

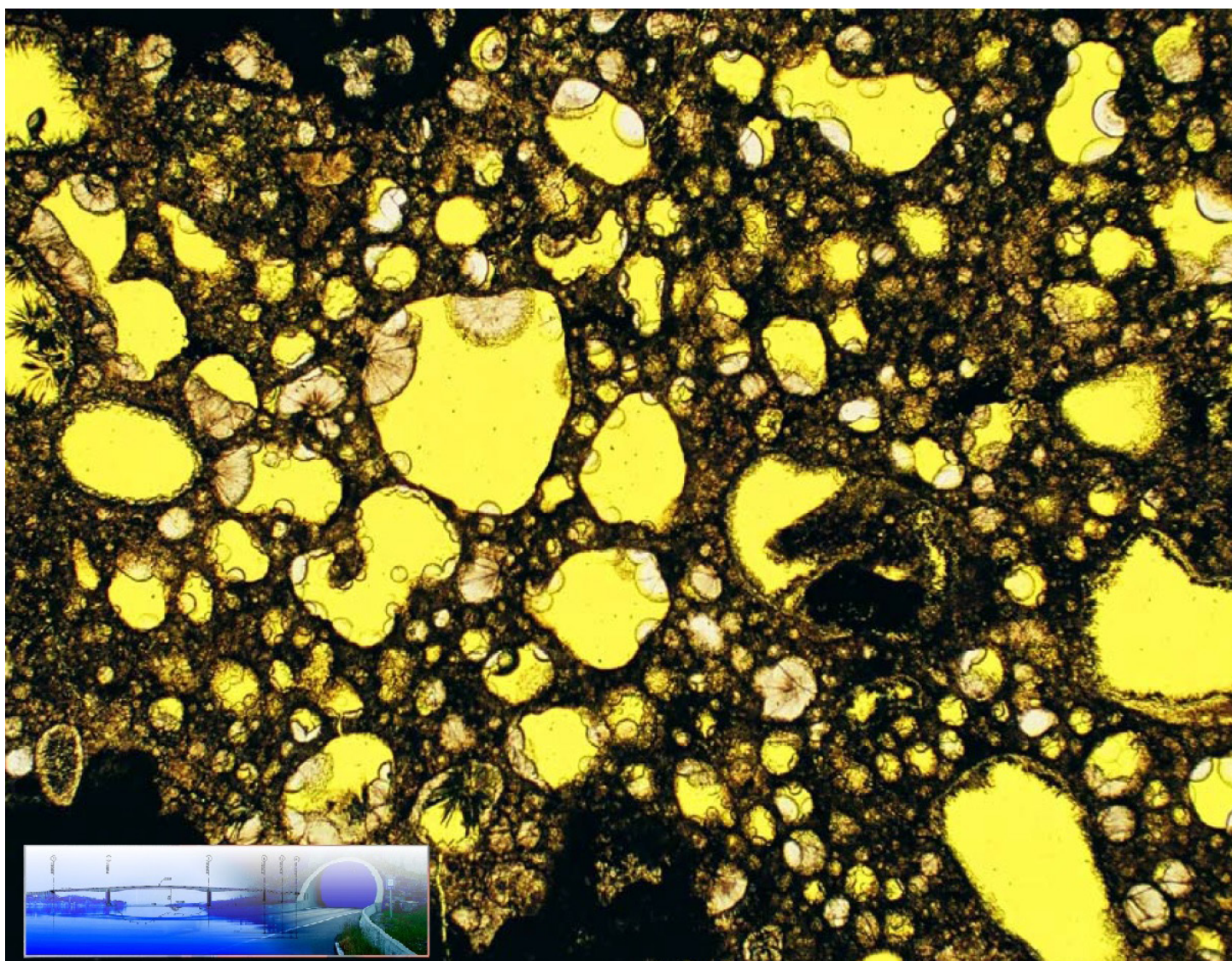


Alkalireaksjoner – Erfaringer med lettbetong

Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012-2015

STATENS VEGVESENS RAPPORTER

Nr. 499



Tittel

Alkalireaksjoner – Erfaringer med lett-
betong

Undertittel

Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012-
2015

Forfatter

Eva Rodum og Bård Pedersen

Avdeling

Trafikksikkerhet, miljø- og teknologi-
avdelingen

Seksjon

Tunnel og betong

Prosjektnummer

603244

Rapportnummer

Nr. 499

Prosjektleder

Synnøve A. Myren / Bård Pedersen

Godkjent av

Øyvind Bjøntegaard

Emneord

Varige konstruksjoner, tilstandsutvikling bruer,
betong, alkalireaksjoner, lettbetong

Sammendrag

Den første brua som ble bygd med høyfast lettbetong i Norge var Endrestø bru i Rogaland. Brua ble bygd i 1987 som et pilotprosjekt. På 1990-tallet ble det gjennomført flere store forskningsprosjekter ved SINTEF for å dokumentere både materialtekniske og konstruktive egenskaper ved høyfast lettbetong. Alkalireaksjoner inngikk imidlertid ikke i dokumentasjonsprogrammene, og det har i de senere år vært sett på om dette kan være en mulig nedbrytningsmekanisme for lettbetong. Rapporten gir en oversikt over alle bruer bygd med lettbetong i perioden 1987-2003, og oppsummerer resultatene fra akselerert alkalireaksjonsprøving av ulike lettilslag (SINTEF 2006-07) og resultater fra strukturanalyser av feltekspontert betong med ulike lettilslag (NBTL i 2013). Undersøkelsene viser at alle de tre mest brukte lettilslagene har en kjemisk/mineralogisk sammensetning som gjør dem potensielt alkalireaktive. Analyser av lettbetong etter 16-24 års felteksposering har imidlertid ikke avdekket tegn til alkalireaksjoner. Det er foreslått videre undersøkelser.

Antall sider 16 + 3 vedlegg

Dato Desember 2015

Title

ASR – Experiences with lightweight
aggregate concrete

Subtitle

Durable structures 2012-2015

Author

Eva Rodum and Bård Pedersen

Department

Traffic Safety, Environment and Technology
Department

Section

Tunnel and concrete

Project number

603244

Report number

No. 499

Project manager

Synnøve A. Myren / Bård Pedersen

Approved by

Øyvind Bjøntegaard

Key words

Durable structures, existing bridges, con-
crete, ASR, lightweight aggregate concrete

Summary

The first lightweight aggregate concrete (LWAC) bridge built in Norway was Endrestø bridge in Rogaland, built as a pilot project in 1987. During the 1990ties, several comprehensive research projects were performed at SINTEF, aiming to study both material and structural properties of high strength LWACs. ASR was, however, not included in the performance testing programmes, and this issue has been highlighted the recent years. This report gives an overview of the LWAC bridges built during the period 1987-2003 and summarises the results from accelerated testing of different lightweight aggregates (SINTEF 2006-07) and laboratory examinations of different field exposed LWACs (NBTL 2013). The three examined lightweight aggregates have a chemical/mineralogical composition that may potentially cause ASR in concrete. Samples from LWACs after 16-24 years of field exposure do not show signs of ASR. Further testing is proposed.

Pages 16 + 3 appendices

Date December 2015



Forord

Denne rapporten inngår i en serie rapporter fra **etatsprogrammet Varige konstruksjoner**. Programmet hører til under Trafikksikkerhet-, miljø- og teknologiavdelingen i Statens vegvesen, Vegdirektoratet, og foregår i perioden 2012-2015. Hensikten med programmet er å legge til rette for at riktige materialer og produkter brukes på riktig måte i Statens vegvesen sine konstruksjoner, med hovedvekt på bruer og tunneler.

Formålet med programmet er å bidra til mer forutsigbarhet i drift- og vedlikeholdsfasen for konstruksjonene. Dette vil igjen føre til lavere kostnader. Programmet vil også bidra til å øke bevisstheten og kunnskapen om materialer og løsninger, både i Statens vegvesen og i bransjen for øvrig.

For å realisere dette formålet skal programmet bidra til at aktuelle håndbøker i Statens vegvesen oppdateres med tanke på riktig bruk av materialer, sørge for økt kunnskap om miljøpåkjenninger og nedbrytningsmekanismer for bruer og tunneler, og gi konkrete forslag til valg av materialer og løsninger for bruer og tunneler.

Varige konstruksjoner består, i tillegg til et overordnet implementeringsprosjekt, av fire prosjekter:

- Prosjekt 1: Tilstandsutvikling bruer
- Prosjekt 2: Tilstandsutvikling tunneler
- Prosjekt 3: Fremtidens bruer
- Prosjekt 4: Fremtidens tunneler

Varige konstruksjoner ledes av Synnøve A. Myren. Mer informasjon om prosjektet finnes på vegvesen.no/varigekonstruksjoner

Denne rapporten tilhører **Prosjekt 1: Tilstandsutvikling bruer** som ledes av Bård Pedersen. Prosjektet vil generere informasjon om tilstanden for bruer av betong, stål og tre, og gi økt forståelse for de bakenforliggende nedbrytningsmekanismene. Dette vil gi grunnlag for bedre levetidsvurderinger og reparasjonsmetoder. Innenfor områdene hvor det er nødvendig vil det etableres forbedrede rutiner og verktøy for tilstandskontroll- og analyse. Prosjektet vil også frembringe kunnskap om konstruktive konsekvenser av skader, samt konstruktive effekter av forsterkningstiltak. Prosjektet vil gi viktig input i forhold til design av material- og konstruksjonsløsninger for nyere bruer, og vil således ha leveranser av stor betydning til Prosjekt 3: Fremtidige bruer.

Rapporten er utarbeidet av *Eva Rodum og Bård Pedersen*.

INNHOOLDSLISTE:

1	INNLEDNING	2
2	MÅL	3
3	BRUER MED LETTBETONG – OVERSIKT OG NØKKELDATA	3
3.1	INNLEDNING	3
3.2	RESEPTER OG KRAV TIL DELMATERIALER.....	5
3.3	PRØVEELEMENTER/-BLOKKER	8
4	AKSELERERT PRØVING – UTFØRT VED SINTEF	9
4.1	BAKGRUNN	9
4.2	MÅLSETNING.....	10
4.3	PRØVINGSPROGRAM.....	10
4.4	MATERIALER.....	10
4.5	POZZOLAN AKTIVITET	10
4.6	UTLUTING AV ALKALIER	11
4.7	MØRTELPRISMEMETODEN	12
4.7.1	<i>Innledning</i>	12
4.7.2	<i>Lengde- og vektendring</i>	12
4.7.3	<i>Mikroskopiundersøkelser</i>	13
5	UNDERSØKELSER AV FELTEKSPONERT BETONG – UTFØRT AV NBTL	13
6	KONKLUSJONER OG FORSLAG TIL VIDERE ARBEID	14
7	REFERANSER	15

1 Innledning

Den første brua som ble bygd med høyfast lettbetong i Norge var Endrestø bru i Rogaland. Brua ble bygd i 1987 som et pilotprosjekt for å undersøke de praktiske anvendelsesmulighetene med lettbetong. Den første fritt-rambygg-brua som ble bygd med lettbetong var Sandhornøya bru i Nordland, i 1989. Utover 1990-tallet ble det bygd en rekke bruer med konstruksjonselementer i lettbetong, herunder pontongene i flytebruene Bergsøysundet bru (1992) og Nordhordlandsbrua (1994).

Høyfast lettbetong i bruer bygd på 1990-tallet ble typisk prosjektert med fasthetsklasser LC55-60 (tilsvarer dagens LB50-55) og densiteter i området 1900-2000 kg/m³ (i hovedsak relatert til vannlagrede terninger med 28 døgns alder).

