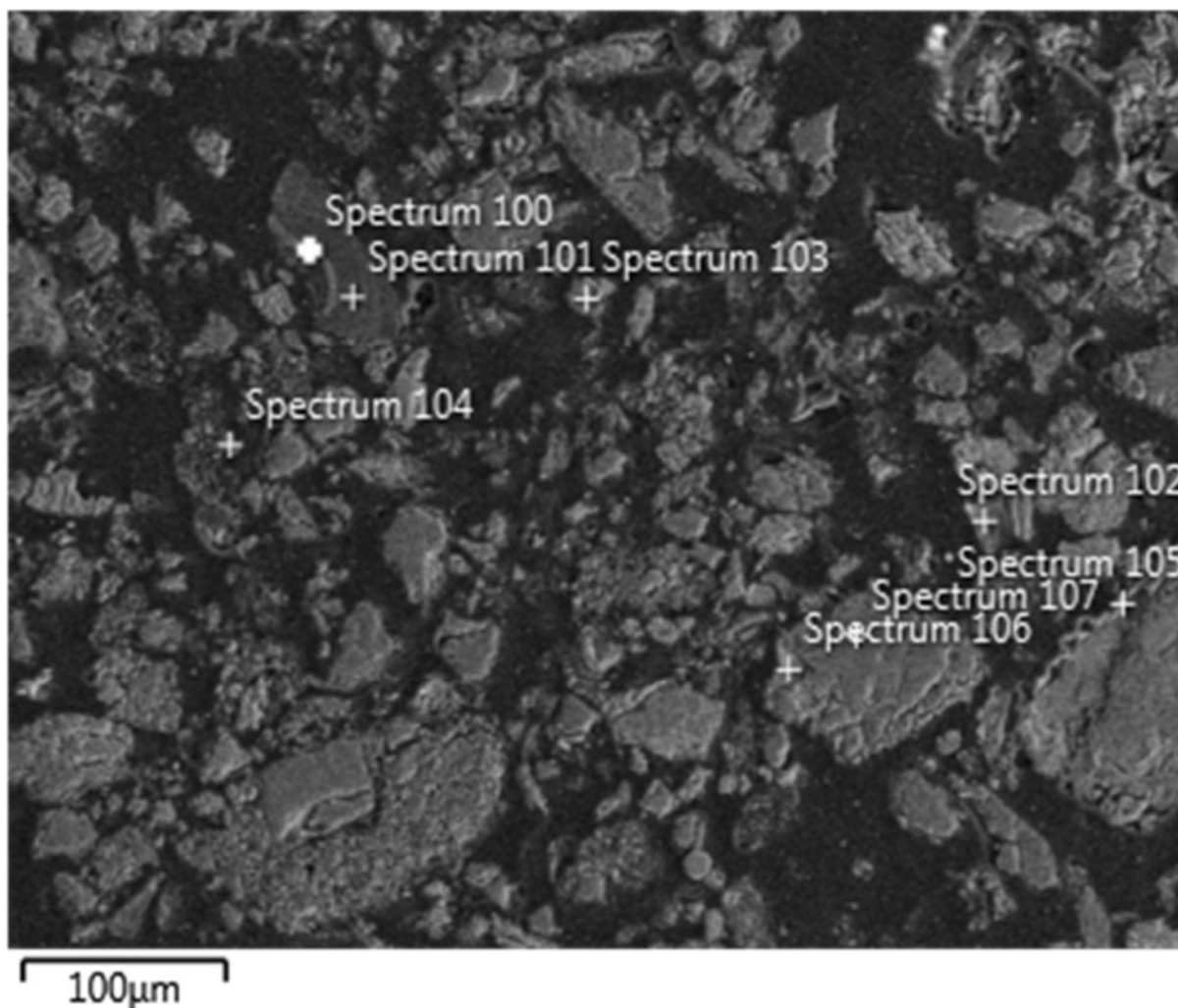
Lýsing: Samsettur fasi af smáum einingum, sjá **Mynd 68**. Alls 10 greiningar, allt siliköt, Fe alltaf hærra en Mg, allt Al siliköt nema greining 91 sem er væntanlega kvars með lélega O greiningu.



Mynd 68. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 5100 teknu 21.03.17, svæði 10. Á myndinni má sjá staðsetningu á efnagreiningum 90 til 99. Krossar sýna staðsetningu á punktgreiningum. Lengdarkvarði í vinstra horni niðri.

Svæði 11

Lýsing: Alls 8 greiningar á tiltölulega stórum kornum, sjá **Mynd 69**. Greiningar 100 og 101 eru gerðar á Al ríku oxíði (Al_2O_3). Greiningar 102 og 106 eru gerðar á Fe ríku silikati, sjá greiningu 97 frá svæði 10. Aðrar greiningar (103, 104, 105 og 107) eru gerðar á mismunandi Al ríkum silikötum.



