



Skjalaheiti:	Skýrslu númer: MV-2019 002	Útgáfudagur: 28.02.2019	Útgáfunúmer: 1
--------------	-------------------------------	----------------------------	-------------------

Heiti skýrslu / Aðal- og undirtitill: Steypa í Sjávarfallaumhverfi. Annar áfangi.	Upplag: pdf
	Fjöldi síðna: 61

Höfundur/ar: Gísli Guðmundsson	Verkefnisstjóri (undirskrift): <i>Gísli Guðmundsson</i>
	Yfirfarið (undirskrift): <i>Gísli Guðmundsson</i>

Verkkaupi: Vegagerðin	Tengiliður verkkaupa: Helgi S Ólafsson
Samstarfsaðilar: Helgi S. Ólafsson, Aron Bjarnason	

Útdráttur: Skemmdir í stöplum Óseyrarbrú eru sambærilegar við skemmdir í stöplum Borgarfjarðarbrú. Um er að ræða steypuskemmdir þar sem ársprungur og útfellingar í þeim valda flögnun í yfirborði steypunnar. Aðal áhrifavaldar eru kalsíum og magnesíum útfellingar. Magnesíum kemur úr sjónum og kalsíum verður til við útskolun þessu úr sementefjunni. Efnisorð: Steypa í sjávarföllum, yfirborðsflögnun, súlfat skemmdir.

Dreifing:

- Opín öllum starfsmönnum (Rafræn í bóksafni) Lokuð (Engin dreifing nema með leyfi verkkaupa)

Breytingasaga:

1	28.02.2019		GG	<i>66</i>
Útgáfunúmer	Dagsetning	Breyting	Höfundur	Yfirfarið

Efnisyfirlit

1. Inngangur	1
2. Fyrri rannsóknir	5
2.1 Borgarfjarðarbrú.....	6
2.2 Óseyrarbrú.....	8
3. Vettvangsskoðun	9
3.1 Óseyrarbrú.....	9
3.2 Kolgrafafjörður	9
4. Prófanir á rannsóknarstofu	10
4.1 Smásjargreining (frá fyrri skýrslu).....	10
4.1.1.1 Óseyrarbrú	10
4.1.1.2 Kolgrafafjarðarbrú.....	11
4.2 Rafeindasmásjargreining	12
4.2.1.1 Óseyrarbrú	12
4.2.1.2 Kolgrafarfjarðarbrú	37
5. Helstu niðurstöður	45
6. Samantekt	48

Töfluskrá

Tafla 1. Sýnaskrá	9
Tafla 2. Samsetning útfellinga í örprungum við yfirborð.....	16
Tafla 3. Samsetning á útfellingum í holrými.	18
Tafla 4. Samsetning á thaumasite í Óseyrarbrú og í norskri sprautusteypu.....	19
Tafla 5. Samsetning á sementsefju af dýptarbilinu frá 0 til 2 mm dýpi.	19
Tafla 6. Samsetning á sementsefju og líparíti	22
Tafla 7. Samsetning á sementsefju af um 21 til 25 mm dýpi.....	24
Tafla 8. Útfellingar í sprungum og holrými	28
Tafla 9. Samsetning nárlaraga útfellingar.....	29
Tafla 10. Samsetning ljósra útfellingar í örprungum og loftbólum.	30
Tafla 11. Samsenting útfellinga í holrými.....	33
Tafla 12. Samsenting útfellinga í holrými.....	35
Tafla 13. Samsetning á útfellingum í sprungum og holrými.	36
Tafla 14. Samsetning á sementsefju í sýni nr 14, frá yfirborði niður á um 7 mm dýpi	36
Tafla 15. Samsetning á sementsefju við yfirborð.....	37
Tafla 16. Samsetning á sementsefju við yfirborð við um 20 mm dýpi.....	38
Tafla 17. Samsetning á sementsefju við yfirborð við um 28 mm dýpi.....	38

Tafla 18. Svæði samsetning á útfelling á yfirborði og sementefju við yfirborð.	40
Tafla 19. Svæði samsetning á útfelling í holrými.	41
Tafla 20. Samsetning á útfelling í holrými sem og aðliggjandi sementsefju á um 0,7 mm dýpi.	43
Tafla 21. Samsetning á útfelling í holrými á um 1,5 mm dýpi.	45
Tafla 22. Samsetning á sementsefju á um 10 mm dýpi.	45
Tafla 23. Meðaltals samsetning útfellinga í örprungum í steypu úr efri og neðri hluta sjávarfallabeltis.	47

Myndaskrá

Mynd 1. Borgarfjarðarbrú, neðstu fjörumörk.	1
Mynd 2. Óseyrarbrú, stöpull 5. Flögnun í steypunni við meðal fjörumörk.	2
Mynd 3. Óseyrarbrú, stöpull 5. Flögnun í steypunni fyrir neðan meðal fjörumörk.	2
Mynd 4. Óseyrarbrú, stöpull 4, yfirborð sökkuls. Neðri fjörumörk.	3
Mynd 5. Kolgrafafjarðarbrú. Brúin var steipt 2004.	4
Mynd 6. Kolgrafafjarðarbrú. Engar skemmdir voru sjáanlega í yfirborði steypunnar.	4
Mynd 7. Skematísk framsetning á framgangi skemmda í stöpulsteypum í neðri fjörumörkum í Borgarfjarðarbrú.	7
Mynd 8. MgO vs. CaO magn í sementsefju í Borgarfjarðarbrú.	8
Mynd 9. The SO ₃ /CaO hlutfall á móti Al ₂ O ₃ /CaO hlutfalli í sementsefju og ettringiti í Borgarfjarðarbrú.	8
Mynd 10. Óseyrarbrú, sýnið er úr efri fjörumörkum.	12
Mynd 11. Rafeindasmásjármynd af yfirborði steypu úr Óseyrarbrú.	13
Mynd 12. Rafeindasmásjármynd af yfirborði steypu úr Óseyrarbrú.	14
Mynd 13. Rafeindasmásjármynd af yfirborði steypu úr Óseyrarbrú.	15
Mynd 14. Rafeindasmásjármynd af yfirborði steypu úr Óseyrarbrú.	17
Mynd 15. Rafeindasmásjármynd steypu úr Óseyrarbrú af um 7 til 11 mm dýpi.	20
Mynd 16. Rafeindasmásjármynd steypu úr Óseyrarbrú af um 10 til 14 mm dýpi.	21
Mynd 17. Rafeindasmásjármynd steypu úr Óseyrarbrú af um 16 til 20 mm dýpi.	22
Mynd 18. Rafeindasmásjármynd steypu úr Óseyrarbrú af um 21 til 25 mm dýpi.	23
Mynd 19. Óseyrarbrú, sýnið er úr neðri fjörumörkum.	24
Mynd 20. Rafeindasmásjármynd af yfirborði steypu úr Óseyrarbrú frá yfirborði niður á um 5 mm dýpi.	25
Mynd 21. Rafeindasmásjármynd af yfirborði steypu úr Óseyrarbrú frá yfirborði niður á um 5 mm dýpi.	26
Mynd 22. Rafeindasmásjármynd af yfirborði steypu úr Óseyrarbrú.	29
Mynd 23. Rafeindasmásjármynd af yfirborði steypu úr Óseyrarbrú.	30
Mynd 24. Rafeindasmásjármynd af yfirborði steypu úr Óseyrarbrú.	31
Mynd 25. Rafeindasmásjármynd af yfirborði steypu úr Óseyrarbrú.	32
Mynd 26. Rafeindasmásjármynd af yfirborði steypu úr Óseyrarbrú.	34
Mynd 27. Rafeindasmásjármynd af steypu úr Óseyrarbrú af um 1,7 mm dýpi.	35
Mynd 28. Rafeindasmásjármyndir af yfirborði steypu úr Kolgrafarfirði.	37
Mynd 29. Rafeindasmásjármyndir af yfirborði steypu úr Kolgrafarfirði.	39

Mynd 30. Rafeindasmásjármyndir af yfirborði steypu úr Kolgrafarfirði.....	40
Mynd 31. Rafeindasmásjármyndir af yfirborði steypu úr Kolgrafarfirði.....	41
Mynd 32. Rafeindasmásjármyndir af yfirborði steypu úr Kolgrafarfirði.....	42
Mynd 33. Rafeindasmásjármyndir af yfirborði steypu úr Kolgrafarfirði.....	44
Mynd 34. Samband á milli kalsíum og magnesíum í sementsefju úr efri hluta sjávarfallabeltis í Óseyrarbrú.. ..	46
Mynd 35. Samband á milli kalsíum og magnesíum í sementsefju úr neðri hluta sjávarfallabeltis í Óseyrarbrú.. ..	47
Mynd 36. Samsett mynd af yfirborð steypu í efra fjöruborði stöpsuls 5 í Óseyrarbrú.	49
Mynd 37. Samsett mynd af yfirborð steypu í efra fjöruborði stöpsuls 5 í Óseyrarbrú.	50
Mynd 38. Samsett mynd af yfirborð steypu í efra fjöruborði stöpsuls 5 í Óseyrarbrú.	51
Mynd 39. Samsett mynd af yfirborð steypu í neðra fjöruborði stöpsuls 5 í Óseyrarbrú.. ..	52
Mynd 40. Samsett mynd af yfirborð steypu í neðra fjöruborði stöpsuls 5 í Óseyrarbrú.. ..	53
Mynd 41. Yfirborð steypu í neðra fjöruborði stöpsuls 5 í Óseyrarbrú.. ..	54
Mynd 42. Yfirborð steypu í neðri fjöruborði stöpsuls 5 í Óseyrarbrú.	54
Mynd 43. Við yfirborð steypu í neðri fjöruborði stöpsuls 5 í Óseyrarbrú.	55
Mynd 44. Samsett mynd af yfirborð steypu úr efri fjöruborði millistöpsuls I í Dýrafjarðarbrú.	56
Mynd 46. Flúrljómun sementsefju úr efra fjöruborði millistöpsuls I í Dýrafjarðarbrú.....	57
Mynd 47. Útfellingar í holrými í loftbólum úr efra fjöruborði millistöpsuls I í Dýrafjarðarbrú.	58
Mynd 48. Samsett mynd af yfirborð steypu úr efri fjöruborði stöpsuls í Kolgrafarfirði.	59
Mynd 49. Lofbólur og annað holrými í steypu úr efri fjöruborði stöpsuls í Kolgrafarfirði.....	59
Mynd 50. Flúrljómun sementsefju úr efra fjöruborði stöpsuls í Kolgrafarfjarðarbrú.....	60
Mynd 51. Samsett mynd af yfirborð steypu úr neðra fjöruborði stöpsuls í Kolgrafarfirði.	60
Mynd 52. Útfellingar í yfirborðssprungu í steypu úr neðri fjöruborði í Kolgrafarfjarðarbrú.. ..	61

1. Inngangur

Tildrög þessa verkefnis eru steypuskemmdir sem komu fram í stöplum í Borgarfjarðarbrú og í Óseyrarbrú. Yfirborðsflögnun á sér stað í stöplunum í sjávarfallabelti. Flögnunin er mest í þeim hlutum stöplanna sem eru við lægstu fjörumörk. Flögnunin minnkar þegar ofar dregur og hún er engin í efstu fjörumörkum. Engin flögnun á sér stað í steypunni fyrir neðan neðstu fjörumörk. Sýni úr yfirborði nokkura stöpla vour rannsökuð árin 1994 og 1995 á Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins af undirrituðum. Steypan sem verður fyrir skemmdum er sprungin við yfirborðið, sprungurnar liggja um sementsefjuna samsíða yfirborðinu og valda því að sementsefjan flagnar smám saman af. Í sprungunum má greina útfellingar sem eru væntalega orsök flögnunarinnar. Sökum þess að sprungurnar liggja ekki í gegnum fylliefnin, þá sitja þau eftir í steypunni og standa úr út sementsefjunnunns efjan sem heldur þeim föstum flagnar af, sjá Mynd 1. Þar sem flögnunin var mest í Borgarfjarðarbrú lágu bendijárn í yfirborð steypunnar, þannig að allt að um 30 til 50 mm höfðu flagnað af yfirborði steypunnar.



Mynd 1. Borgarfjarðarbrú, neðstu fjörumörk. Steypuhulan hefur flagnað af og óvarið bendijárn komið í yfirborð. Yfirborðsflögnun er allt að um 50 mm, en steypuhulan var um 50 mm. Myndin er tekin árið 2000.

Óseyrarbrú var skoðuð þann 21.09.2017 af Vegagerðinni og Mannviti hf. Steypan er nokkuð skemmd fyrir neðan meðal stórt flóð eða í neðri fjörumörkum. Skemmdirnar eru að öllu sambærilegar skemmdum í Borgarfjarðarbrú, n.l. sementsefjan flagnar og fylliefni standa út úr steypunni, sjá Mynd 2 og Mynd 3. Þar sem flögnunin er mest er hún allt að um 30 mm. Svo virðist að stöplarnir skemmast meira austanmeginn, en minna vestanmeginn og mest á norðurendum (ekki vitað um ástand á suðurendum). Yfirborð sökkla er einnig skemmt, en erfitt reyndist að meta hve mikið var flagnað af yfirborði þeirra, sjá Mynd 4.



Mynd 2. Óseyrarbrú, stöpull 5. Flögnun í steypunni við meðal fjörumörk. Rauða örin bendir á kónagat.



Mynd 3. Óseyrarbrú, stöpull 5. Flögnun í steypunni fyrir neðan meðal fjörumörk. Rauða örin bendir á sama kónagat og örin bendir á, á myndinni hér fyrir ofan. Flögnun úr yfirborði er áætluð allt að um 30 mm. Neðstu fjörumörk eru ekki alveg komin í ljós.



Mynd 4. Óseyrarbrú, stöpull 4, yfirborð sökkuls. Neðri fjörumörk.

Sýni voru tekin af Vegagerðinni úr Óseyrarbrú árið 1994. Sýnin voru rannsökuð á Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins af undirrituðum¹. Ekki var að sjá neinar breytingar í innri gerð sementsefjunnar sem orsökuðu flögnunina, en flögnunin var mun minni í Óseyrarbrú, en í Borgarfjarðarbrú.

Brúin yfir Kolgrafafjörð var steyppt 2004. Brúin er um 230 m löng bitabru með járnbentu steypu gólfi, spennt steypa í burðarvirki og járnbent steypa í stöplum, sjá Mynd 5.

Um er að ræða C-35 steypu, eða steypu með um 35 MPa þrýstistyrk og að lágmarki 400 kg/m³ af sementi. Vatns/sements-hlutfallið var minna eða jafnt og 0,4. Loftmagnið átti að vera um 6 %, með yfirborð loftbóla stærra en 25 mm¹ og fjarlægðastuðul minni en 0,2 mm. Sementstegundin var Portlandsement með 7,5 % kísilyki.

¹ Gísli Guðmundsson, 1994. Yfirborðsflögnun í brúarstöplum sem standa í sjó. Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins 94-23, 32 bls.



Mynd 5. Kolgrafafjarðarbrú. Brúin var steypd 2004.



Mynd 6. Kolgrafafjarðarbrú. Engar skemmdir voru sjáanlega í yfirborði steypunnar, t.v. Kjarni boraður úr efri fjörumörkum t.h.

Þessi rannsókn sem hér er gerð grein fyrir er framhald af rannsókn frá síðasta ári þar sem sýni úr Óseyrarbrú, Dýrafjarðarbrú og Kolgrafafjarðarbrú voru rannsökuð í ljóssmásjá, auk þess sem klóríðprófilar voru gerðir. Í þessari rannsókn voru sýni úr Óseyrarbrú og Kolgrafafjarðarbrú rannsökuð með rafeindasmásjá. Með því að skoða sýni í rafeindasmásjá (SEM) er hægt að skoða sýnin í tiltölulega mikilli stækkun, mun meiri en hægt er með ljóssmásjá. Aðalkosturinn við SEM er hins vegar sá að mögulegt er að framkvæma efnagreiningar á tiltölulega litlum fösom/svæðum.

Tilgangur með verkefninu er eftirfarandi:

- Rannsókn á sýnum úr Óseyrarbrú mun leiða í ljós hvernig skemmdir og efnabreytingar hafa þróast á rúmum 20 árum í steypu með áður nefndri gerð sements og getur þannig hugsanleg nýst sem leiðbeining um val á sementsgerðum.

- Rannsókn á sýnum úr brú á Kolgrafafjörð mun leiða í ljós hvað efnaferli eigi sér stað í steypunni og hvort það sé líklegt til að valda yfirborðsflögnun. Þessi hluti er prófsteinn á hvort ástæða sé til að endurskoða það að fyrirskrifa áfram þær sements/steypugerðir sem notaðar hafa verið á undanförunum árum í sjávarfallaumhverfi.

Markmiðið er að það liggi fyrir skýr gögn um hvort sú steypugerð, sem Vegagerðin hefur notað undanfarin ár henti í sjávarfallaumhverfi eða hvort þróa þurfi nýjar blöndur.

Verkefnið var styrkt af Rannsóknarsjóði Vegagerðarinnar (2017 – 2019).

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

2. Fyrri rannsóknir

Steinsteypa er okkar helsta byggingarefni og lítil breyting virðist sjáanleg á næstu áratugum, a.m.k. þegar kemur að mikilvægum mannvirkjum. Steinsteypa er tiltölulega ódýr, miðað við önnur byggingarefni og höfum við fest mikil verðmæti í steinsteypu. Því er mikilvægt að sú fjárfesting borgi sig. Því miður höfum við, eins og aðrar þjóðir, orðið fyrir barðinu á steypuskemmdum, en steinsteypa þarf ekki að skemmast². Einn af aðalkostum steinsteypu er eiginleiki til að hrinda frá sér vatni. Þegar steypa tapar þessum mikilvæga eiginleika verður hún óvarin gegn ágangi umhverfisins³. Mehta skiptir steypuskemmdum í eftirfarandi fjóra flokka eftir mikilvægi: 1) tæring á bendijárni, 2) frost/þíðu-skemmdir, 3) alkalívirgni, og 4) súlfatvirgni. Í öllum þessum ferlum er vatn aðal orsakavaldurinn. Lykillinn að því að hanna og búa til endingargóða steinsteypu hlýtur því að vera þétt og óvatnsdræg steinsteypa.

Í steinsteypu veldur klóríð tæringu á bendijárni, af þeim sökum er mikilvægt að vita hve langan tíma það tekur fyrir það að ná inn að járnabindingunni. Um leið og tæring hefst minnkar styrkur steypunnar og burðargeta mannvirkisins skerðist. Hættuástand skapast fljótlega ef ekkert verður að gert. Klóríð leikur um steinsteypu sem vökví (sem hluti af steypuvatninu) eftir holrýmiskerfi steypunnar eins og aðrar jónir, jafnframt hvarfast hluti klóríðjónanna við sementsefjuna og myndar s.k. Friedelsalt ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaCl}_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$). Þannig er klóríð í steinsteypu bæði í vökva og föstu formi. En það sem veldur tæringu á bendijárni er uppleysta klóríð. Þegar meta á hættu á tæringu í bendijárni þarf því að efnagreina steypuvatnið.

En það eru fleiri skaðleg efni í sjó en klór og eitt þeirra er magnesíum. Bonen hefur rannsakað áhrif Mg-súlfats á steypu með því að láta sýni liggja í Mg-súlfatlausn í eitt ár^{4,5,6}. Í þessum tilraunum var Mg-súlfatstyrkurinn töluvert hærri en styrkur þess í sjó. Helstu niðurstöður voru þær að á yfirborði sýnanna mynduðust tvö þunn lög. Efst myndaðist brúsítlag ($\text{Mg}(\text{OH})_2$), og fyrir neðan það myndaðist lag úr gipsi ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Fyrir neðan yfirborðslögin tók við svæði sem einkenndist af Ca-útskolun úr sementefjunni, en útskolunin minnkar með auknu dýpi frá yfirborði. Styrkur Mg getur að sama skapi orðið nokkuð hár á þessu svæði, en hann minnkar eftir því sem neðar dregur frá yfirborði.

² Mather, B., 1979. Concrete Need Not Deteriorate. Concrete International: Design and Construction.

³ Metha, P.K., 1997. Durability – critical issues for the future. Concrete International, 19, 27-33.

⁴ Bonen, D., 1992. Composition and appearance of magnesium silicate hydrate and its relation to deterioration of cement-based materials, J. Am. Ceram. Soc. 75, 2904–2906.

⁵ Bonen, D., 1993. A microstructural study of the effect produced by magnesium sulfate on plain and silica fume-bearing Portland cement mortars. Cement and Concrete Research, 23, 541-553.

⁶ Bonen, D., Cohen, M.D., I og II 1992. Magnesium sulfate attack on portland cement paste-I. Microstructural analysis. Cement and Concrete Research, 22,169-180.

Bonen, D., Cohen, M.D., 1992. Magnesium sulfate attack on portland cement paste — II. Chemical and mineralogical analyses. Cement and Concrete Research, Volume 22, 707-718.

Gipsútfellingar í sprungum eða lögum samsíða yfirborðinu, í loftbólum og á snertisvæði milli fylliefna og sementefju eru mjög algeng í þessu lagi. Einnig einkennist þetta svæði af fáum gjallsteindum, þ.e. þær hafa leyst upp. Fyrir neðan þetta lag eða svæði er síðan ósnortin steypa.

2.1 Borgarfjarðarbrú

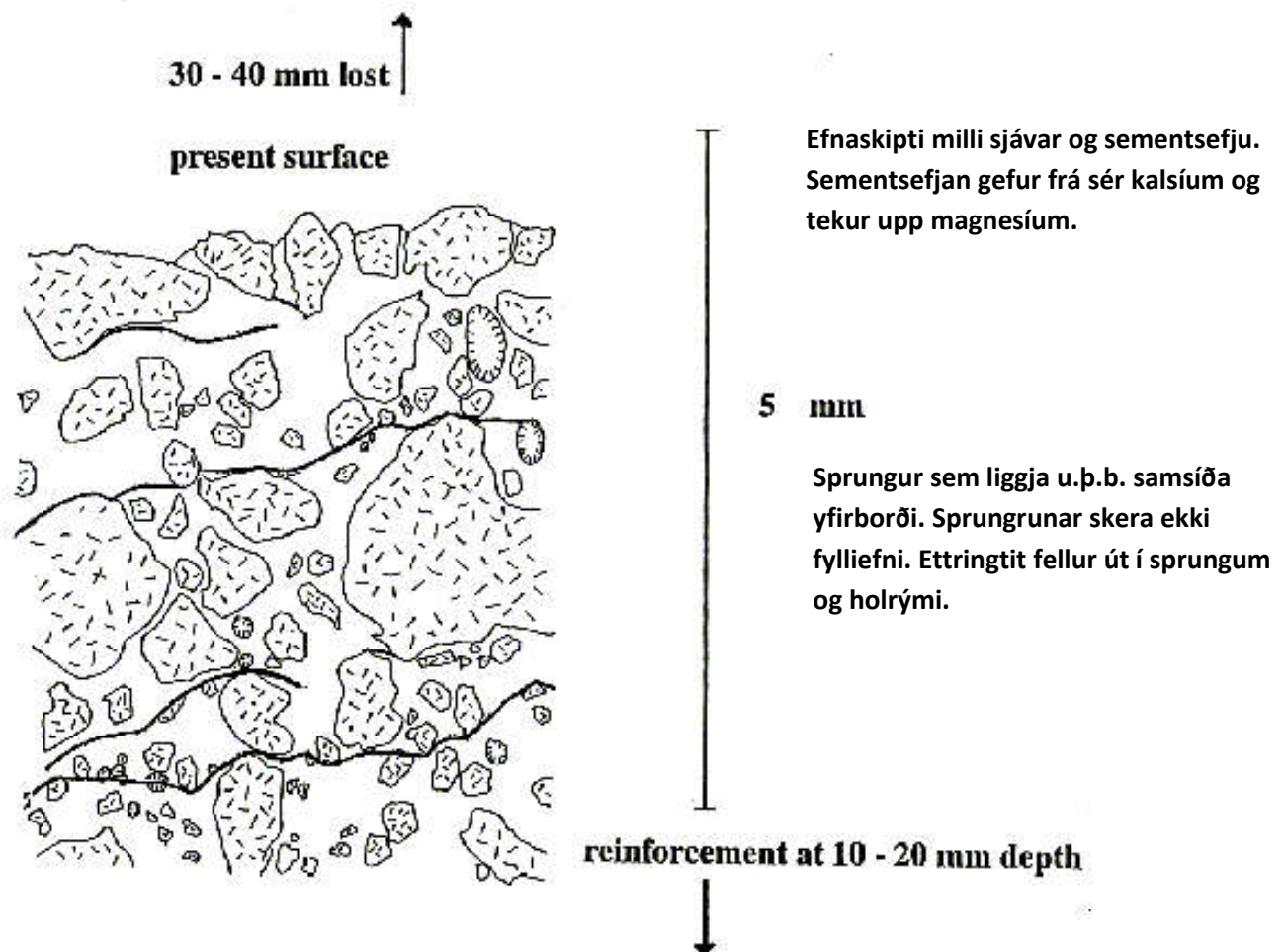
Steypuskemmdir eins og lýst var hér að ofan eru þekktar hér á landi. Til dæmis hefur rannsókn á steypuskemmdum í stöplum í Borgarfjarðarbrúnni leitt í ljós að ettringit ($\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$) útfellingar eru í sprungum og loftbólum, jafnframt hefur mikil flögnun átt sér stað^{7,8}.

Steypuskemmdir í Borgarfjarðarbrú, þ.e.a.s. flögnun í og við neðri fjörumörk stöplanna var rannsökuð af höfundum þessarar skýrslu á sýnum úr stöplum 6 og 9 á árunum 1994 til 1995. Samantekt á þeirri vinnu er að finna í riti frá 1997⁹. Framgangur skemmdanna er sýndur á skematískan hátt á Mynd 7.

⁷ Guðmundsson, G., 1997. Deterioration of concrete bridge piers in Iceland. In: mechanisms of chemical degradation of cement-based systems. Eds.: K.L. Scrivener and J.F. Young. E & FN Spoon, London, 201-208. 1997.

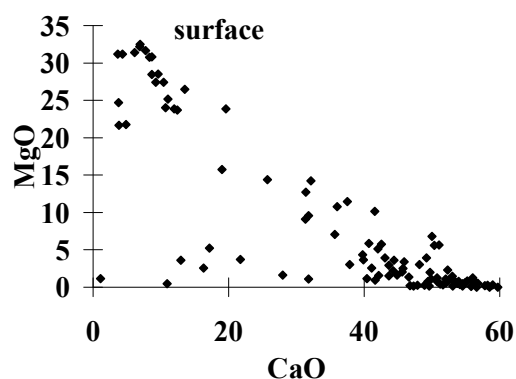
⁸ Einar Hafliðason, 1995. Deterioration of piers in the bridge across the bay of Borgarfjörður, research and restoration. The Icelandic Concrete Association, 20 pages.

⁹ Guðmundsson, G., 1997. Deterioration of concrete bridge piers in Iceland. In: mechanisms of chemical degradation of cement-based systems. Eds.: K.L. Scrivener and J.F. Young. E & FN Spoon, London, 201-208.

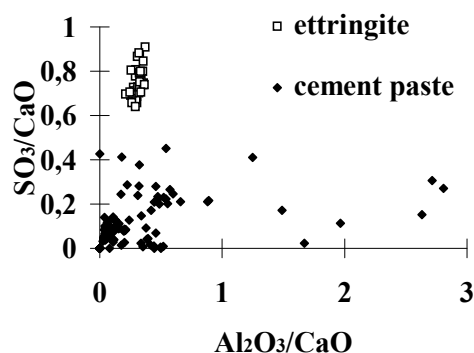


Mynd 7. Skematísk framsetning á framgangi skemmda í stöpulsteypum í neðri fjörumörkum í Borgarfjarðarbrú.

Skemmdarferlið er þannig að efnaskipti milli sjávar og yfirborðs steypu eiga sér stað, kalsíum skolast út úr sementsefjunni og magnesíum gengur úr sjó inn í sementsefjuna, sjá Mynd 8. Þetta svæði er aðeins bundið við yfirborð steypunnar og virðist ekki ná lengra en á um 5 mm dýpi. Sprungur myndast í sementsefjunni samsíða yfirborði. Ettringit fellur út í sprungum og öðru holrými. Á Mynd 9 má sjá SO_3/CaO hlutfallið í sementefju teiknað upp á móti hlutfallinu Al_2O_3/CaO í annars vegar sementsefjunni og hins vegar í útfellingum í sprungum. Sementsefjan flagnar af en stór fylliefni sitja eftir í efjunni. Fylliefnin losna smám saman og flögnunin gengur lengra inn í steypuna. Ettringitmyndun ein og sér er ekki talin vera skaðvaldur í steypu, þ.e.a.s. hún veldur ekki mikilli þenslu. Væntanlega er hún ekki nægjanleg skýring fyrir sprungumynduninni. Annað hlýtur að koma til, annars vegar að aðrar steindir valdi þenslu sem leiðir til flögnunar séu til staðar en greindust ekki og/eða að efnaskipti milli sjávar og yfirborðs steypu veiki yfirborð sementsefjunnar.



Mynd 8. MgO vs. CaO magn í sementsefju í Borgarfjarðarbrú. Við yfirborð steypunnar er sementsefjan rík í magnesíum og snauð í kalsíum. Með aukinni fjarlægð frá yfirborði eykst magn kalsíum og magn magnesíum minnkar.



Mynd 9. The SO₃/CaO hlutfall á móti Al₂O₃/CaO hlutfalli í sementsefju og ettringiti í Borgarfjarðarbrú.

Frost/þíðu niðurbrot er ekki líklegt að valda verulegum skemmdum í þessu umhverfi. Hitastig í yfirborði kápusteypu í Borgarfjarðarbrú hefur verið mælt yfir tiltölulega langt tímabil¹⁰. Niðurstöður úr þeim mælingum er að áhrifa frost/þíðu sveifla gætir ekki mikið í neðra fjöruborði, þar sem skemmdirnar eru mestar.