Etter at betong med letttilslag ble introdusert i Norge, ble det gjennomført flere store forskningsprosjekter i Norge for å dokumentere både materialtekniske og konstruktive egenskaper ved høyfast lettbetong. Disse er:

- Light Weight Aggregate Concrete for Floaters (1989-1992)
- Lightcon (1993-1996)
- LettKon - Lett Konstruksjonsbetong (1996-1999)

Det ble utgitt en rekke rapporter fra disse prosjektene, og flere av Statens vegvesens bruer inngikk som objekter i ulike dokumentasjonsprogrammer. Prosjektene avdekket ingen bestandighetsmessige utfordringer med materialene.

Alkalireaksjoner inngikk imidlertid ikke i de dokumentasjonsprogrammer som ble gjennomført. Enkelte typer letttilslag har en kjemisk sammensetning som potensielt kan forårsake alkalireaksjoner, og det har i de senere år vært sett på om dette kan være en mulig nedbrytningsmekanisme for lettbetongbruer i Norge. I bruene er det benyttet tre ulike letttilslag:

- Stalite
- Liapor
- Leca

Denne rapporten gir en oversikt over:

- Alle bruer som er bygd med lettbetong i perioden 1987-2003, med tilhørende lett tilgjengelige nøkkeldata
- Resultater fra akselerert laboratorieprøving (alkalireaksjoner) av ulike letttilslag, utført ved SINTEF i 2006-07
- Resultater fra strukturanalyser av feltekspontert betong med ulike letttilslag, utført av NBTL i 2013

En eventuell nedbrytningsprosess for betong med letttilslag vil skille seg fra betong med naturtilslag ved at letttilslaget vil absorbere alkaligelen og gi mindre ekspansjon. I tillegg vil strukturen i letttilslaget kunne gå i oppløsning. Eventuelle alkalireaksjoner i lettbetong vil dermed kunne medføre en vektøkning (ved at gelen suger vann) og en gradvis endring i mekaniske egenskaper (f.eks. reduksjon av trykkfasthet) – uten at betongen ekspanderer og utvikler synlige tegn på skader, f.eks. i form av opprissing. De etablerte laboriemetodene for dokumentasjon av normalttilslags alkalireaktivitet er basert på måling av ekspansjon og vurdering av ekspansjonsutviklingen mot gitte akseptkriterier. I Norge har vi to slike akselererte prøvingsmetoder, hhv. Mørtelprismemetoden og Betongprismemetoden, beskrevet i Norsk betongforenings Publikasjon nr 32 /13/. De nevnte avvik i nedbrytningsprosessen for lettbetong i forhold til betong med normalttilslag, gjør at de akselererte laboriemetodene er lite egnet for letttilslagene.

Det finnes pr i dag ingen etablerte metoder for testing av letttilslags alkalireaktivitet i betong, heller ikke internasjonalt.

Rapporten er en del av etatsprogrammet Varige konstruksjoner, prosjekt Tilstandsutvikling bruer, aktivitet Alkalireaksjoner. Den inngår også som grunnlagsdokument i SINTEFs KPN-prosjekt «Alkali-silica reaction in concrete – reliable concept for performance testing» (2014-2018), hvor Statens vegvesen er FoU-partner.

2 Mål

Det bygges stadig nye brukonstruksjoner i lettbetong, og materialet er høyaktuelt i konstruksjoner i prosjektet Ferjefri E39. Det er således av stor viktighet å få økt kunnskap om potensialet for alkalireaksjoner i ulike typer lettbetonger.

Hovedmålet med denne rapporten har vært å oppsummere den dokumentasjonen som finnes i Statens vegvesen pr. i dag som grunnlag for videre undersøkelser.

3 Bruer med lettbetong – oversikt og nøkkeldata

3.1 Innledning

Informasjon om hvilke bruer som er bygd med lettbetong er ikke lett tilgjengelig. I bruforvaltningssystemet Brutus er det i mange tilfeller mangelfull informasjon om hvilke deler av brua hvor det er benyttet lettbetong, og i noen tilfeller er det ikke angitt bruk av lettbetong i det hele tatt.

I en artikkel i Nordic Road & Transport Research /1/ gir Karl Melby en oversikt over alle bruer med lettbetong pr 2003. Disse fremgår av Tabell 1.

Ved gjennomgang av diverse rapporter fra Lightcon-prosjektet /2, 3, 4, 5, 6, 7/, to LettKon-rapporter /8, 9/ og én prøvingsrapport /10/ er det funnet opplysninger om betongresepter for flere av bruene. Type letttilslag, sementtype og –mengde er gitt i Tabell 1. Fullstendige resepter er gitt i avsnitt 3.2.

Ved bygging av flere av disse bruene ble det støpt ut prøveelementer av den aktuelle lettbetongen, som ble utsatt for felteksponering i marint miljø. Hvilke bruer dette gjelder er omtalt i avsnitt 3.3.

Tabell 1 Oversikt over alle bruer bygd med lettbetong i perioden 1987-2002

Bru nr Fylke	Brunavn	Bygd år	Letttilslag	Fasthets- klasse/ densitetskrav	Sement- type	Sement- mengde kg/m ³	Kommentarer
11-1550 Rogaland	Endrestø	1987	Liapor 8	LC60/ 1930 kg/m ³ ¹⁾	Viking Cement PZ 55	385	Pilotprosjekt, platebru
18-2184 Nordland	Sandhornøy	1989	Liapor 8	LC55	Norcem P30 Kjøpsvik	400	Begge sidespenn
11-1624 Rogaland	Boknasundet	1991	Liapor 8	LC60/ 1950 kg/m ³ ²⁾	Norcem P30-4A	430	Hovedspenn + deler av sidespenn
15-2221 Møre og Romsdal	Bergsøysund	1992	Liapor 8	LC55/ 1900 kg/m ³ ¹⁾ (+0/-50)	Norcem P30-4A	430	Pontonger

02-1210 Akershus	Eidsvollbrua	1992	Leca 750	LC55			Bjelke-/platebru
18-2300 Nordland	Støvset	1993	Liapor 8	LC55/ 2000 kg/m ³ 2)	Norcem HS65	425	Middtel av hovedspenn
12-2900 Hordaland	Nordhordland	1994	Leca HF750	LC55/ 1900 kg/m ³ 3)	Norcem HS65	430	Midtspenn høybru
			Liapor 8	LC55/ 1950 kg/m ³ 1) (+0/-50)	Norcem P30-4A/ HS65	410	Pontonger flytebru
08-1486 Telemark	Grenland	1996	Leca 750	LC55			
18-2406 Nordland	Raftsund	1998	Stalite	LC60	Norcem Anlegg	430	Middtel av hovedspenn
12-1100 Hordaland	Stolmasundet	1998	Leca 800	LC60/ 19,5 kN/m ³ 4) (-3%/+1%)	Norcem Anlegg	420	Middtel av hovedspenn
14-3039 Sogn og Fjordane	Rugsund	2000	Stalite	LC60			Hovedspenn
18-2500 Nordland	Sundøy	2002	Stalite	LC60			Middtel av hovedspenn

1) Målt på vannlagrede terninger ved 28 døgns alder

2) Målt på fersk betong

3) I ferdig byggverk (målte middelerverdier på vannlagrede terninger ved 28 døgns alder = 1880-1890 kg/m³)

4) Ikke spesifisert fukttilstand ved måling (målte middelerverdier på vannlagrede terninger ved 28 døgns alder = 1920-1940 kg/m³)

Ved vurdering av reseptenes alkalireaktive potensial er sementens alkaliinnhold av stor betydning. Basert på opplysninger om de ulike sementenes alkaliinnhold (Tabell 1) har vi beregnet et totalt alkaliinnhold i de ulike reseptene som vist i Tabell 2.

Tabell 2 Alkaliinnhold i sementer og ulike betongresepter. Total alkalimengde er basert på alkalier i sement, virkelig alkalimengde er noe høyere pga. tilskudd også fra tilsetningsstoffer.

Brunavn	Bygd, år	Letttilslag	Sementtype	Na ₂ O _{ekv} , % av sement- vekt	Sement- mengde, kg/m ³	Na ₂ O _{ekv} , kg/m ³ betong
Endrestø	1987	Liapor 8	Viking Cement PZ 55	0,76	385	2,9
Sandhornøy	1989	Liapor 8	Norcem P30 Kjøpsvik	1,1	400	4,4
Boknasundet	1991	Liapor 8	Norcem P30-4A	0,83	430	3,6
Bergsøysund	1992	Liapor 8	Norcem P30-4A	0,80	430	3,6
Støvset	1993	Liapor 8	Norcem HS65	0,51	425	2,2
Nordhordland	1994	Leca	Norcem HS65	0,49	430	2,2
		Liapor 8	Norcem P30-4A/ HS65	0,78/0,49	410	3,3/2,1
Raftsund	1998	Stalite	Norcem Anlegg	0,54	430	2,3
Stolmasundet	1998	Leca 800	Norcem Anlegg	0,54	420	2,3

Angitt alkaliinnhold for Norcem-sementer er basert på historisk informasjon vi har fått fra Norcem. Det er en viss grad av usikkerhet i informasjonen. I noen tilfeller var ikke analyseresultater for aktuelt år tilgjengelig, oppgitt verdi er da basert på analysedata for «nærliggende år». Informasjon om alkaliinnholdet i Viking-sementen er mottatt fra SINTEF, basert på analyserapporter fra 1987.

I tillegg til alkalier i sement, er det også alkalier i tilsetningsstoffene i varierende mengde. Det er ikke gjort eksakte beregninger for reseptene, blant annet fordi alkalimengder for stoffer som ikke lengre er i produksjon er vanskelig å finne. I tillegg er det for noen av reseptene ikke angitt eksakt mengde tilsetningsstoff, men et variasjonsspekter. Bidraget til total alkalimengde fra tilsetningsstoffer kan antas å være i området 0,2 - 0,3 kg/m³ (Na₂O-ekv.) for de fleste reseptene.

Det bemerkes at alle reseptene inneholder silikastøv, i varierende mengder fra ca. 4-8 %. Silikastøv vil kunne utsette eller i noen tilfeller eliminere utvikling av alkalireaksjoner. Hovedårsaken til det er at silikastøv fører til redusert alkalinitet i betongens porevæske fordi alkalier bindes i C-S-H fasen.

3.2 Resepter og krav til delmaterialer

Ved gjennomgang av diverse rapporter fra Lightcon-prosjektet /2, 3, 4, 5, 6, 7/, to LettKon-rapporter /8, 9/ og én prøvingsrapport /10/ er det funnet opplysninger om betongresepter for flere av bruene. Kopi av resepter for betong i bruene Endrestø, Sandhornøy, Boknasundet, Bergsøysund, Støvset, Nordhordland, Raftsund og Stolmasundet er gitt i Figur 1 - Figur 8.