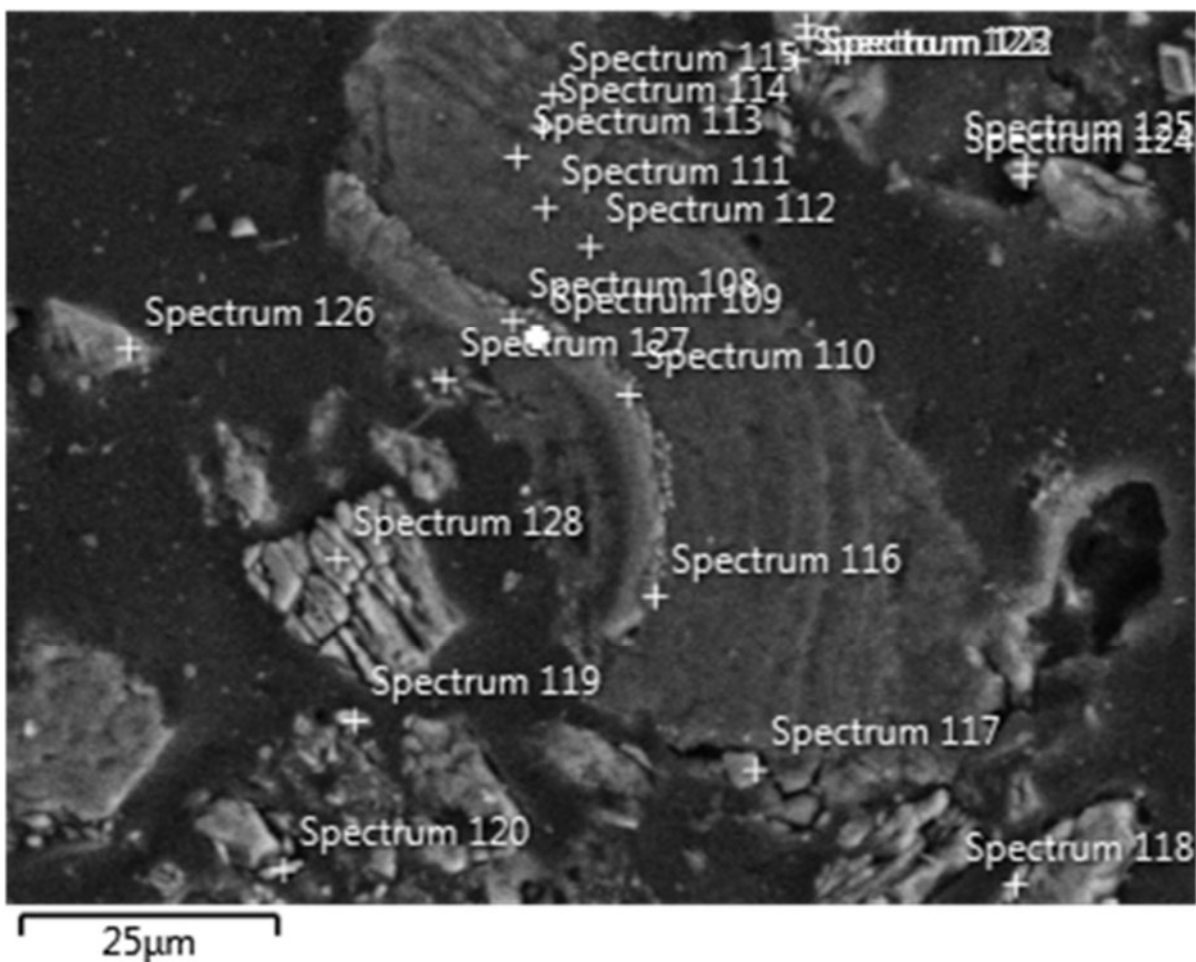
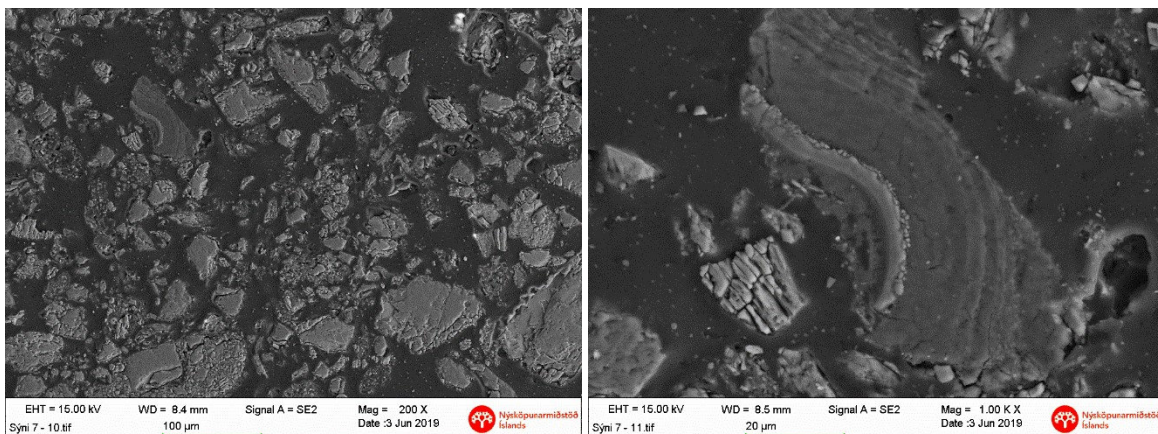
Mynd 69. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 5100 teknu 21.03.17, svæði 11. Á myndinni má sjá staðsetningu á efnagreiningum 100 til 107. Krossar sýna staðsetningu á punktgreiningum. Lengdarkvarði í vinstra horni niðri.

Svæði 12

Lýsing: Nánari greining á Al ríkum fasa frá svæði 11 (greiningar 100 og 101) og kornum í kring, sjá **Mynd 70**. Alls 21 greining.

Greiningar 108 til og með 116 eru gerðar á Al ríkum fasa. Greiningarnar passa ágætlega við Al_2O_3 . Aluminium oxíð er notað víða og uppruni þess getur verið margvíslegur, annar en sem fylliefni í malbiki.

Greiningar 118 til 128, að 127 undanskilinni eru gerðar á mismunandi silikötum. Greining 127 er gerð á Al og N ríkum fasa. Uppruni silikatanna er eins og áður malbik, en uppuni Al, N fasans er óljós, en tengdur iðnaðarvöru.



Mynd 70. Rafeindasmásjarmynd af ryksýni úr stöð 5100 teknu 21.03.17, svæði 12. Efri myndin til vinstri sýnir svæðið í 200 x stækkun og efri myndin til hægri sýnir svæðið í 1000 x stækkun. Á neðri myndinni má sjá staðsetningu á efnagreiningum 108 til 128. Krossar sýna staðsetningu á punktgreiningum. Lengdarkvarði í vinstra horni niðri.

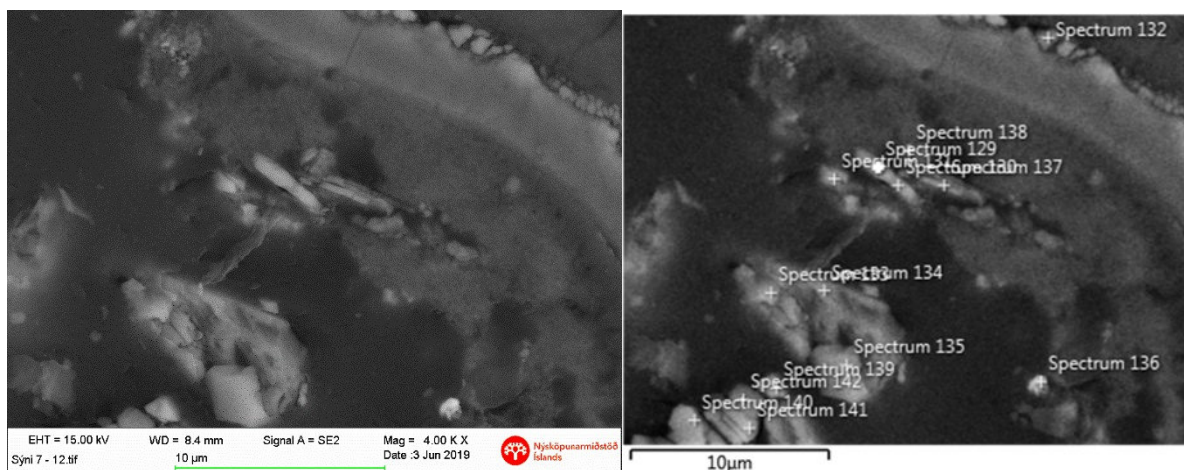
Svæði 13

Lýsing: Alls 14 greiningar, sjá Mynd 71, nánari greining á N ríkum fasa frá svæði 12, sjá Mynd 70.

Greiningar 129 og 130 svo og 137 og 138 eru gerðar á Al, N ríkum fasa. Greiningar 131 og 132 eru gerðar á Al oxíði. Greining 136 er gerð á Ni, Cu, Fe og Al melmi. Uppruni þessara fasa er óljós og er væntanlega tengdur ýmiskonar iðnaðarvörum.