2.2 Óseyrarbrú

Samkvæmt verklýsingu Vegagerðarinnar fyrir Óseyrarbrú þá var að öllum líkindum notað Blöndusement í stöpulsteypurnar. Blöndusement er með 10 % kísilryks og 25 % líparít í aukum. Sementsmagnið var ekki skilgreint sérstaklega en brotþolsflokkurinn var S35 (S30?), sem samsvarar 35 MPa þrýstistyrk og v/s-hlutfallið átti að vera minna en 0,5. Loftmagnið átti að vera frá 4 til 7 %, yfirborð loftbóla meiri en 25 mm⁻¹ og fjarlægðarstuðull minni en 0,25 mm.

Brúin var tekin í notkun árið 1988. Stöplarnir voru steptir árið 1986. Fljótlega kom fram flögnun í yfirborði stöplanna. Sýni voru tekin af stöpli 4 af Vegagerðinni árið 1994. Sýni úr neðsta hluta stöplis

¹⁰ Gudmundsson, G., 2003. On site monitoring of high performance concrete during freeze/thaw cycles and relationship to standardized testing. Proceedings of the 15. International Baustofftagung, F.A. Finger – Institut für Baustoffkunde, pages 2-0051-2-0062.

4 (stórstraumsfjara) voru rannsökuð af undirrituðum í smásjá. Áætlað var að um 5 mm hafi flagnað af yfirborði steypunnar, þar sem sementsefjan flagnaði af og fylliefni sátu eftir í yfirborðinu. Í smásjárrannsókn var ekki að sjá að sprungumyndu ætti sér stað samfara þessari yfirborðsflögnun.

3. Vettvangsskoðun

Vegagerðin annaðist sýnatökur úr öllum brúnum. Sýni úr Kolgrafafjarðarbrú voru tekin 15.08.2017. Sýni úr Óseyrarbrú voru tekin þann 21.09.2017. Auk þess voru stöplar Borgarfjarðarbrúar skoðaðir af Vegagerðinni 09.10.2017. Sýni voru ekki tekin úr Borgarfjarðarbrú. Skrá yfir sýnin sem tekin voru eru gefin í Tafla 1.

Tafla 1. Sýnaskrá

Mannvirki	Dagsetning	Stöpull	Staðsetning	Rannsókn
Kolgrafafjarðarbrú	16.08.2017	Millistöpull 3. 2 kjarnar	Efri fjörumörk	Smásjárrannsókn (þ.s. #9, 10 11), klóríðleiðni
Kolgrafafjarðarbrú	16.08.2017	Millistöpull 3. 2 kjarnar	Neðri fjörumörk	Smásjárrannsókn (þ.s. #6, 7, 8)
Óseyrarbrú	21.09.2017	Stöpull 4. 2 kjarnar (einn úr sökklí)	Neðri fjörumörk	
Óseyrarbrú	21.09.2017	Stöpull 5. 2 kjarnar	Efri fjörumörk	Smásjárrannsókn (þ.s. #12, 13)
Óseyrarbrú	21.09.2017	Stöpull 5. 2 kjarnar	Neðri fjörumörk	Smásjárrannsókn (þ.s. #14,15)

þ.s.: þunnsneið

3.1 Óseyrarbrú

Brúin var skoðuð þann 21.09.2017 af Vegagerðinni og Mannviti hf. Brúin var skoðuð á stórsteymisfjöru. Steypan er nokkuð skemmd fyrir neðan meðal stórt flóð eða í neðri fjörumörkum. Skemmdirnar eru þannig að sementsefjan hefur flagnað frá og fylliefni standa út úr steypunni, sjá Mynd 2 og Mynd 3. Sérstaklega á endunum (norðanmegin), þar er flögnunin allt að um 30 mm. Stöpull 5 virðist vera meira skemmdur en stöpull 4. Svo virðist að stöplarnir skemmast meira austanmeginn og mest á norðurendum (ekki vitað um ástand á suðurendum). Yfirborð sökklá er einnig skemmt, en erfitt reyndist að meta hve mikið var flagnað af yfirborði þeirra, sjá Mynd 4.

Sýni voru tekin úr stöplum 4 og 5. Fjörir kjarnar voru teknir úr stöpli 5. Tveir kjarnar voru teknir u.þ.b. við neðri fjörumörk og tveir við efri fjörumörk. Tveir kjarnar voru teknir úr stöpli 4. Einn á sökklinum og einn úr stöplinum, um 30 cm fyrir ofan sökklul, og um 50 cm fyrir ofan stórstraums fjöruborð. Steypan var um 31 árs gömul þegar sýnin voru tekin.

3.2 Kolgrafafjörður

Brúin yfir Kolgrafafjörð var steyp 2004 og er því 13 ára gömul. Brúin er um 230 m löng bitabru með járnbentu steypu gólfi, spennsteypa í burðarvirki og járnbent steypa í stöplum, sjá Mynd 5.

Brúin var skoðuð þann 16.08.2017 af Vegagerðinni. Engar skemmdir voru sjáanlega í yfirborði steypunnar. Fjórir kjarnar voru teknir úr einum stöpli, tveir við neðri fjörumörk og tveir við efri fjörumörk, sjá Mynd 6. Steypan var því 13 ára gömul þegar sýnin voru tekin.

4. Prófanir á rannsóknarstofu

Sýnin voru prófuð á rannsóknarstofu Mannvits hf. Sýnin voru meðhöndluð á rannsóknarstofunni fyrir prófanirnar. Þó voru sneiðarnar útbúnar í Háskóla Íslands.

4.1 Smásjargreining (frá fyrri skýrslu¹¹)

Sýni úr brúnum þremur voru skoðuð í smásjá. Til að skoða sýni í smásjá þarf að útbúa s.k. þunnsneiðar. Hver þunnsneið er um 3,5 x 5,0 cm að stærð og um 0,03 mm þykk. Þunnsneiðar voru gerðar úr efri og neðri fjörumörkum hverrar brúar og úr yfirborði og neðri hluta hvers kjarna. Alls voru útbúnar 15 þunnsneiðar. Þunnsneiðarnar voru útbúnar hjá Háskóla Íslands. Gæði þunnsneiðanna voru léleg, en tíma vannst ekki til þess að endurgera sneiðarnar. Sýnin sem þunnsneiðarnar voru gerðar úr voru límd með flúrljómandi litarefni. Í flúrljómun er hægt að meta v/s-hlutfall sementsefju í viðkomandi sýni, en einnig er hægt að meta hvort sementsefan hefur orðið fyrir utanaðkomandi efnaáhrifum. Í smásjárskoðun eru sýni skoðuð í 50 til 200 faldri stækkun.

4.1.1.1 Óseyrarbrú

Efri fjörumörk

Eins og sjá má á og er engin flögnun í steypunni við efri fjörumörk. Í smásjá er ekki að sjá merki um undanfara flögnunar eins og sprungur sem liggja samsíðan yfirborði, sjá Mynd 36. Hins vegar má sjá töluvert af finum sprungum sem liggja hornrétt á yfirborði steypunnar. Þessar yfirborðssprungur mynda væntanlega net háráðasprungna sem ná frá yfirborði og inn í steypuna. Sprungurnar ná allt að um 9-10 mm inn í steypuna, sjá Mynd 37.

Takmörkuð efnaskipti eiga sér stað á milli sjávar og steypunnar, a.m.k er ekki að sjá að mikil útskolun efna úr sementsefjunni hafi átt sér stað. Þess í stað hefur yfirborði steypunnar kolsýrst, en kolsýring nær um 0,5 mm inn í steypuna. Það að steypan kolsýrist í þessu umhverfi bendir til þess að umhverfið sé tiltölulega þurr.

Tiltölulega mikið loft er í steypunni og mikið af smáum bólum sem eru vel dreifðar um sýnin. Engar útfellingar er að finna í loftbólunum, sjá Mynd 38.

Net örsprungna er til staðar í steypunni, en örsprungur eru mjög algengar í steypu.

Sjá má smáa kísilrykskekki í steypunni og líklega er um að ræða Blöndustement. V/s-hlutfallið er tiltölulega lágt og nokkuð einsleitt, sjá Mynd 38.

Í heild þá lítur steypan mjög vel út og ekki að sjá að niðurbrot eigi sér stað í henni.

Neðri fjörumörk

Á Mynd 3 og Mynd 4 má sjá að steypan sem liggur í svæðinu við neðri fjörumörk hefur flagnað. Flögnunin var metin vera allt að 30 mm. Framgangur flögnunarinnar virðist vera þannig að sementsefjan flagnar af, en tiltölulega stór fylliefnakorn sitja eftir í sementsefjunni. Fylliefnakornin taka ekki þátt í niðurbrotsferlinu. Fylliefnakornin falla síðan af þegar sementsefjan hefur flagnað það mikið að bindingurinn milli fylliefnakorna og semenstefju er orðinn það veikur að hann heldur fylliefnakornunum ekki föstu. Skemmdarferli eins og hér er líst er mjög svipað og átti sér stað í stöplum

¹¹ Gísli Guðmundsson, 2018. Steypa í Sjávarfallaumhverfi. MV 2017-015. 63 bls.

Borgarfjarðarbrúar⁷. Á Mynd 39 má sjá samsetta mynd af yfirborði steypunnar. Myndin nær yfir um 4,5 sinnum 15 mm svæði. Myndir er tekin með flúrljómun. Flúrljómunin dregur vel fram svæði sem hefur orðið fyrir efnaskiptum við sjó. Töluverð efnaskipti hafa átt sér stað milli steypu og sjávar. Efnaskiptasvæðið nær niður á um 2-3 mm dýpi. Á Mynd 40 má sjá minni hluta af yfirborði steypunnar í einskautuðu ljósi og í meiri stækkun. Fínar sprungur sem liggja hornrétt inn í steypuna frá yfirborði eru nokkuð algengar. Einnig má sjá fínar sprungur sem liggja samsíða yfirborðinu. Sjá má votta fyrir útfellingum í sprungum við yfirborð. Hins vegar er ekki að finna neinar áberandi gleiðar sprungur með útfellingum sem gætu orsakað flögnunina. Nárlaga útfellingar í loftbólum eru algengar, sjá Mynd 40, Mynd 41 og Mynd 42. Útfellingar í loftbólum eru væntanlega ekki að valda miklum skaða í steypunni, en eru þó merki þess að dregið hefur úr virkni þeirra gegn frost/þíðu-niðurbroti.

Loftmagnið í steypunni virðist vera í lægri kantinum. Loftbólurnar eru smáar og vel dreifðar, sjá Mynd 43.

Net örsprungna er til staðar í steypunni, en örsprungur eru mjög algengar í steypu.

Sjá má smáa kísilykskekki og fín malað líparít í steypunni og því líklega er um að ræða Blöndustement. V/s-hlutfallið er tiltölulega lágt og nokkuð einsleitt, sjá Mynd 43.

Algengt er að finna líparít fylliefni í steypunni.

Þrátt fyrir yfirborðsflögnunina sem hefur átt sér stað, þá má segja að steypan líti mjög vel út og ekki að sjá að niðurbrot eigi sér stað í henni ef undan eru skildir efstu 2-3 mm steypunnar, þar sem efnaskipti við sjó hafa átt sér stað.

4.1.1.2 Kolgrafafjarðarbrú

Efri fjörumörk

Yfirborð steypunnar er óskemmt, hvorki flögnun né sprungumyndun samsíða yfirborði er merkjanleg. Yfirborð steypunnar er með 0,2 mm þunnt kolsýrt lag. Sjá má tvær sprungur í yfirborði steypunnar, sjá Mynd 48. Önnur sprungan gengur ca. 40 mm inn í steypuna. Sprungan sker lítið fylliefnakorn. Engar útfellingar er að sjá í þessum sprungum. Ekki er að sjá nein merki um að efnaskipti hafi átt sér stað á milli steypunnar og sjávar.

Loftmagnið virðist vera eðlilegt, dreifingin góð og loftbólurnar smáar, sjá Mynd 49.

Net örsprungna er til staðar í steypunni, en örsprungur eru mjög algengar í steypu.

V/s-hlutfallið er eðlilegt og nokkuð einsleitt, sjá Mynd 50.

Í heild þá lítur steypan mjög vel út og ekki að sjá að niðurbrot sé í henni.

Hluti af yfirborði steypunnar er með þunnt eða ca. 0,5 mm þykkt sementsbundið efjulg.

Neðri fjörumörk

Yfirborð steypunnar er óskemmt og engin flögnun hefur átt sér stað í yfirborði steypunnar. Hins vegar hefur sprungumyndun samsíða yfirborði steypunnar átt sér stað, sjá Mynd 51. Þessi sprungumyndun nær niður á um 15 mm dýpi. Sprungurnar eru allt að 0,1 mm gleiðar. Sjá má útfellingar í sprungunum við yfirborð, sjá Mynd 52. Ekki er ljóst hvaða efni það er sem eru að falla út í sprungunum. Sprungurnar skera fínkorna fylliefni en sprungurnar fara fram hjá stærri fylliefnakornum. Sprungur eru til staðar í steypunni, ekki er að sjá útfellingar í þeim.

Efnaskipti milli steypu og sjávar virðast takmarkast við tiltölulega þunnt kalsítlag á yfirborði steypunnar. Í þessu lagi er einnig að finna aðra óþekkta steinstegund.

Loftmagnið virðist vera eðlilegt, dreifingin góð og loftbólurnar smáar. Engar útfellingar eru til staðar í loftbólum.

Net örprungna er til staðar í steypunni, en örprugnur eru mjög algengar í steypu.

V/s-hlutfallið er eðlilegt og nokkuð einsleitt. Sjá má fína kísilryksköggla í steypunni.

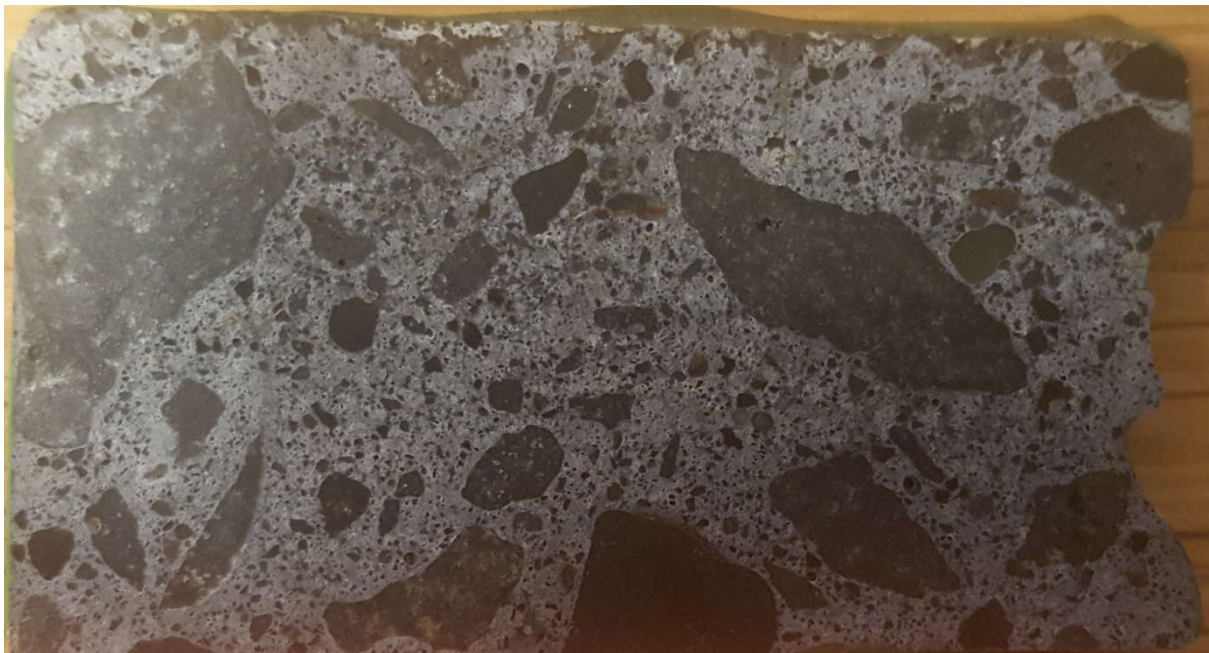
Í heild þá lítur steypan mjög vel út og ekki að sjá er að niðurbrot í henni ef undan er skilið sprungumyndunin í yfirborði. Sprungumyndunin gæti verið undanfari yfirborðsskemmda í steypunni.

4.2 Rafeindasmásjargreining

4.2.1.1 Óseyrarbrú

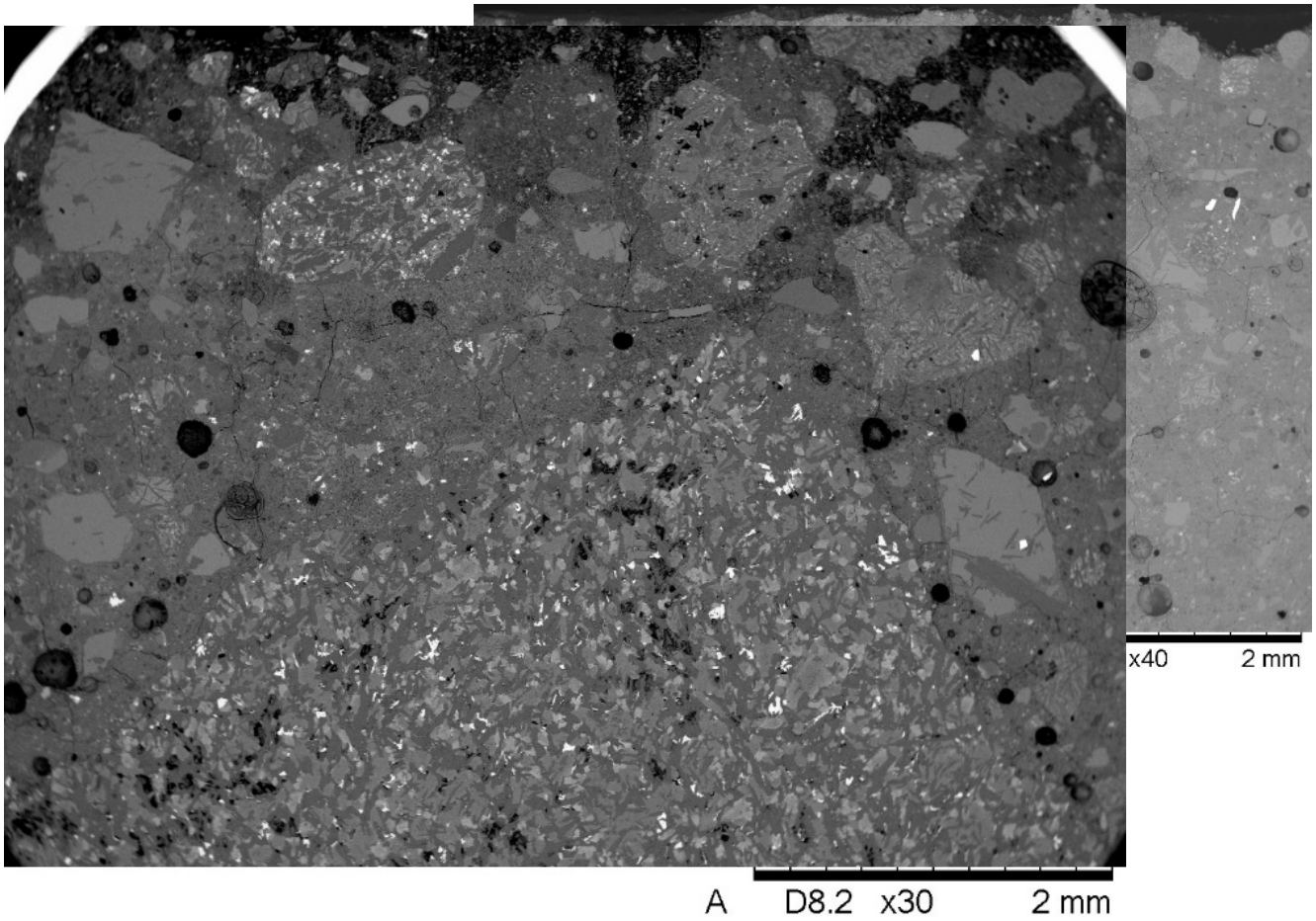
Efri fjörumörk

Eitt sýni (u.þ.b. 3 x 5 cm) var rannsakað með rafeindasmásjá, sýni nr. 12, sjá Mynd 10.

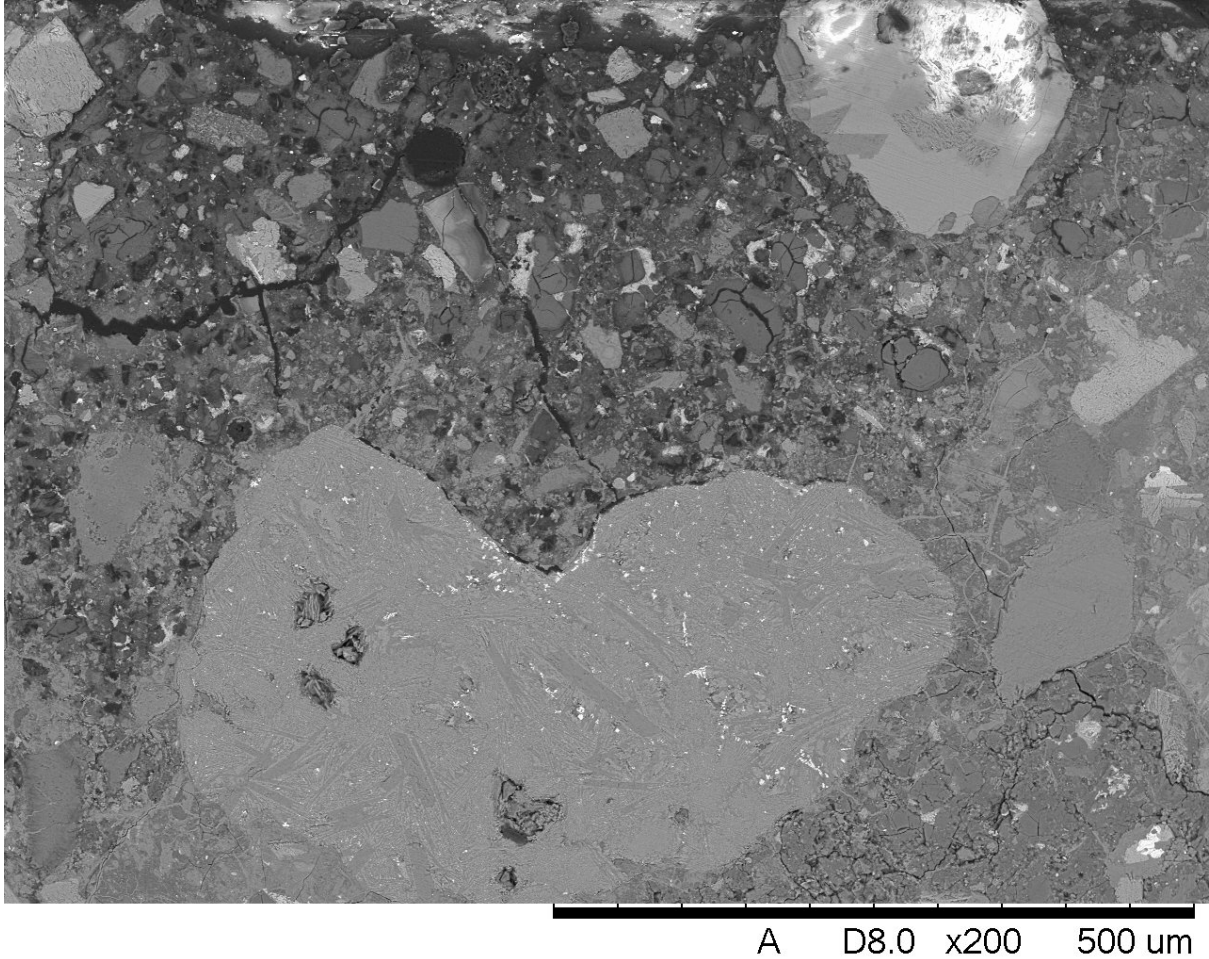


Mynd 10. Óseyrarbrú, sýnið er úr efri fjörumörkum. Sýni 12, sýnið sem rannsakað var með rafeindasmásjá. Sýnið er 2,8 x 5,0 cm á stærð. Yfirborðið er upp. Yfirborðið er nánast óskemmt, þ.e. engin flögnun hefur átt sér stað.

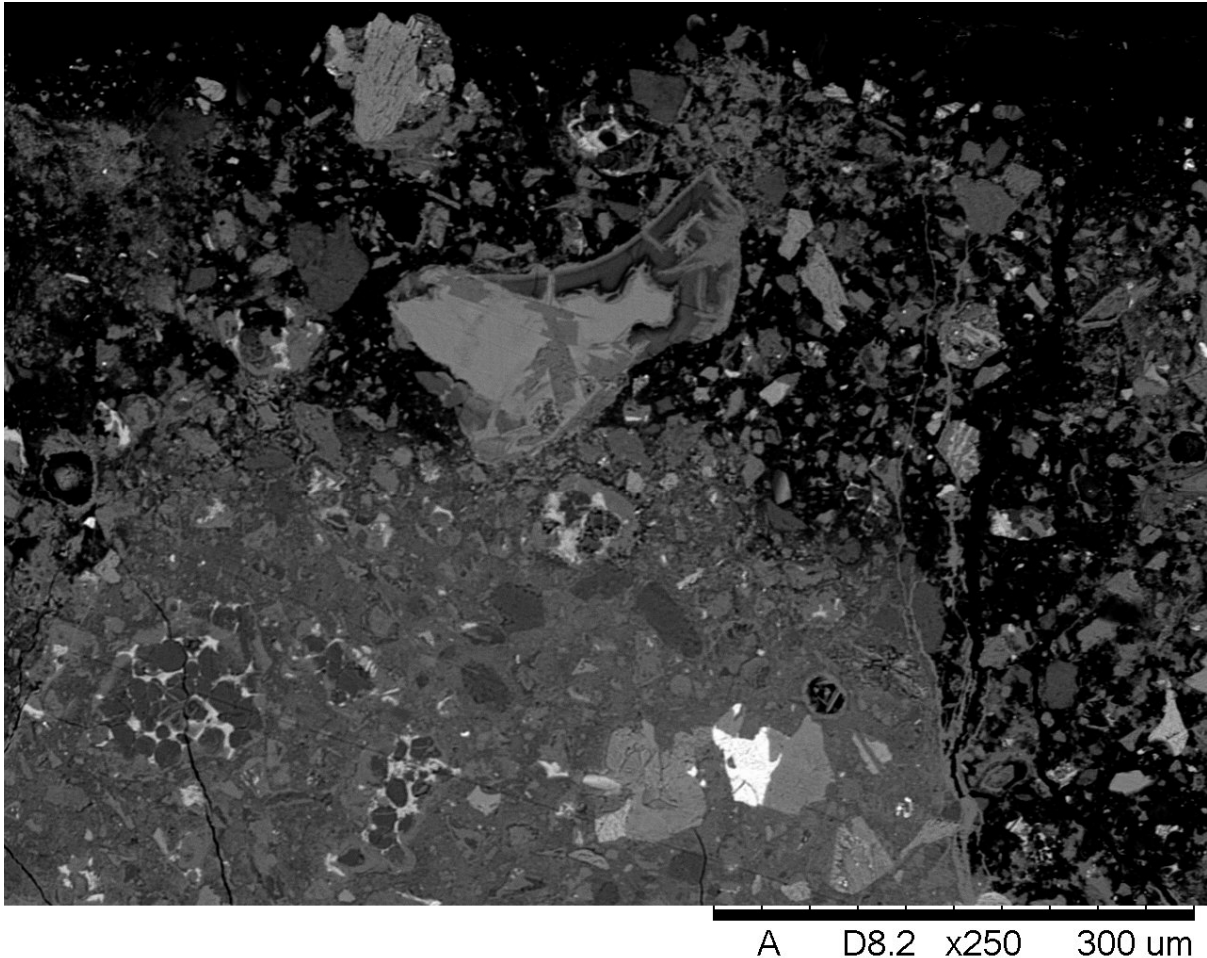
Á Mynd 11 er sýndur hluti af yfirborði sýnisins. Óveruleg flögnun hefur átt sér stað í yfirborði steypunnar, en sjá má að veruleg útskolun á kalsíum hefur átt sér stað úr sementsefjunni og upptaka á magnesíum. Í rafeindasmásjá með „back-scatter filter“ er þetta svæði dökkt á lit. Magnesíum kemur úr sjó. Á Mynd 12 má sjá hluta af yfirborði steypunnar í aðeins meiri stækkun. Sjá má fjölda örprungna sem liggja í mismunandi áttir, eða a.m.k. þær virðast ekki fylgja neinni sérstakri átt. Sprungurnar eru fylltar með ljósu efni. Á Mynd 13 má sjá örprungur fylltar ljósu efni sem liggja hornrétt á yfirborð, sprungurnar virðast ná til yfirborðs, en útfellingar er ekki til staðar í þeim við yfirborðið.



Mynd 11. Rafeindasmásjármynd af yfirborði steypu úr Óseyrarbrú. Sýnið er úr efri fjörumörkum. Yfirborðsýnisins snýr upp á myndinni. Mjög lítil yfirborðsflögnun hefur átt sér stað í steypunni. Myndin nær frá yfirborði um 4 mm inn í steypuna. Myndin er s.k. back scatter mynd þar sem grátónn myndarinnar gefur upplýsingar um samsetningu viðkomandi fasa.



Mynd 12. Rafeindasmásjarmynd af yfirborði steypu úr Óseyrarbrú. Sýnið er úr efri fjörumörkum. Yfirborðsýnisins snýr upp á myndinni. Mjög lítil yfirborðsflögnun hefur átt sér stað í steypunni. Myndin nær frá yfirborði um 0,7 mm inn í steypuna. Dökka svæðið við yfirborð er þar sem mikil útskolun af kalsíum og upptaka á magnesíum hefur átt sér stað. Einnig má sjá fjölda af fínum sprungum fylltar af ljósu efni.