Materialer	kg/m ³
Viking Cement, PZ 55	385
Silica	15
Sand 0-4 mm	650
Liapor 8 4-8 mm	290
Liapor 8 8-16 mm	360
Rescon HP(S)	6-8.0
Rescon L	0.15
nom. v/c+s tall	0.45

Figur 1 Endrestø bru – betongresept /2/

<p>1.5 Betondata</p> <p>Følgende blanderecept er opplyst:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cement P-30 Kjøpssvik 400 kg/m³ • Silika tør 25 kg/m³ • Sand 0 - 8 mm 550 kg/m³ • Liapor 4 - 8 mm 250 kg/m³ • Liapor 8 - 16 mm 400 kg/m³ • Betocem P 3 l/m³ • Rescon HP(S) 6 l/m³ • Betokem L(T) 0.15 l/m³ • Vand i tilslag 28 l/m³ • Vand tilsat 144 l/m³ • v/c+s = 0.40 • luft 4.8% i frisk betong 	<p>Sammensetning</p> <p><u>Kerne 1.1, 2.1 og 4.2</u></p> <p>Tilslaget består af Liapor, 4 - 10 mm, granit, max. 8 mm, samt kvarts, feldspat og granit, max. 2 mm. Liapor er afrundede og porøse, mens det øvrige tilslag er kantrundet og tæt.</p> <p>Cementen er en finkornet Portlandcement. Der er svage tegn på mikrosilika i pastaen, men der er ikke observeret silikaklumper. Vandcementforholdet varierer mellem 0.35 og 0.40. Der ses en del Ca(OH)₂ i pastaen, hovedsageligt nåle/pladeformet.</p> <p>Betongen er ret pastarig.</p> <p>Luftindholdet er lavt.</p>
--	---

Figur 2 Sandhornøy bru – betongresept (til venstre) og sammensetning bestemt fra strukturanalyser av utborede kjerner (til høyre) /10/

Blanderesept	Sement P30-4A	:	430 kg/m ³
	Silika, tørr	:	25 "
	Sand 0 - 8 mm	:	680 "
	Liapor 8, 4-8	:	334 "
	Liapor 8, 8-16	:	265 "
	Rescon P	:	4,3 "
	Rescon HP(s)	:	4,0 "
	Rescon L	:	0,15 "
	Vann	:	190 "

I tillegg ble det tilsatt Rescon HP(s) på bilene ca. 15 min før ankomst byggeplass.

Figur 3 Boknasundet bru – betongresept /3/

Krav til delmaterialer	Sement. P30-4A mod. Silkastov. Norsk produsert eller av tilsvarende kvalitet levert som slurry. Sand. 0-5 mm fra Norsk Sand Årdal (eller tilsvarende kvalitet). Lettklinker. Liapor 8, 4-8 mm og 8-16 mm. Tilsetningsstoff. Kun godkjente stoffer kunne brukes. P-stoff basert på lignosulfonat og SP-stoff basert på naftalen. Senere ble bruk av melamin basert SP-stoff godkjent.	
Blanderesept	Delmaterialer i tørrvekt,	(kg/m ³):
	Liapor 8 4-8 mm	265
	Liapor 8 8-16 mm	325
	Vann forfukting	35
	Sement P30-4A	430
	Silika	22.5
	Sand 0-5 mm Totlandsvik	670
	Betokem SP 40 40 %	7.0
	Betokem L(T) 1:9	10.0
	Vann (eks. absorpsjon)	158

Vann til forfukting ble antatt absorbert av lettklinkeren. Silika ble tilsatt som slurry.

Figur 4 Bergsøysund bru – betongresept og krav til delmaterialer /4/

Betongleverandør	Selmer A.S
Blandeverk	ELBA EMC 35, 0,5 m ³ pr sats
Transport til konstruksjon	Kabelkran
Transport tid bl.verk.konstr.	5 - 10 min
Blanderesept	No. 54.0 < C-55 MA m/luft Cement HS - 65 425 kg Silika 30 Betokem P 1 - 3 l Betokem SP 40 0 - 2 l < Betokem (T) F (1:9) 0,6 - 1,8l Årdal 0 - 8 685 kg Liapor 4-16 520 kg $v/(i+2s) < 0,40$ $v/(c+2s)$ Vann tot 194 kg Slump ca 200 mm
Lagring av lettklinker	I Big. bag. forfukts til min. 10% tot. fukt innhold

Figur 5 Støvset bru – betongresept /5/

Delmaterialer i tørrvekt, (kg/m ³):			Delmaterialer i tørrvekt (kg/m ³)			
Sement	P30-4A/HS 65	410		Resept	Resept	Resept
Silika	støv	33		nr 1	nr 2	nr 3
Sand	0-5 mm	675	Sement, HS 65	430 kg	430 kg	430 kg
Liapor 8	4-8 mm	270	Silica	35 kg	40 kg	35 kg
Liapor 8	8-16 mm	325	P, BV-40	1,5 l	1,5 l	1,5 l
Scancem P	40 %	2-3.5	SP, Sikament 110	7,0 l	5,5 l	5,5 l
Scancem SP-40	40 %	6-7.5	L, Sika AER 1:9	0,1 l	0,08 l	0,1 l
Scancem L(T)	1:9	0.5-1.5	Sand 0-5 mm	582 kg	680 kg	630 kg
Scancem R-20	20 %	0-0.3	Leca 4-8 mm	310 kg	280 kg	295 kg
			Leca 8-12 mm	286 kg	265 kg	275 kg
Vann (eks. absorpsjon)		155	Vatn totalt	195 kg	195 kg	195 kg
Forutsetninger :			Resept nr 1: Denne resepten ble bare brukt for det første feltet. Betongen var ustabil og den separerte. Bruk av transportbånd var også medvirkende årsak til separasjonen.			
masseforhold	≤	0.35 +/- 0.02	Nominelt $v/(c+2s) = 0.38$			
partikkeldensitet		1500 kg/m ³	Effektivt $v/(c+2s) = 0.31$ (7.5% absorpsjon)			
luftinnhold		5.0 %	Teoretisk densitet med 2.5 % luft og 7.5% abs. i Leca på 1893 kg/m ³ .			
Ved oppstart av glidestop og ved stop av pilaster ble det brukt en resept med økt innhold av sement og sand og redusert innhold av lettklinker.			Resept nr 2: Denne resepten ble bare brukt for de 3 siste lassene (15 m ³) i 9. felt, og fra og med 5. lass (70 m ³) i 10. felt.			
Sand 0-5 mm fra Årdal			Resept nr 3: Denne resepten er brukt for alle andre felt der resept nr 1 og 2 ikke er benyttet.			
			Nominelt $v/(c+2s) = 0.39$			
			Effektivt $v/(c+2s) = 0.31$ (7.5% absorpsjon)			
			Teoretisk densitet med 2.5% luft og 7.5% abs. i Leca på 1893 kg/m ³ .			

Figur 6 Nordhordlandsbrua – betongresepter. Flytebru til venstre /6/, høybru til høyre /7/

Lettbetong fra Raftsundet bru, LC-60 :	
Anleggsement	430 kg
Silika	25 kg
Sand 0 - 8 mm	774 kg
Stalite 140	584 kg
P	3,5 kg
Scancem SP-40	4 kg
LM	0,30 kg
Effektivt vann	173 kg
Effektivt v/c+2s:	ca. 0,36
Densitet ca. 2000 kg / m ³	

Figur 7 Raftsundbrua – betongresept (prøveblokker) /8/


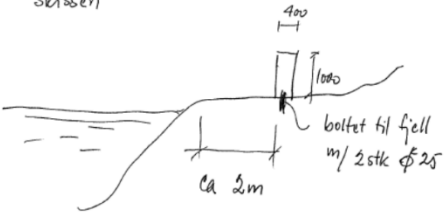

Resept LC60 SV40, delmaterialer i tørr vekt kg/m ³ :	
Sement, Anlegg	420 kg
Silica	35 kg
Leca HF 800, 4-12mm	600 kg
Sand 0-8mm	700 kg
Vann (absorbent)	48 liter
Vann tilsatt (fritt vann)	160 liter
Rescon L	0,5 kg
Rescon R	1,0 kg
Melstab	10 kg
Beregnet masseforhold $m_{effektiv} = v_{effektiv} / (c+2s) = 0,35$	


Figur 8 Stolmasundet bru – betongresept /9/

3.3 Prøveelementer/-blokker

Ved bygging av flere av disse bruene ble det støpt ut prøveblokker/-elementer av lettbetong, som ble utsatt for felteksponering i marint miljø. En del av disse prøvene er tapt/forsvunnet. Prøver som er antatt (dog ikke bekreftet) intakt pr 2016 framgår av oversikten i Tabell 3.

Tabell 3 Oversikt over felteksponerte prøveelementer med lettbetong

Bru	Prøveelement	Lokalitet	Foto
Støvset /11/	2 stk 2,0x1,5x0,4m ³ Støpt 9/7-93, avformet etter 1 dg, påført herdemembran Utplassert på brua 47 dg etter støping	Inntil kortveggene til søyle i akse 3	
Raftsund /8/	2 stk 1,0x1,0x0,4m ³ Støpt høst 1998 Én blokk med finérforskaling (t _{maks senter/overflate} = 74/72°C), én blokk med finérforskaling + 100 mm isolasjon (t _{maks senter/overflate} = 44/35°C) Utplassert ca 1-2 mnd etter støping	På nordsiden av den lange vegfyllingen øst for Delp i Lofoten	<p>En ideel plassering vi være som vist på skissen</p>  <p>Plassering av prøveblokker. Nå diskuteres!</p> <p>Skisse: Finn Fluge, notat datert 19/5-98</p>
Stolmasund /8/	2 stk 1,0x1,0x0,4m ³ Støpt høst 1998 Én blokk med finérforskaling, én blokk med finérforskaling + 100 mm isolasjon Utplassert ca 1-2 mnd etter støping	Ved Austefjorden ferjekai	

<p>Nordhordland høybru /12/</p>	<p>1 stk stort (3,0x1,0x0,5m³) og 20 stk små (0,6x0,6x0,2m³)</p> <p>Støpt 27/5-93, avformet etter 1 dg.</p> <p>Stort element: Påført herdemembran og tildekket med plast i 7 dg før utplassering i flomål</p> <p>Små elementer: Ulike herderegimer før utplassering i flomål eller neddykket (fra 1 til 32 dg etter støping)</p>	<p>Steinstø ferjekai</p>	 <p>Foto: Turid Tysnes, Statens vegvesen</p>
---	--	------------------------------	--

4 Akselerert prøving – utført ved SINTEF

4.1 Bakgrunn

Enkelte typer lettilslag, herunder de som er brukt i norske brukonstruksjoner (Stalite, Leca og Liapor), har en kjemisk sammensetning som potensielt kan forårsake alkalireaksjoner i betong. Det er imidlertid lite forskning som er utført på dette området, både i Norge og internasjonalt. Det finnes ingen dokumenterte metoder for dokumentasjon av lettilslag, og regelverket er mangelfullt. Det er imidlertid ikke kjent at lettbetong har utviklet alkalireaksjoner under reelle feltbetingelser.

I 2006 tok Reidar Kompen i Statens vegvesen kontakt med SINTEF med tanke på å utforme et prøveprogram for undersøkelse av de nevnte typer lettilslags potensielle reaktivitet. SINTEF utarbeidet i første omgang et omfattende prosjektforslag, inndelt i 5 faser, hvor relevante problemstillinger knyttet til risiko og konsekvenser av alkalireaksjoner skulle belyses og ulike aspekter ved regelverket skulle vurderes. Etter en dialog mellom SINTEF og Statens vegvesen ble innholdet i det opprinnelige prosjektforslaget betydelig redusert, slik at det endelige prosjektforslaget kun omfattet innledende laboratorieprøving av lettbetong LB50-LB55 med tre ulike tilslagstyper. Det begrensede prosjektet ble gjennomført som «Fase I – innledende laboratorieforsøk». Resultatene fra Fase I er rapportert i en egen SINTEF-rapport. Denne finnes i VEDLEGG 1. Etter at resultatene var rapportert ble det utført supplerende undersøkelser av de samme prøvestykkene etter lang tids eksponering. Disse resultatene er rapportert i et SINTEF-notat, se VEDLEGG 2. I de etterfølgende kapitler gis en oppsummering av SINTEF-rapportene.

4.2 Målsetning

Målsetningen med prosjektet var å belyse følgende hovedspørsmål:

- Kan alkalireaksjoner være et potensielt problem i lettbetong?
- Har letttilslagene pozzolan effekt?
- Kan det skje en utlutning av alkalier fra letttilslagene, som sekundært kan øke reaktiviteten også for reaktive «normaltilslag»?