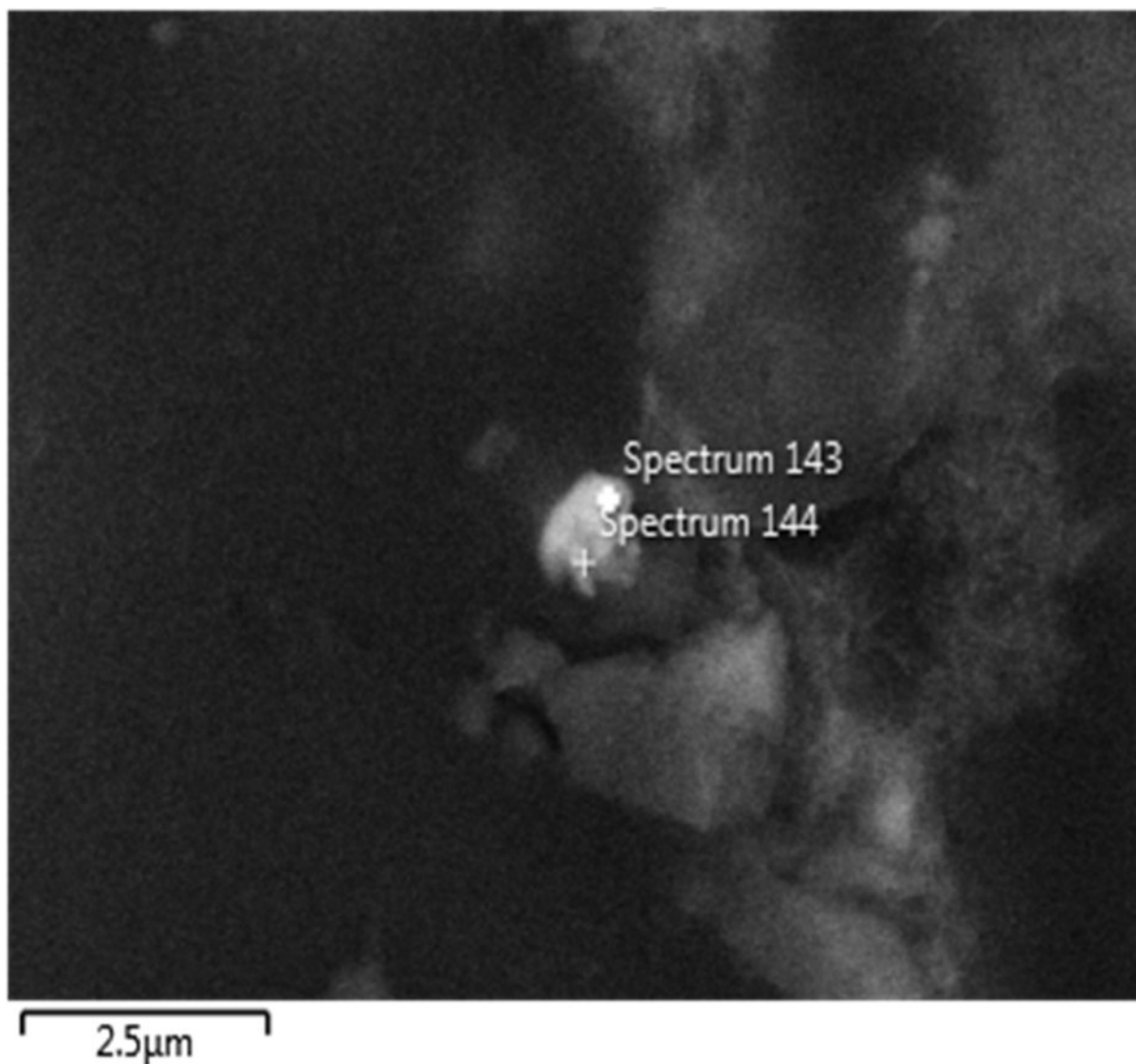
Greiningar 133, 134 og 135 eru gerðar á Al, Na silikötum. Greiningar 137 til 142 eru gerðar á Al, Ca, Fe silikötum. Uppruni silikatanna er, eins og áður, malbik.



Mynd 71. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 5100 teknu 21.03.17, svæði 13. Á myndinni má sjá staðsetningu á efnagreiningum 129 til 142. Krossar sýna staðsetningu á punktgreiningum. Lengdarkvarði í vinstra horni niðri.

Svæði 14

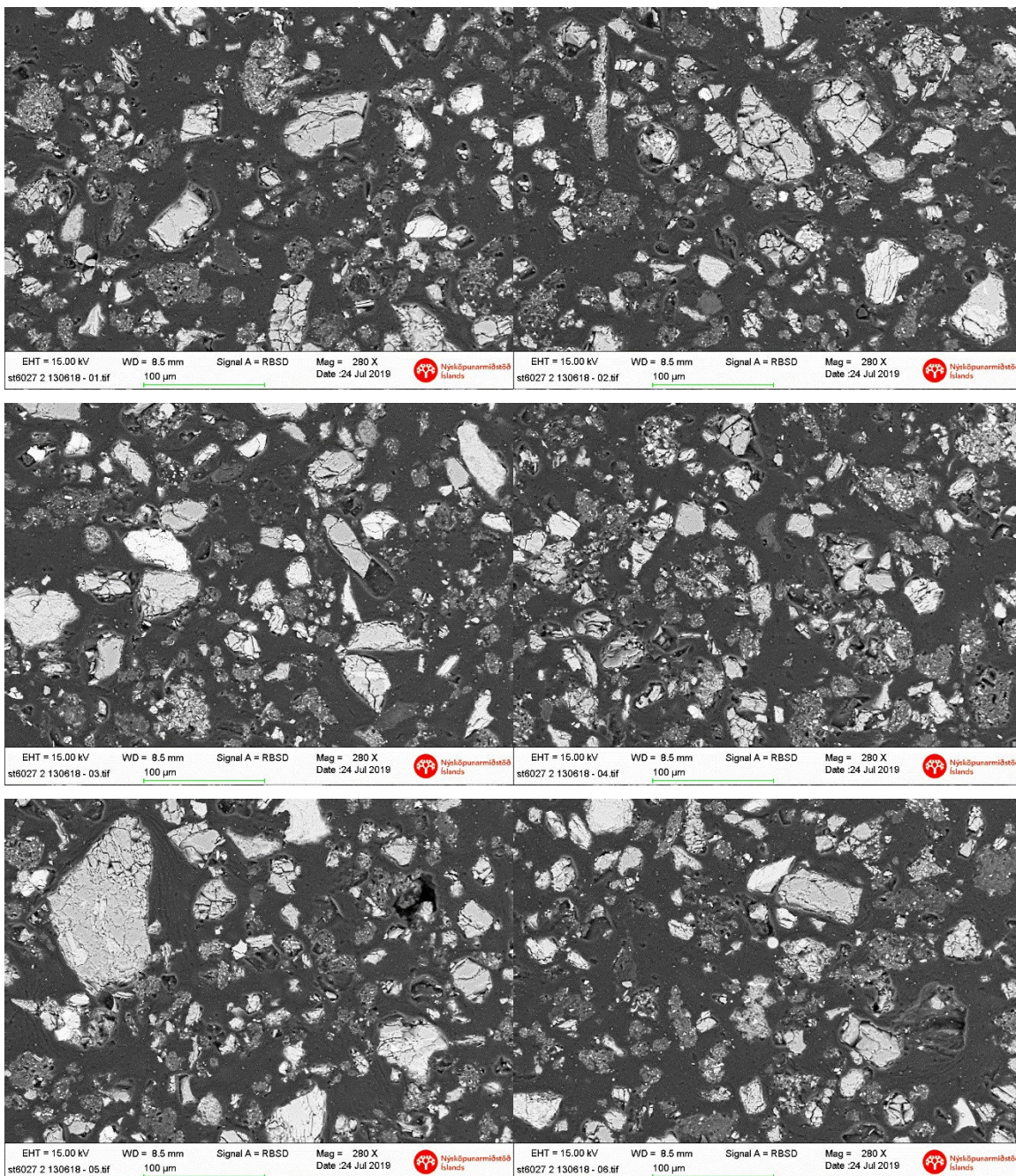
Lýsing: Nánari greining á sama korni og greining 136 frá svæði 13 var gerð á, sjá **Mynd 72** og **Mynd 71**. Svipuð samsetning og áður, Ni ríkt melmi.



Mynd 72. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 5100 teknu 21.03.17, svæði 14. Á myndinni má sjá staðsetningu á efnagreiningum 143 til 144. Krossar sýna staðsetningu á punktgreiningum. Lengdarkvarði í vinstra horni niðri.