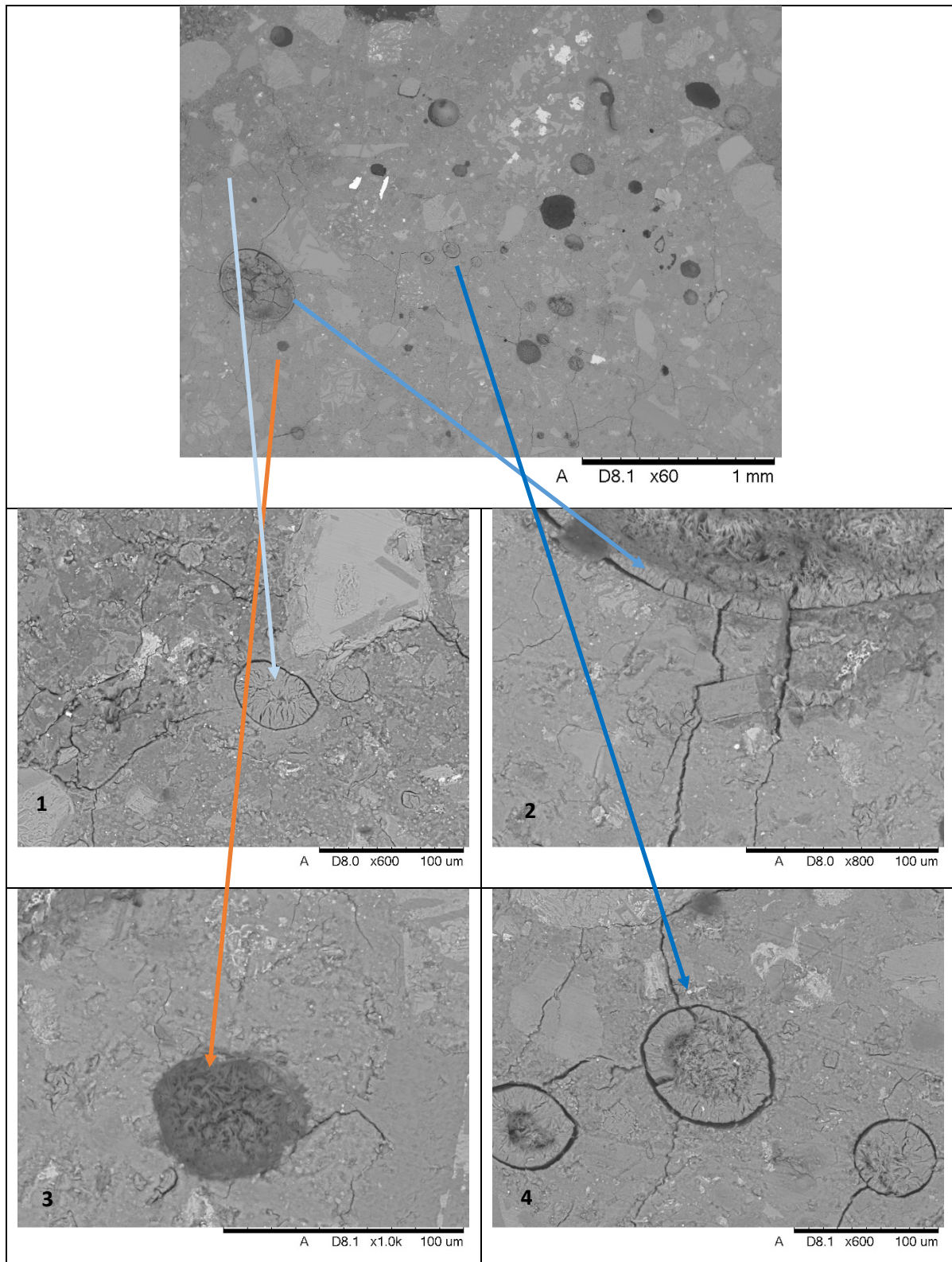
Mynd 13. Rafeindasmásjarmynd af yfirborði steypu úr Óseyrarbrú. Sýnið er úr efri fjörumörkum. Yfirborðsýnisins snýr upp á myndinni. Mjög lítil yfirborðsflögnun hefur átt sér stað í steypunni. Myndin nær frá yfirborði um 0,6 mm inn í steypuna. Dökka svæðið við yfirborð er þar sem mikil útskolun af kalsíum og upptaka á magnesíum hefur átt sér stað. Einnig má sjá fjölda af fínnum sprungum fylltar af ljósu efni. Sjá má a.m.k. tvær örprungur sem ná langleiðina yfirborðs.

Samsetning á nokkrum útfellingum í örprungum sem sjást á Mynd 12 er gefin í töflu 2. Sprungurnar eru úr kalsíumríku efni, en magn magnesíum og kísils er nokkurt. Magn áls og brennisteins er að öllu jöfnu minna en 1 %. Magn annara efna er minna. Margt bendir til þess að þessi fasi sé kalsíum karbónat.

Tafla 2. Samsetning útfellinga í örprungum við yfirborð.

Punktur	2-3 9	2-3 10	2-3 11	2-3 12
Magnesíum	2,57	1,97	3,54	1,81
Ál	0,70	1,45	0,75	0,67
Kísill	3,71	6,44	4,21	2,95
Kalsíum	30,34	25,87	28,21	36,27
Járn	0,90	1,66		
Natríum	0,09	0,24	0,48	
Kalíum		0,24		
Brennisteinn	0,46	0,51	0,52	0,86
Heild	38,76	38,37	37,70	42,56

Í og við yfirborð eru útfellingar í holrými eins og t.d. smáum loftbólum. Á Mynd 14 má sjá nokkrar tiltölulega smáar loftbólur fylltar útfellingum. Nokkrar þessara útfellinga voru efnagreindar og vísa örvarnar á útfellingar sem voru efnagreindar.



Mynd 14. Rafeindasmásjármynd af yfirborði steypu úr Óseyrarbrú. Sýnið er úr efri fjörumörkum. Yfirborðsýnisins snýr upp á myndinni, það sést örla í yfirborðið á yfirlitsmyndinni. Bláa örin vísar á útfellingu í smáu holrými. Örvarnar benda á útfellingar sem hafa myndast í holrými, bláleitu örvarnar vísa á thaumasíte og brúna örin vísar á gifs útfellingu.

Í Tafla 3 er gefin samsetning á útfellingum sem sjást á Mynd 14.

Punktur 2-7 33, 34, 35 og 36 eru útfellingar. Punktur 33 og 35 virðast vera thaumasite. Punktur 2-7 34 er efnagreining af smáum fasa sem myndast innan thaumasite fasans. Sökum þess hve smár þessi fasi eru, er efnagreiningin ekki góð. Þetta eru kísli og kalsíum ríkir fasar með töluverðum brennistein. Punktur 2-7 36 sýnir samsetningu á holrýmisrimanum. Um er að ræða kalsíum og kísilríkt efni, með mjög svipaða samsetningu og sprungufylling í áður nefndum ösprungum. Margt bendir til þess að þessi fasi sé kalsíum karbónat. Fyllt holrými eru gjarnan með útfellingarima umhverfis. Einnig geta smá fylliefni verið með slíkan rima. Áður nefndar örsprungur tengjast þessum rimasvæðum. Efnagreining í punktur 2-9 1, sjá Tafla 3, sýnir samsetningu á útfellingu í tiltölulega stórri loftból, sjá Mynd 14-1. Einnig er um thaumasite að ræða.

Tiltölulega smá loftbóla eða um 70 micron í þvermál, má sjá á Mynd 14-3. Loftbólarnir eru fyllt nárlaga útfellingu, en þéttleiki útfellingarinnar er ekki mikill. Reynt var að efnagreina útfellinguna í nokkrum punktum en aðeins tókst að ná einni efnagreiningu, punktur 2-12 15, en hann er við rima útfellingarinnar þar sem hún er þéttust. Væntanlega er um kalsíum sulfat að ræða eða gifs eða sambærilega steind sem inniheldur meira vatn en gifs.

Fjórða svæðið sem var rannsakað eru útfellingar sem eru sýndar á Mynd 14-4, sjá dökk bláu örina. Greiningar 2-13 16 og 2-13 17 voru gerðar á útfellingunni í miðjunni og eru niðurstöður efnagreininganna gefnar í Tafla 3. Um er að ræða thaumasite.

Tafla 3. Samsetning á útfellingum í holrými.

Punktur	2-7 33	2-7 35	2-7 34	2-7 36	2-9 1	2-12 15	2-13 16	2-13 17
Magnesíum	0,03	0,11		1,86		0,12		
Ál	0,48	0,64	0,78	1,00	1,39	2,01	1,69	0,97
Kíslill	6,06	5,58	34,11	5,17	5,05	3,73	5,22	5,18
Kalsíum	33,59	30,97	16,58	35,08	33,58	21,68	39,04	30,60
Járn	1,51	1,51		0,80	1,29	0,81	1,61	1,32
Brennisteinn	8,18	7,12	4,82	1,36	8,58	6,52	9,33	7,37
Heild	49,85	45,92	56,29	45,27	49,90	34,86	56,88	45,43

Til samanburðar er gefin meðal samsetning á thaumasite í Óseyrarbrú og meðal samsetning á thaumasite í sprautusteypu frá velþekktri thaumasite myndun¹², sjá Tafla 4.

¹² TILSTANDSKONTROLL SPRØYTEBETONG. SVARTDALS OG EKEBERG TUNNELENE. Statens Vegvesen Rapport. MV-2015-013.

Tafla 4. Samsetning á thaumasite í Óseyrarbrú og í norskri sprautusteypu.

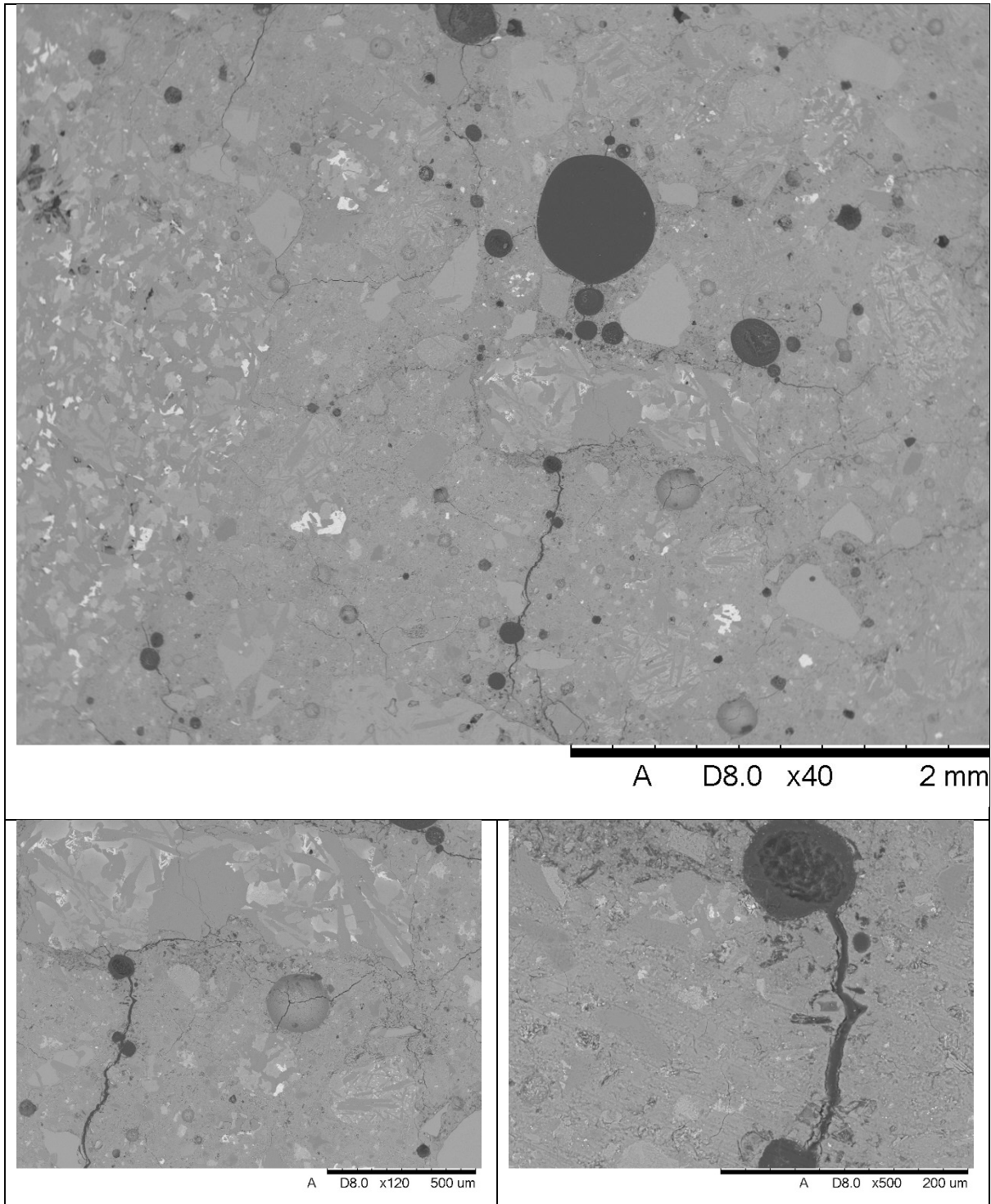
	Thaumasite Óseyri, ave.	Thaumasite Oslo, ave.
Magnesium	0,07	1,31
Ál	1,03	1,47
Kísill	5,42	6,06
Kalsíum	33,55	25,28
Járn	1,45	2,43
Klóríð	0,92	
Brennisteinn	8,12	11,01
Heild	50,56	47,57

Nokkrar efnagreiningar voru gerðar á sementsefjunni í yfirborði steypunnar. Niðurstöður úr efnagreiningunum er að finna í Tafla 5. Eins og sjá má þá er magn magnesíum nokkuð hátt eða allt að tæp 7 % og kalsíum getur orðið ansi lágt eða um 2 %.

Tafla 5. Samsetning á sementsefju af dýptarbilinu frá 0 til 2 mm dýpi.

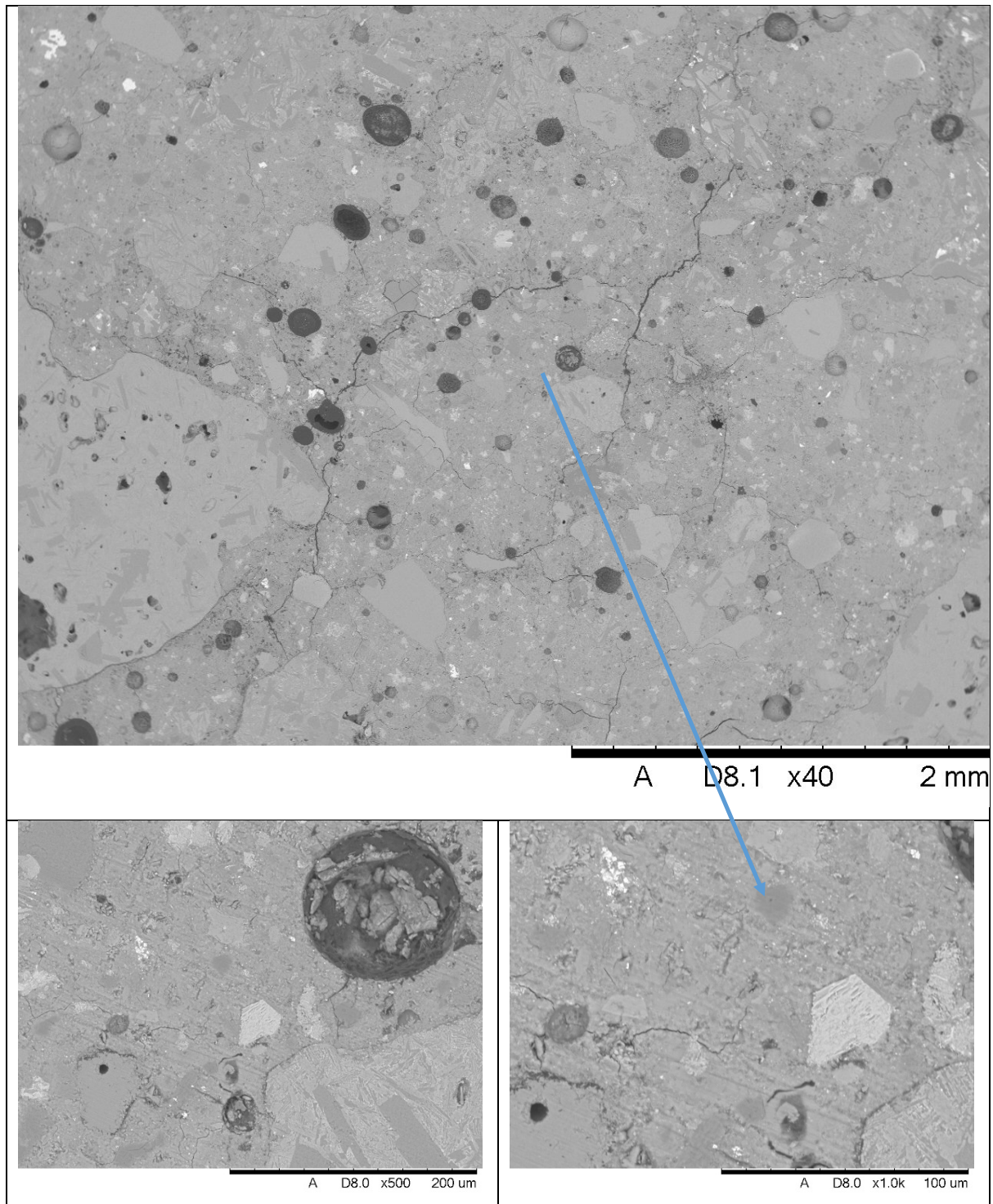
	sv 1-1 1	sv 1-1 2	sv 1-1 3	sv 1-1 4	sv 1-1 5	sv 1-1 14	2-5 25	2-5 26	2-9 3	2-13 18
Magnesium	5,59	5,24	6,32	6,90	6,81	6,30	10,41	12,88	0,55	1,10
Ál	2,32	2,15	2,66	2,80	2,46	2,90	2,60	2,37	1,89	2,09
Kísill	14,17	13,81	15,98	16,44	17,33	19,54	16,68	17,31	12,91	13,33
Kalsíum	8,58	9,60	4,36	7,52	7,61	3,91	2,18	2,06	25,16	24,38
Járn	2,31	2,58	2,46	2,87	2,24	2,95	1,71	1,34	1,96	1,97
Klóríð	0,73	0,68	0,68	0,65	0,30	0,50	0,16	0,25	1,38	0,44
Natríum	0,17	0,04	0,27	0,34	0,17	0,29	0,03	0,06	0,22	0,37
Kalíum	0,39	0,41	0,34	0,48	0,49	0,38	1,28	0,20		
Brennisteinn					0,08		0,18	0,21	1,23	0,88
Heild	34,25	34,52	33,07	38,00	37,49	36,77	35,22	36,69	45,31	44,56

Á Mynd 15 má sjá yfirlitsmynd af steypunni á um 7 til 11 mm dýpi. Engin niðurbrotsferli er sjáanleg í steypunni. Engin útskolun af kalsíum eða upptaka á magnesíum á sér stað og engar útfellingar eru sjáanlegar, hvorki í sprungum né loftbólum.



Mynd 15. Rafeindasmásjármynd steypu úr Óseyrarbrú af um 7 til 11 mm dýpi. Sýnið er úr efri fjörumörkum. Yfirborðsýnisins snýr upp á myndinni. Það eru engin niðurbrotferli sjáanleg í steypunni. Engin útskolun af kalsíum eða upptaka á magnesíum á sér stað og engar útfellingar eru sjáanlegar, hvorki í sprungum né loftbólum.

Á Mynd 16 má sjá svæði af um 10 til 14 mm dýpi. Engin niðurbrotsferli eru sjáanleg í steypunni. Hvorki útskolun af kalsíum né upptaka á magnesíum á sér stað og engar útfellingar eru sjáanlegar, hvorki í sprungum né loftbólum. Efnið sem sést í loftbólum á Mynd 16 neðri til vinstri er aðkomið efni, sem settist til við meðhöndlun sýnisins.



Mynd 16. Rafeindasmásjármynd steypu úr Óseyrarbrú af um 10 til 14 mm dýpi. Sýnið er úr efri fjórumörkum. Yfirborðsýnisins snýr upp á myndinni. Yfirlitsmyndin skarast aðeins við Mynd 15. Engin niðurbrotsferli eru sjáanleg í steypunni.

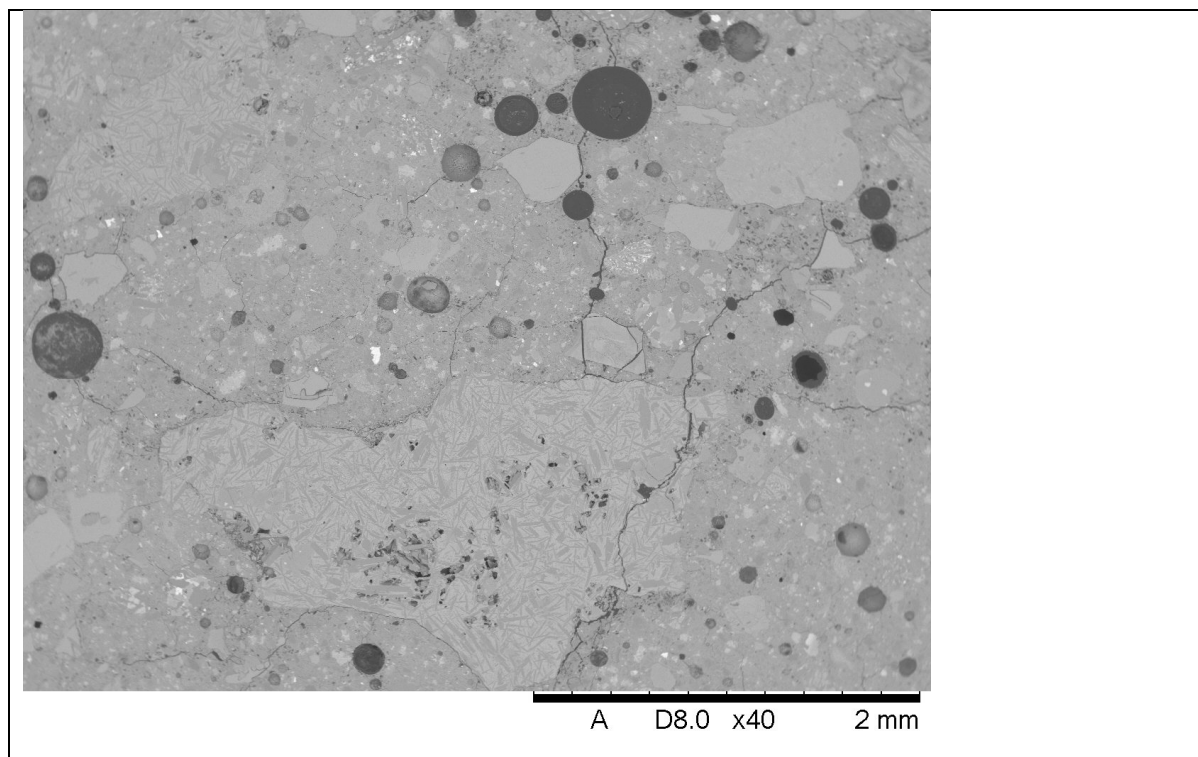
Nokkrar efnagreiningar voru gerðar á sementsefjunni sem og öðrum fösum. Niðurstöður úr efnagreiningunum er að finna í Tafla 6. Efnagreiningarnar sem voru gerðar á sementsefjunni eru númer 4-1 4, 4-1 5 og 4-2 12. Eins og sjá má þá er samsetning sementsefjunnar nokkuð eðlileg og greinilegt að hún er óskemmd, fyrir utan að klóríðmagnið verður að teljast nokkuð hátt. Efnagreiningar

nr 4-1 7, 4-1 9 og 4-2 13 eru gerðar á fösum sem eru líklega líparít. Á Mynd 16 vísar bláa örin á einn slíkan fasa.

Tafla 6. Samsetning á sementsefju og líparíti

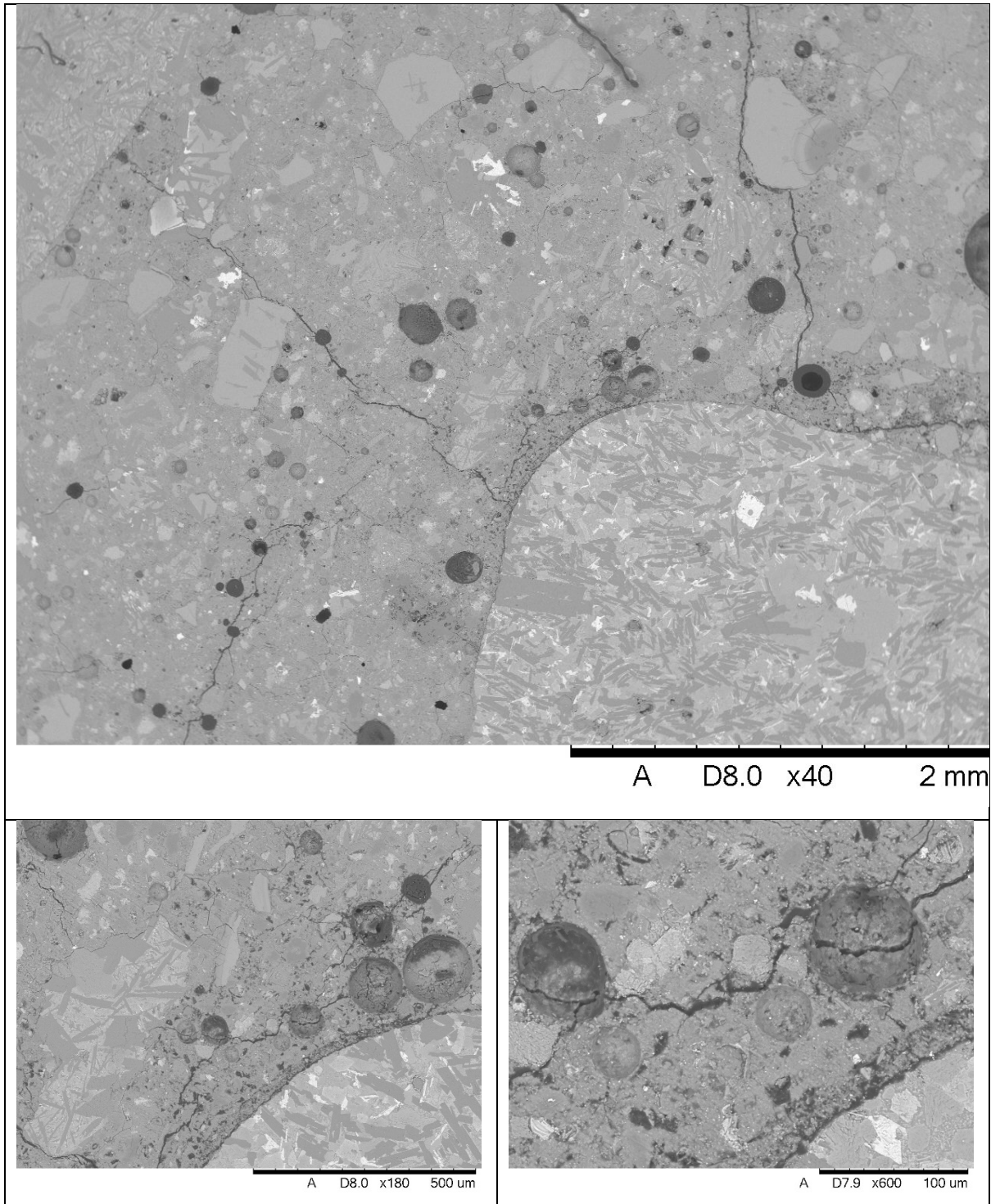
Punktur	4-1 4	4-1 5	4-2 12	4-1 7	4-1 9	4-2 13
Magnesium	0,23	0,26	1,22	0,00	0,00	0,02
Ál	1,86	2,04	0,92	4,38	8,21	4,93
Kísill	12,93	15,78	11,45	27,56	18,86	24,84
Kalsíum	27,74	23,43	24,36	3,72	3,82	4,49
Járn	1,69	1,31	1,10	0,00	0,00	
Klóríð	1,58	1,12	1,28	0,00	0,00	0,13
Natríum	0,07	0,42	0,11	0,60	1,28	0,95
Kalíum	0,18	0,29		1,86	6,89	3,94
Brennisteinn	0,74	0,59	0,20	0,00	0,00	
Heild	47,03	45,24	40,45	38,11	39,06	39,30

Á Mynd 17 má sjá svæði sem er á um 16 til 20 mm dýpi. Engar efnagreiningar voru gerðar á svæðinu en greinilegt er að steypa er óskemmd með öllu.



Mynd 17. Rafeindasmásjarmynd steypu úr Óseyrarbrú af um 16 til 20 mm dýpi. Sýnið er úr efri fjörumörkum. Yfirborð sýnisins snýr upp á myndinni. Engin merki eru sjáanleg um niðurbrotsferli í steypunni.

Á Mynd 18 má sjá svæði af um 21 til 25 mm dýpi. Engin niðurbrotsferli eru sjáanleg í steypunni. Hvorki útskolun af kalsíum né upptaka á magnesium á sér stað og engar útfellingar eru sjáanlegar, hvorki í sprungum né loftbólum.



Mynd 18. Rafeindasmásjármynd steypu úr Óseyrarbrú af um 21 til 25 mm dýpi. Sýnið er úr efri fjörumörkum. Yfirborðsýnisins snýr upp á myndinni. Engin merki eru sjáanleg um niðurbrotsferli í steypunni. Snertiflötur sementefju við stóra fylliefnakornið í hægri hluta myndarinnar er tiltölulega opinn. Engar útfellingar er að sjá í snertifletinum.