Gjennom akselererte forsøk ble det søkt å undersøke hvordan alkalireaksjoner i lettbetong eventuelt arter seg, med hensyn på:

- Dannelse og intern fordeling av alkali-gel
- Ekspansjon
- Vektøkning
- Opprissing

4.3 Prøvingsprogram

Prøvingsprogrammet ble planlagt med bakgrunn i SINTEFs erfaringer og kunnskap på daværende tidspunkt, inklusive kunnskap basert på litteratursøk. Resultatene fra litteratursøket er oppsummert i vedlegg til SINTEF-rapporten.

Følgende metoder inngikk i prøvingsprogrammet:

- Måling av pozzolan reaktivitet
- Utlutning av alkalier fra tilslagene
- Mørtelprismemetoden (eksponering neddykket i 1 N NaOH-løsning ved 80°C)
- Etterfølgende mikroskopiundersøkelser (polarisasjonsmikroskopi + SEM-EDAX) av prøver fra eksponerte mørtelprismer

4.4 Materialer

Følgende letttilslag inngikk i prøvingsprogrammet:

- Liapor 8
- Leca 800
- Stalite

Ved støping av mørtelprismer ble det benyttet Norcem Industrisement fra Brevik, med alkaliinnhold på 1,11 % Na₂O-ekv.

Øvrige delmaterialer som ble benyttet fremgår av SINTEF-rapporten.

4.5 Pozzolan aktivitet

Det er mange likheter mellom pozzolan reaksjon og alkalireaksjon, og det er kjent at mange materialer som gir alkalireaksjon når de benyttes som tilslag i betong, kan gi pozzolan reaksjon dersom de knuses eller males ned til filler. Et kjent eksempel på dette fenomenet er silikastøv, som kanskje er det aller mest reaktive pozzolane materialet vi kjenner i kraft av sin ekstremt fine partikkelstørrelse og at det består av nesten ren amorf silika. Udispersert silikastøv, hvor det kan forekomme agglomerater av silikastøv i partikkelstørrelser på flere hundre mikrometer eller større, kan på den annen side føre til alkalireaksjoner.

I den pozzolane reaksjonen reagerer amorf eller kryptokrystallin silika (SiO_2) med kalsiumhydroksid ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). For å undersøke pozzolan reaktivitet ble nedknust materiale i partikkelstørrelser $< 0,125$ mm fra de tre lettilslagene lagt i $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -suspensjon for å reagere i ca. 4 uker, ved to temperaturer (20 og 80 °C). Blandingsforhold mellom filler og kalsiumhydroksid var 2:1. Forbrukt mengde $\text{Ca}(\text{OH})_2$, som altså er et direkte mål på pozzolan reaktivitet, ble målt ved termogravimetri (TG) hhv ved oppstart og etter ca. 4 uker.

Alle de tre lettilslagene viste pozzolan reaktivitet når de ble testet i nedknust form. Stalite og Leca 800 viste relativt lik pozzolan reaktivitet (henholdsvis 20 og 23 % forbruk av kalsiumhydroksid etter 27 døgn ved 20 °C), mens Liapor 8 viste betydelig høyere (36 %) forbruk av kalsiumhydroksid etter 27 døgn ved 20 °C). Den pozzolane reaktiviteten var som forventet høyere ved 80°C enn ved 20°C, og også ved 80°C viste Liapor betydelig høyere reaktivitet enn de to andre lettilslagene.

Alle de tre testede lettilslagene har altså potensiale til å reagere pozzolant i nedknust form. Dette er en tydelig indikasjon på at materialene har en kjemisk/mineralogisk sammensetning som gjør at de kan føre til alkalireaksjoner når de benyttes som normale tilslagsfraksjoner.

4.6 Utluting av alkalier

Et av de uavklarte områdene innenfor alkalireaksjoner er effekten av «utluting» av alkalier fra tilslaget i seg selv. Det er kjent at mange ordinære tilslag vil kunne frigi store mengder alkalier når de eksponeres i hydroksid-løsninger, spesielt gjelder dette fin-fraksjonen av tilslaget hvor den samlede overflaten blir stor. Det er imidlertid uavklart i hvor stor grad dette kan overføres til betong, dette er et område hvor det for tiden pågår forskning. Utluting av alkalier fra tilslag kan øke betongens alkaliinnhold over tid, kanskje til et nivå som ligger over kritisk grenseverdi for potensielt reaktive tilslag, både for normalt tilslag og lettilslag. På bakgrunn av dette ble det derfor gjennomført forsøk for å bestemme potensialet for utluting av alkalier for de 3 lettilslagene.

For å undersøke dette ble det utført forsøk ved at 20 g nedmalt lettilslag ble tilsatt 1 g kalsiumhydroksid og suspendert i 100 g av henholdsvis 0,7 N kaliumhydroksid (KOH) og 0,7 N natriumhydroksid (NaOH), noe som tilsvarer pH 13,85 for begge løsningene. Prøvene ble rystet godt og hensatt ved hhv 20 og 80 °C. Prøvene ble rystet opp ukentlig, og etter 28 døgn og 5 måneder ble det tatt ut væskeprøver for elementanalyser.

Det bemerkes at metoder for måling av utluting fra tilslag er et omdiskutert tema innenfor RILEM, også pr i dag. Metoden som ble benyttet her er en modifisert utgave av en RILEM-metode som er under utvikling. Modifiseringen gjaldt 1) nedmaling av tilslaget (øker utlutingspotensialet ved å øke tilslagets eksponeringsareal) og 2) tilsetning av kalsiumhydroksid til lutløsningen, dette for å simulere situasjonen i betong (øker utlutingspotensialet pga. ionebytting).

SINTEF har vurdert resultatene fra forsøkene som følger (sitert fra VEDLEGG 1):

«Ved 20 °C trekkes det ut noe mer kalium (K) enn natrium (Na) fra lettilslagene. Utluting av kalium er ikke særlig påvirket av temperatur, mens utlutning av natrium øker ved 80 °C (særlig for Stalite).

Utlutning av silisium er sterkere i en natriumløsning enn i en kaliumløsning, og mengden utlutet silisium øker drastisk (med en faktor på 6-23) når temperaturen økes fra 20 til 80 °C. Dette kan være av betydning ved vurdering av sterkt akselererte metoder som f.eks Mørtelprismemetoden.

Hvis en antar at en porevannsløsning luter ut like mye alkalier som henholdsvis KOH løser ut Na og NaOH løser ut K (løsningene er valgt av analytiske årsaker), så kan man bare summere $\text{Na}_2\text{O}_{\text{ekv}}$ i Tabell 3 for å få en total alkalieutlutning i % av lettilslaget. Man får da etter 28 døgn at alkalieutlutningen for Stalite, Liapor 8 og Leca 800 er henholdsvis 0,30, 0,34 og 0,34 $\text{Na}_2\text{O}_{\text{ekv}}$ (vekt-% av tilslag) ved 20 °C,

samt tilsvarende 0,97, 0,32 og 0,60 ved 80 °C. Etter et halvt år er alkaliutlutningen for Stalite, Liapor 8 og Leca 800 henholdsvis 0,52, 0,51 og 0,56 $\text{Na}_2\text{O}_{\text{ekv}}$ ved 20 °C, og henholdsvis 1,31, 0,40 og 0,88 $\text{Na}_2\text{O}_{\text{ekv}}$ ved 80 °C. $\text{Na}_2\text{O}_{\text{ekv}}$ utlutet har dermed økt for alle prøvene fra 28 døgn til et halvt år. For hvilken som helst betongresept hvor man kjenner innholdet av lettilslag kan man da multiplisere med $\text{Na}_2\text{O}_{\text{ekv}}$ og anslå potensiell alkaliutlutning fra lettilslaget».

Undersøkelsen har altså vist at potensialet for utlutning av alkalier er stort for alle tre lettilslagene. Dersom man antar en betongresept med 600 kg lettilslag pr m^3 betong, så vil en utlutning på eksempelvis 0,5 % $\text{Na}_2\text{O}_{\text{ekv}}$ gi et ekstra alkalibidrag til sementpastaen på 3 kg/m^3 $\text{Na}_2\text{O}_{\text{ekv}}$. Det må imidlertid presiseres at de angitte verdiene for mengde alkalier ikke kan overføres direkte til betong, det er som nevnt innledningsvis fortsatt uavklart hvor store mengder alkalier som faktisk vil kunne bli tilgjengelig i betongens porevæske.

4.7 Mørtelprismemetoden

4.7.1 Innledning

Metoden som ble benyttet er beskrevet i Norsk betongforenings Publikasjon nr 32/13/. Denne metoden er utviklet for prøving av ordinære tilslag basert på måling av ekspansjon, og er ikke tiltenkt testing av lettilslag. Metoden utføres på nedknust tilslag, hvilket gir økt overflateareal og redusert porøsitet. Videre eksponeres prøvestykkene under sterkt akselererte forhold (svært høy temperatur og tilførsel av eksterne alkalier). Effekten av disse parameterne er kommentert ved vurdering av resultatene, se avsnitt 4.7.2 og 4.7.3.

Mørtelprismeforsøkene ble startet opp i oktober 2005. Endringer i prismenes lengde og vekt ble bestemt etter 4, 7, 14, 28 og 56 døgns eksponering ved neddykking i 1 N NaOH-løsning ved 80 °C. Etter 56 døgns eksponering ble ett prisme fra hver blanding (tilslagstype) benyttet til mikroskopiundersøkelser, mens de øvrige to prismene pr blanding ble eksponert videre til 7 måneders alder, for ny vekt- og lengdemåling.

Etter 7 måneder ble prøvestykkene hensatt i eksponeringskarene ved 80 °C, uten systematisk kontroll av væsknivået i karene. Ved supplerende undersøkelser (lengde-/vektmåling og uttak av prøver for mikroskopiundersøkelser) ved ca. 14 måneders alder var vannstanden sunket til et nivå der kun nedre 2/3 av prismene var dekket av væske. Ved kontroll ved 23 måneders alder var karene tomme. Da ble lagringskarene fylt med ny væske, slik at prismene ble fullstendig neddykket, og prismene beholdt slik i 2 måneder før ny måling av lengde og vekt.

Resultater fra vekt- og lengdemålinger er oppsummert i avsnitt 4.7.2, mens resultater fra mikroskopiundersøkelsene er vist i avsnitt 4.7.3. For detaljer i gjennomføringen vises til SINTEF-rapport og -notat, VEDLEGG 1 og 2.

4.7.2 Lengde- og vektendring

Mørtelprismeresultatene er vist i Tabell 1 i VEDLEGG 1. Det fremgår av disse resultatene at ekspansjonen for Stalite var på 0,083 %, noe som er marginalt høyere enn grenseverdien for steintilslag gitt av Norsk Betongforenings publikasjon nr. 21 på 0,08 %. For tilslagene Liapor og Leca var ekspansjonen ca. halvparten av dette nivået. Basert på ordinære akseptkriterier for tilslag ville altså Liapor og Leca blitt klassifisert som ikke-reaktive, mens Stalite ville blitt klassifisert som reaktivt. Det videre ekspansjonsforløpet viser at alle 3 tilslagene fortsetter å ekspandere. Resultater etter ca. 2 års eksponering viser at ekspansjonen for Stalite-prøven var 0,41 %, og kun marginalt lavere for de to andre tilslagstypene.