Stöð 6027 nr 2 – 13.06.2018 (sumardekkjatímabil)

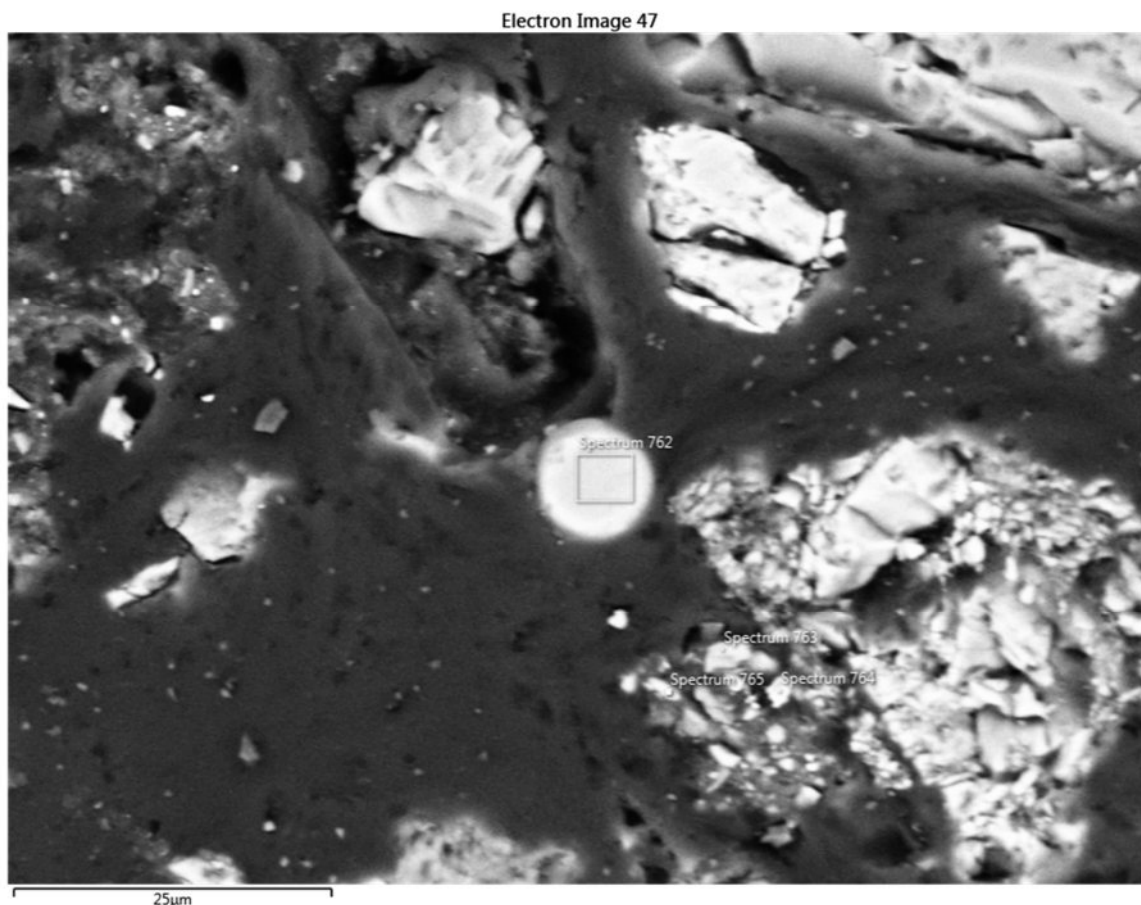
Mynd 73 er samsett af 6 stökum yfirlitsmyndum af sýninu. Eins og í öðrum svifrykssýnum má skipta kornunum upp í tvo hópa, annars vegar í stök korn allt að 100 mikon að stærð og hins vegar í mun smærri korn sem gjarnan eru bundin saman í gráan grunnmassa. Stöku kornin eru flest siliköt upprunin sem fylliefni í malbiki. Smærri kornin eru einnig flest siliköt, upprunnin úr malbiki. Grunnmassinn sem bindur smáu kornin saman er kolefnisríkt efni með óljósan uppruna, en uppruninn er væntanlega blanda af biki, útblæstri og/eða hjólbörðum.



Mynd 73. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 6027 teknu 13.06.2018. Yfirlitsmynd af sýninu í 280 sinnum stækkun. Algengt er að sjá smá fylliefni bundin saman gráleitum grunnmassa. Lengdarkvarði er sýndur í neðsta hluta hvernar myndar.

Svæði 1

Lýsing: Alls fjórar greiningar, sjá **Mynd 74**. Ein greining gerð á stökum hringlaga fasa (<10 mikron) og svo þrjár greiningar gerðar á smærri fösum í grunnmassa. Greining 762 er gerð á hringlaga korni með helstu aðalefnum sem finnast í bergi, mögulega basaltgler. Greiningar 763 til 765 eru gerðar á venjulegum silikötum eins og hafa fundist í öðrum sýnum.



Mynd 74. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 6027 teknu 13.06.18, svæði 1. Á myndinni má sjá staðsetningu á efnagreiningum 762 til 765. Kross sýnir staðsetningu á punktgreiningu og ferhyrningur sýnir staðsetningu á svæði sem hefur verið efnagreint saman. Lengdarkvarði í vinstra horni niðri.

Svæði 2

Lýsing: Alls 12 greiningar, með mismunandi summu, **Mynd 75**. Flestar greiningar eru gerðar á samhangandi fasa, með mismunandi tegundum af kornum og síðan eru 4 greiningar á aðliggjandi fösum.

Greiningar 766 til 769 og 780 og 781 eru gerðar á Ca, Fe, Al oxíði. Uppruni óljós.

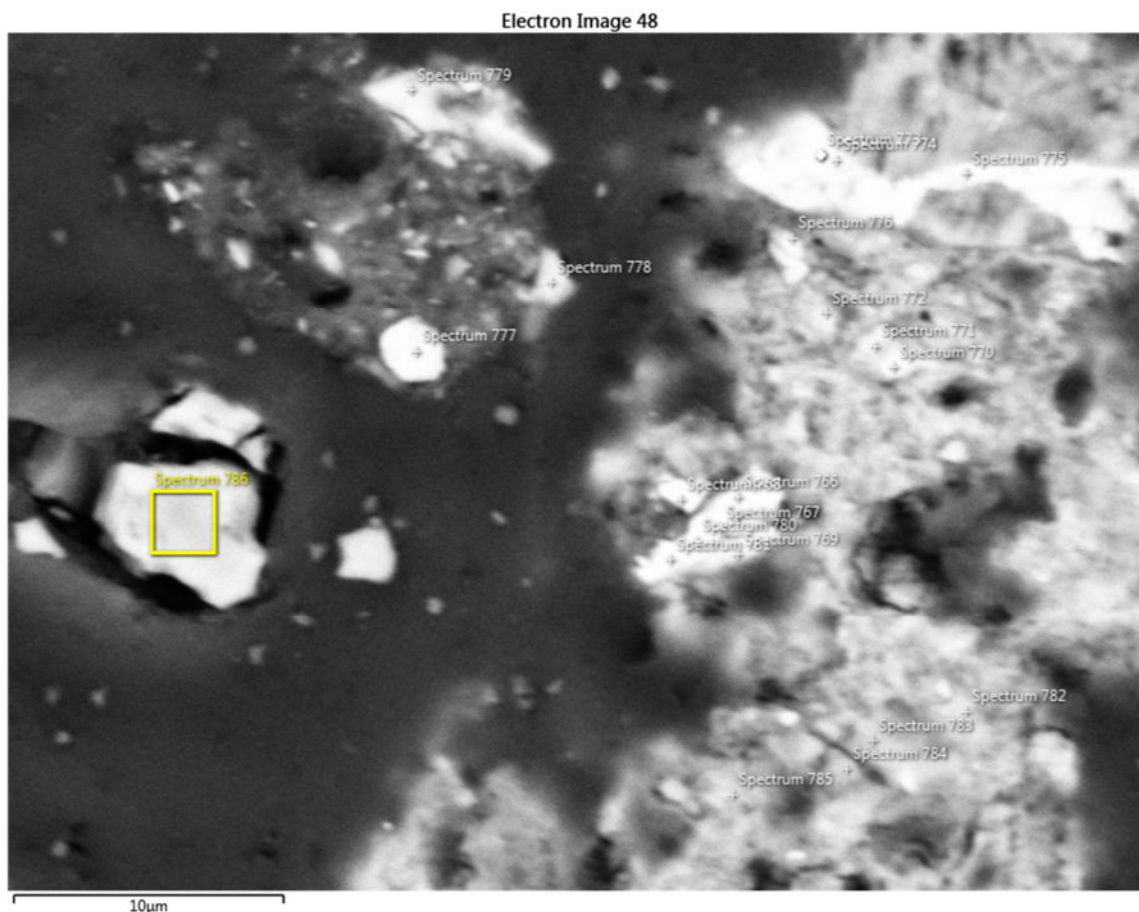
Greiningar 770 og 771 eru gerðar á Ca ríkum fasa, væntanlega kalsíum karbónat, en kolefni var ekki greint.