Nokkrar efnagreiningar voru gerðar á sementsefjunni. Niðurstöður úr efnagreiningunum eru gefnar í Tafla 7. Eins og sjá má þá er samsetning sementsefjunnar nokkuð eðlileg og greinilegt að hún er óskemmd. Klóríðmagníð hefur lækkað töluvert miðað við sementsefjuna af 10 til 14 mm dýpi.

Tafla 7. Samsetning á sementsefju af um 21 til 25 mm dýpi.

Punktur	6-1 3	6-1 4
Magnesíum	0,44	0,42
Ál	2,96	1,97
Kísill	16,40	13,55
Kalsíum	17,40	25,65
Járn	2,82	1,59
Klóríð	0,23	0,59
Natríum	0,09	1,07
Kalíum	0,50	0,27
Brennisteinn	0,13	0,61
Heild	40,98	45,71

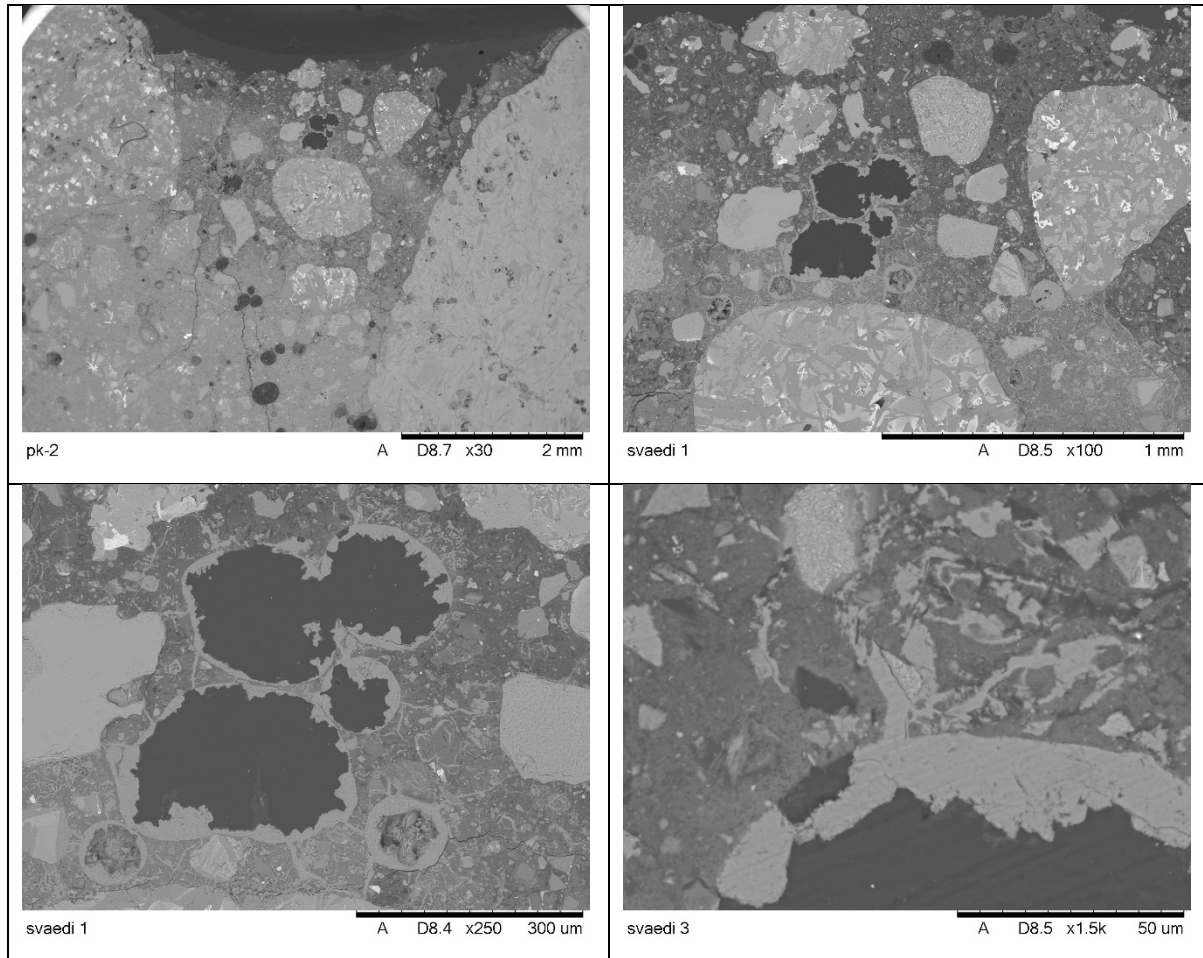
Neðri fjörumörk

Eitt sýni (u.þ.b. 3 x 5 cm) var rannsakað með rafeindasmásjá, sýni nr. 14, sjá Mynd 19. Veruleg flögnun hefur átt sér stað í yfirborði steypunnar, áætlað er að allt um 30 mm hafi flagnað af sementsefjunni.

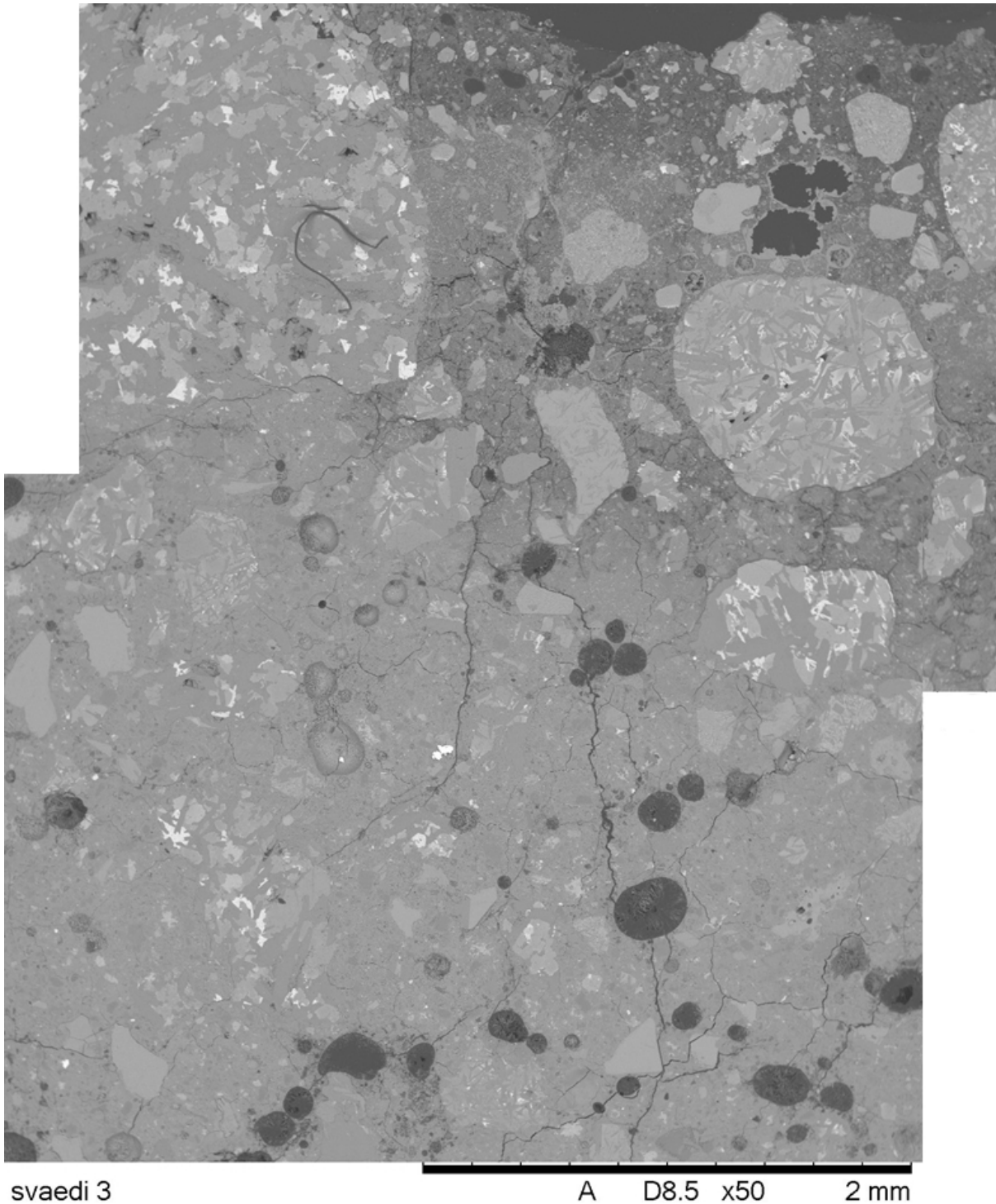


Mynd 19. Óseyrarbrú, sýnið er úr neðri fjörumörkum. Sýni 14, sýnið sem rannsakað var með rafeindasmásjá. Sýnið er 2,8 x 5,0 cm á stærð. Yfirborðið er upp. Áætlað er að um 30 mm hafi flagnað af sýninu.

Á Mynd 20 og Mynd 21 er sýndur hluti af yfirborði sýnisins, þar sem sementsefjan hefur flagnað á milli tveggja tiltölulega stórra fylliefna. Sementsefjan einkennist af verulegri útskolun á kalsíum úr sementsefjunni og upptaka á magnesíum. Á neðri myndunum má sjá hluta af yfirborði steypunnar í aðeins meiri stækkun. Sjá má fjölda örprungna fylltar ljósu efni sem og útfellingar í holrými.



Mynd 20. Rafeindasmásjármynd af yfirborði steypu úr Óseyrarbrú frá yfirborði niður á um 5 mm dýpi. Sýnið er úr neðri fjörumörkum. Yfirborðsýnisins snýr upp á myndinni. Veruleg yfirborðsflögnun hefur átt sér stað í steypunni. Myndin nær frá yfirborði um 5 mm inn í steypuna. Dökka svæðið við yfirborð er þar sem mikil útskolun af kalsíum og upptaka á magnesíum hefur átt sér stað. Einnig má sjá fjölda af fínnum sprungum fylltar af ljósu efni sem og holrými með tiltölulega þunnt lag af útfellingum.



Mynd 21. Rafeindasmásjármynd af yfirborði steypu úr Óseyrarbrú frá yfirborði niður á um 5 mm dýpi. Sýnið er úr neðri fjörumörkum. Yfirborðsýnisins snýr upp á myndinni. Veruleg yfirborðsflögnun hefur átt sér stað í steypunni. Myndin nær frá yfirborði um 5 mm inn í steypuna. Dökka svæðið við yfirborð er þar sem mikil útskolun af kalsíum og upptaka á magnesíum hefur átt sér stað. Einnig má sjá fjölda af finum sprungum fylltar af ljósu efni sem og holrými með tiltölulega þunnt lag af útfellingum.

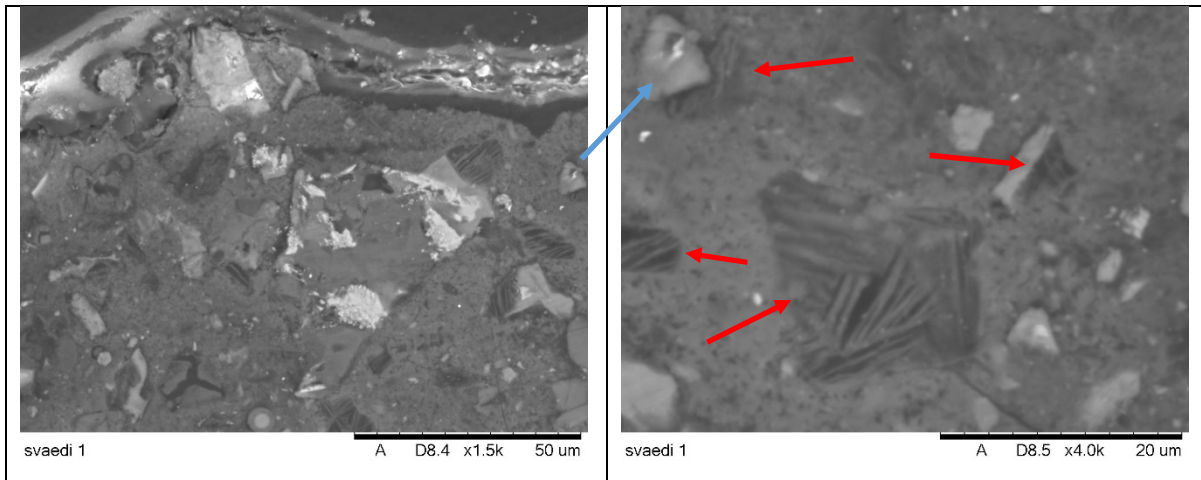
Efnagreiningar af útfellingunum í yfirborði steypunnar eru gefnar í Tafla 8. Útfellingarnar eru úr kalsíumríku efni, en magn magnesíum og kísils er nokkurt. Magn áls og brennisteins er að öllu jöfnu

minna en 1 %. Magn annara efna er minna. Margt bendir til þess að þessi fasi sé kalsíum karbónat. Útfellingarnar hafa sambærilega samsetningu og sprungufyllingar í sýni 12, sjá Töflu 2.

Tafla 8. Útfellingar í sprungum og holrými

Punktur	2 11	3 12	3 14	3 15	4 16	4 17	4 18	16 21	16 22	16 23	17 25	17 26	17 27	17 30	18 31	18 32	18 33
Magnesíum	0,44	0,54	4,14	2,56	3,21	0,73	1,01	0,92	2,97	5,12	0,13	0,59	0,68	2,66	2,09	1,22	0,28
Ál		0,07	1,64	1,33	1,00	0,25	0,37	0,24	0,68	1,40	0,06	0,16	0,26	0,84	0,47	0,07	0,15
Kísill	0,36	0,52	7,00	5,47	3,71	1,20	0,96	1,09	3,39	6,91	0,38	1,15	1,09	1,90	2,08	0,30	0,51
Kalsíum	38,31	43,16	22,13	29,64	30,92	41,08	36,41	35,14	27,44	23,57	44,22	39,34	47,10	27,40	34,72	43,17	42,04
Járn			1,65	1,42	0,86				0,93	1,51							
Klóríð			0,27	0,07	0,10							1,21					
Natríum			0,33	0,48	0,13									0,50			
Kalíum				0,07													
Brennisteinn	0,31	0,63	0,08	0,44	0,27	0,43	0,44	0,62	0,32	0,57	1,02	0,61	1,26	0,72	0,64	0,32	0,89
Heild	39,43	44,92	37,23	41,50	40,21	43,70	39,44	38,01	36,04	39,18	45,81	43,06	50,39	34,02	40,01	45,08	43,89

Á Mynd 22 má sjá hluta af sementsefju við yfirborð, þar sem veruleg upptaka á magnesíum hefur átt sér stað. Víða má sjá nárlaga útfellingar, rauðu örvarnar vísa á slíkar útfellingar.



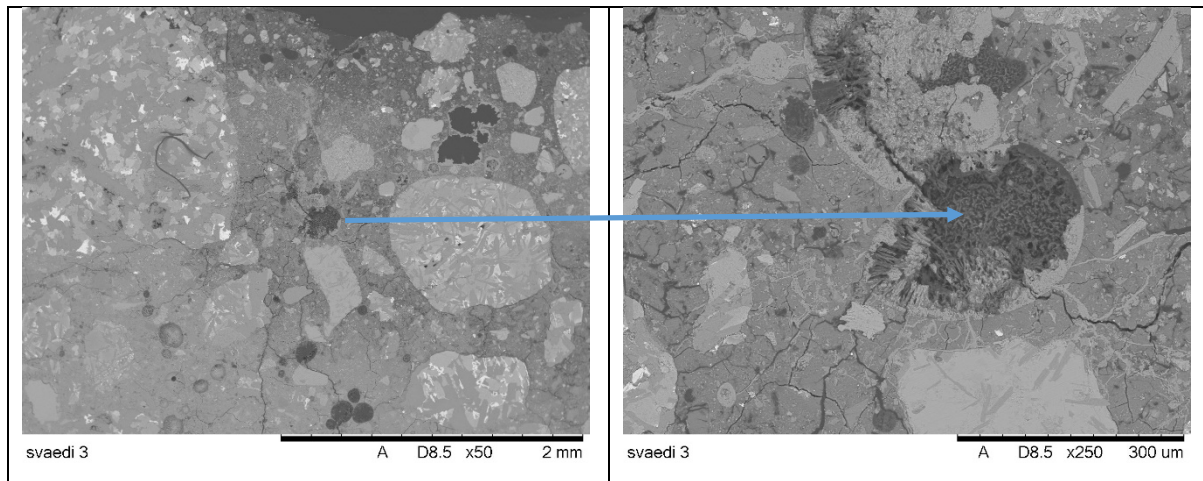
Mynd 22. Rafeindasmásjármynd af yfirborði steypu úr Óseyrarbrú. Sýnið er úr neðri fjörumörkum. Yfirborðsýnisins snýr upp á myndinni. Myndin til vinstri nær frá yfirborði um 0,1 mm inn í steypuna. Dökka svæðið við yfirborð er þar sem mikil útskolun af kalsíum og upptaka á magnesíum hefur átt sér stað. Á þessu svæði má sjá nárlaga útfellingar, sjá rauðu örina á myndinni til hægri. Myndin til hægri er tekin hægra megin við vinstri myndina og í meiri stækkun. Bláa örinn vísar á fylliefni sem sést á báðum myndunum. Rauðu örvarnar á myndinni til hægri vísa á nárlaga útfellingar.

Samsetning þessara útfellinga er gefin í Tafla 9. Magnesíum, ál, kísill og járn magnið er nokkuð hátt í þessum steindum. Á þessu stigi er ekki ljóst hvaða steind þetta er.

Tafla 9. Samsetning nárlaga útfellingar.

Punktur	2 6	2 8	2 9	2 10	14 9	14 10	14 11	14 12	14 13	14 14
Magnesíum	1,95	6,97	4,43	1,45	8,53	7,11	6,73	3,46	7,11	5,54
Ál	5,64	4,66	4,50	4,88	3,81	3,25	3,02	9,57	3,42	2,72
Kísill	13,41	12,60	10,94	11,72	15,32	13,18	12,64	17,86	13,93	11,26
Kalsíum	2,71	3,10	3,22	2,49	1,29	1,13	1,16	5,86	1,17	1,03
Járn	2,94	3,45	3,59	4,63	3,64	2,89	3,12	2,09	2,93	2,24
Klóríð	0,72	0,55	0,66	0,75			0,43			0,66
Natríum	0,60	0,24	0,10	0,32				1,50	0,02	
Kalíum	0,42	0,31	0,50	0,51						
Brennisteinn		0,02			2,36	1,81	2,32	0,76	1,51	1,36
Heild	28,40	31,90	27,94	26,75	34,96	29,39	29,42	41,11	30,09	24,80

Á Mynd 23 má sjá dæmi um ljósar útfellingar í örprungum og loftbólum.



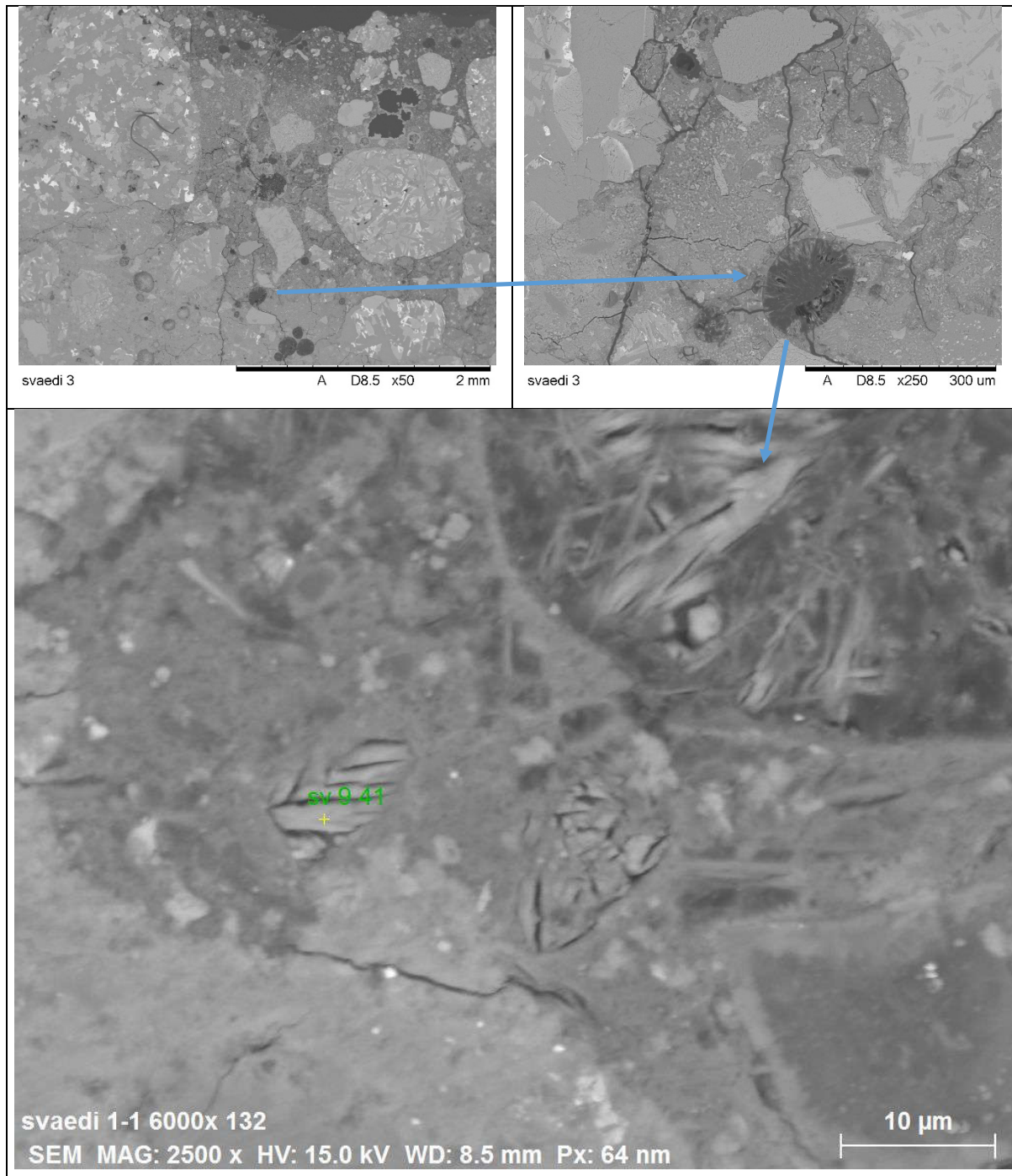
Mynd 23. Rafeindasmásjármynd af yfirborði steypu úr Óseyrarbrú. Sýnið er úr neðri fjörumörkum. Yfirborðsýnisins snýr upp á myndinni. Myndin til vinstri nær frá yfirborði um 4 mm inn í steypuna. Myndin til hægri er tekin í meiri stækkun af hluta af vinstri myndinni. Á myndinni til hægri má sjá ljósar útfellingar í sprungum og holrými.

Samsetning á nokkrum útfellingum eru gefnar í Tafla 10.

Tafla 10. Samsetning ljósra útfellingar í örsprungum og loftbólum.

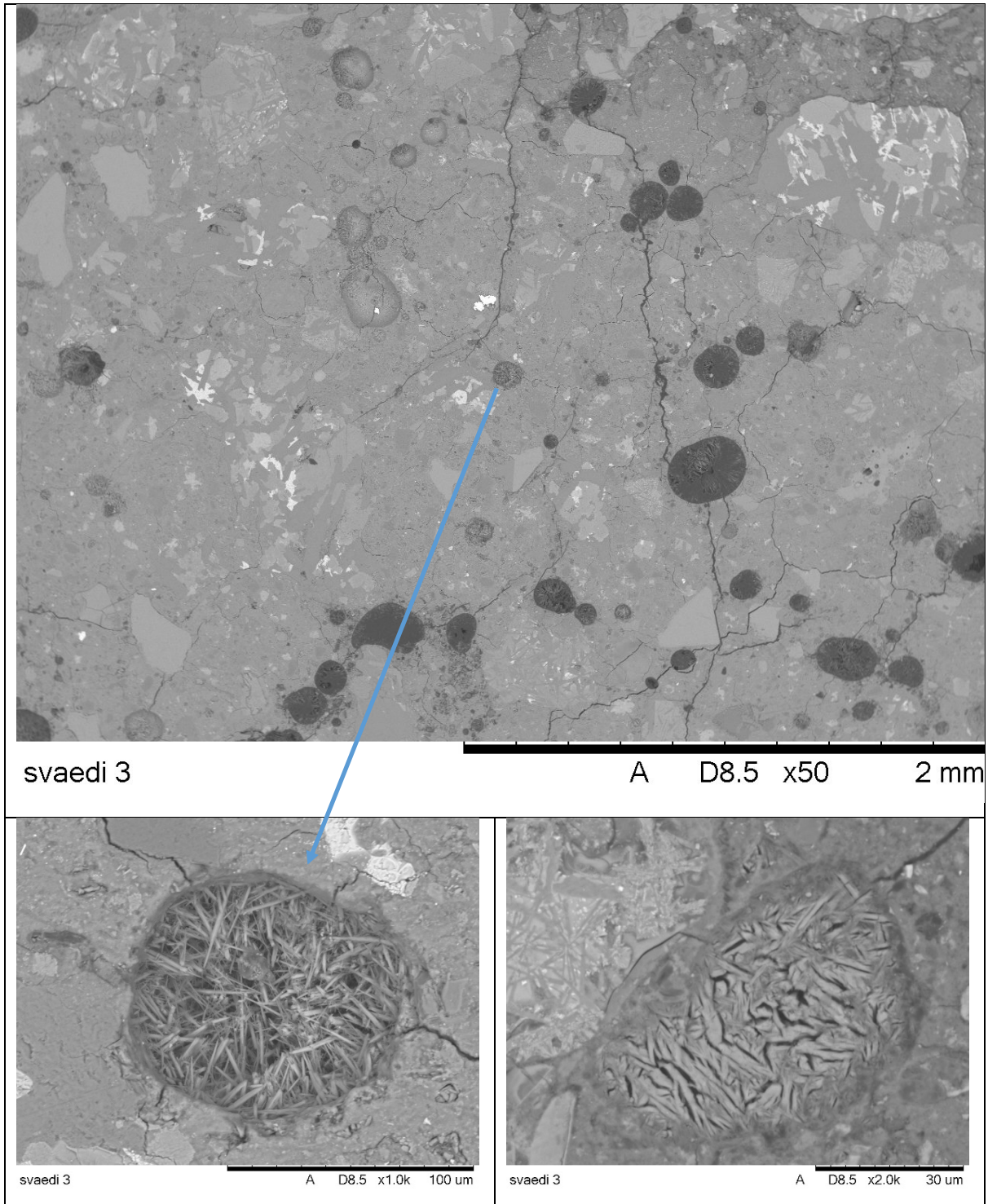
Punktur	5 23	5 24	5 25
Magnesium	0,68	2,83	2,21
Aluminium	0,07	0,27	0,29
Silicon	0,52	2,05	2,08
Calcium	39,51	37,49	39,92
Sulfur	0,75	0,60	0,61
Heild	41,54	43,25	45,10

Á Mynd 24 eru sýndar útfellingar í holrými og í sementsefjunni.



Mynd 24. Rafeindasmásjármynd af yfirborði steypu úr Óseyrarbrú. Sýnið er úr neðri fjörumörkum. Yfirborðsýnisins snýr upp á myndinni. Myndin til vinstri nær frá yfirborði um 4 mm inn í steypuna. Myndin til hægri er tekin í meiri stækkun af hluta af vinstri myndinni. Á myndinni til hægri má sjá útfellingar í sementsefjunni og holrými.

Samsetning útfellinganna eru gefnar í Tafla 11. Á Mynd 25 má sjá dæmi um útfellingar í holrými.

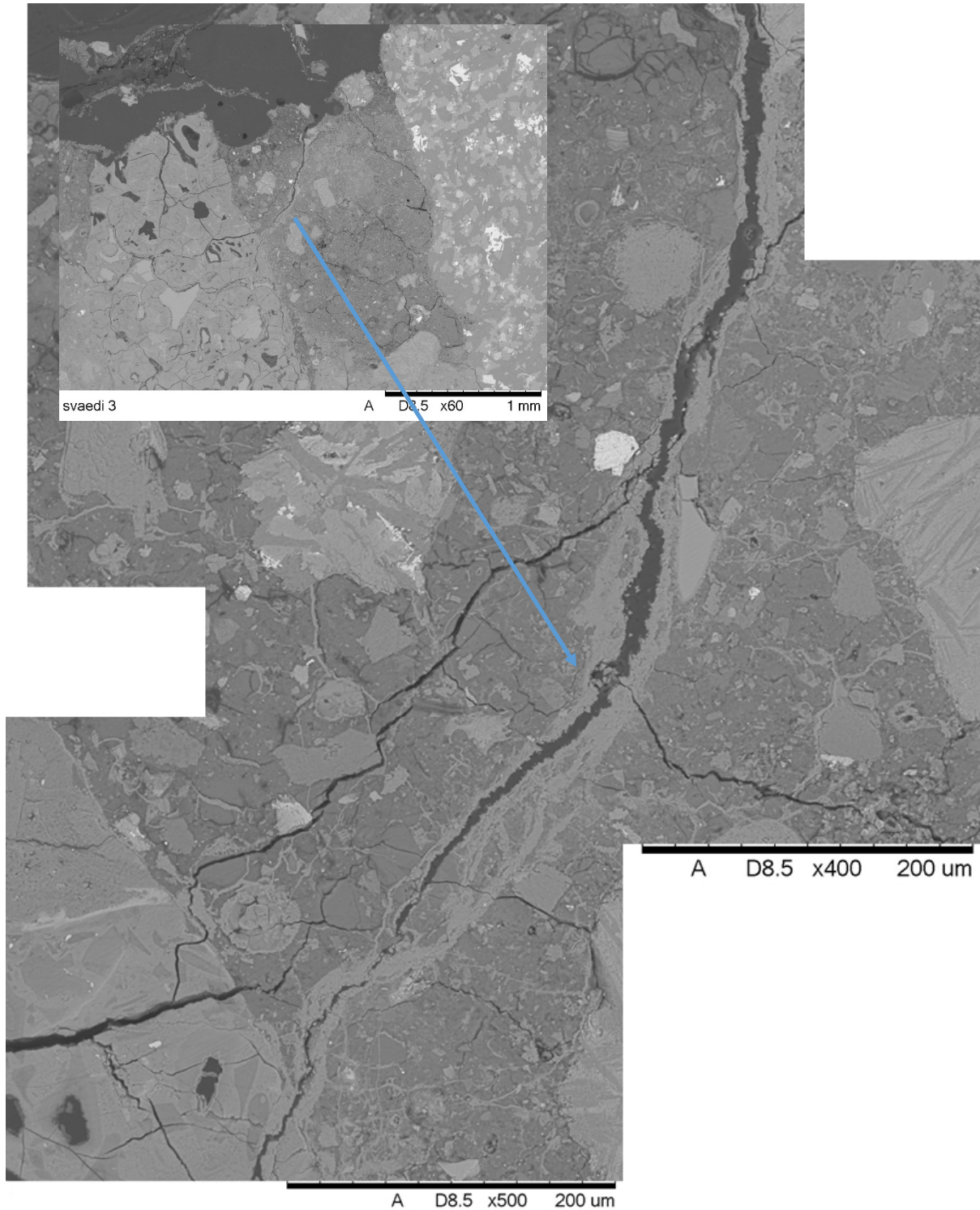


Mynd 25. Rafeindasmásjármynd af yfirborði steypu úr Óseyrarbrú. Sýnið er úr neðri fjörunörkum. Yfirborðsýnisins snýr upp á myndinni. Efsta myndin nær frá um 5 til um 8 mm dýpi. Neðri myndirnar sýna í meiri stækkun útfellingar í holrými.