I det etterfølgende gjengis SINTEFs samlede vurdering av resultatene/metoden (sitat fra VEDLEGG 1):

«Slik de tre tilslagene ble prøvd (knust), hadde de betydelig mindre hulromsandel enn de har slik de tradisjonelt benyttes (uknust) for produksjon av lettbetong. Derved har de ved prøvingen hatt mindre teoretisk kapasitet for vektøkning og større kapasitet for ekspansjon pga absorpsjon av lagringsvæske og reaksjonsmateriale fra eventuelle alkalireaksjoner, enn det de har ved bruk (uknust) i LWA- og MND-betong. Dette gjør at resultatenes representativitet er usikker, slik at de er vanskelig å tolke. At også andre forhold som at metoden er svært akselerert ved høy temperatur og høy alkalikonentrasjon, og at erfaringene fra bruk av den for prøving av lettilslag er svært begrenset, gjør det heller ikke enklere å tolke resultatene.

Det at mørtlene med de tre lettilslagene oppviste signifikante ekspansjoner kan imidlertid skyldes at de alle har utviklet alkalireaksjoner i løpet av prøvingsperioden. Ekspansjonene var størst for Stalite, det samme var vektøkningene.

De vektøkninger som er registrert i prøveperioden skyldes nok i all hovedsak absorpsjon av lagringsvæske. Hvor stor andel av vektøkningene som eventuelt skyldes eventuelle alkalireaksjoner, gir prøvingsresultatene ingen svar på.

Når det gjelder metodens egnethet for påvisning av lettilslags potensial for bidrag til utvikling av eventuelt skadelige alkalireaksjoner i betong, anser SINTEF den som betydelig dårligere enn for Betongprismemetoden. Dette både fordi Betongprismemetoden er betydelig mindre akselerert (lavere temperatur, ingen ekstern tilførsel av alkalier), fordi den benytter uknust lettilslag, og fordi resultatene, og da ikke minst vektøkning i løpet av prøveperioden, blir mer relaterbar til lettbetong brukt i konstruksjoner.»

4.7.3 Mikroskopiundersøkelser

Etter 56 døgns eksponering i mørtelprismemetode ble det gjennomført mikroskopiundersøkelser, henholdsvis polarisasjonsmikroskopi og SEM-EDAX. Begge mikroskoperingsteknikkene gir informasjon om mikrostruktur, eksempelvis forekomst av riss og gel. EDAX benyttes til semikvantitative kjemiske analyser, og kan f.eks. gi informasjon om kjemisk sammensetning av alkaligel. Supplerende undersøkelser ble gjennomført etter ca. 2 år.

Noen hovedkonklusjoner fra undersøkelsene oppsummeres nedenfor, for detaljer vises det til VEDLEGG 1 og VEDLEGG 2:

Rissintensiteten var høyest for Stalite, og lavest for Liapor. Det er imidlertid anmerket at ingen av prøvene hadde spesielt mye riss etter 56 døgns eksponering. Etter ca. 2 års eksponering var rissintensiteten økt betraktelig for alle prøver.

Alkalireaksjoner: Det ble observert alkaligel i alle prøver. Det gror gel og krystaller i porene i tilslagene, og det er utfelt gel i luftporer i pasta. Det presiseres at det forhold at alkaligelen gror inne i tilslagskornene kan gi en vektøkning uten særlig ytre ekspansjon i tidlig fase, men at ekspansjon kan komme på sikt når de indre porene er fylt med reaksjonsprodukter. Resultatene fra prøving etter 2 års eksponering viste mer fremskreden grad av alkalireaksjoner for alle typer av lettilslag, med høyere andel av alkaligel.

5 Undersøkelser av felteksponert betong – utført av NBTL

Det ble i 2013 gjennomført strukturanalyser av 3 felteksponerte lettbetonger for å fastslå om det var tegn til alkalireaksjoner. Følgende betonger ble undersøkt:

- Tilsvarende betong som benyttet i Raftsundbrua. Betongprøver tatt ut fra Statens vegvesens feltstasjon på Solsvik. Betongskiver fra midt i bjelketverrsnittet (ca 7-8 cm fra eksponert overflate), hhv i konstant neddykket sone (B), betong i skvalpesonen (M) og fra atmosfærisk sone (T). Lettbetong med Stalite tilslag. Felteksponert fra 1997, dvs. 16 års eksponering. Alkalimengde (alkalier fra sement) ca. 2,3 kg/m³. Mengde silikastøv: 5,8 % av sementvekt.
- Tilsvarende betong som benyttet i Stolmasundet bru. Betongprøver tatt ut fra Statens vegvesens feltstasjon på Solsvik. Betongskiver fra midt i bjelketverrsnittet (ca 7-8 cm fra eksponert overflate), hhv i konstant neddykket sone (B), betong i skvalpesonen (M) og fra atmosfærisk sone (T). Lettbetong med Leca tilslag. Felteksponert fra 1997, dvs. 16 års eksponering. Alkalimengde (alkalier fra sement) ca. 2,3 kg/m³. Mengde silikastøv: 8,3 % av sementvekt.
- Betongprøver tatt ut fra Sandhornøy bru. Betongsyndere er boret ut av Multiconsult, fra kassevegg mot sør (mest regn- og vindutsatte flate), akse 3-4, ca 9 meter fra akse 3, midt på kassevegg. Felteksponert fra 1989, dvs. 24 års eksponering. Alkalimengde (alkalier fra sement) ca. 4,4 kg/m³. Mengde silikastøv: 6,3 % av sementvekt.

Strukturanalysene ble utført og rapport av NBTL, se VEDLEGG 3. Sammenhengen mellom type betong, Statens vegvesens prøvemerking og NBTLs prøvemerking er vist i Tabell 4. (Rapporten omhandler også strukturanalyse fra normaldensitetsbetonger som ikke er relevant i denne sammenheng.)

Tabell 4 Sammenheng mellom de undersøkte brubetonger og prøvemerking i NBTL-rapporten i VEDLEGG 3

Betong	Statens vegvesens merking	NBTLs merking
Raftsund	13-2T, 13-2M og 13-2-B	13318 A1, A2, A3
Stolmasund	14-4T, 14-4M og 14-4B	13318 B1, B2, B3
Sandhornøy	P1	13318 E

I denne rapporten konkluderes det med at det ikke er tegn på alkalireaksjoner i noen av betongene. Det må imidlertid påpekes at alkalimengde er lav for 2 av betongene og at eksponeringstiden er relativt kort (16-24 år). Videre inneholder betongene silikastøv i mengder fra 5,8 – 8,3 % av sementvekt. Silikastøv vil binde alkalier og dermed redusere det «effektive» nivået av alkali-hydroksider i betongenes porevæske, og dermed gi en «preventiv» effekt mot alkalireaksjoner.

6 Konklusjoner og forslag til videre arbeid

Undersøkelsen utført av SINTEF har vist at de tre mest brukte lettilslagene Stalite, Leca og Liapor alle har en kjemisk/mineralogisk sammensetning som gjør dem potensielt alkalireaktive. Følgende forhold er dokumentert:

- Alle tre lettilslagene reagerer pozzolant når de knuses ned til partikkelstørrelser < 0,125 mm.
- Alle tre lettilslagene kan være en kilde for utlutning av alkalier
- Ved testing iht. mørtelprimemetoden er det påvist dannelse av alkaligel både i porer i lettilslaget og i pastaen.
- På kort sikt er ekspansjonene relativt små, men ved langtidseksponering gir alle tilslagene høye ekspansjoner.

På basis av dokumentasjonen nevnt over må det derfor antas at lettilslag vil kunne føre til alkalireaksjoner dersom forholdene ligger til rette for det i form av tilstrekkelig alkalimengde og tilstrekkelig høy fukt.

Undersøkelse av feltekspontert betong med alder fra 16-24 år har imidlertid ikke vist tegn til alkalireaksjoner. Det må påpekes at for to av de tre undersøkte betongene var alkalimengden lav, i tillegg ble det benyttet silikastøv i alle betongene, noe som kan gi en preventiv effekt mot alkalireaksjoner.

Risikoen ved bruk av lettilslag er fortsatt uavklart, og det anbefales videre undersøkelser. Dersom det utvikles alkalireaksjoner i lettbetong kan det tenkes at vektøkning og endringer i mekaniske egenskapene vil gi større utfordringer enn ekspansjon, spesielt i en tidlig fase av skadeutviklingen. SINTEF har anbefalt videre laboratorieprøving av lettilslag iht Betongprismemetoden. Dette både fordi Betongprismemetoden er betydelig mindre akselerert (lavere temperatur, ingen ekstern tilførsel av alkalier) og fordi den benytter uknust lettilslag (i forhold til Mørtelprismemetoden). Resultatene fra ekspansjonsmålingene vil fortsatt være lite egnet som vurderingskriterium, men vektøkning i løpet av prøveperioden vil være mer relaterbar til lettbetong brukt i konstruksjoner. Undersøkelsene må suppleres med mikroskopiundersøkelser, hhv. polarisasjonsmikroskopi og SEM-EDAX.

Statens vegvesen vil videreføre arbeidet med undersøkelser av lettilslags potensielle alkalireaktivitet i samarbeid med SINTEF, innenfor det pågående KPN-prosjektet /14/. Nedenfor gis en oppstilling av aktiviteter som enten er satt i gang, eller som anbefales satt i gang:

- SINTEF har i 2015 gjennomført et nytt litteratursøk, og også etterspurt dokumentasjon på eventuelle pågående alkalireaksjoner i reelle konstruksjoner med lettbetong blant sine internasjonale kontakter. I første omgang har dette resultert i et paper på ICAAR-konferansen i 2016.
- Det bør gjennomføres akselerert prøving iht. Betongprismemetoden for å kartlegge potensiell reaktivitet av ulike tilslag avhengig av alkalibelastning, og da med utvidet dokumentasjon utover ekspansjons-/vektmålinger. Det bør parallelt settes i gang feltforsøk (feltkuber) for å gi sikre langtidserfaringer.
- Det bør settes i gang forsøk for å verifisere hvor stor effekten av alkali-utlutning fra tilslag reelt sett er i betong.
- Det bør eventuelt også settes i gang forsøk for å verifisere preventiv effekt av pozzolane tilsetninger som flygeaske/silikastøv, eventuelt også effekt av slagg, for ulike alkalibelastninger.

7 Referanser

- 1 Melby, K.: «Long Span Bridges with Lightweight Concrete in Norway», Nordic Road & Transport Research No 2/2003
- 2 Rønne, M. og Teigland, J.: «Delprosjekt 1: Dokumentasjon av produksjon og tilstandskontroll. Delrapport 1.1: Beskrivelse av prosjekt med lettbetong. Endrestø bru», LIGHTCON-rapport STF22 A97813, ISBN 82-14-00368-7, Trondheim 1997
- 3 Lundeby, K.: «Delprosjekt 1: Dokumentasjon av produksjon og tilstandskontroll. Delrapport 1.8: Beskrivelse av prosjekt med lettbetong. Boknasund bru», LIGHTCON-rapport STF22 A97820, ISBN 82-14-00376-8, Trondheim 1997
- 4 Jørgensen, O., Havdahl, J., Rønne, M. og Teigland, J.: «Delprosjekt 1: Dokumentasjon av produksjon og tilstandskontroll. Delrapport 1.6: Beskrivelse av prosjekt med lettbetong. Bergsøysundbrua», LIGHTCON-rapport STF22 A97818, ISBN 82-14-00373-3, Trondheim 1997
- 5 Maage, M. og Johnsen, H.: «Delprosjekt 1: Dokumentasjon av produksjon og tilstandskontroll. Delrapport 1.4: Beskrivelse av prosjekt med lettbetong. Støvset bru», LIGHTCON-rapport STF22 A97816, ISBN 82-14-00371-7, Trondheim 1997
- 6 Jørgensen, J.T., Rosseland, S., Meland, I., Rønne, M. og Teigland, J.: «Delprosjekt 1: Dokumentasjon av produksjon og tilstandskontroll. Delrapport 1.3: Beskrivelse av prosjekt med