Greining 772 er gerð á Ca ríkum fasa með um 3 % F. Greining 776 er gerð á Ca ríkum fasa með um 3 % F, svipaður fasi og 772. Uppruni óljós.

Greiningar 773 til 775 eru gerðar á Ca, Al, Fe, Si oxíði. Uppruni óljós.

Greiningar 777, 778 og 779 eru gerðar á fösum í dökkgráum grunmassa, allt mismunandi siliköt. Greining 786 er gerð á Al, Na silikati (plagioklas).

Greiningar 782 til 785 eru gerðar á Ca ríkum fösum með mismunandi Si magni. Uppruni óljós.



Mynd 75. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 6027 teknu 13.06.18, svæði 2. Á myndinni má sjá staðsetningu á efnagreiningum 766 til 786. Kross sýnir staðsetningu á punktgreiningu og ferhyrningur sýnir staðsetningu á svæði sem hefur verið efnagreint saman. Lengdarkvarði í vinstra horni niðri.

Svæði 3

Lýsing: Alls 20 greiningar á smáum kornum í grunnmassa, a.m.k. þrjár greiningar af grunnmassanum (804, 805 og 806), sjá **Mynd 76**.

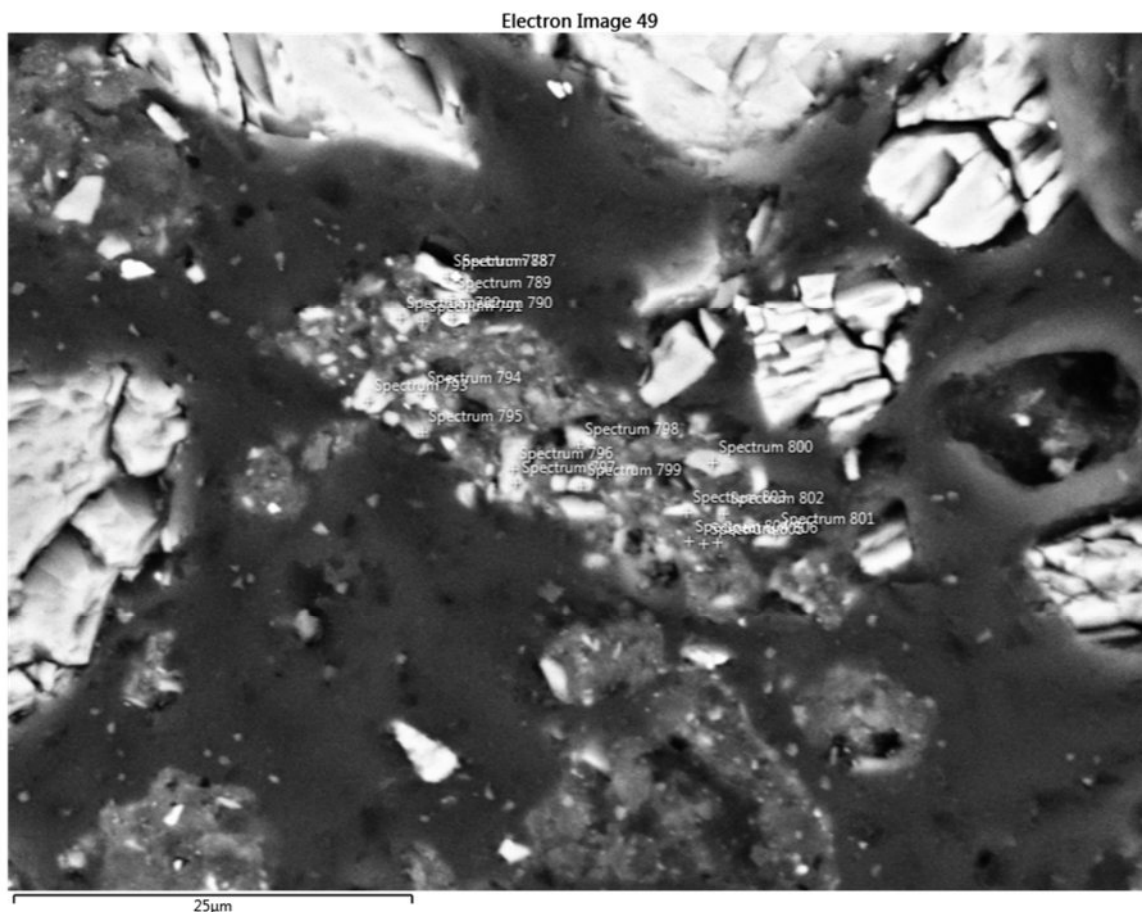
Greining 790 er gerð á Fe, Ti oxíði. Svipuð samsetning og sést hefur áður. Uppruni óljós.

Greiningar 791 og 795 eru gerðar á svipuðum fösum með lága summu. Tegund og uppruni óljós.

Greiningar 799 og 800 eru gerðar á Ca, Mg ríkum fasa. Tegund og uppruni óljós.

Greiningar 802 og 803 gætu að vera gerðar á silikötum en mikið kolefni greinist í sýnunum. Greiningar 804, 805 og 806 eru gerðar á grunnmassa með mikið kolefni og summan er mjög há.