Tafla 11. Samsenting útfellinga í holrými.

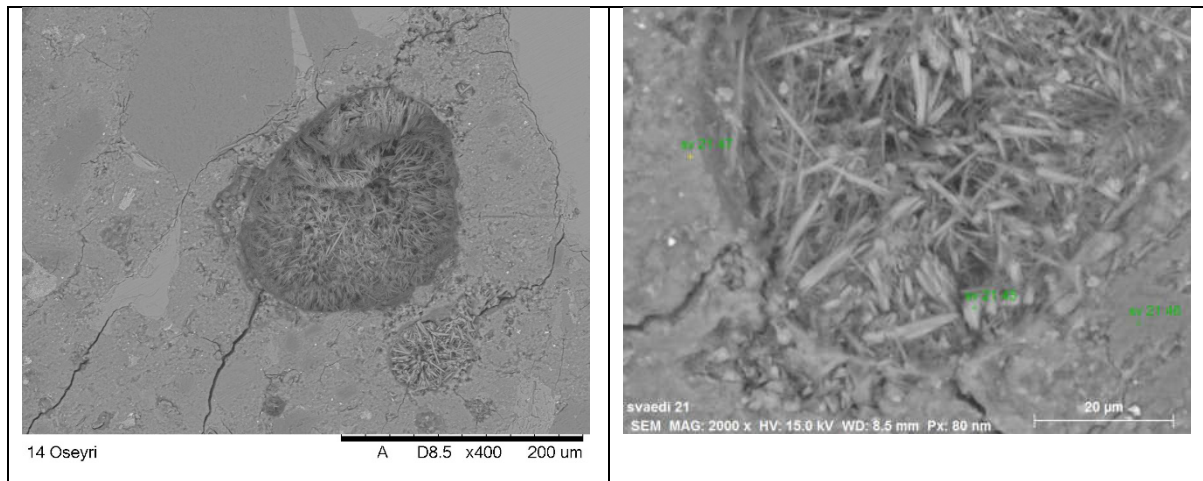
Punktur	7 32	7 33	8 35	8 37	8 38	9 39	9 41	Ettringit
Magnesium		0,15						
Ál	0,50	0,58	5,48	5,60	5,65	5,75	4,71	6,08
Kíslill	1,17	1,34	0,52	0,41	0,46	1,24	3,65	1,90
Kalsíum	30,19	23,14	28,73	26,97	29,15	28,09	25,58	24,17
Járn	2,85	3,08		0,69	0,73	0,73	0,85	0,80
Natríum		0,17						
Brennisteinn	1,84	0,95	10,61	10,04	10,53	10,40	8,03	7,54
Heild	36,55	29,41	45,35	43,72	46,52	46,21	42,81	40,49

Á Mynd 26 má sjá sprungu sem nær frá yfirborði og um 1 mm inn í sýnið. Sprungan er fönguð af fylliefni. Sprungan er með útfellingar og út frá sprungunni ganga smærri sprungur sem eru að öllu jöfnu fylltar útfellingum. Útfellingarnar finnast einnig í holrými. Samsetning á útfellingunum er gefin í Tafla 13.



Mynd 26. Rafeindasmásjármynd af yfirborði steypu úr Óseyrarbrú. Sýnið er úr neðri fjörumörkum. Yfirborðsýnisins snýr upp á myndinni. Innfelda myndin nær frá um 3 mm inn í sýnið. Stærri myndin sýnir sprungu í yfirborði steypunnar og útfellingar í sprungunni og öðrum smærri sprungum.

Á Mynd 27 og má sjá útfellinu í holrými af 1,7 til 3,3 mm dýpi, má myndinni má einnig sjá að sementsefjan lýtur mjög vel út og engin útskolun hefur á sér stað í sementsefjunni.



Mynd 27. Rafeindasmásjærmynd af steypu úr Óseyrarbrú af um 1,7 mm dýpi. Sýnið er úr neðri fjörumörkum. Yfirborðsýnisins snýr upp á myndinni. Innfelda myndin nær frá um 3 mm inn í sýnið. Á myndinni má sjá útfellingar í holrými.

Í Tafla 12 er gefin samsetning á útfellingum í holrými af 1,7 og 3,3 mm dýpi.

Tafla 12. Samsenting útfellinga í holrými.

Punktur	19 36	19 38	20 39	20 40	21 45
Magnesium		0,28			
Ál	5,35	4,54	2,37	3,68	4,50
Kísill	1,10	2,22	1,52	1,31	3,08
Kalsíum	29,11	25,31	36,14	31,92	23,11
Járn	0,67	0,64			0,51
Brennisteinn	10,14	8,41	9,12	9,64	6,68
Heild	46,37	41,41	50,40	47,16	37,88

Í Tafla 13 er gefin samsetning af sementsefjunni frá yfirborði niður á um 7 mm dýpi.

Tafla 13. Samsetning á útfellingum í sprungum og holrými.

	sv 2 11	sv 3 12	sv 3 14	sv 3 15	sv 4 16	sv 4 17	sv 4 18	sv 4 22	sv 5 23	sv 5 24	sv 5 25	sv 10 42	sv 11 44	sv 11 46	sv 12 2	sv 12 3	sv 16 21	sv 16 23	sv 17 25	sv 17 27	sv 17 29	sv 17 30	SV 18 31	sv 18 32	sv 18 33
Magnesium	0,44	0,54	4,14	2,56	3,21	0,73	1,01	1,09	0,68	2,83	2,21	1,11	1,88	1,90	0,28	0,86	0,93	5,12	0,13	0,68	8,37	2,66	2,09	1,22	0,28
Al		0,07	1,64	1,33	1,00	0,25	0,38	0,44	0,07	0,27	0,29	0,11	0,28	0,51	0,08	0,09	0,24	1,41	0,06	0,26	1,23	0,84	0,47	0,07	0,15
Kísill	0,36	0,52	7,00	5,47	3,71	1,21	0,96	1,69	0,52	2,05	2,08	0,28	3,17	2,21	0,46	0,33	1,09	6,91	0,38	1,09	11,71	1,90	2,08	0,30	0,51
Kalsíum	38,31	43,16	22,13	29,64	30,92	41,08	36,41	38,99	39,51	37,49	39,92	42,25	41,42	38,34	37,04	40,56	35,14	23,57	44,22	47,10	15,11	27,40	34,72	43,17	42,04
Járn			1,65	1,42	0,86			0,55					0,94	0,88				1,51			1,60				
Klóríð			0,27	0,07	0,10			0,06										0,09							
Natríum			0,33	0,48	0,13		0,23															0,50			
Brenni steinn	0,31	0,63	0,08	0,44	0,27	0,43	0,45	0,51	0,75	0,60	0,61	0,31	0,81	0,77	1,25	0,46	0,62	0,57	1,02	1,26	0,62	0,72	0,64	0,32	0,89
Heild	39,43	44,92	37,23	41,42	40,21	43,70	39,44	43,33	41,54	43,25	45,10	44,06	48,50	44,61	39,11	42,30	38,01	39,18	45,81	50,39	38,64	34,02	40,01	45,08	43,89

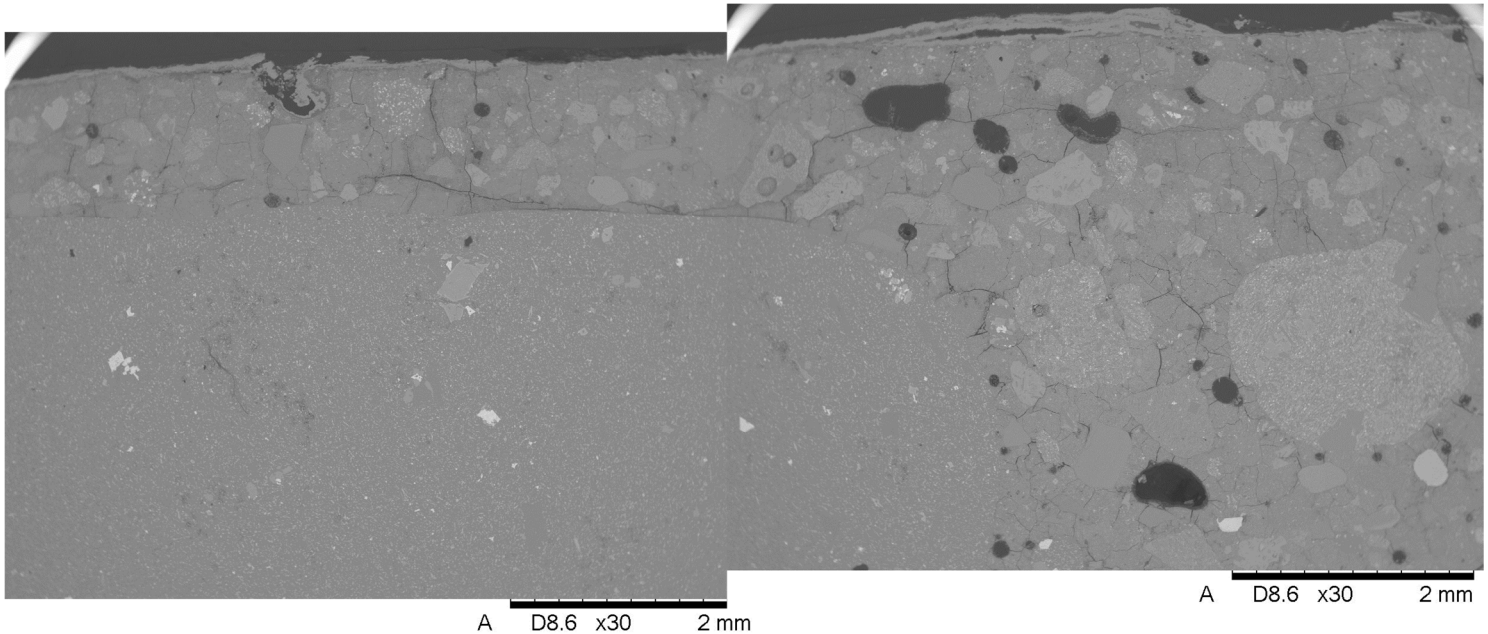
Tafla 14. Samsetning á semtsefju í sýni nr 14, frá yfirborði niður á um 7 mm dýpi

	1 1	1 2	1 3	1 4	1 5	4 19	4 20	4 21	5 26	5 27	6 31	11 50	13 6	14 13	18 34	20 41	20 42	20 43	20 44	21 47	22 48
Magnesium	4,53	4,90	4,21	4,32	2,10	4,00	7,50	9,19	9,27	15,91	1,70	13,74	3,64	7,11	11,47	0,23	0,28	0,22	0,24		
Aluminium	3,39	3,35	3,72	3,91	3,43	1,85	2,97	3,22	6,51	2,26	2,08	3,08	3,86	3,42	3,71	1,10	1,01	4,35	1,40	1,21	2,93
Silicon	14,36	14,22	15,25	14,90	14,79	11,16	16,09	10,97	16,54	16,37	16,02	18,95	9,85	13,93	16,95	13,05	10,55	4,04	11,67	14,47	21,72
Calcium	2,22	2,13	1,90	3,06	5,54	4,24	2,04	6,42	0,87	1,19	18,83	1,18	4,09	1,17	2,13	27,15	23,73	21,26	25,70	32,28	14,13
Iron	6,86	7,57	6,17	2,42	3,09	3,63	3,74	3,26	4,28	2,61	2,55	2,41	3,66	2,93	4,58	2,42	1,89	0,77	1,50	2,84	
Chlorine	0,74	0,84	0,55	0,48	0,32	0,83	0,61	0,78		0,20	0,36	0,15				0,49	0,22		0,23	1,42	0,11
Sodium	0,28	0,19	0,37	0,30	0,73	0,16	0,05	0,19			0,15	0,45		0,02	0,34	0,27	0,18	0,60	0,61		0,38
Potassium	0,47	0,28	1,32	0,38	0,61	0,45	0,34	0,20	1,25			0,15									1,83
Sulfur	0,10	0,09				0,01		0,10	0,12	0,32	0,95	0,13	1,29	1,51	0,90	2,82	3,99	6,60	5,68	1,29	
Heild	32,95	33,56	33,49	29,78	30,60	26,34	33,34	34,32	38,84	38,86	42,64	40,24	26,39	30,09	40,07	47,54	41,85	37,84	47,04	53,50	41,10

4.2.1.2 Kolgrafarfjarðarbrú

Efri fjörumörk

Eitt sýni (ca 3 x 5 cm) var rannsakað með rafeindasmásjá úr efri fjörumörkum, sýni nr. 9. Eins og kom fram bæði við sjónskoðun og smásjárskoðun þá greindust engar skemmdir í yfirborði sýnisins. Við rafeindasmásjargreiningu af yfirborðinu kom það berlega í ljós að engar skemmdir hafa átt sér stað í steypunni, sjá Mynd 28. Engin efnaskipti hafa átt sér stað milli sementsefju og sjávar, hvorki útskolun á kalsíum eða upptaka á magnesíum. Auk þess sem sprungufyllingar og úfellingar í holrými eru ekki til staðar. Á yfirborðinu má sjá tiltölulega þunnt kalsítlag.



Mynd 28. Rafeindasmásjármyndir af yfirborði steypu úr Kolgrafarfirði. Sýnið er úr efri fjörumörkum. Yfirborðsýnisins snýr upp á myndinni. Myndirnar ná frá yfirborði um 5 mm inn í steypuna. Engin útskolun á kalsíum og upptaka á magnesíum hefur átt sér stað teypunni. Á yfirborði steypunnar má sjá tiltölulega þunnt kalsítlag.

Samsetning sementsefjunnar var efnagreind á þremur stöðum við yfirborðið og eru niðurstöðurnar gefnar í Tafla 15. Eins og sjá má er kalsíum magnið um 30 % og magnesíum alltaf undir 1 %. Miðað við þetta hefur engin útskolun á kalsíum og upptaka á magnesíum átt sér stað. Kísillinn er um 10 % og brennisteinn er vel undir 1 %.

Tafla 15. Samsetning á sementsefju við yfirborð

	4-2 3	4-2 4	4-2 5
Magnesíum	0,21	0,21	0,88
Ál	1,68	1,51	1,02
Kísill	9,76	5,41	11,36
Kalsíum	29,87	35,70	33,79
Járn	1,26	1,01	2,30
Klóríð	0,64	0,93	1,74
Brennisteinn	0,68	0,41	0,61
Heild	44,10	45,18	51,70

Samsetning sementsefjunnar var efnagreind á fjórum stöðum á um 20 mm dýpi og eru niðurstöðurnar gefnar í Tafla 16. Samsetning sementsefjunnar er mjög svipuð og við yfirborð og ber engin merki um að skemmdaferli eigi sér stað, ef undan er skilinn er styrkur klóríðs en hann er um 1 %.

Tafla 16. Samsetning á sementsefju við yfirborð við um 20 mm dýpi

	2-2 3	2-2 4	2-2 5	2-2 7
Magnesium	0,86	1,41	0,31	0,63
Ál	0,99	1,13	2,45	2,14
Kísill	10,52	10,93	8,62	9,76
Kalsíum	29,32	27,98	32,19	27,60
Járn	1,78	2,11	1,93	1,92
Klóríð	0,66	0,50	1,43	1,32
Natríum		0,07		0,14
Kalíum		0,14		0,20
Brennisteinn	0,28	0,20	0,48	0,19
Heild	44,41	44,48	47,41	43,90

Samsetning sementsefjunnar var efnagreind á tveimur stöðum á um 28 mm dýpi og eru niðurstöðurnar gefnar í Tafla 17. Samsetning sementsefjunnar er mjög svipuð og við yfirborð og ber engin merki um að skemmdaferli eigi sér stað. Klóríð er komið undir 0,5 %.

Tafla 17. Samsetning á sementsefju við yfirborð við um 28 mm dýpi

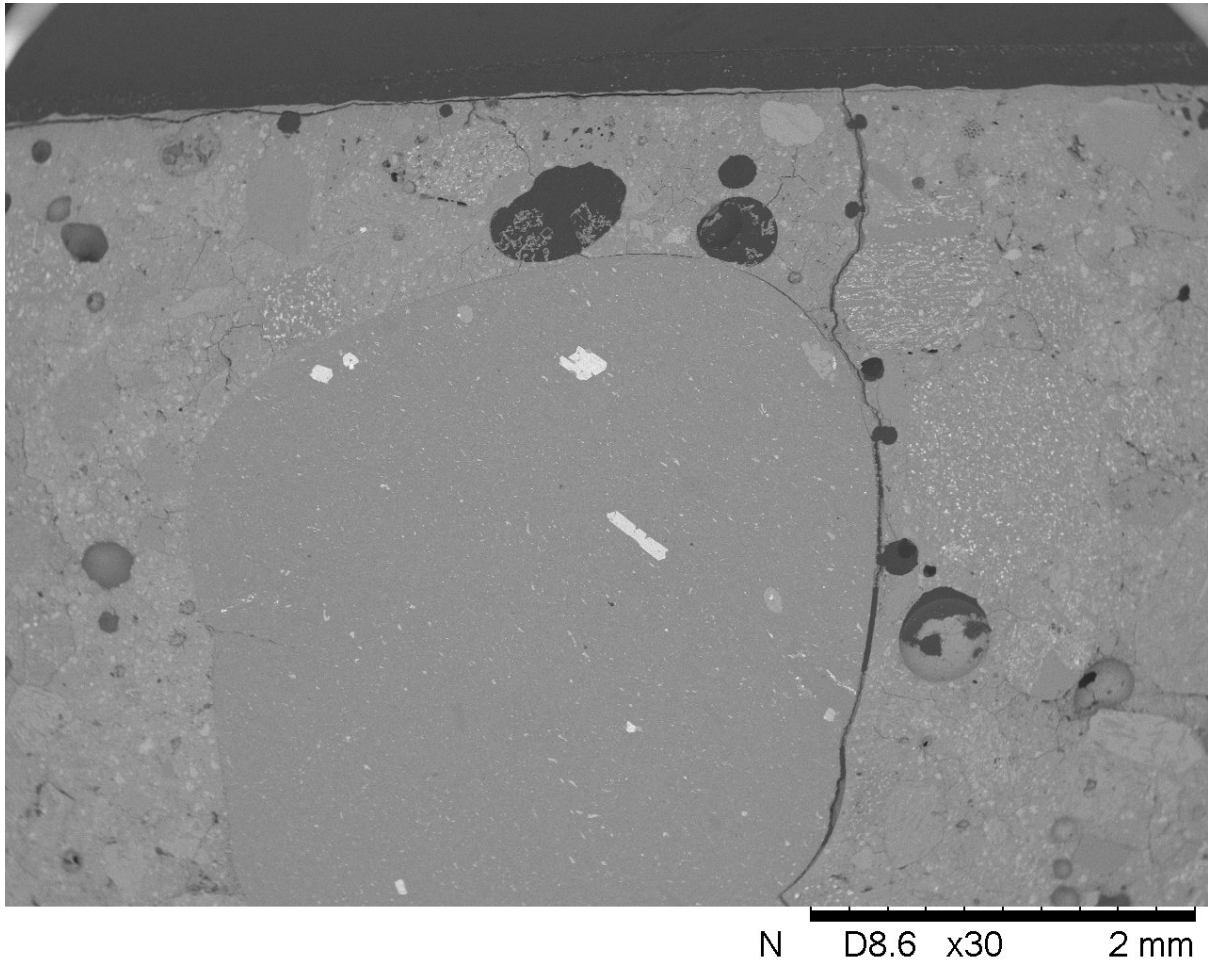
	3-1 1	3-1 6
Magnesium	0,44	0,58
Ál	1,47	1,43
Kísill	10,60	10,94
Kalsíum	29,40	30,23
Járn	1,29	1,12
Klóríð	0,36	0,43
Natríum	0,08	
Kalíum	0,23	
Brennisteinn	0,82	0,52
Heild	44,69	45,25

Neðri fjörumörk

Eitt sýni (u.þ.b. 3 x 5 cm) var rannsakað með rafeindasmásjá úr efri fjörumörkum, sýni nr. 6. Eins og kom fram bæði við sjónskoðun þá greindust engar skemmdir í yfirborði sýnisins. Við smásjárskoðunina mátti sjá sprungumyndun, u.þ.b. samsíða yfirborði á um 1 til 3 mm dýpi, sjá Mynd 51. Sjá má útfellingar í sprungunum.

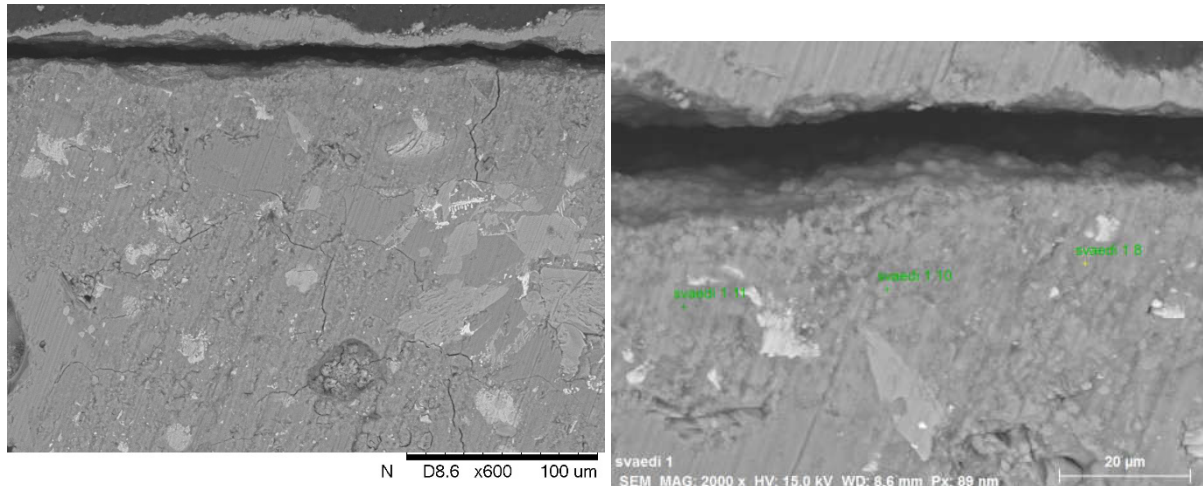
Í rafeindasmásjargreiningu af yfirborðinu kom það berlega í að engar skemmdir hafa átt sér stað í steypunni. Takmörkuð efnaskipti hafa átt sér stað milli sementsefju og sjávar. Í sýninu sem var

rannsakað voru engar láréttar sprungur til staðar en nokkrar sprungur hornréttar á yfirborðið voru til staðar. Á yfirborðinu má sjá tiltölulega þunnt kalsítlag, sjá Mynd 29.



Mynd 29. Rafeindasmásjármyndir af yfirborði steypu úr Kolgrafarfirði. Sýnið er úr neðri fjörumörkum. Yfirborðsýnisins snýr upp á myndinni. Myndirnar ná frá yfirborði um 4 mm inn í steypuna. Engin útskolun á kalsíum og upptaka á magnesíum hefur átt sér stað í steypunni. Á yfirborði steypunnar má sjá tiltölulega þunnt kalsítlag. Á myndinni má sjá sprungu sem gengur u.þ.b. hornrétt frá yfirborði inn í steypuna.

Samsetning á sementsefjunni var fundin á nokkrum stöðum sem og samsetning á útfellingunni á yfirborði. Staðsetning á efnagreiningunum er gefin á Mynd 30 og niðurstöður efnagreininganna eru gefnar í Tafla 18.



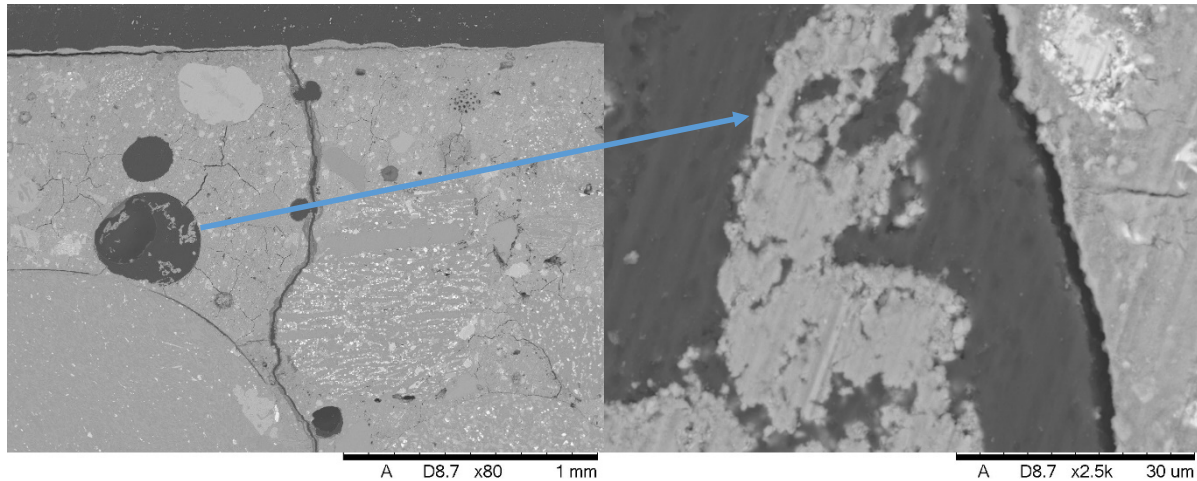
Mynd 30. Rafeindasmásjármyndir af yfirborði steypu úr Kolgrafarfirði. Sýnið er úr neðri fjörumörkum. Yfirborðsýnisins snýr upp á myndinni. Myndin t.v. nær frá yfirborði um 0,2 mm inn í steypuna. Á myndin t.h. má sjá staðsetningar á efnagreiningum sem gerðar voru á sementefjunni.

Útfellingin á yfirborði, greining 1-7, er kalsít. Sementsefjan, greiningar 1-1 og 1-11, hafa um 30 % kalsíum og um 2 % magnesíum. Greinilegt er að tiltölulega lítil útskolum af kalsíum og upptaka af magnesíum hefur átt sér stað. Greiningar 1-8 og 1-10 eru af kalsít fösum í sementsefjunni.

Tafla 18. Svæði samsetning á útfelling á yfirborði og sementefju við yfirborð.

	1-1 Efja	1-7 Útfelling	1-8 Kalsít	1-10 Kalsít	1-11 Efja
Magnesíum	2,49	0,22	0,44	0,51	1,82
Ál	0,97	0,25	0,30	0,42	1,86
Kísill	5,41	0,45	1,29	1,59	5,42
Kalsíum	30,43	43,05	39,53	41,19	29,69
Járn	1,12				2,87
Klóríð	0,33	0,11		0,02	0,25
Natríum	0,62	0,36	0,25	0,12	0,70
Kalíum	0,17				0,22
Brennisteinn	0,26	0,15	0,06	0,07	0,11
Heild	41,80	44,61	41,86	43,91	42,94

Á Mynd 31 má sjá útfellingar í holrými við yfirborðið. Samsetning á útfellingunum eru gefnar í Tafla 19.