- lettbetong. Nordhordlandsbrua - Flytebru», LIGHTCON-rapport STF22 A97815, ISBN 82-14-00370-9, Trondheim 1997
- 7 Maage, M. og Heimdal, E.: «Delprosjekt 1: Dokumentasjon av produksjon og tilstandskontroll. Delrapport 1.5: Beskrivelse av prosjekt med lettbetong. Nordhordlandsbrua - Høybru», LIGHTCON-rapport STF22 A97817, ISBN 82-14-00372-5, Trondheim 1997
 - 8 Carlsen, J.E., Skjølvold, O. og Fluge, F.: «Delprosjekt 3: Bestandighet. Delrapport 3.10: Effekt av høy herdetemperatur på motstand mot kloridinntrenging», LETTKON-rapport STF22 A00708, ISBN 82-14-01959-1, Trondheim 1999
 - 9 Rosseland, S.: «Delprosjekt 4: Produksjon. Delrapport 4.7: Resultat og erfaringer med lettbetong på Stolumbrua», LETTKON-rapport STF22 A99766, ISBN 82-14-01065-9, Trondheim 1999
 - 10 Jensen, A.D.: «Sandhornøya bru. Undersøkelse av 23 borekerner», Foreløpig rapport, Dansk Teknologisk Institut, 1992.10.15
 - 11 Lillevold, I. og Blankvoll, A.: «Lightcon DP1: Dokumentasjon av produksjon og tilstandskontroll. Dokumentasjon av produksjon og lagring av prøveelementer i lettbetong fra Støvset bru», Statens vegvesen Nordland Vegkontor, rapport datert april 1994
 - 12 Rosseland, S. og Jørgensen, J.T.: «Dokumentasjon av produksjon og lagring av prøveelementer i lettbetong fra Salhusbrua – høgbru. Dokumentasjon av utboring og lagring av sylindrar fra pontong nr 8 og 10 Salhusbrua – flytebru », Statens vegvesen Hordaland, rapport datert 20. juni 1994
 - 13 Norsk Betongforenings Publikasjon nr 32: «Alkalireaksjoner i betong. Prøvmetoder og krav til laboratorier».
 - 14 SINTEF KPN-prosjekt 236661 «Alkali-silica reaction in concrete – reliable concept for performance testing», (2014-2018). Finansiert av Forskningsrådet og partnere fra Norsk industry.

VEDLEGG:

- 1 Lindgård, J., Justnes, H., Haugen, M. og Dahl, P.A.: «Alkalireaksjoner i lettbetong – innledende laboratorieprøving», SINTEF-rapport SBF52 F06004, Trondheim 2006
- 2 Haugen, M., Justnes, H. og Lindgård, J.: «Alkalireaksjoner i lettbetong. Supplerende undersøkelser etter lang tids eksponering i 80°C og 1N NaOH», SINTEF-notat datert 2007-11-29
- 3 Jensen, V.: «Avrop 17: Strukturanalyser for undersøkelse av eventuell alkalireaksjon fra fire ulike konstruksjoner/elementer med fire ulike betonger», NBTL-rapport nr 13318, Trondheim 2013

VEDLEGG 1

SINTEF-rapport: «Alkalireaksjoner i lettbetong – innledende laboratorieprøving», 2006

SBF52 F06004 – Fortrolig

RAPPORT

Alkalireaksjoner i lettbetong – innledende laboratorieprøving

Jan Lindgård, Harald Justnes, Marit Haugen, Per Arne Dahl

SINTEF Byggforsk AS

Betong

August 2006

www.sintef.no



SINTEF Byggforsk AS
Betong

Postadresse: 7465 Trondheim
Besøk: Richard Birkelands vei 3
Telefon: 73 59 52 24
Telefaks: 73 59 71 36

Foretaksregisteret: NO 989 015 540 MVA

SINTEF RAPPORT

TITTEL

**Alkalireaksjoner i lettbetong –
innledende laboratorieprøving**

FORFATTER(E)

Jan Lindgård, Harald Justnes, Marit Haugen, Per Arne Dahl

OPPDRAGSGIVER(E)

Statens vegvesen, Vegdirektoratet
Pb. 8142 dep
0030 OSLO

RAPPORTNR. SBF52 F06004	GRADERING Fortrolig	OPPDRAGSGIVERS REF. Reidar Kompen	
GRADER. DENNE SIDE Fortrolig	ISBN	PROSJEKTNR. 227185	ANTALL SIDER OG BILAG 33 / 1
ELEKTRONISK ARKIVKODE I:\pro\227185\Rapport F06004.doc	PROSJEKTLÉDER (NAVN, SIGN.) Jan Lindgård	VERIFISERT AV (NAVN, SIGN.) Per Arne Dahl	
ARKIVKODE	DATO 2006-08-10	GODKJENT AV (NAVN, STILLING, SIGN.) Einar Aassved Hansen	

SAMMENDRAG

Enkelte typer lettilslag har kjemisk sammensetning som potensielt kan forårsake alkalireaksjoner (AR). Praktiske erfaringer så langt i Norge gir ingen indikasjoner på at de lettilslagene vi har benyttet gir slike reaksjoner i skadelig omfang, men alkalireaksjoner i lettbetong i Norge kan ikke utelukkes før erfaringsgrunnlaget blir bedre.

Gjennom dette begrensede, innledende prosjektet (fase I) er det søkt det å belyse følgende spørsmål: *Kan alkalireaksjoner være et potensielt problem i lettbetong?* Forsøkene er begrenset til å konsentrere seg om lettbetong LB50-LB55 med tre typer lettilslag.

Hovedkonklusjonen fra de utførte forsøkene er at det ved Mørtelprismemetoden utvikles alkalireaksjoner for alle de tre lettilslagene Stalite, Leca 800 og Liapor 8. Stalite gir både høyest ekspansjon, høyest vektøkning og den største produksjonen av alkaligel.

Mørtelprismemetoden synes egnet for vurdering av alkalireaktiviteten til Stalite, men det er mer tvilsomt om den egner seg for prøving av Leca 800 og Liapor 8, da disse i større grad reagerer pozzolant under de rådende prøvebetingelser.

For å undersøke betydningen av de observerte funnene, både med tanke på bruk av de ulike lettilslagene i betong og med tanke på hvilke metoder lettilslag bør prøves og vurderes i henhold til, er det foreslått et oppfølgende prosjekt i tråd med det opprinnelige prosjektilbudet.

STIKKORD	NORSK	ENGELSK
GRUPPE 1	Materialteknikk	Material technology
GRUPPE 2	Betong	Concrete
EGENVALGTE	Lettbetong	Light weight aggregate concrete
	Alkalireaksjoner	Alkali aggregate reactions
	Laboratorieprøving	Laboratory testing

INNHALDSFORTEGNELSE

1	Innledning	3
1.1	Bakgrunn	3
1.2	Målsetning	3
1.3	Fase I - innledende laboratorieforsøk	3
2	Lettilslag	4
3	Pozzolan aktivitet	4
3.1	Generelt	4
3.2	Metode for måling av pozzolan aktivitet	4
3.3	Resultater pozzolan aktivitet	5
3.4	Vurdering av pozzolan aktivitet	5
4	Utlutning av alkalier	6
4.1	Generelt	6
4.2	Metode for måling av alkaliutlutning	6
4.3	Resultater alkaliutlutning	6
4.4	Vurdering av alkaliutlutning	8
5	Mørtelprismemetoden	8
5.1	Delmaterialer	8
5.2	Mørtelblandinger	9
5.3	Prøving og resultater	9
5.4	Kommentarer til resultatene fra Mørtelprismeforsøkene	10
6	Mikroskopiundersøkelser av mørtelprismer	12
6.1	Utførte forsøk	12
6.2	Prøvepreparering	12
6.3	Tynnslipundersøkelser	12
6.4	Sveipeelektronmikroskopi (SEM)	18
7	Samlet vurdering av prøvingsresultatene	31
8	Forslag til videre undersøkelser	32
9	Konklusjoner	33
10	Referanser	33

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Enkelte typer lettilslag har kjemisk sammensetning som potensielt kan forårsake alkalireaksjoner (AR). Praktiske erfaringer så langt i Norge gir ingen indikasjoner på at de lettilslagene vi har benyttet gir slike reaksjoner i skadelig omfang. Det foreligger dog ikke systematiske langtidsobservasjoner mht relevante kombinasjoner av sement og lettilslag. Internasjonalt er det imidlertid rapportert om enkelttilfeller hvor årsaken til alkalireaksjoner hevdes å være knyttet til bruk av visse typer lettilslag. Alkalireaksjoner i lettbetong i Norge kan derfor ikke utelukkes før erfaringsgrunnlaget blir bedre.

Arbeidet som tidligere er utført for lettilslag synes mer å ha karakter av ”sporadiske enkeltforsøk” utført ved ulike laboratorier, med ulike typer tilslag og ved bruk av ulike metoder. Det er derfor et stort behov for å gjennomføre et systematisk FoU-arbeide også for lettilslag med hensyn på problematikken alkalireaksjoner. Dette var bakgrunnen for at SINTEF Betong (etter forespørsel fra Reidar Kompen) i slutten av 2004 utarbeidet et prosjektilbud til SVV, Vegdirektoratet (jfr utkast datert 2004-12-02 og endelig forslag datert 2005-02-04). Gjennom prosjektets 5 foreslåtte faser skulle det søkes å gi svar på relevante problemstillinger knyttet til faren for og konsekvensene av evt. alkalireaksjoner i lettbetong, samt vurdere nødvendig norsk regelverk på området.

I det endelige prosjektilbudet (som ble utarbeidet på grunnlag av tilbakemeldinger fra / diskusjoner med Statens vegvesen, Vegdirektoratet) ble ambisjonsnivået redusert betraktelig (primært på grunn av mangel på finansiering hos oppdragsgiver).

1.2 Målsetning

Gjennom dette begrensede, innledende prosjektet (fase I) søkes det å belyse følgende spørsmål:

- o Kan alkalireaksjoner være et potensielt problem i lettbetong?

Forsøkene er begrenset til å konsentrere seg om lettbetong LB50-LB55 og tre typer lettilslag.

1.3 Fase I - innledende laboratorieforsøk

For å søke å svare ”ja” eller ”nei” på spørsmålet om alkalireaksjoner kan være et potensielt problem i lettbetong med de aktuelle lettilslagene, har vi i henhold til avtale med SVV gjennomført et innledende laboratorieprogram. De valgte metodene er delvis basert på erfaringene fra litteratursøket oppsummert i vedlegget til det mer omfangsrike prosjektilbudet datert 2005-02-04. Litteratursøket er også vedlagt denne rapporten (VEDLEGG 1). For alle metodene er det gjort forsøk med de tre lettilslagene Stalite, Leca 800 og Liapor 8.

Følgende delspørsmål er søkt belyst (henvisning til kapittel med nærmere omtale av de ulike laboratorieforsøk er gitt i parentes):

- o Har lettilslagene pozzolan effekt? (3)
- o Kan lettilslagene være kilde for utluting av alkalier? (4)
- o Ekspanderer betongen? (5)
- o Får betongen vektøkning? (5)
- o Utvikles det riss i mørtelen/betongen? (5 og 6)
- o Produseres det alkaligel ved ekspansjonsforsøk? (5 og 6)
- o Hvordan fordeler evt. alkaligelen seg i betongen (i porer og riss)? (6)

2 Lettilslag

De tre typene lettilslag ble framskaffet på følgende måte:

Stalite

Var tilgjengelig på SINTEFs lager (Journalnr A-2420)

Leca 800

Var tilgjengelig på SINTEFs lager (merket "HF 800 (4-12)")

Liapor 8

Ble tilsendt fra Lias-Franken Leichtbaustoffe GmbH&Co (Journalnr A-2590)

Egenskapene til de ulike lettilslagene, dvs. densitet, siktekurve og vannabsorpsjon, er angitt i kapittel 5.1.1.