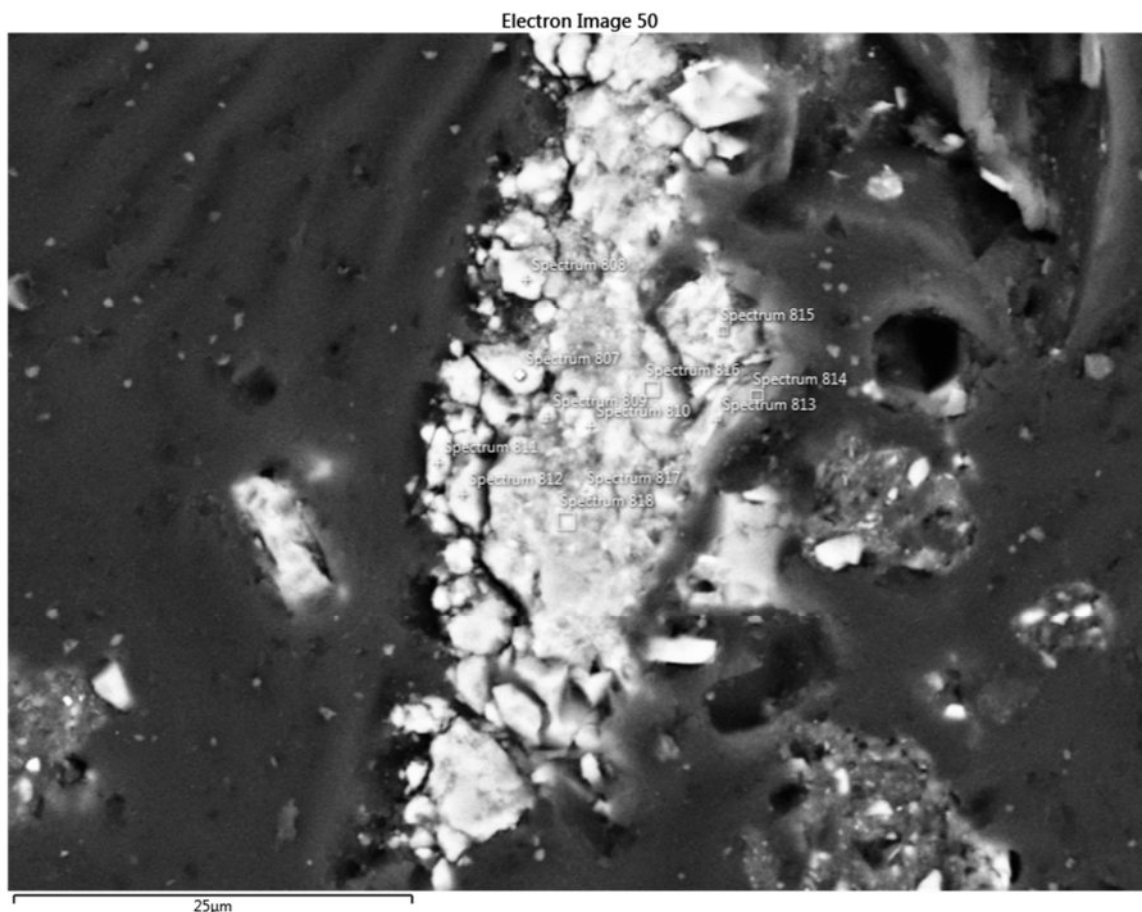
Greiningar (787-789, 792-794, og 796-798) eru gerðar á venjulegum silikötum, með Fe alltaf töluvert hærra en Mg. Lítið um efni þyngri en Fe.



Mynd 76. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 6027 teknu 13.06.18, svæði 3. Á myndinni má sjá staðsetningu á efnagreiningum 787 til 806. Kross sýnir staðsetningu á punktgreiningu og ferhyrningur sýnir staðsetningu á svæði sem hefur verið efnagreint saman. Lengdarkvarði í vinstra horni niðri.

Svæði 5

Lýsing: Alls 12 greiningar á ljósum fasa, eitt korn brotið upp eða samhangandi korn af svipaðri samsetningu, allt siliköt, sjá Mynd 77. Greiningar 807 til 812 og 817 og 818 eru gerðar á silikötum, Si og Al rík. Greiningar 813 og 815 og 816 Fe, Al, Mg silikötum. Greining 814 er léleg. Ekkert af þyngri efnum en Fe.



Mynd 77. Rafeindasmásjármynd af ryksýni úr stöð 6027 teknu 13.06.18, svæði 5. Á myndinni má sjá staðsetningu á efnagreiningum 807 til 818. Kross sýnir staðsetningu á punktgreiningu og ferhyrningur sýnir staðsetningu á svæði sem hefur verið efnagreint saman. Lengdarkvarði í vinstra horni niðri.

Samsetning og uppruni svifryks í Hvalfjarðargöngum

Samsetning svifryks í Hvalfjarðargöngum er blanda af slitleifum úr slitlagi og dekkjum svo og útblæstri ökutækja. Vegna aðstæðna hafa utanaðkomandi þættir eins og sandfok og veðurfarslegir þættir, svo sem úrkoma og vindur, lítil áhrif á samsetninguna. Heildarefnagreiningar á svifryki frá fyrra ári verkefnisins sýna að um 5 til 14 % af þyngd svifryks er kolefni og um 0,06 til 0,21 % af þyngd svifryks er köfnunarefni, sjá Viðauka A. Uppruni þessara tveggja efna er annar en fylliefni í malbiki. Auk þess eru önnur efni til staðar í þessum greiningum sem hafa annan uppruna en fylliefni úr malbiki, sjá Mynd 7 til Mynd 10.

Í fyrri rannsókn voru sýni m.a. rannsökuð með rafeindasmásjá¹. Sami háttur var hafður á í þessari rannsókn en sömu sýnin voru einnig rannsökuð með rafeindasmásjá. Í þessari rannsókn var einblínt á smærri korn en 10 mikron, þótt stærri korn hafi einnig verið skoðuð. Í Tafla 4 er listi yfir sýnin sem voru rannsökuð. Alls voru um 900 efnagreiningar gerðar, auk þess sem sýnin voru mynduð í mismikilli stækkun. Við skoðun á svifryki í rafeindasmásjá kemur ljós að svifryk úr Hvalfjarðargöngum er samsett úr tvennskona fösum, annars vegar stakar steindir sem eru allt að 100 mikron að stærð og hins vegar samsettum kornum með tiltölulega mörg smá korn (< 10 mikron) bundin saman af kolefnisríkum grunnmassa, sbr. t.d. Mynd 15.



Eins og kemur fram í ástandsskoðunarskýrslu Mannvits um Hvalfjarðargöng frá 2018¹ voru um 25 % fylliefnisins í slitlagi ganganna „Durasplitt“ sem er innflutt slitsterkt ljóst fylliefni (kvarsdíorít). Sé það rétt er það áhugavert að langflest kornin sem voru rannsökuð hafa efnasamsetningu sem bendir til þess að kornin séu af erlendum toga. Mjög algengt er að finna kvarskorn, járnrík sikilöt sem og natríumrík siliköt. Korn úr dæmigerðum íslenskum fylliefnum, eins og t.d. korn með tiltölulega hátt magnesíum eru mjög sjaldgæf.

Töluvert er um samsett svifrykkorn, þar sem tiltölulega smá korn eru bundin saman í grunnmassa, sbr. Mynd 15. Kornin sem bundin eru saman í grunnmassanum eru langflest upprunnin úr fylliefni í malbiki. 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 í malbiki hlýtur að kvarnast niður jafnt á við fylliefni en þó í réttu hlutfalli við hluta biks í malbikinu. Bikhluti 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 sóti úr útblæstri og bremsuborðum ökutækja.

Þótt siliköt séu ríkjandi tegund í svifrykinu, þá er ekki óalgengt að finna járnrík korn með litlum eða engum kísli. Fe, Ti oxíð er nokkuð algengt. Slík korn eru væntanlega upprunnin úr fylliefni í malbiki. Tiltölulega hreint járn finnst í svifrykssýnunum og eru greiningar 159 til 161 dæmi um slíkt, þar sem járníð er um 93 til 97 % af um 94 til 98 % heild, sjá Mynd 31. Mun algengara er að finna járnnoxíð. Járnnoxíðin geta fundist sem oxun á hreinu járn, samvaxin silikötum eða sem stök korn. Uppruni þessara korna getur verið margvíslegur.