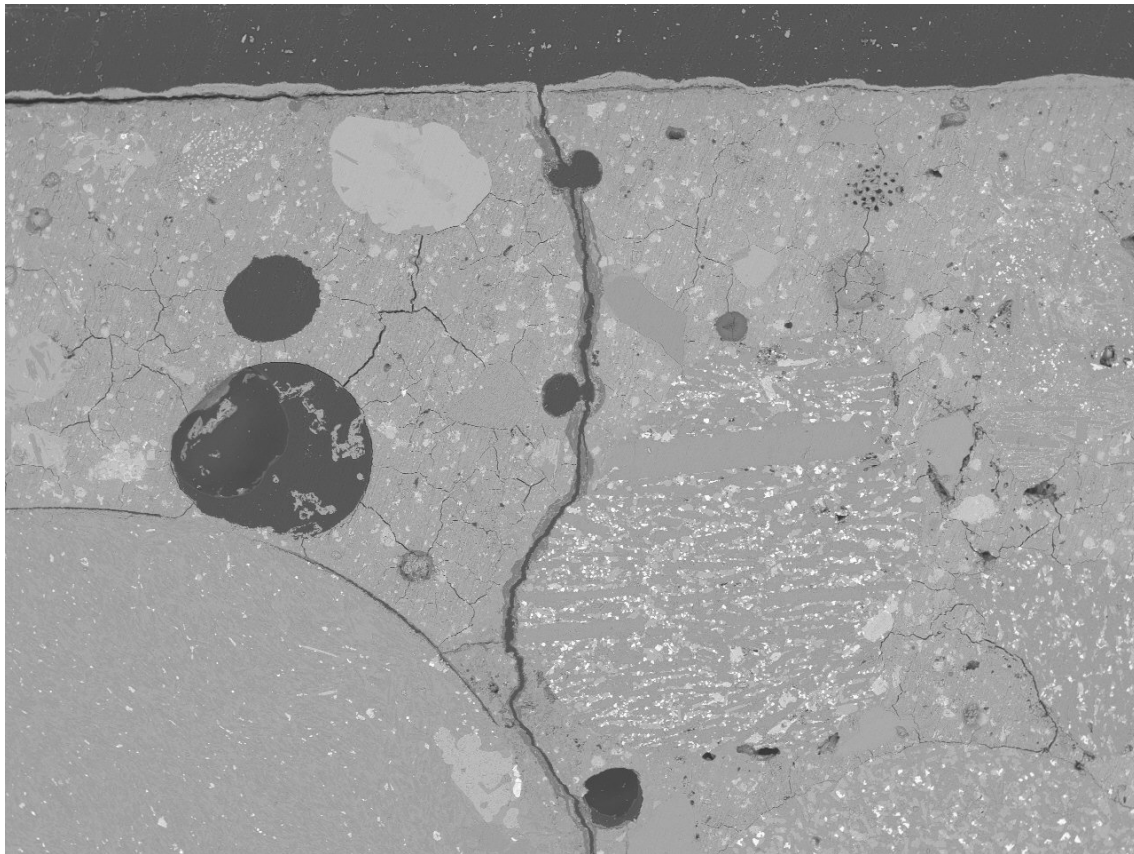
Mynd 31. Rafeindasmásjármyndir af yfirborði steypu úr Kolgrafarfirði. Sýnið er úr neðri fjörumörkum. Yfirborðsýnisins snýr upp á myndinni. Á myndinni má sjá útfellingar í holrými og á myndin t.h. má sjá útfellingarnar í meiri stækkun.

Efnagreiningar 2-1 og 2-2 eru kalsít og greining 2-4 er af sementsefju með rúmlega 10 % kísil og rétt innan við 2 % af járni og brennisteini.

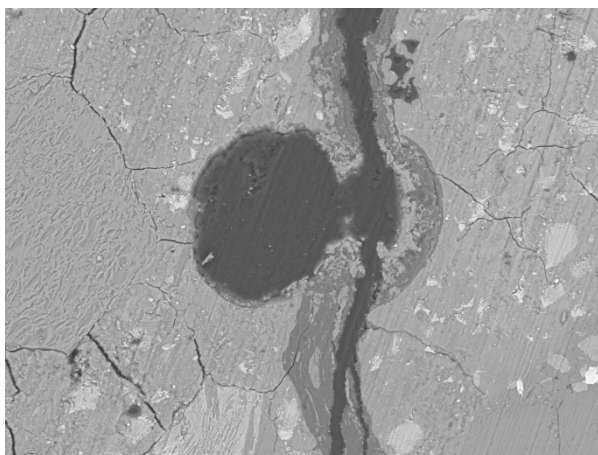
Tafla 19. Svæði samsetning á útfelling í holrými.

	2-1	2-2	2-4 Efja
Ál			1,22
Kísill		0,13	10,38
Kalsíum	48,81	51,20	35,52
Járn			1,93
Klóríð	0,20	0,13	0,77
Brennisteinn	0,27	0,22	1,62
Heild	49,28	51,68	51,43

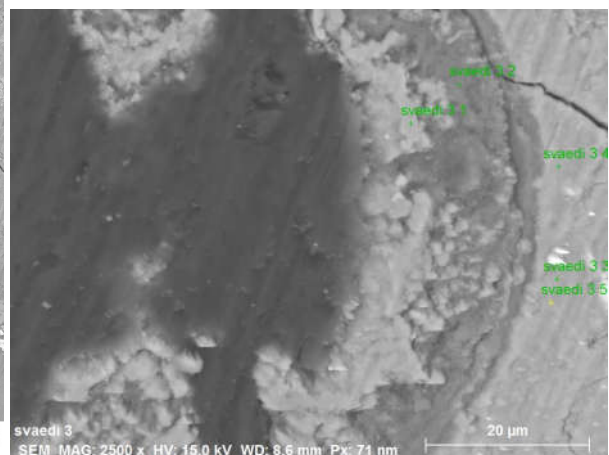
Á Mynd 32 má sjá sprungu sem liggur hornrétt á yfirborð steypunnar. Sprungan nær í gegnum svæðið sem er sýnt á myndinni. Hægt er að rekja sprunguna niður á um 6 mm dýpi. Sjá má útfellingar í sprungunni a.m.k. niður á um 3,5 mm dýpi. Samsetning á útfellingunum sem sjást á Mynd 32 var fundinn og niðurstöður efnagreininganna ásamt efnasamsetningu á aðliggjandi sementsefju eru gefnar í Tafla 20.



A D8.7 x80 1 mm



A D8.7 x600 100 µm



svæði 3
SEM MAG: 2500 x HV: 15.0 kV WD: 8.6 mm Px: 71 nm
svæði 1
svæði 2
svæði 3
svæði 4
svæði 5
20 µm

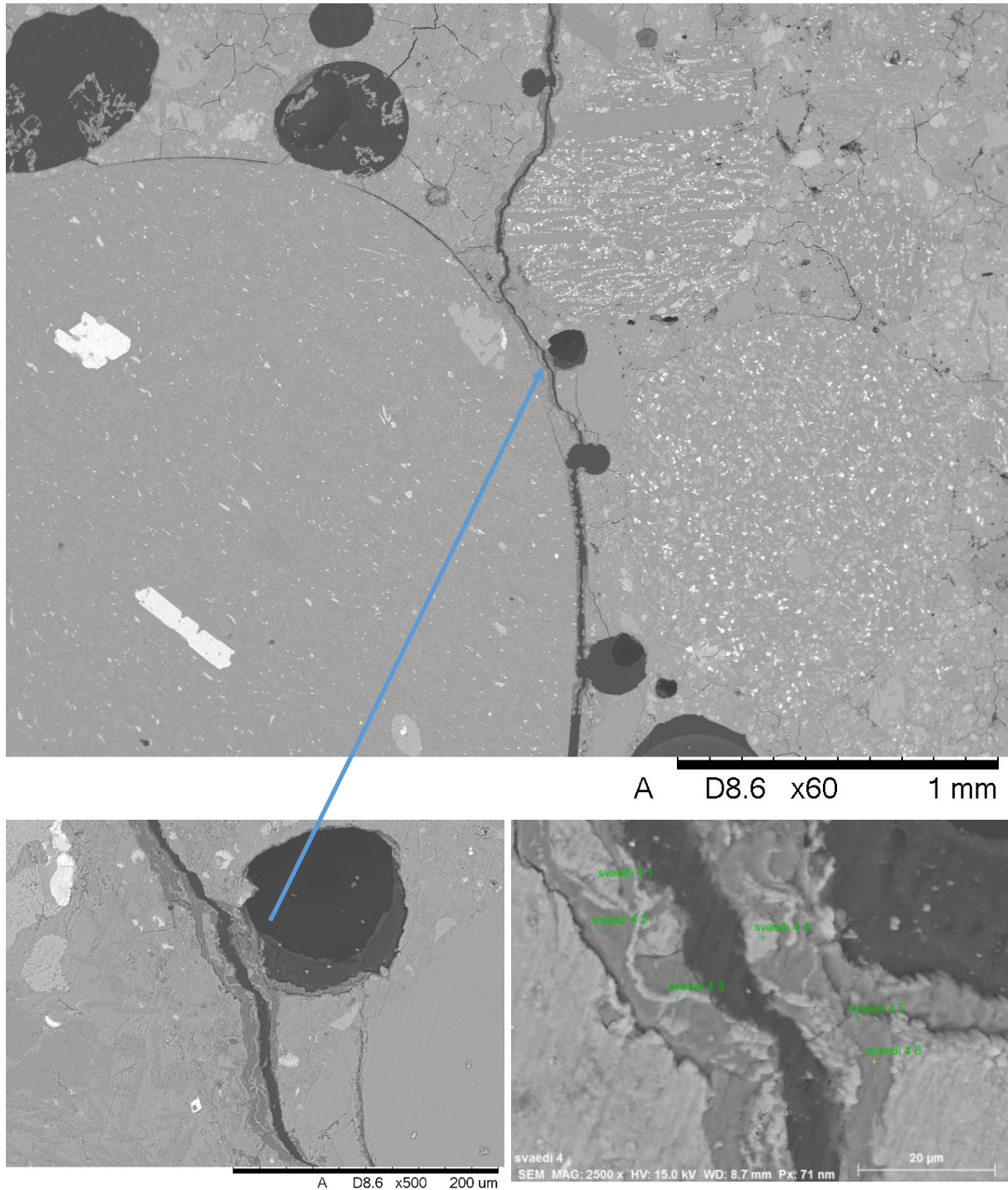
Mynd 32. Rafeindasmásjármyndir af yfirborði steypu úr Kolgrafarfirði. Sýnið er úr neðri fjörumörkum. Yfirborðsýnisins snýr upp á myndinni. Á myndinni má sjá sprungu sem liggur hornrétt á yfirborðið. Útfellingar eru í sprungunni og á neðri myndunum má sjá útfellingarnar í meiri stækkun og hvar efnagreiningar voru gerðar.

Útfellingarnar í sprungunni eru annars vegar ljósgráar (greining 3-1) og hins vegar dökkgráar (greining 3-2). Ljósgrái fasinn er kalsíumríkur og dökkgrái fasinn er magnesíumríkur. Sementsefjan, greiningar 3-3 og 3-5 eru svipaðar og fyrri greiningar. Athygli vekur að klóríð magnið er tiltölulega hátt eða tæp 3 %.

Tafla 20. Samsetning á útfelling í holrými sem og aðliggjandi sementsefju á um 0,7 mm dýpi.

Punktur	3-1 Ljósgrá útfelling	3-2 Dökkgrá útfelling	3-3 Efja	3-5 Efja
Magnesium	2,28	26,34	0,25	0,22
Ál			1,32	1,18
Kísill	0,41		9,16	8,94
Kalsíum	38,88	2,20	31,93	33,00
Járn			0,98	0,87
Klóríð	0,14	1,06	2,83	2,86
Natríum	2,74		0,33	0,29
Brennisteinn	0,05		1,58	1,84
Heild	44,51	29,59	48,38	49,20

Á Mynd 33 má sjá yfirborðs sprunguna þar sem hún liggur milli tiltölulega stórs fylliefnis og sementsefju. Sjá má bæði ljósar og dökkar útfellingar í sprungunni. Samsetning á útfellingunum sem sjást á Mynd 33 var fundinn og niðurstöður efnagreininganna ásamt efnasamsetningu á aðliggjandi sementsefju eru gefnar í Tafla 21.



Mynd 33. Rafeindasmásjármyndir af yfirborði steypu úr Kolgrafarfirði. Sýnið er úr neðri fjörumörkum. Yfirborðsýnisins snýr upp á myndinni. Á myndinni má sjá sprungu sem liggur hornrétt frá yfirborðið. Útfellingar er í sprungunni og á neðri myndunum má sjá útfellingarnar í meiri stækkun og hvar efnagreiningar voru gerðar. Neðri myndirnar eru teknar af um 1,5 mm dýpi. Útfellingar er í sprungunni og á neðri myndunum má sjá útfellingarnar í meiri stækkun og hvar efnagreiningar voru gerðar.

Útfellingarnar í sprungunni eru annars vegar ljósgráar (greiningar 4-3 og 4-4) og hins vegar dökkgrár (greiningar 4-2 og 4-6). Eins og áður er ljósgrái fasinn er kalsíumríkur og dökkgrái fasinn er magnesíumríkur. Greining 4-3 virðist vera gerð af blöndu beggja fasanna.

Tafla 21. Samsetning á útfelling í holrými á um 1,5 mm dýpi.

Punktur	4-2	4-3	4-4	4-6
Magnesíum	30,76	13,48	0,92	28,86
Ál				
Kísill	0,57	0,31	0,64	0,54
Kalsíum	0,53	27,14	43,58	4,27
Klóríð		0,23		0,64
Natríum		0,41	0,48	
Brennisteinn		0,27		
Heild	31,86	41,83	45,62	34,30

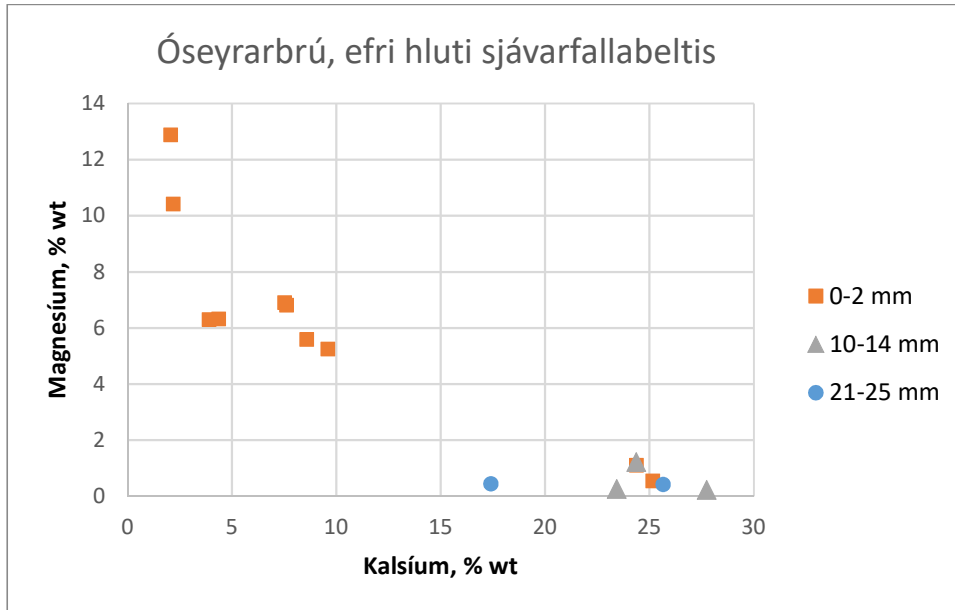
Mögulegt var að rekja útfellingarnar í sprungunni niður á um 3,5 mm dýpi. Ekki var að sjá neinar útfellingar í sementsefjunni neðar. Samsetning sementsefjunnar var fundinn á um 10 mm dýpi og eru niðurstöður nokkurra greininga gefnar í Tafla 22. Efnagreiningar af sementsefjunni, greiningar 1-1, 1-3 og 1-4 eru svipaðar og fyrri greiningar. Athygli vekur að klóríð magnið er tiltölulega hátt eða frá 1,7 til 3,3 %.

Tafla 22. Samsetning á sementsefju á um 10 mm dýpi

Punktur	1 1	1 3	1 4
Magnesíum	0,13	0,18	0,22
Ál	0,52	0,87	1,88
Kísill	8,96	8,99	5,37
Kalsíum	28,27	30,30	25,32
Járn	0,98	1,41	10,26
Klóríð	3,35	2,50	1,69
Brennisteinn	0,45	0,88	0,68
Heild	42,66	45,13	45,43

5. Helstu niðurstöður

Verulegar steypuskemmdir hafa átt sér stað í stöplum Óseyrarbrúar. Skemmdirnar lýsa sér sem yfirborðs flögnun í sementsefju. Flögnunin er mest í neðri hluta sjávarfallabeltis og minnkar upp með sjávarfallabeltinu. Efst í því belti hefur engin flögnun átt sér stað. Þegar sýni úr steypu úr efri hluta sjávarfallabeltis eru skoðuð með rafeindasmásjá má sjá að þrátt fyrir að engin yfirborðsflögnun hefur átt sér stað, þá ber steypan merki um veruleg efnaskipti hafa átt sér stað á milli steypu og sjávar. Veruleg útskolun af kalsíum átt sér stað og upptaka á magnesíum. Á Mynd 34 má sjá samband á milli kalsíum og magnesíum í sementsefju úr efri hluta sjávarfallabeltis. Efnagreiningarnar voru gerðar á sementsefju frá yfirborði og niður á um 25 mm dýpi. Á dýptarbilinu frá 0 til 2mm eiga veruleg efnaskipti sér stað milli sjávar og steypu. Magnesíum gengur inn í steypuna og kalsíum gengur út. Fyrir neðan 10 mm dýpi eiga þessi efnaskipti sér ekki lengur stað.

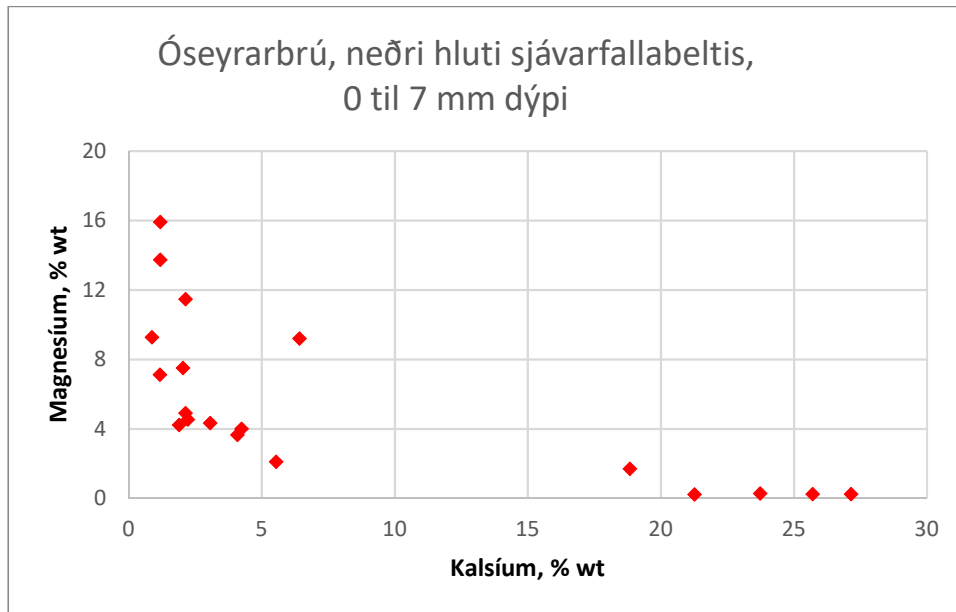


Mynd 34. Samband á milli kalsíum og magnesíum í sementsefju úr efri hluta sjávarfallabeltis í Óseyrarbrú. Efnagreiningarnar voru gerðar á sementsefju frá yfirborði og niður á um 25 mm dýpi. Á dýptarbilinu frá 0 til 2mm eiga veruleg efnaskipti sér stað milli sjávar og steypu. Magnesíum gengur inn í steypuna og kalsíum gengur út. Fyrir neðan 10 mm dýpi eiga þessi efnaskipti sér ekki lengur stað.

Samfara áður nefndum efnaskiptum er sementsefjan verulega sprungin, þar sem örsprungur liggja um sementsefjuna, sjá t.d. Mynd 12. Sprungurnar eru fylltar kalsíum ríkuefni, auk þess sem kísilmagnið er nokkuð hátt sem og magnesíum. Útfellingarnar í sprungunum virðast ekki vera til staðar í sementsefju við yfirborð þar sem mikið magn af magnesíum er til staðar og þá lítið af kalsíum. Í neðri hluta þessa svæðis er algengt að sjá útfellingar í holrými, sbr. Mynd 14. Samsetning þessara útfellinga bendir til þess að um sé að ræða annars vegar thaumasite og hins vegar gifs. Báðar þessar steindir eru einkennandi fyrir svo kallaðar súlfat skemmdir. Slíkar skemmdir eru t.d. vel þekktar í steinsteyptum mannvirkjum sem standa í og við sjó. Að öllu jöfnu eru steindirnar verulegur skaðvaldur í steypu.

Fyrir neðan um 2 mm dýpi er ekki hægt að finna ummerki um skemmdaferli í steypu úr efri sjávarfallabelti.

Í neðri hluta sjávarfallabeltis er skemmdaferlið nokkuð frábrugðið efri hlutanum. Veruleg útskolun á magnesíum og upptaka á kalsíum hefur átt sér stað, sjá Mynd 35.



Mynd 35. Samband á milli kalsíum og magnesíum í sementsefju úr neðri hluta sjávarfallabeltis í Óseyrarbrú. Efnagreiningarnar voru gerðar á sementsefju frá yfirborði og niður á um 7 mm dýpi.

Örsprungumyndunin er til staðar í neðra sjávarfallabeltinu, sbr. Mynd 28. Meðalsamsetning á útfellingunum í efri og neðri hluta sjávarfallabeltis er gefin í Tafla 23. Til samanburðar er gefin samsetning á útfellingum í örsprungum í steypu úr neðri hluta sjávarfalla í Borgarfjarðarbrú⁷. Ekki er mikill munur á samsetningu á útfellingum í steypu úr efri og neðri hluta sjávarfalla. Útfellingar í Borgarfjarðarbrú eru með svipaða samsetningu, en ál-, kísil- og járn magnið er þó töluvert lægra í Borgarfjarðarbrú. Það er ekki ljóst hvað steintegund um ræðir en væntanlega eru þó um einhverskonar kalsíum karbónat.

Tafla 23. Meðaltals samsetning útfellinga í örsprungum í steypu úr efri og neðri hluta sjávarfallabeltis. Til samanburðar er gefin samsetning á útfellingum í örsprungum í steypu úr Borgarfjarðarbrú.

	EFM	NFM	Borgarfjarðarbrú
Magnesium	2,71	1,88	0,50
Ál	0,77	0,48	0,06
Kísill	3,80	2,32	0,65
Kalsíum	30,25	36,39	41,26
Járn	1,09	1,18	0,31
Klóríð	0,16	0,12	0,05
Natríum	0,26	0,34	0,14
Brennisteinn	0,57	0,61	0,64
Heild	39,61	43,31	43,61

Í stað thaumasite og gífs útfellinga í holrými er komið ettringite. Þessar steindir hafa ekki fundist í sprungum og því er ekki ljóst hvaða hlutverki þær gegna í skemmdarferlinu. Athyglisvert er að svo virðist sem myndun á ettringite eigi sér stað í sementsefjunni, sbr. Mynd 24. Að öllum líkindum hefur slík myndun í för með sér þenslu sem getur leitt til sprungumyndunar í sementsefjunni.

Ekki liggur ljóst fyrir hver hin raunverulega ástæða skemmdanna í bæði Borgarfjarðarbrú og Óseyrarbrú er. Grunurinn beinist að orsprungunum og útfellingunum í þeim. Þessi tvö ferli valda því að þensla myndast í steypunni við yfirborðið sem síðan veldur flögnun í sementsefjunni. Thaumaside og gifs myndun í steypu er vanalega talin vera mikill skaðvaldur. Þó er ekki ljóst hvort myndun þessara steinda hefur neikvæð áhrif á steypuna. Þar sem thaumaside og gifs finnast á engin flögnun sér stað og því ekki hægt að tala um myndun þessara steinda sem skaðvald. Hins vegar þar sem flögnun hefur átt sér stað finnst hvorki thaumaside né gifs, en ettringit er komið í staðinn.

Staðan er töluvert önnur þegar kemur að steypunni í Kolgrafarfirði. Mjög takmörkuð efnaskipti hafa átt sér stað milli sementsefju og sjávar. Við smásjárgreiningu á sýni úr neðri hluta sjávarfalla mátti sjá sprungur sem lágu u.þ.b. samsíða yfirborði, sjá Mynd 51 og Mynd 52. Í þessu útfellingum mátti greina náralaga steindir. Í sýninu sem greint var með rafeindasmásjá fundust engar láréttar sprungur, hins vegar fannst a.m.k. ein lóðrétt sprunga sem lá hornrétt frá yfirborði og inn í sýnið. Í sprungunni voru tveir útfellingafasar annars vegar ljós grár fasi og hins vegar dökk grár fasi, sjá Mynd 32 og Mynd 33. Ljósí fasinn er kalsíum ríkur og er væntanlega kalsíum karbónat og dökki fasinn er magnesíumríkur og er væntanlega magnesíum karbónat. Uppruni magnesíum er úr sjónum og líklega kemur kalsíum einnig úr sjónum, a.m.k. hefur lítil sem engin útskolun af kalsíum úr sementefjunni átt sér stað. Væntanlega eru þessir fasar ekki miklir skaðvaldar, þar sem myndun þeirra er mjög takmörkuð í sýninu.

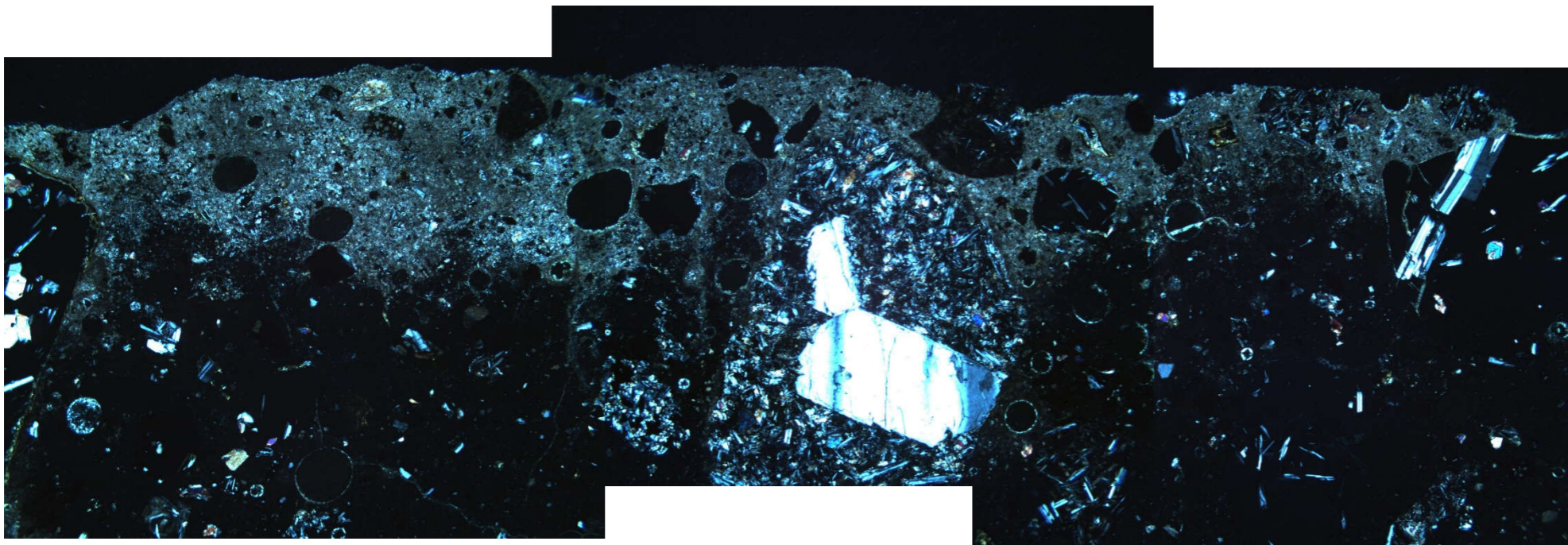
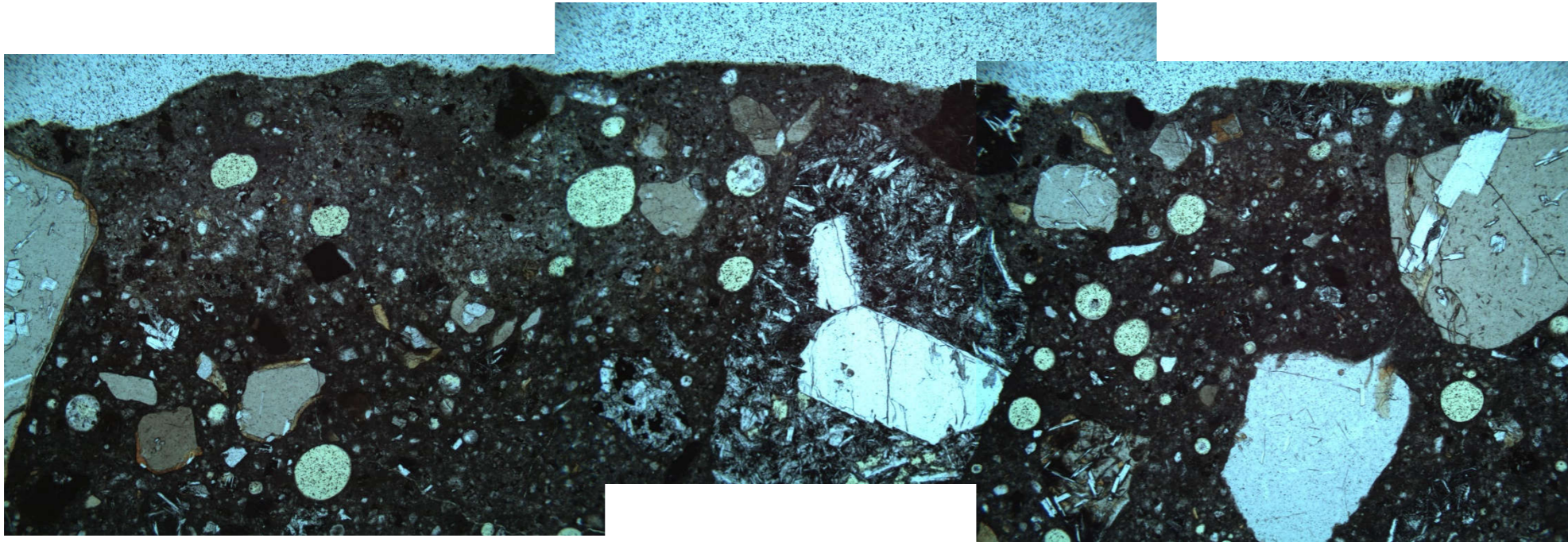
6. Samantekt

Skemmdir í Óseyrarbrú eru að öllu leyti sambærilegar við skemmdir í Borgarfjarðarbrú. Framgangur skemmdanna er þó hægari í Óseyrarbrú en í Borgarfjarðarbrú. Um er að ræða steypuskemmdir þar sem orsprungur og útfellingar í þeim valda flögnun í yfirborði steypunnar. Aðal áhrifavaldar eru kalsíum og magnesíum útfellingar. Magnesíum kemur úr sjónum og kalsíum verður til við útskolun þessu úr sementefjunni. Þó er ekki loku fyrir það skotið að kalsíum komi einnig úr sjó.