3 Pozzolan aktivitet

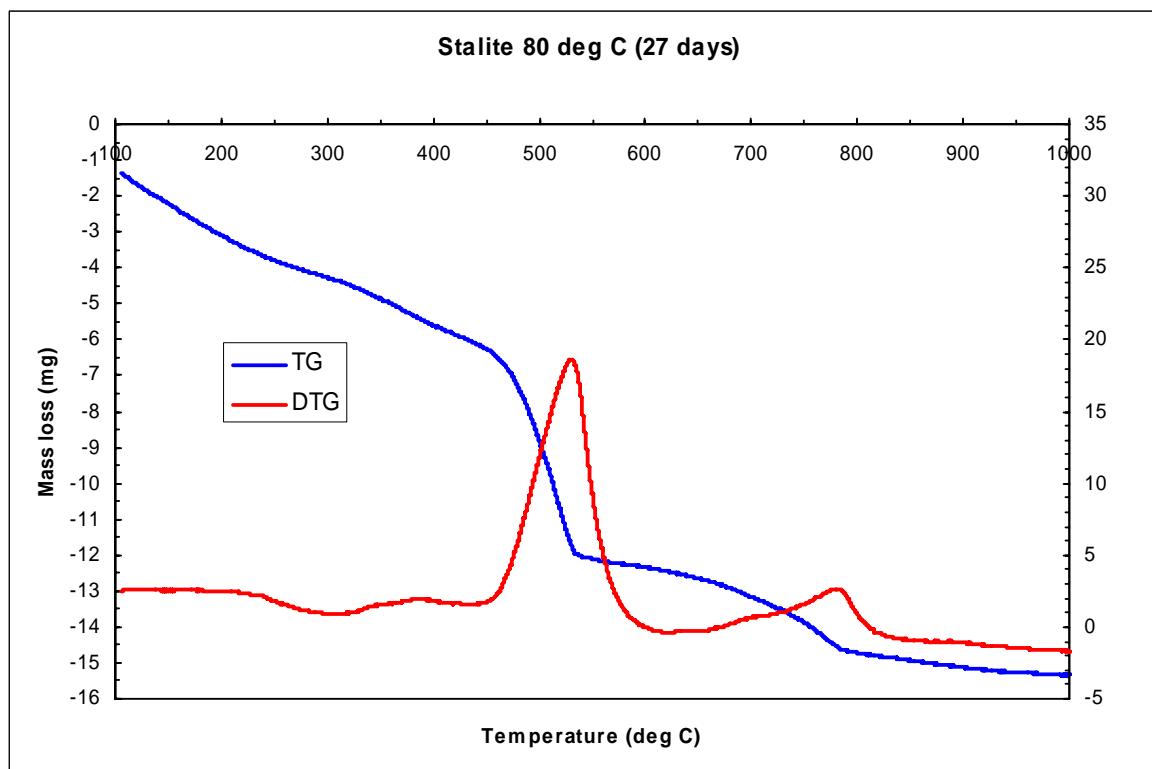
3.1 Generelt

Dersom et tilslag viser pozzolan aktivitet (dvs. har pozzolan effekt) i nedknust tilstand, kan det ut fra mineralogisk sammensetning også være potensielt alkalireaktivt når det benyttes som tilslag i betong. For å undersøke dette forholdet nærmere for de aktuelle lettilslagene, er det utført forsøk på nedmalte materialer lagt i $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -suspensjon der "forbruk av $\text{Ca}(\text{OH})_2$ " måles ved hjelp av termogravimetri (TG).

Alle tre lettilslagene er testet ved to temperaturer (hhv 20 og 80 °C) og ved to tidspunkt (referanse ved start og etter ca 4 uker).

3.2 Metode for måling av pozzolan aktivitet

Lettilslagene er malt ned til $< 125\mu\text{m}$ og blandet sammen med halv mengde kalsiumhydroksid (forhold 2:1) og tilsatt vann av pH 13,5 hvor det molare forholdet $\text{K}/\text{Na} = 2/1$ for å simulere porevann i betong. Resepten var 66 g nedmalt lettilslag, 33 g kalsiumhydroksid og 60 g "porevann". I en del av hver suspensjon ble evt kjemisk reaksjon stoppet umiddelbart etter blanding ved utrøring i etanol og tørking ved 105°C. To andre deler av hver suspensjon ble lagret i 27 døgn ved henholdsvis 20 og 80°C, og kjemiske reaksjoner stoppet på samme måte. Vekttapskurvene som funksjon av temperatur (TG/DTG) ble målt ved hjelp av DTA utstyr i området 105 - 1000°C. Fra disse kurvene bestemte man mengde kalsiumhydroksid. Eksempel på en slik kurve er gitt i Figur 1. Vekttap fra TG-kurven i området ca 400-600°C (temperaturintervallet ble bestemt nøyaktig fra DTG kurven) skyldes vann som spaltes av kalsiumhydroksid; $\text{Ca}(\text{OH})_2 = \text{CaO} + \text{H}_2\text{O}$. Man kan dermed regne seg tilbake til mengde kalsiumhydroksid i prøven.



Figur 1 TG- (venstre y-akse) og DTG- (høyre y-akse) kurver som funksjon av temperatur for nedmalt Stalite/kalsiumhydroksid suspensjon eksponert for 80 °C i 27 dager.

3.3 Resultater pozzolan aktivitet

Mengde kalsiumhydroksid i prøvene relativt til referansene (0 døgn) er gjengitt i Tabell 1 for alle tre lettilslagene. Forbruket av kalsiumhydroksid er et mål på pozzolan aktivitet.

Tabell 1 Innhold av kalsiumhydroksid i blandinger av lettilslag og kalsiumhydroksid eksponert for ulike betingelser (med "brent" menes prøve varmet til 1000 °C)

Lettislag	Stalite	Leca 800	Liapor 8
Referanse (0 dg)	100 % (0,293 g/g brent)	100 % (0,306 g/g brent)	100 % (0,307 g/g brent)
27 døgn ved 20°C	79,7 %	77,2 %	64,3 %
27 døgn ved 80°C	61,9 %	60,5 %	40,3 %

3.4 Vurdering av pozzolan aktivitet

Alle tre lettilslagene viser tegn på pozzolan aktivitet. Stalite og Leca 800 er relativt like, mens Liapor 8 viser ca 50 % større pozzolan aktivitet enn disse to.

4 Utlutning av alkalier

4.1 Generelt

Dersom noen av lettilslagene har evnen til å lute ut alkalier når de benyttes i det basiske miljøet i betongen, kan de øke betongens alkali-innhold utover kritiske grenseverdier. Dersom det aktuelle lettilslaget i seg selv kan være alkalireaktivt eller at et evt. ”normaldensitetstilslag” benyttet i betongen (evt. natursand eller stein i en MND-betong) er potensielt alkalireaktivt, kan dette føre til utvikling av alkalireaksjoner. For å undersøke dette forholdet nærmere, er det utført forsøk i henhold til en modifisert utgave av en ny metode som er under utvikling og utprøving innenfor RILEM. Modifiseringen innebærer at nedmalte materialer er testet (verste tilfelle), samt at det er benyttet en lutløsning tilsatt litt $\text{Ca}(\text{OH})_2$ i stedet for ren lutløsning for å være mer i tråd med forholdene i porevannet i en betong. Dagens erfaringsgrunnlag med begge metodene inkluderer kun forsøk med ”normaldensitetstilslag” (så vidt vi kjenner til).

Alle tre lettilslagene er testet (skal testes) ved to temperaturer (hhv 20 og 80 °C) og ved to tidspunkt (hhv 28 døgn og ½ år).

4.2 Metode for måling av alkaliutlutning

20 g nedmalt lettilslag ble tilsatt 1 g kalsiumhydroksid og suspendert i 100 g av henholdsvis 0,7 N kaliumhydroksid (KOH) og 0,7 N natriumhydroksid (NaOH). Dette tilsvarer pH 13,85 for begge løsningene. Prøvene ble rystet godt og hensatt ved hhv 20 og 80 °C, hvor de ble rystet opp hver uke. Etter 28 døgn ble 5 ml væske tatt ut, filtrert og sendt for elementanalyse. Løsningene tilsatt KOH ble analysert på mengde Na som er trukket ut av tilslaget, mens løsningen tilsatt NaOH ble analysert på mengde K trukket ut av tilslaget. Den lille mengden kalsiumhydroksid tilsatt kan forsterke utlutningen av alkalier pga ionebytting, og ble tilsatt fordi betong i praksis har et overskudd fri kalsiumhydroksid.

Væskeprøver ble også analysert etter et halvt år.

4.3 Resultater alkaliutlutning

Resultatene fra analysen av væskeuttakene er gitt i Tabell 2. Etersom man brukte et mer avansert instrument enn det som først ble forutsatt, fikk en flere elementer enn bestilt (dvs. K og Na). De viktigste av disse er også angitt (Si var dessverre ikke oppgitt ved et halvt år).

Tabell 2 *Elementanalyse (g/l) av væskeuttrekk fra de tre nedknuste lettilslagene.*

Lettislag	Stalite		Liapor 8		Leca 800	
	20°C	80°C	20°C	80°C	20°C	80°C
28 dg KOH uttrekk:						
Na	0,378	1,772	0,211	0,416	0,344	0,815
Si	0,196	4,552	0,303	3,536	0,111	1,922
Ca	0,004	0,005	0,003	0,004	0,004	0,001
Ba	0,001	0,003	<0,001	0,003	0,001	<0,001
Fe	0,001	0,001	0,001	<0,001	0,001	0,004
28 dg NaOH uttrekk:						
K	0,385	0,377	0,771	0,383	0,559	0,682
Si	0,496	7,180	0,603	3,894	0,494	8,066
Ca	0,002	0,002	0,002	0,005	0,002	0,007
Ba	<0,001	0,004	<0,001	0,003	<0,001	0,004
Fe	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
182 dg KOH uttrekk:						
Na	0,588	2,382	0,258	0,544	0,464	1,364
Si	---	---	---	---	---	---
Ca	0,006	0,010	0,007	0,009	0,009	0,009
Ba	---	---	---	---	---	---
Fe	0,001	0,001	0,002	<0,001	0,002	<0,001
182 dg NaOH uttrekk:						
K	0,781	0,507	1,256	0,417	1,098	0,732
Si	---	---	---	---	---	---
Ca	0,006	0,015	0,003	0,011	0,007	0,015
Ba	---	---	---	---	---	---
Fe	0,002	0,001	<0,001	<0,001	0,002	0,001

Hvis man tar hensyn til at densiteten er 1,310 kg/l for 0,7 N NaOH og 1,390 kg/l for 0,7 N KOH, så kan man regne ut utlutningen av Na, K og Si i % av selve tilslaget. Dette er gjort i Tabell 3.

Tabell 3 *Utlutning av Na, K og Si (%) fra de tre lettilslagene, samt Na₂O_{ekv} (%).*

Lettislag	Stalite		Liapor 8		Leca 800	
	20°C	80°C	20°C	80°C	20°C	80°C
28 dg KOH uttrekk:						
Na	0,136	0,637	0,076	0,150	0,124	0,293
Na ₂ O _{ekv}	0,183	0,859	0,102	0,202	0,167	0,395
Si	0,071	1,637	0,109	1,272	0,040	0,691
28 dg NaOH uttrekk:						
K	0,147	0,144	0,294	0,146	0,213	0,260
Na ₂ O _{ekv}	0,117	0,114	0,233	0,116	0,169	0,206
Si	0,189	2,740	0,230	1,486	0,189	3,079
182 dg KOH uttrekk:						
Na	0,212	0,857	0,093	0,200	0,167	0,491
Na ₂ O _{ekv}	0,285	1,153	0,125	0,269	0,225	0,661
Si	---	---	---	---	---	---
182 dg NaOH uttrekk:						
K	0,298	0,194	0,480	0,159	0,419	0,279
Na ₂ O _{ekv}	0,237	0,154	0,382	0,127	0,333	0,222
Si	---	---	---	---	---	---

4.4 Vurdering av alkaliutlutning

Ved 20°C trekkes det ut noe mer kalium (K) enn natrium (Na) fra lettilslagene. Utlutning av K er ikke særlig påvirket av temperatur, mens Na utlutning øker for 80°C (særlig for Stalite).