Greiningar 181 til 188 eru gerðar á járnnoxíði með um 2 og allt að 6 % baríum, nokkur minna af kísli og brennisteini og ennþá minna af kopar, sinki og sirkon, sjá Mynd 33. Uppruni þessa korns er óljós, en um einhverskonar iðnaðarvöru er að ræða.

Greiningar 389 til 393, eru gerðar á Fe ríku korni með Fe rétt tæp 50 % og O um 20 %, síðan liggur magn af Al, Si S Cr, Zn, Zr og Sb milli 1 og 2 %, hvert um sig. Magn Cu og Ba er 4 til 6 % með meira af Cu. Einnig er nokkuð af Cl, Ca, Mn í minna magni, sjá Mynd 47. Mögulega er þetta korn dæmi um svifryk sem kemur úr bremsuborða farartækis.

Á Mynd 70 má sjá korn sem er væntanlega aluminium oxíð (Al_2O_3) og á Mynd 71 má sjá aluminium rík korn, nokkur sem eru N rík og önnur sem eru væntanlega Ni, Cu, Fe, Al melmi. Uppruni þessara fasa er óljós og er væntanlega tengdur einhverskonar iðnaðarvörum.

Sjá mátti nokkur hringlaga korn, Mynd 24 og Mynd 30 eru góð dæmi. Slík korn sáust í fleiri sýnum. Mögulega er hér um að ræða korn sem hafa farið í gegnum bílvél, bráðnað og tekið á sig nýja lögun, a.m.k. er lögun kornanna óvenjuleg og bendir til þess að þau hafi bráðnað.

Þótt um 900 efnagreiningar hafi verið gerðar á einstökum kornum eða hlutum þeirra, var ekki reynt að flokka greiningarnar niður með tilliti til uppruna og að reikna prósentuhluta eftir uppruna. Ástæðan er sú að valið á þessum 900 greiningum var ekki gert á kerfisbundinn hátt. Niðurstöður efnagreiningar á stökum kornum benda til þess að langflest þessara korna séu úr fylliefni í malbiki sem umferðin í göngunum hefur sorfið niður. Þótt mælingar sýni að svifryksmengun sé töluvert minni yfir sumartímann þá er ekki að sjá að hluti fylliefnskorna úr malbiki sé neitt minni í svifryki yfir sumartímann.



Umræða og samantekt

Miðað við þær 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 uppruna ryksins að mestu til fylliefna í malbiki. Eðlilegt er að álíta að bikið eða bindiefni malbiksins 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. Ryk sem myndast vegna útblásturs frá ökutækjum sem fara um göngin, sem og vegna slits bremsuborða og dekkjaslits, eru einnig þáttur í rykmynduninni í göngunum, samanber snefilefnagreiningar úr fyrri rannsókn. Ekki er hægt að segja nákvæmlega til um hluta hvers þáttar. Rúmpýngd ryksins mælist tiltölulega lág eða um 1 g/cm^3 sem bendir til þess að verulegur hluti ryksins samanstandi af léttu efni.

Ljóst er að utan að komin 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 malbiki.

Af rafeindasmásjármyndum að dæma er ekki að sjá að mikill munur sé á kornastærð í milli sýnis sem tekið var að vetri til, þ.e. þegar nagladekk voru í notkun (sjá Mynd 17) og að sumri til, þ.e. þegar notkun nagladekkja var bönnuð (sjá Mynd 13). Einnig virðist sem hlutföll snefilefna í efnagreiningum séu ekki tímaháð, samanber Mynd 11, sem sýnir hvernig styrkur sinks breytist yfir sýnatökutímabilið. Styrkur sinks í rykinu er nokkuð dreifður í byrjun og í lok tímabilsins en ekki er hægt að segja að hann sé tímaháður. Svipaða dreifingu má sjá fyrir önnur efni, þ.e. töluverð dreifing er í styrk í upphafi og lok tímabils, en tiltölulega lágur styrkur þar á milli.

Ef magn svifryks í göngunum er skoðað yfir heilt ár (2016 og 2017), sjá Mynd 4 og Mynd 5, kemur í ljós að verulegur munur er á svifryksmyndun yfir vetrartímamann annars vegar og sumartímamann hins vegar, þ.e. tímabilin með og án nagladekkja. Meðalsvifryksmagn fyrir allt árið 2017 er um $116 \mu\text{g/m}^3$, fyrir tímabilið frá áramótum til 1. maí (nagladekkjatímabil) er styrkurinn um $186 \mu\text{g/m}^3$ og fyrir tímabilið frá 1. nóv. til áramóta er styrkurinn um $128 \mu\text{g/m}^3$ (nagladekkjatímabil) og yfir sumarmánuðina frá 1. júní til 1. október er meðaltalið um $43 \mu\text{g/m}^3$ (tímabil án nagladekkja). Sambærilegar niðurstöður fengust fyrir árið 2016. Af þessum niðurstöðum er ljóst að notkun nagladekkja hefur veruleg áhrif á svifryksmyndun í göngunum.

Niðurstöður mælingar á sethraða eða fallhraða í göngunum eru á þá leið að setmyndunin í göngunum er u.þ.b. 5 sinnum meiri að vetrarlagi en að sumarlagi.

Tvær greiningar á uppruna svifryks hafa verið gerðar hér á landi. Um er að ræða annars vegar greiningu frá 2003 sem framkvæmd var hjá Iðntæknistofnun, sjá Bryndísi Skúladóttir ofl. og hins vegar greiningu frá 2013 sem var framkvæmd hjá EFLU, sjá Pál Höskuldsson. Þessar greiningar byggja á svifryki sem safnað var úr opnu rými í mælistöðvum í Reykjavík. Niðurstöður greininganna voru nokkuð frábrugðnar innbyrðis hvað uppruna ryksins varðar, auk þess sem mismikið greindist af ryki sem ekki stafar frá umferðartengdum þáttum, eins og jarðvegi og eldfjallaösku. Athygli vekur að í hvorugri ofangreindra rannsókna greindust áhrif frá dekkjasliti.

Varðandi hluta dekkjaslits í rykinu má setja upp eftirfarandi dæmi:

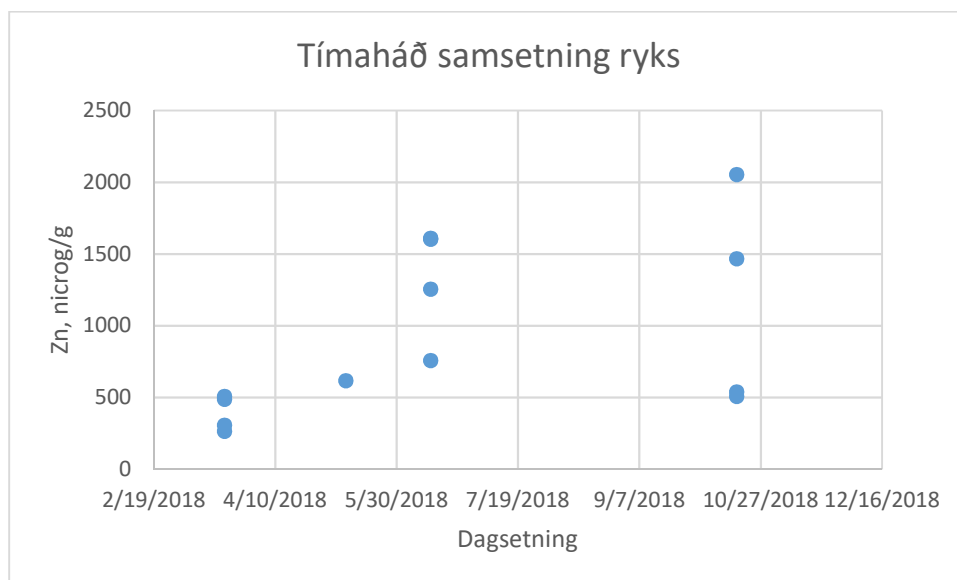
- Um 5.600 „bílar (4 dekk)“ fara um göngin á sólarhring



- Um 32.500 km eru eknir á sólarhring ($5.600 * 5,8 = 32.500$ km)
- Um eitt sett af dekkjum (4 dekk) eyðist upp á sólarhring í göngunum, sem samsvarar um 12 lítrum af dekkjagúmmísliti eða um 13.800 g
- Rúmmál Hvalfjarðarganga er 350.000 m³
- Dekkjaslit ætti að gefa um 39.500 µg/m³ af svifryki á sólarhring ($13.800 * 10^{-6} / 350.000 = 39.500$) eða um 1.650 µg/m³ af svifryki á klst. að meðaltali ef umferðin er jafndreifð yfir sérhvern sólarhring.