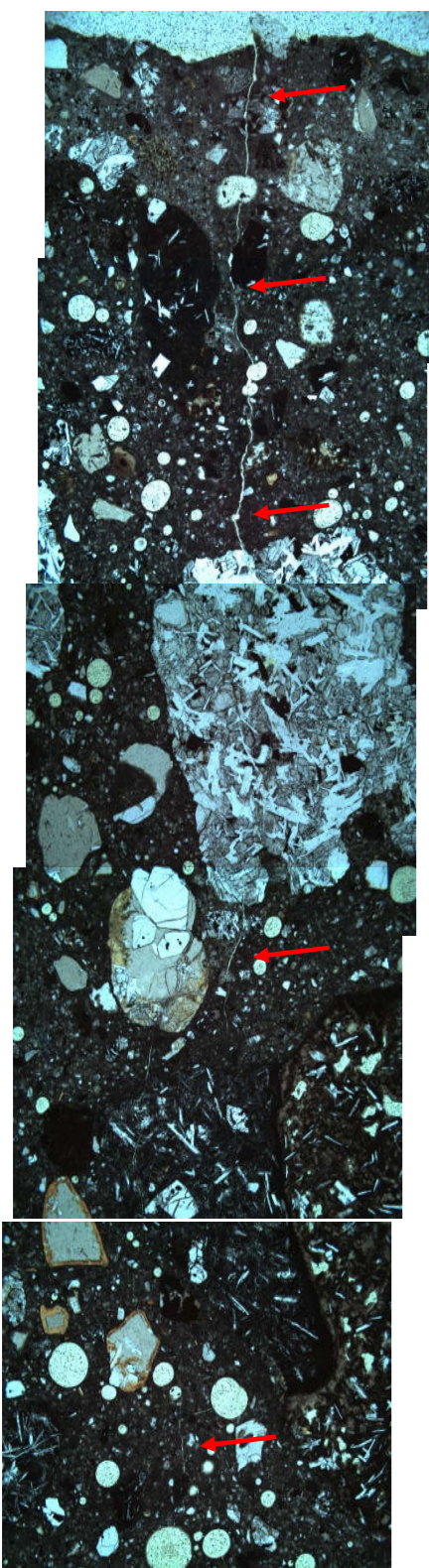
Markmið verkefnisins var að það lægi fyrir skýr gögn um hvort sú steypugerð, sem Vegagerðin hefur notað undanfarin ár henti í sjávarfallaumhverfi eða hvort þróa þurfi nýjar blöndur. Nú eru steypurnar í þessum fjórum mannvirkum svipaðar, en hafa þróast með tíma eins og búast má við. Þróunin byggir aðalega á auknu sementsmagni pr. m³, en einnig mismunandi sementstegund. Borgarfjarðarbrú var steipt með íslensku hraðsementi, með engu kísilyki. Óseyrarbrú var steipt með Blöndusementi sem er með 10 % kísilyk og 25 % fín malað líparít. Síðan voru Dýrafjarðarbrú og Kolgrafafjarðarbrú steiptar með íslensku sementi með 7,5 % kísilyki. Fylliefni sem notuð voru í steypurnar voru í öllum tilvikum fengin á staðnum og eru því mismunandi í hverri steypu. Þar sem fylliefni eru ekki talin hafa áhrif á framgang skemmdanna eru gæði þeirra og gerð ekki tíunduð hér. Yfirborðsflögnun á sér stað í steypum í Borgarfjarðarbrú og Óseyrarbrú, en ekki í steypum í Dýrafjarðarbrú og Kolgrafafjarðarbrú. Þar sem síðustu tvær brýrnar eru með u.þ.b. eins steypugerð verður að telja að sú steypugerð sem Vegagerðin hefur verið að nota hentar ágætlega í sjávarfallaumhverfi. Þess ber þó að geta að loftkerfið í sýnum úr öllum brúnum er ekki nógu gott til þess að vernda steypuna gegn frost/þíðu-niðurbroti.

Greiningar steypuskemmdum í Óseyrarbrú eru ekki beint afgerandi varðandi af hverju sement eins og Blöndusement sem er með um 35 % af possólan íauka sé að skemmast í sjávarfalla umhverfi. Miðað við þær steindir sem mynduðust í steypunni er ljóst að sýrustigið hefur verið tiltölulega lágt. Nú er possólansemet eins og Blöndusement einnig með tiltölulega lágt pH gildi. Þannig gæti Blöndusement stuðlað frekar að skemmdum eins og fram komu í Óseyrarbrú, en t.d. Portlandsement sem er með einungis um 7,5 % kísilyk. Portlandsement eins og notað var í bæði Kolgrafafjarðarbrú og Dýrafjarðarbrú hefur mun hærra pH gildi en t.d. Blöndusement.

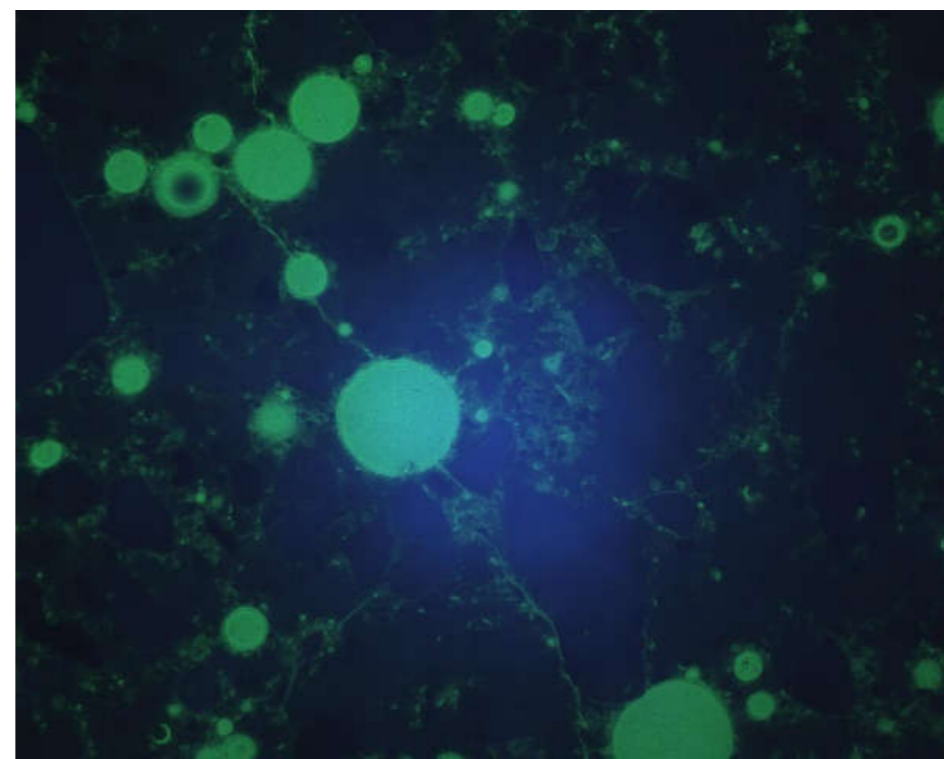
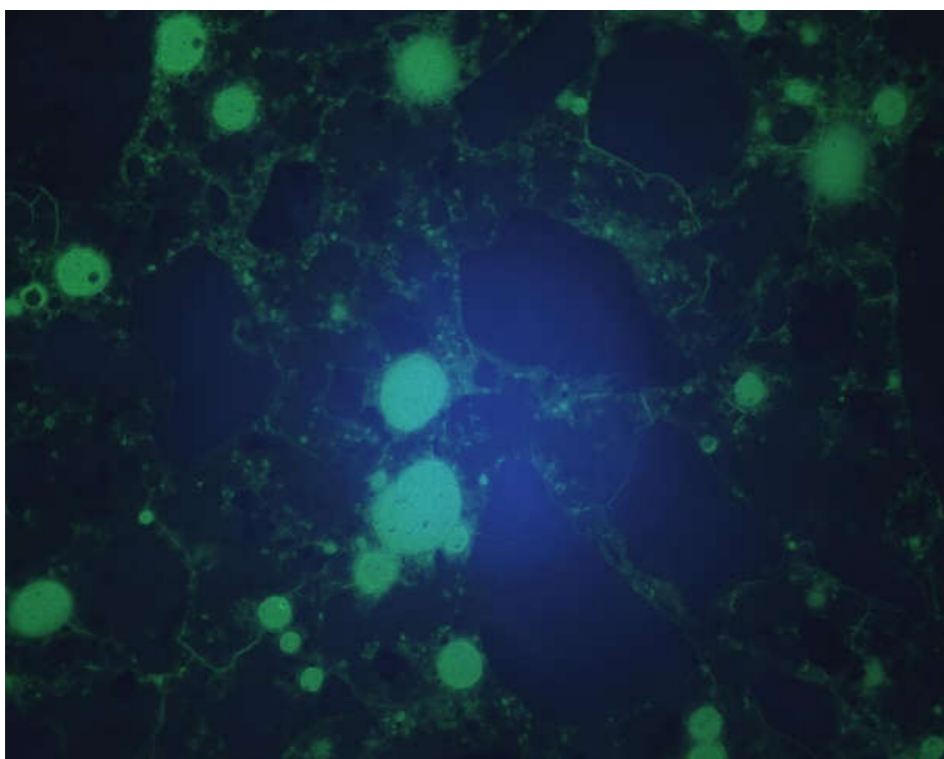
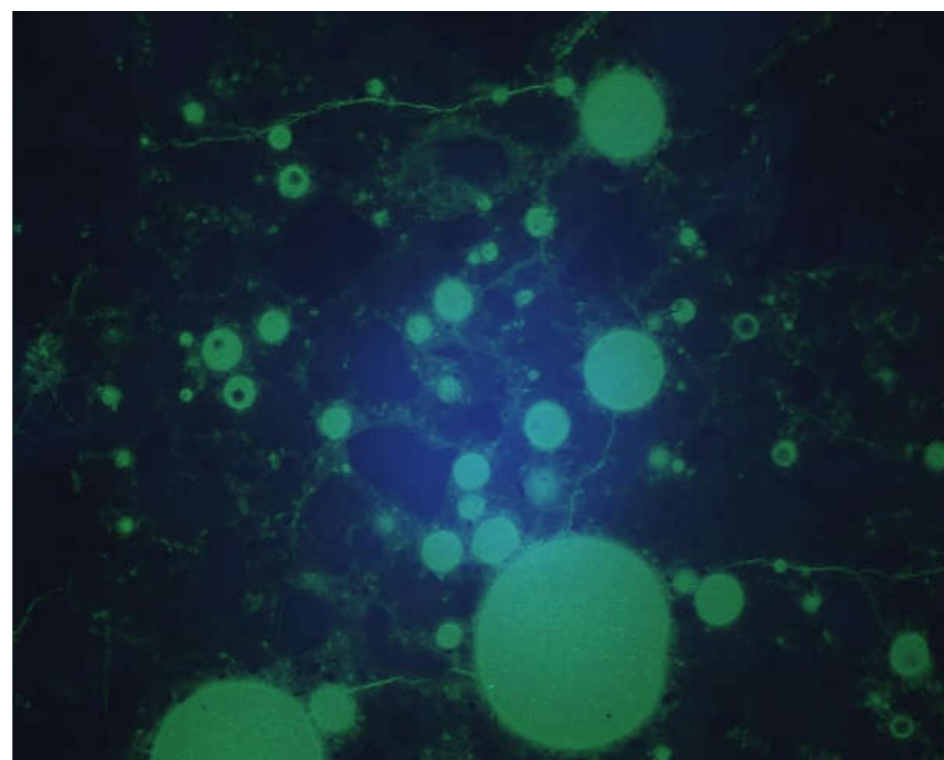
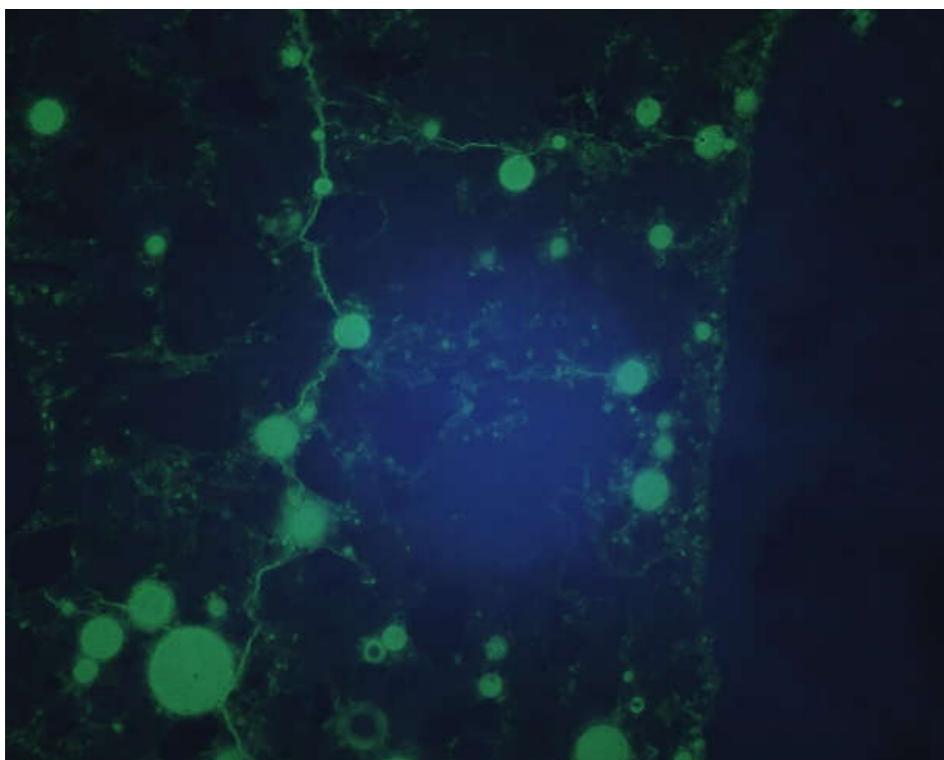
Alla veganna þá kemur steypan í bæði Dýrafjarðarbrú og Kolgrafafjarðarbrú mjög vel út og ekki er að búast við sambærilegum skemmdum í þeim eins og í Óseyrarbrú, sem og í Borgarfjarðarbrú.



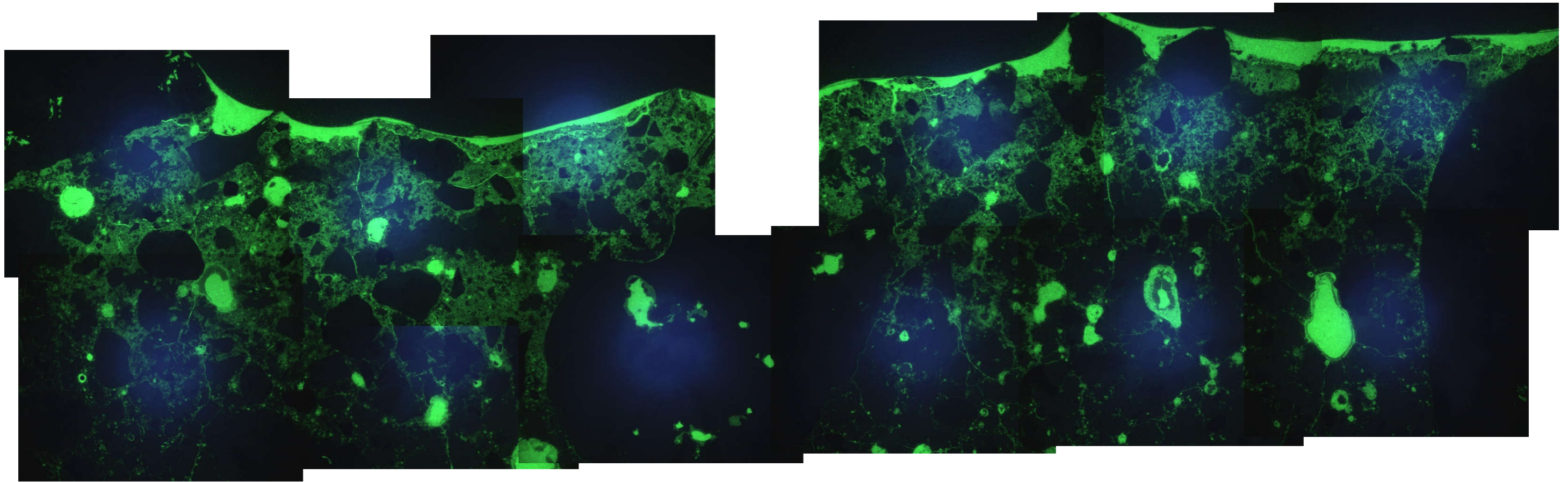
Mynd 36. Samsett mynd af yfirborð steypu í efra fjöruborði stöps 5 í Óseyrarbrú. Efri myndaramminn sýnir steypuna í einskautuðu ljósi. Engin flögnun hefur átt sér stað og engar útfellingar er að sjá í holrýmum. Neðri myndaramminn sýnir sama svæðið í tvískautuðu ljósi. Í tvískautuðu ljósi má t.d. sjá hvort steypan sé kolsýrð. Yfirborð steypunnar er aðeins kolsýrt, kolsýringin nær u.þ.b. 0,5 mm inn í steypuna. Sérhver myndarammi er 1,97 x 2,66 mm að stærð.



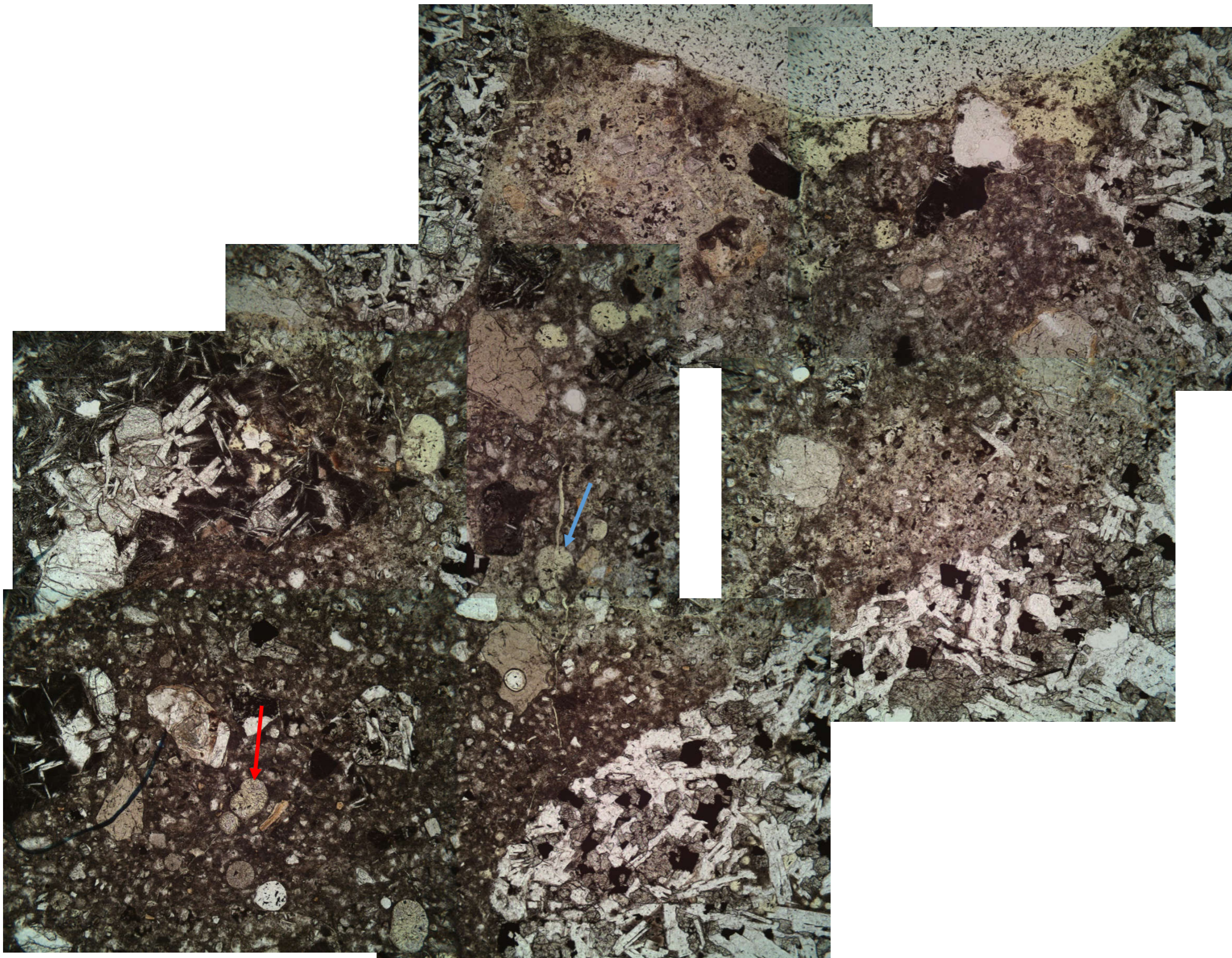
Mynd 37. Samsett mynd af yfirborð steypu í efra fjöruborði stöps 5 í Óseyrarbrú. Á myndinni má sjá yfirborðssprungu sem gengur a.m.k. 10 mm ofan í sýnið. Örvarnar vísa á sprunguna. Sprungan sker bæði loftbólur og smærri fylliefnakorn. Ekki er að sjá útfellingar í sprungunni. Sprungan er um 0,05 mm gleið í yfirborði. Sérhver myndarammi er 1,97 x 2,66 mm að stærð.



Mynd 38. Samsett mynd af yfirborð steypu í efra fjöruborði stöps 5 í Óseyrarbrú. Flúrljómun sementsefju. Flúrljómunin dregur fram einsleitni sementsefjunnar sem og loftdreifingu. Sérhver myndarammi er 1,97 x 2,66 mm að stærð.



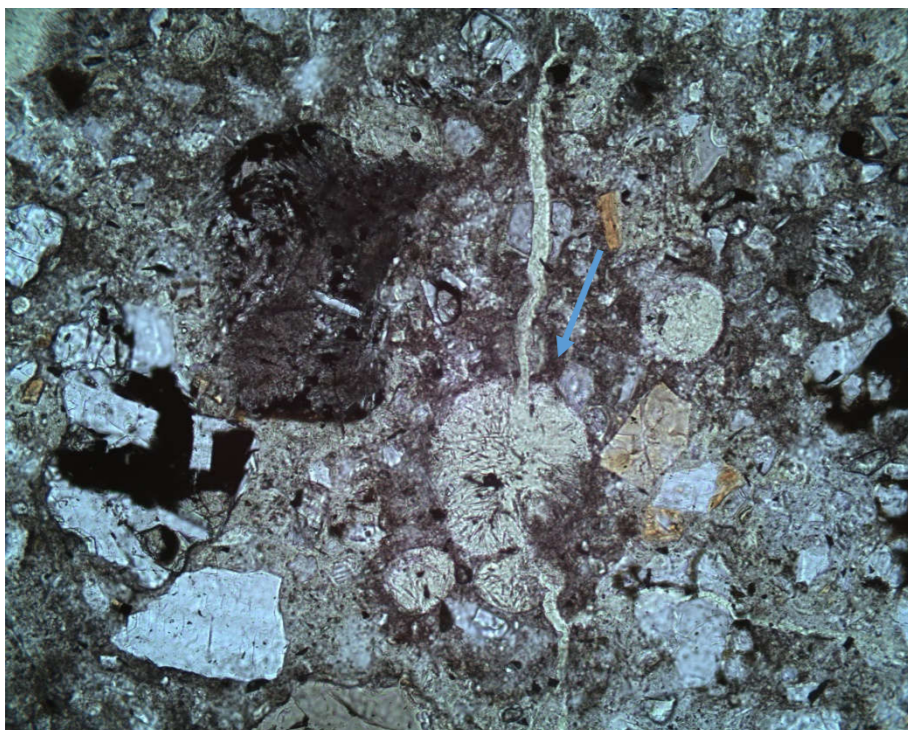
Mynd 39. Samsett mynd af yfirborð steypu í neðra fjöruborði stöpsuls 5 í Óseyrarbrú. Yfirborðið er upp á myndinni. Myndarammarnir eru teknar í flúrljómun. Flúrljómunin dregur fram hluta sementsefjunnar sem hefur orðið fyrir útskolun af völdum sjávar. Útskolunin nær um 2-3 mm inn í steypuna. Um 20 mm hafa flagnað af steypunni. Sjá má bæði sprungur sem liggja samsíða og hornrétt á yfirborðsteypunnar. Engar útfellingar eru að finna í sprungum. Sérhver myndarammi er 1,97 x 2,66 mm að stærð.



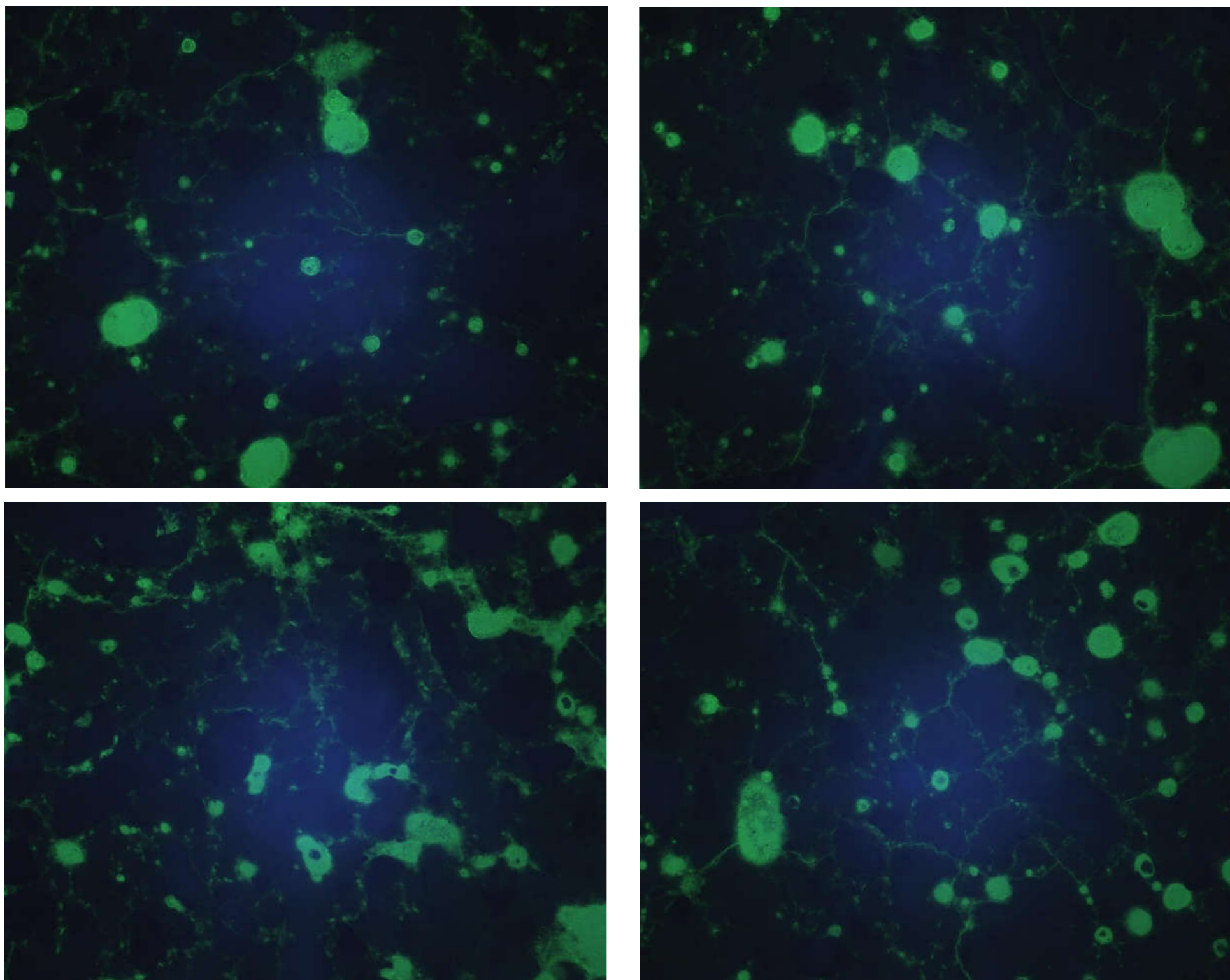
Mynd 40. Samsett mynd af yfirborð steypu í neðra fjöruborði stöpsuls 5 í Óseyrarbrú. Útskolun í sementsefju nær um 2 mm inn í steypunni. Engar útfellingar er að finna í sprungum sem liggja hornétt frá yfirborði, en nárlaga útfellingar í holrými (lofþólmur) er algengar. Rauðu og bláu örvarnar benda á svæði sem eru sýnd í meiri stækkun á næstu myndum. Sérhver myndarammi er 0,985 x 1,33 mm að stærð.