Ljóst er af ofansögðu, að hluti dekkjaslits í uppruna svifryks ætti að vera verulegur. Eins og sést á mynd **Mynd 9** þá eru góðar líkur á því að verulegur hluti ryksins eigi uppruna sinn að rekja til dekkjaslits.

Það er athyglisvert að enda þótt magn svifryks minnki verulega yfir sumarmánuðina þá er ekki að sjá að samsetning ryksins breytist að neinu ráði samfara því. Samfara minnkun svifryks í göngunum, þá eykst umferðarpunginn verulega. Fyrirfram mætti því búast við að samfara þessum breytingum ykist hluti ryks sem myndast vegna útblásturs frá ökutækjum sem fara um göngin, einnig ykist ryk sem myndast vegna slits á bremsborðum og vegna dekkjaslits. Svo virðist þó ekki vera. Ekki er fullljóst hvers vegna. Eina raunhæfa skýringin er að tímaháða greiningin samanber Mynd 11 sé mistúlkuð, að því leyttinu til að sýnin frá 17.10.17 séu menguð af sumarumferðinni frá sumrinu áður. Sé það rétt þá má segja að niðurstöður snefilefnagreininganna séu þokkalega tímaháðar, sjá Mynd 78. Dreifingin í styrk sinks í októbersýnunum skýrist af blöndun milli sumars- og vetrarsýna. Niðurstaðan verður á þá leið að yfir vetrartímabilið er hlutfallslega mikið af malbiki í rykinu og hlutfallslega lítið af ökutækjatengdu ryki. Síðan snýst dæmið við með aukinni umferð og minnkandi notkun nagladekkja, sem hættir tímabundið yfir sumartímabilið.



Mynd 78. Myndin sýnir hvernig styrkur sinks breytist í ryki yfir rannsóknartímabilið, en rannsóknin stóð frá október 2017 til júní 2018. Október 2017 mælingin er sett sem október 2018.

Miðað við niðurstöður úr þessari greiningu er ljóst að notkun nagladekkja veldur verulegri rykmengun í Hvalfjarðargöngum. Ekki er ástæða til að ætla að rykmengun frá notkun nagladekkja sé öðruvísi samsett á vegum utan ganganna, t.d. á höfuðborgarsvæðinu. Með því að draga úr notkun nagladekkja



væri hægt að draga verulega úr ökutækjatengdri rykmengun. Ekki er í þessu samhengi lagt mat á öryggi þess að aka um á nagladekkjum.

Ryksýni sem unnið var með í þessari rannsókn virðast vera frekar grófkorna, eða öllu heldur hafa mikla kornastærðadreifingu. Stærstu kornin eru allt að 200 til 300 μm á lengd, samanber rafeindasmásjármyndir Mynd 13 og Mynd 17. Síðan eru minnstu kornin mjög smá, eins og eðlilegt er fyrir svifryk, sjá mynd Mynd 15.

Væntanlega eru eiginleikar ryks sem myndast á bersvæði svipaðir og ryks sem myndast í göngum. Áhrif veðurfars eru margvísleg, úrkoma leysir upp auðleysanleg efni í rykinu, auk þess sem afrennsli af vegum skolar efni niður í þar til gerðar lagnir, vindur aðgreinir efnið o.s.frv. Umferðarhraðinn í göngunum er nokkuð jafn, en hann er mismunandi á vegum undir berum himni. Niðurstöður mælinga á vegsliti í göngunum og aðlægum vegum utan ganganna sýna að vegslit er meira utan ganganna. Þetta bendir til þess að rykmyndun sé síst minni utan ganganna, sem kemur heim og saman við þá staðreynd að þurrt malbik slitnar minna en blautt.

Heimildalisti

Bryndís Skúladóttir, Thorlacius, A., Larssen, S., Bjarnason, G.G., Þórðarson, H., (2003) Method for determining the composition of airborne particle pollution. Nordtest Report TR 544, 53 bls.

Mats Gustafsson, Abbasi, S., Blomqvist, G., Cha, Y., Gudmundsson, A., Janháll, 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.

Páll Höskuldsson (2013) Samsetning svifryks í Reykjavík, Vegagerðin, 13 bls.



Viðauki A

Styrkur snefilefna í ryksýnum úr Hvalfjarðargöngum var efnagreindur hjá Nýsköpunarmiðstöð Íslands með ICP (plasma) mælitæki og s.k. Dumas tæki (kolefni og köfnunarefni)¹.

Stöð	Dagsetning	Sýni	N %	C %	Ba µg/g	Cd µg/g	Cu µg/g	Cr µg/g	Ni µg/g	Pb µg/g	Sb µg/g	Zn µg/g	S µg/g
4146	171017	Sýni 1	0,091	5,67	78,83	0,08	153,66	28,33	25,9	5,9	0,801	506,6	2352
2560	171017	Sýni 2	0,108	6,16	76,5	0,08	108,26	28,51	26	6,75	0,769	539	2400
5100	171017	Sýni 3	0,208	14,3	149,53	0,14	282,98	47,9	34,97	10,7	2,684	2054,3	4415
2560	171017	Sýni 4	0,159	9,27	199,35	0,14	6649,08	44,89	389,89	44,61	2,031	1466,8	2809
4603	200318	Sýni 5	0,082	6,48	72,3	0,07	105,97	29,89	23,93	5,68	1,012	508,5	2602
5100	200318	Sýni 6	0,06	5,55	47,99	0,08	89,91	20,16	23,22	3,37	0,309	264,4	2320
2560	200318	Sýni 7	0,071	4,98	51,26	0,07	69,13	18,02	21,99	4,46	0,613	306,4	2045
5100	200318	Sýni 8	0,086	6,59	61,78	0,07	94,02	20,5	23,09	5,89	0,983	486,7	2320
2560	90518	Sýni 13	0,093	6,63	56,34	0,06	89,09	22,47	24,44	5,07	0,641	616,8	2460
6027	90518	Sýni 14	0,079	6,31									
5100	130618	Sýni 9	0,119	10,1	100,25	0,09	183,08	41,54	36,47	7,73	1,388	1254,6	2962
2560	130618	Sýni 11	0,119	8,06									
6027	130618	Sýni 12	0,122	11,1	97,38	0,09	179,05	42,74	33,5	8,29	1,641	1602,1	3331
6027	130618	Sýni 12 endurtekið			94,94	0,12	177,97	42,66	32,46	7,86	1,457	1608,9	3539
4603	130618	Sýni 10	0,104	8,8	75,61	0,1	128,7	25,14	25,36	6,07	1,005	756,6	2675
Greiningar mörk					0,01	0,01	0,01	0,02	0,04	0,02	0,003	0,1	6