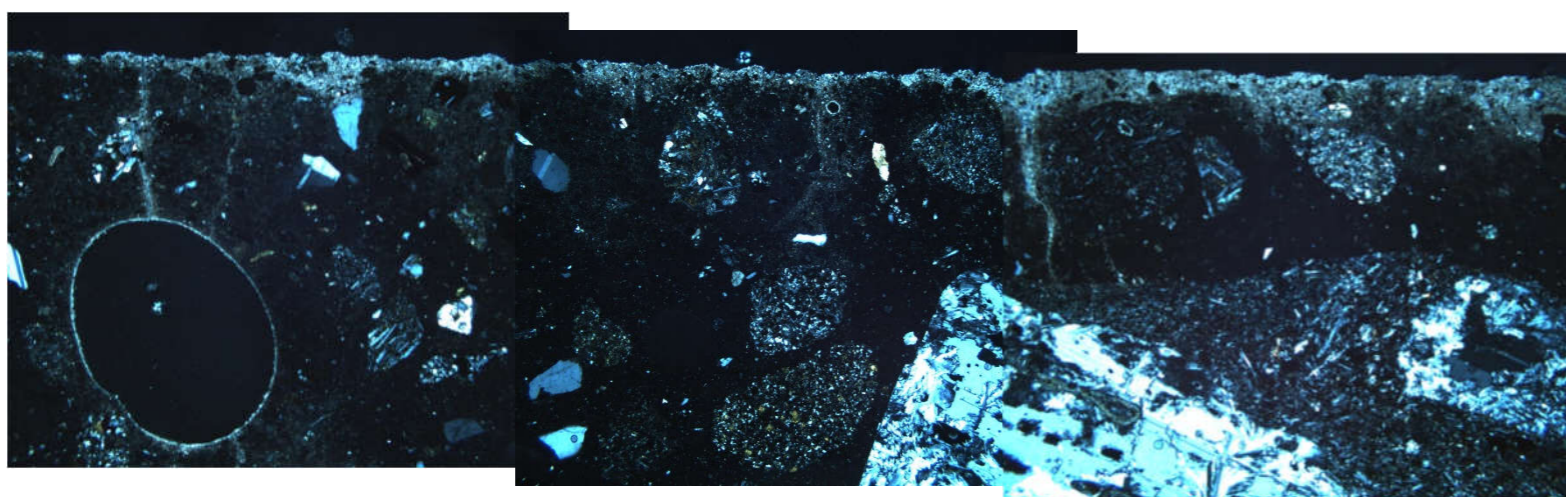
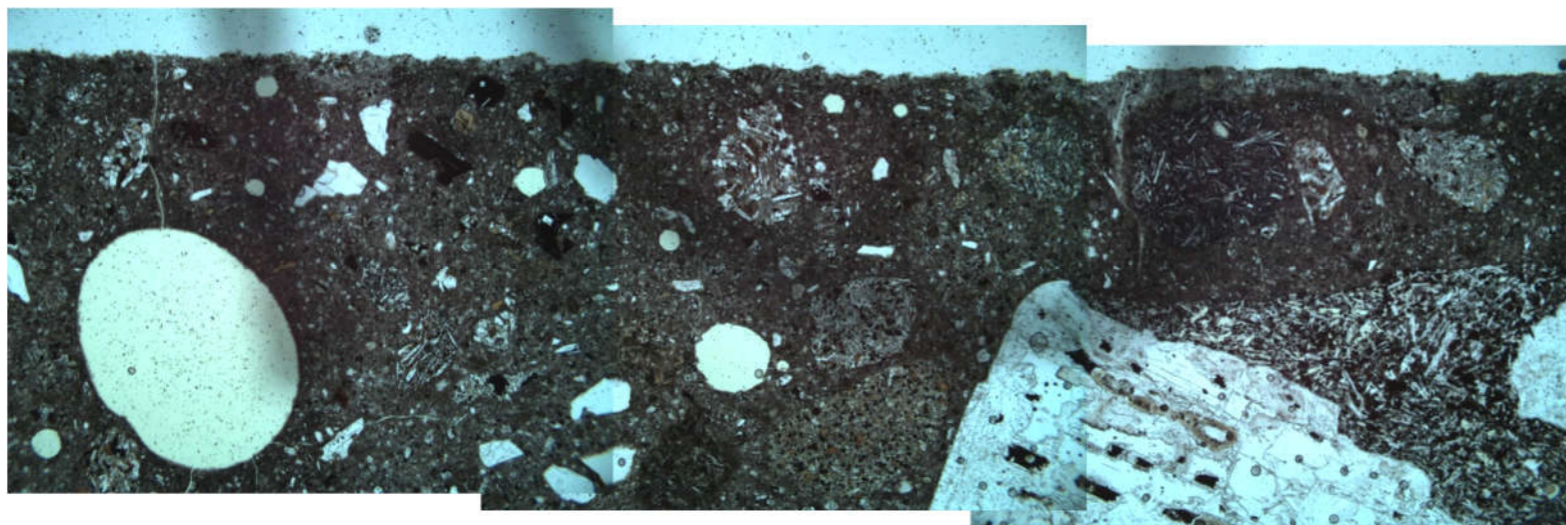
Mynd 41. Yfirborð steypu í neðra fjöruborði stöpsuls 5 í Óseyrarbrú. Útfellingar í loftbólum við yfirborð. Rauða örin bendir á útfellingar í holrými. Myndin er 0,49 x 0,67 mm að stærð.



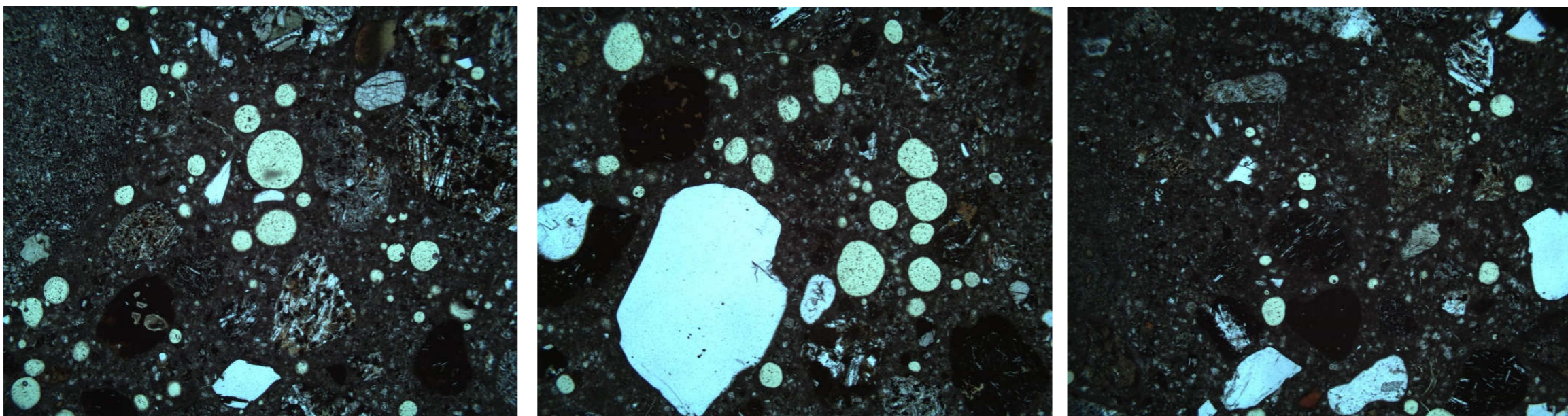
Mynd 42. Yfirborð steypu í neðri fjöruborði stöpsuls 5 í Óseyrarbrú. Útfellingar í loftbólum við yfirborð, sprunga sker loftbóluna, sjá bláu örina. Myndin er 0,49 x 0,67 mm að stærð.



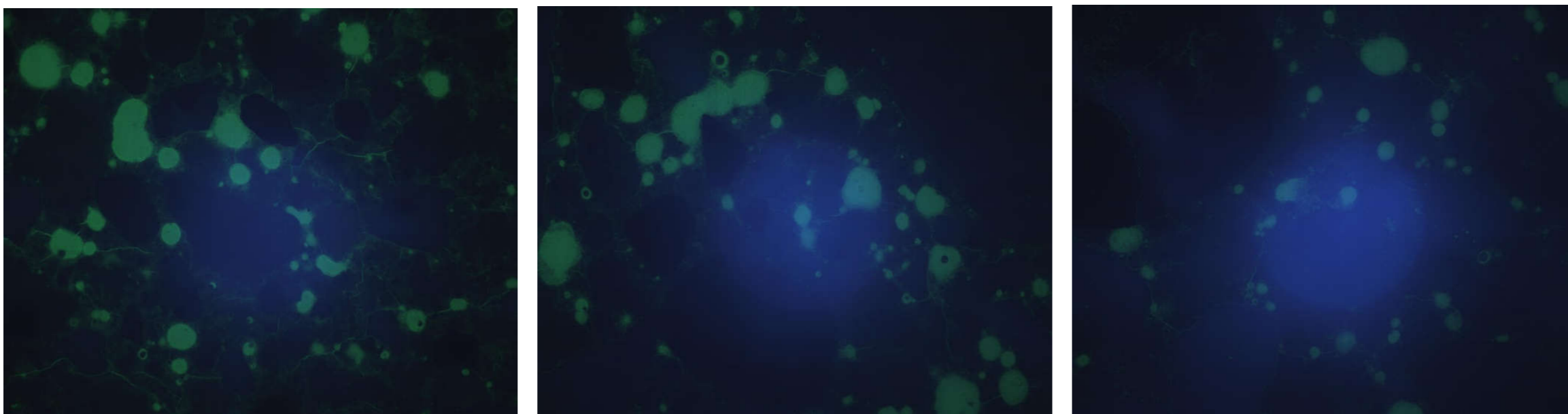
Mynd 43. Við yfirborð steypu í neðri fjöruborði stöpsuls 5 í Óseyrarbrú. Flúrljómun sementsefju. Flúrljómunin dregur fram einleitni sementsefjunnar sem og loftbólur annað holrými. Sérhver myndarammi er 1,97 x 2,66 mm að stærð.



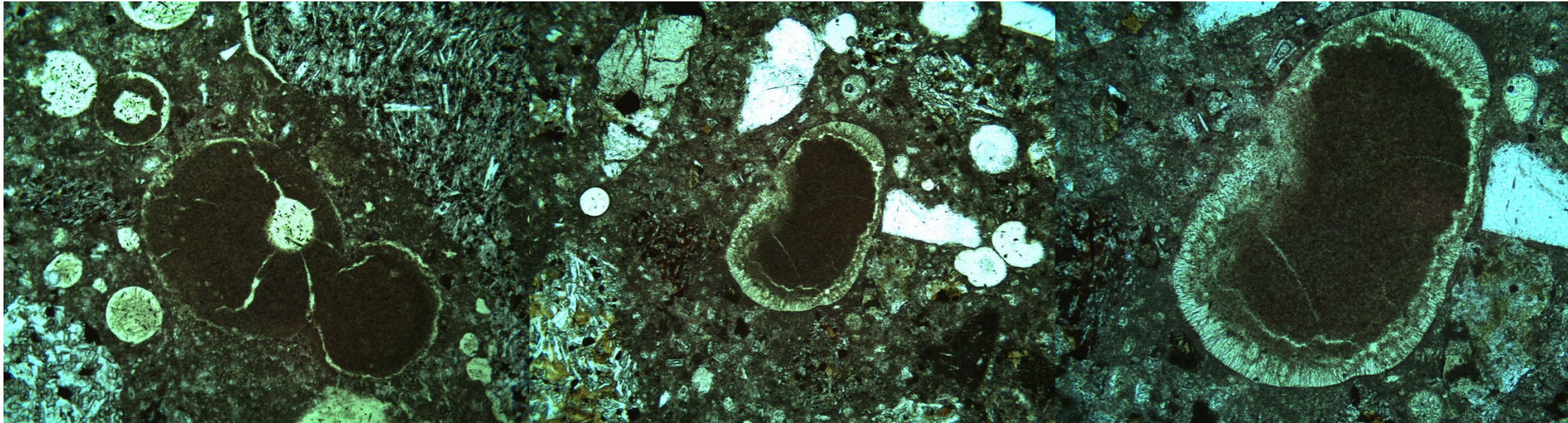
Mynd 44. Samsett mynd af yfirborð steypu úr efri fjöruborði millistöpsuls I í Dýrafjarðarbrú. Efri myndaramminn sýnir steypuna í einskautuðu ljósi. Engin flögnun hefur átt sér stað og engar útfellingar er að sjá í holrýmum. Neðri myndaramminn sýnir sama svæðið í tvískautuðu ljósi. Í tvískautuðu ljósi má t.d. sjá hvort steypa sé kolsýrð. Yfirborð steypunnar er aðeins kolsýrt, kolsýringin nær u.þ.b. 0,2 mm inn í steypuna. Sérhver myndarammi er 1,97 x 2,66 mm að stærð. 50x stækkun.



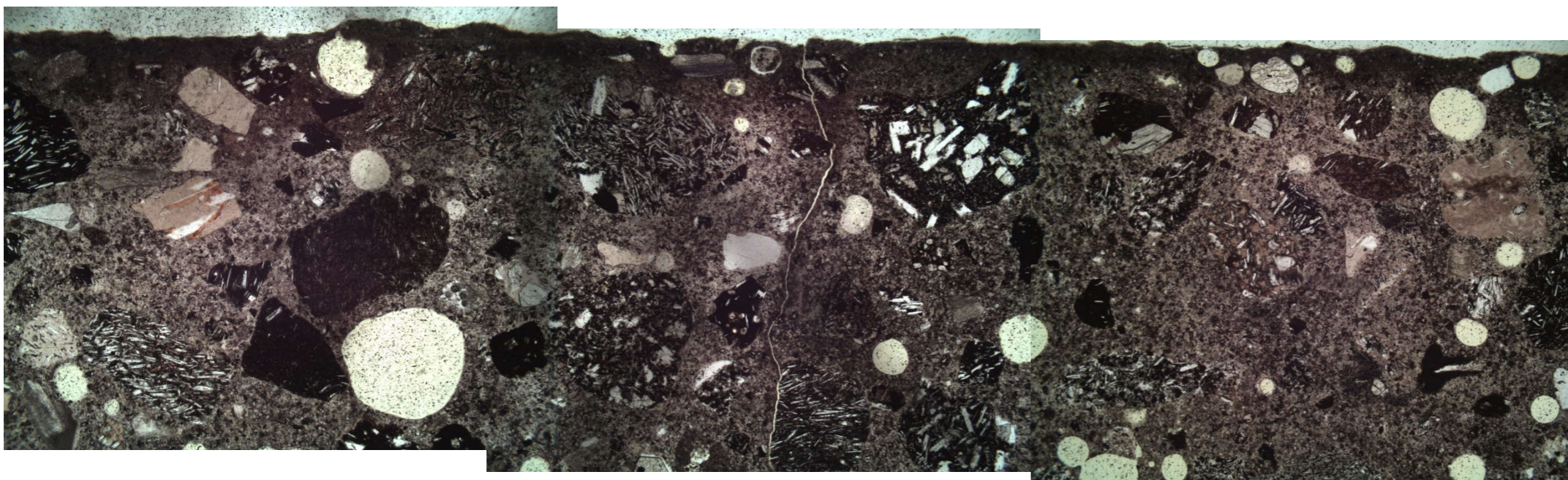
Mynd 45. Loftbólur og annað holrými í steypu úr efri fjöruborði millistöpsuls I í Dýrafjarðarbrú. Sérhver myndarammi er 1,97 x 2,66 mm að stærð.



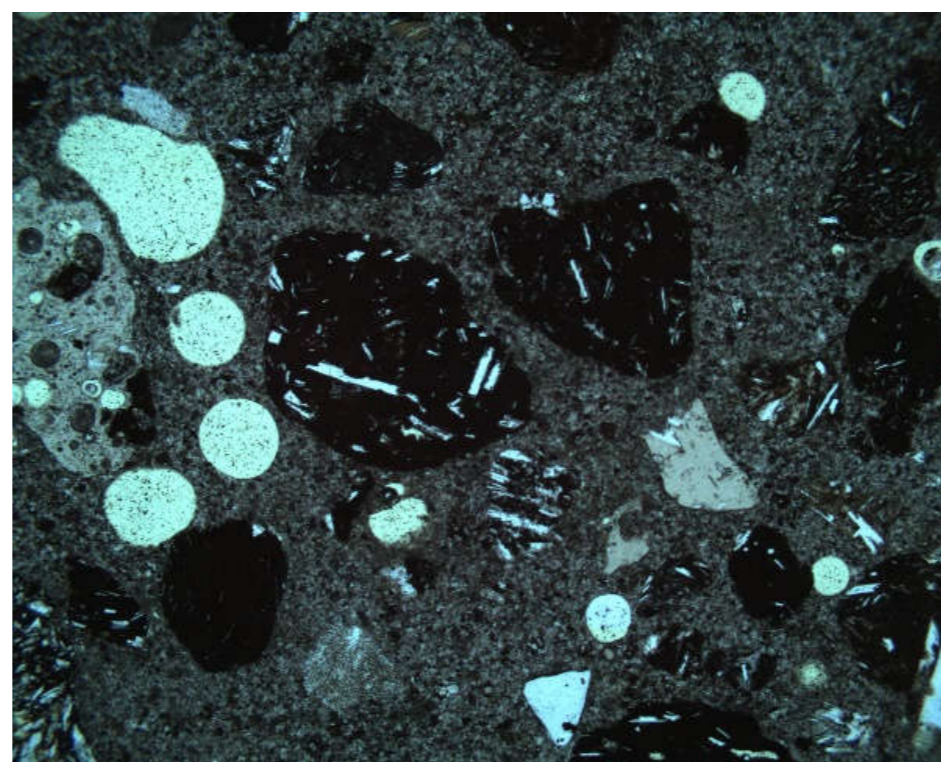
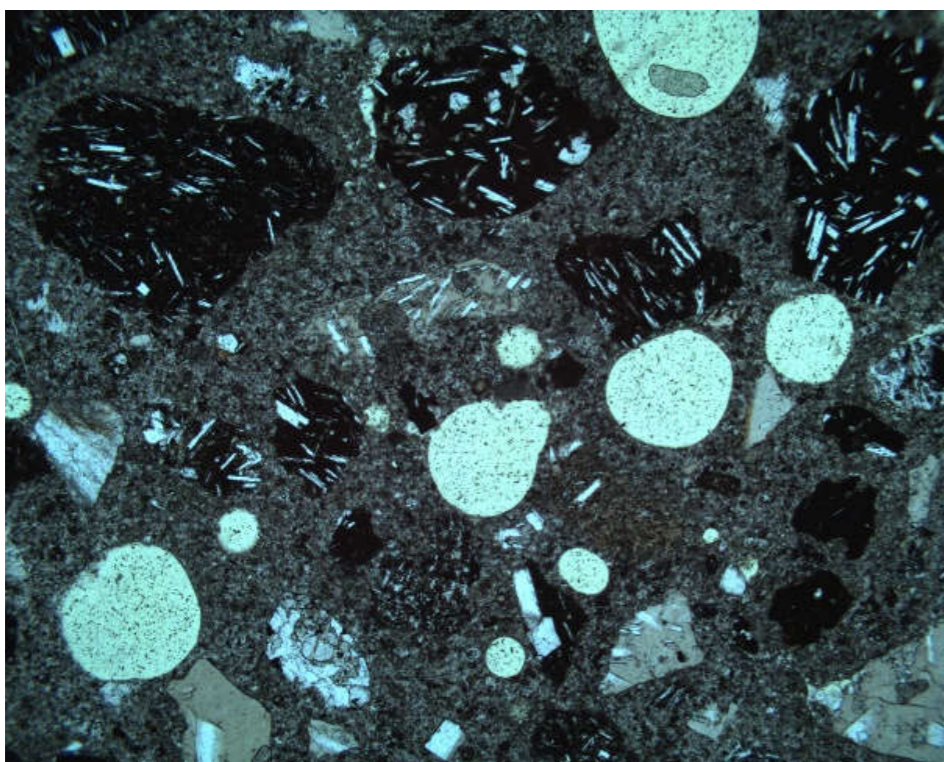
Mynd 46. Flúrljómun sementsefju úr efra fjöruborði millistöpsuls I í Dýrafjarðarbrú . Flúrljómunin dregur fram einsleitni sementsefjunnar sem og loftbólur og dreifingu þeirra. Sérhver myndarammi er 1,97 x 2,66 mm að stærð.



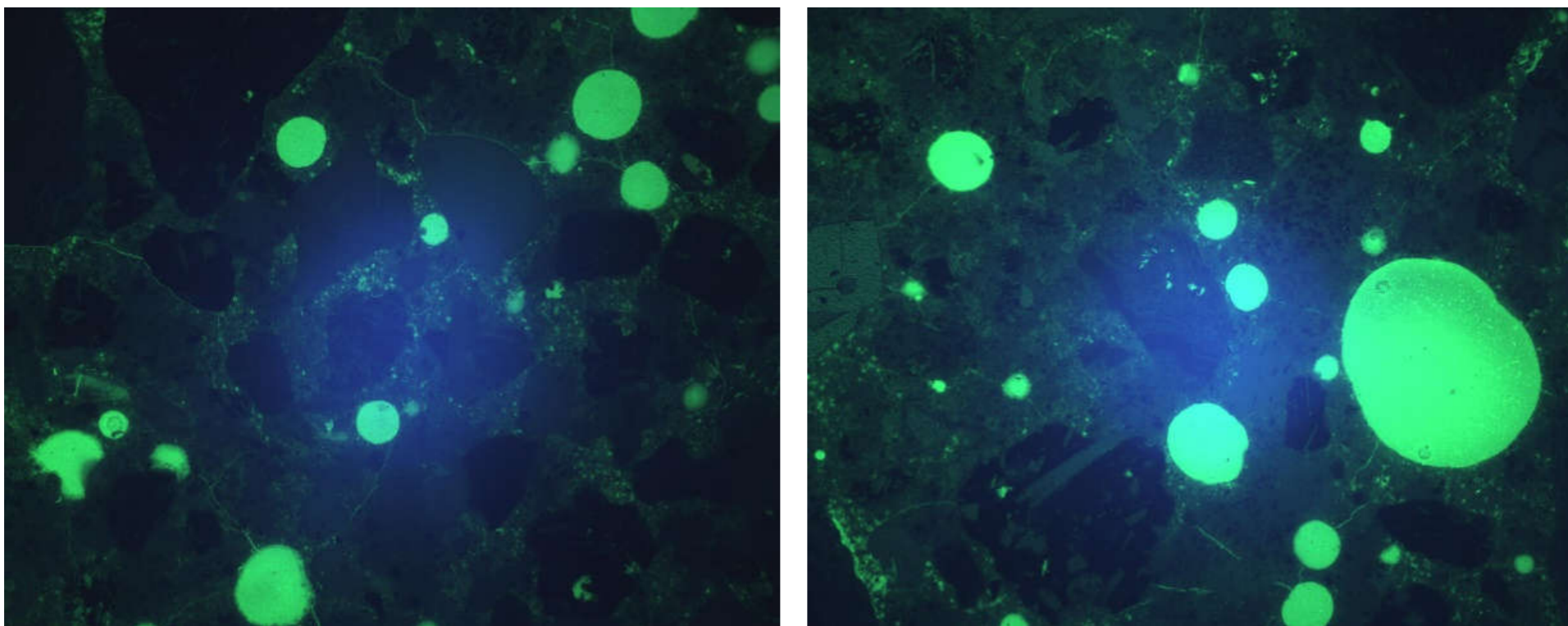
Mynd 47. Útfellingar í holrými í loftbólum úr efra fjöruborði millistöpuls I í Dýrafjarðarbrú, innri hluti sýnis. Rammarnir til vinstri og í miðju eru 0,98 x 1,34 mm að stærð hvor og ramminn til hægri er 0,49 x 0,67 mm að stærð. Ramminn lengst til vinstri sýnir útfellinguna í mið rammanum í meiri stækkun. Kristallaðar útfellingar hafa myndast á yfirborði steypunnar.



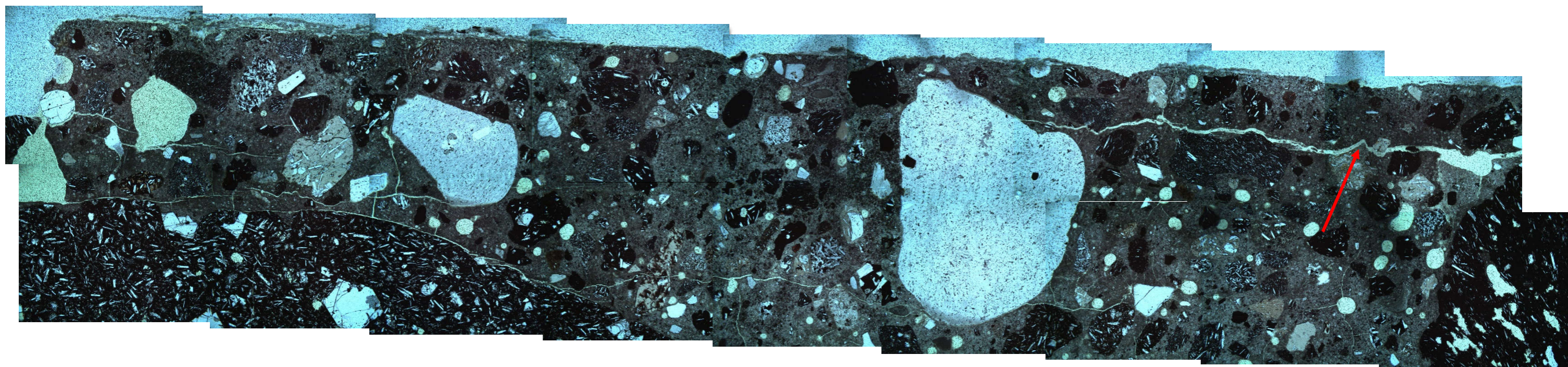
Mynd 48. Samsett mynd af yfirborð steypu úr efri fjöruborði stöpsuls í Kolgrafafirði. Sjá má a.m.k. ein sprungu sem liggur hornrétt á yfirborðsteypunna og gengur a.m.k. 2 mm inn í steypuna. Engin flögnun hefur átt sér stað og engar útfellingar er að sjá í holrýmum. Yfirborð steypunnar er aðeins kolsýrt, kolsýringin nær u.þ.b. 0,2 mm inn í steypuna. Sérhver myndarammi er 1,97 x 2,66 mm að stærð.



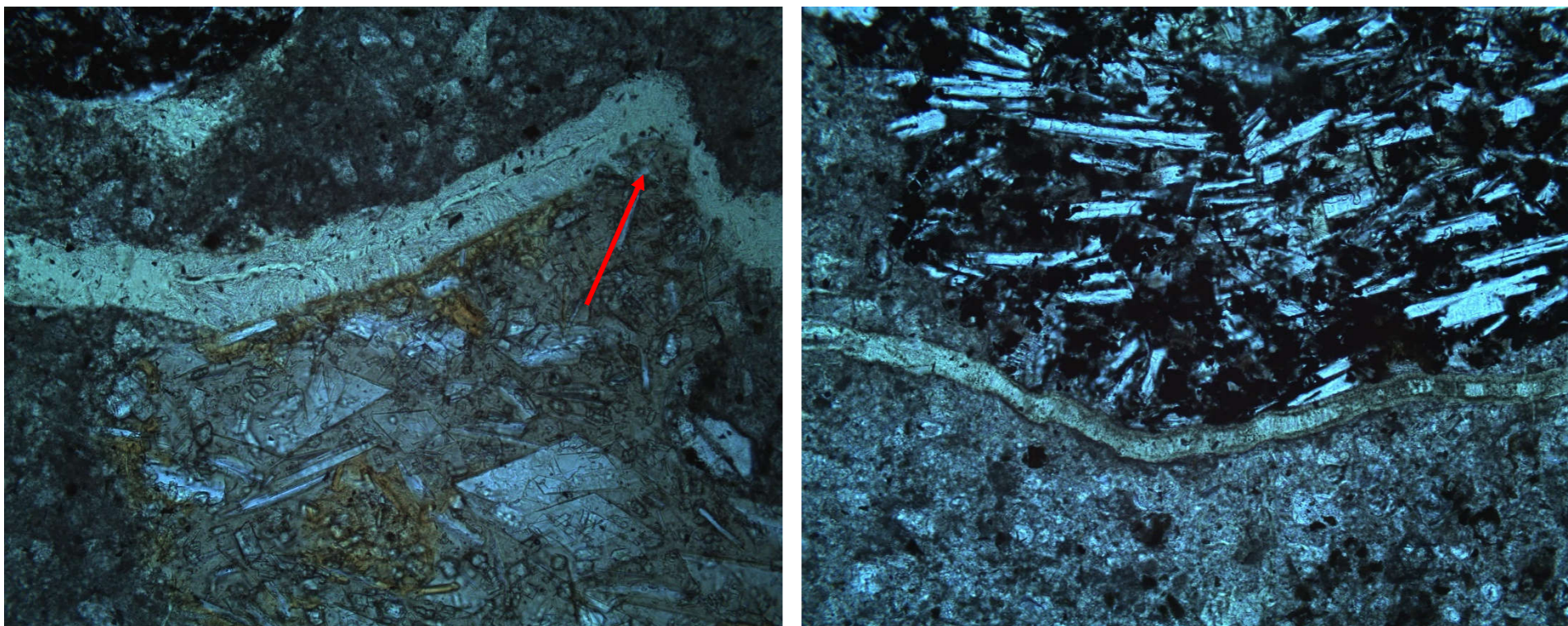
Mynd 49. Lofbólur og annað holrými í steypu úr efri fjöruborði stöpsuls í Kolgrafafirði. Sérhver myndarammi er 1,97 x 2,66 mm að stærð.



Mynd 50. Flúrljómun sementsefju úr efra fjöruborði stöpsuls í Kolgrafafjarðarbrú. Flúrljómunin dregur fram einleitni sementsefjunnar sem og loftbólur og dreifingu þeirra. Sérhver myndarammi er 1,97 x 2,66 mm að stærð.



Mynd 51. Samsett mynd af yfirborð steypu úr neðra fjöruborði stöpsuls í Kolgrafafirði. Rauða örinn vísar á sama stað og örin á undan. Sérhver myndarammi er 1,97 x 2,66 mm að stærð.



Mynd 52. Útfellingar í yfirborðssprungu í steypu úr neðri fjöruborði í Kolgrafafjarðarbrú. Örin vísar á sama stað og örin á myndinni á undan. Báðar myndin eru 0,49 x 0,67 mm að stærð.