Utlutning av silisium er sterkere i en natriumløsning enn i en kaliumløsning, og mengden utluttet silisium øker drastisk (med en faktor på 6-23) når temperaturen økes fra 20 til 80°C. Dette kan være av betydning ved vurdering av sterkt akselererte metoder som f.eks. Mørtelprismemetoden.

Hvis en antar at en porevannløsning luter ut like mye alkalier som henholdsvis KOH løser ut Na og NaOH løser ut K (løsningene er valgt av analytiske årsaker), så kan man bare summere $\text{Na}_2\text{O}_{\text{ekv}}$ i Tabell 3 for å få total alkalieutlutning i % av lettilslaget. Man får da etter 28 døgn at alkaliutlutningen for Stalite, Liapor 8 og Leca 800 er henholdsvis 0,30, 0,34 og 0,34 $\text{Na}_2\text{O}_{\text{ekv}}$ (vekt-% av tilslag) ved 20°C, samt tilsvarende 0,97, 0,32 og 0,60 ved 80°C. Etter et halvt år er alkaliutlutningen for Stalite, Liapor 8 og Leca 800 henholdsvis 0,52, 0,51 og 0,56 $\text{Na}_2\text{O}_{\text{ekv}}$ ved 20°C, og henholdsvis 1,31, 0,40 og 0,88 $\text{Na}_2\text{O}_{\text{ekv}}$ ved 80°C. $\text{Na}_2\text{O}_{\text{ekv}}$ utluttet har dermed økt for alle prøvene fra 28 døgn til et halvt år. For hvilken som helst betongresept hvor man kjenner innholdet av lettilslag kan man da multiplisere med $\text{Na}_2\text{O}_{\text{ekv}}$ og anslå potensiell alkaliutlutning fra lettilslaget.

5 Mørtelprismemetoden

5.1 Delmaterialer

5.1.1 Lettilslag

De tre lettilslagene Liapor 8, Leca 800 og Stalite ble først knust, fraksjonert, vasket og tørket som angitt i D.2.1 i NB 32. De ble deretter sammensatt med en volummessig kornfordeling om lag tilsvarende den som er angitt i D.2.2 i NB 32 for tilslag hvor alle kornstørrelser har identisk partikkeldensitet. For de knuste lettilslagskornene økte partikkeldensiteten med avtagende kornstørrelse. Til slutt ble de holdt neddykket i vann i 1 time og tørket til overflatetørt tilstand. I denne tilstand ble de brukt i blandingene. Tabell 1 gjengir data for tilslagene før knusing og etter knusing/fraksjonering/sammensetning som anvendt i blandingene. Data for partikkeldensitet, 1 times vannabsorpsjon og korngradering (for ovnstørt lettilslag) er gjengitt i Tabell 4.

Tabell 4 1 times vannabsorpsjon og partikkeldensitet (vannmettet og overflatetørt); før og etter knusing og fraksjonering, samt kornfordeling som benyttet i blandingene.

Letttilslag		Liapor 8	Leca 800	Stalite	
Uknust	1 times vannabsorpsjon, %	6	7	3	
	Densitet, inkl abs. vann, kg/m^3	1440	1450	1500	
Knust, fraksjonert og sammensatt	1 times vannabsorpsjon, %	25	26	24	
	Densitet, inkl abs. vann, kg/m^3	1700	1700	1800	
	Kornandel (ovnstørre korn) i masseprosent innen fraksjon, mm	0,125-0,25	12,0		
		0,25-0,5	27,3		
		0,5-1	25,2		
		1-2	23,2		
2-5		12,3			

5.1.2 Sement

Norcem Industrisement produsert av Norcem i Brevik.

Sementens volumstabilitet var tilfredsstillende.

Sementen hadde følgende alkali-innhold, beregnet som ekvivalente mengder Na_2O : 1,11 %.

Sementen var frasiktet korn $> 1,19$ mm før bruk.

5.1.3 Vann

Deionisert vann av $20 \pm 2^\circ\text{C}$.

5.1.4 SP-stoff

Scanflux AD-18 med 18 % tørrstoffinnhold og et alkali-innhold (Na_2O ekvivalent mengde) på 0,67 %.

5.2 Mørtelblandinger

Forsøket bestod av en mørtelblanding med sammensetning 1 vektdel sement : 1,55 vektdeler ovenstørt lettilslag (utgjør om lag samme volum som 2,25 vektdeler normaltilslag med densitet $2,67 \text{ kg/m}^3$) : varierende andel vann absorbert i lettilslaget : 0,45 vektdeler fritt vann : varierende andel SP-stoff tilsatt for å oppnå tilfredsstillende konsistens (se Tabell 5). For hver blanding ble konsistensen (rystebordsverdi etter NS-EN 1015-3) bestemt før det ble utstøpt 3 stk 40·40·160 mm prizmer.

Blanding, konsistensbestemmelse og utstøping ble utført som beskrevet i NB 32.

5.3 Prøving og resultater

Prismenes referanselengde og referansevekt ble målt etter 24 ± 2 timers lagring ved $20 \pm 1^\circ\text{C}$, 100 % RF og 24 ± 2 timers påfølgende lagring i vann som ble oppvarmet fra $20 \pm 1^\circ\text{C}$ til $80 \pm 2^\circ\text{C}$.

Endring av prismenes lengde og vekt i forhold til disse referanseverdiene ble bestemt etter hhv 4, 7, 14, 28, 42 og 56 døgns lagring neddykket i 1 N NaOH løsning av $80 \pm 2^\circ\text{C}$ (se Tabell 5).

Alle lengdemålinger ble utført innen 20 sekunder etter at prismene var tatt opp av væsken i beholderne.

Resultater fra noen andre typer tilslag, både lettilslag og normaldensitetstilslag er vist i Tabell 6.

Tabell 5 Resultater fra Mørtelprismeforsøk med de tre lettilslagene Liapor 8, Leca 800 og Stalite.

Tilslag (Blanding nr)		Liapor 8 (1)	Leca 800 (2)	Stalite (3)	
Material-sammen-setning, gram pr blanding	Sement	600			
	Lettilslag (inkl. absorbert vann)	Liapor 8	1169	-	-
		Leca 800	-	1170	-
		Stalite	-	-	1156
	Scanflux AD-18	20	0	0	
Fritt vann	270				
Konsistens; rystebordsverdi, mm		189	143	227	
Ekspansjon i % (vektøkning i gram/dm ³) av referanselengde (referansevekt) etter lagring i 1 N NaOH- løsning av 80 ± 2 °C i	4 døgn	0,026 (46)	0,019 (31)	0,029 (55)	
	7 døgn	0,034 (62)	0,028 (48)	0,048 (80)	
	14 døgn	0,044 (84)	0,046(75)	0,083 (111)	
	28 døgn	0,057 (111)	0,080 (99)	0,138 (133)	
	42 døgn	0,061 (126)	0,103 (107)	0,177 (141)	
	56 døgn	0,066 (138)	0,120 (111)	0,209(148)	
	7 mnd	0,112 (164)	0,183 (149)	0,317 (198)	

Tabell 6 Ekspansjon og vektøkning for ulike typer tilslag prøvd etter Mørtelprismemetoden.

Tilslag	Skumglass (knust)	Lyttag (uknust FA)	Ottersbo (kataklasitt)	Årdal** (granitt)	
Densitet; kg/m ³	700	2300	2690	2670	
Vannabsorpsjon, %	?	18	0,5	0,7	
Ekspansjon i % (vektøkning i gram/dm ³) av referanselengde (referansevekt) etter lagring i 1 N NaOH- løsning av 80 ± 2 °C i	4 døgn	0,01 (67)	0,01 (64)	0,06 (18)	0,01 (10)
	7 døgn	0,04 (86)	0,02 (77)	0,11 (30)	0,02 (11)
	14 døgn	0,17 (93)	0,02 (95)	0,26 (39)	0,05 (13)
	28 døgn	0,66 (127)	0,03 (116)	0,44 (44)	0,12 (21)
	42 døgn	*	*	0,57 (42***)	---
	56 døgn	*	*	0,67 (40***)	0,22 (36)

Merknad: * Prøving ut over 28 døgn ble ikke utført.

** RILEM AAR-2 metode (gir litt høyere ekspansjon enn NB32-metoden)

*** Vektreduksjonen fra 28 og fram til 56 døgn skyldes sannsynligvis tap av materiale avskalling.

5.4 Kommentarer til resultatene fra Mørtelprismeforsøkene

Som det framgår av Tabell 4, medførte knusingen og fraksjoneringen at både densitet og 1-times vannabsorpsjon økte betraktelig for alle de tre undersøkte lettilslagene. Derved var det teoretisk tilgjengelige totale volum for fylling av vann ved absorpsjon samt av gel fra eventuelle alkalireaksjoner mindre for lettilslagene slik de ble prøvd, enn det det er slik de blir brukt ved produksjon av lettbetong.

5.4.1 Ekspansjoner

Ved prøving etter Mørtelprismemetoden angir NB 21 i Tabell 3.1 at steintilslag som oppviser ekspansjoner etter 14 døgn på 0,08 % eller mer, skal anses som alkalireaktive. Bedømt ut fra dette kriteriet ville steinfraksjoner av Stalite-tilslaget (0,083 %) vært å anse som alkalireaktive, mens steinfraksjoner av Liapor- (0,04 %) og Lecatilislag (0,04 %) ville vært å anse som ikke-alkalireaktive.

Når det gjelder ekspansjonen etter 14 døgn for Stalite-mørtelen i forhold til referansemørtlene i Tabell 6, er den om lag 50 % av ekspansjonen for tilsvarende mørtel med det svært reaktive skumglasstilslaget, betydelig større enn for mørtelen med det ikke-alkalireaktive Årdalstilslaget og betydelig mindre enn for mørtelen med det alkalireaktive Ottersbo-tilslaget.

5.4.2 Vektøkning

Om en grovt antar at densiteten for faststoffandelen (uten porer) for de tre lettilslagene er om lag $2,6 \text{ kg/dm}^3$, inneholdt de etter knusing og fraksjonering i området 44 - 48 volumprosent porer. Før bruk i mørtelblandingene, ble om lag halvparten av disse porene fylt opp med absorbert vann. Den resterende, ikke vannfylte andelen av tilslagsporene kan da anslås til et volum pr dm^3 mørtel tilsvarende omlag $0,18 \text{ dm}^3$. Fylling av dette porevolumet med vann eller annet medium med tilsvarende densitet, ville alene medført en vektøkning på om lag 180 gram/dm^3 mørtel. Kun blandingen med Stalite ga så stor vektøkning i løpet av prøveperioden. Den vektøkning som pga fylling av tilslagsporer og hydratasjon skjedde i vannlagrings- og oppvarmingsdøgnet fra avforming til bestemmelse av referansevekt, ble imidlertid ikke registrert. Den har sannsynligvis vært betydelig, men siden den ikke ble registrert, samt fordi anslaget av tilslagenes faststoffpartikkeldensitet er vel grovt, er det ikke mulig å fastslå hvor stor andel av det tilgjengelige porevolum i lettilslaget som ble fylt opp i løpet av prøvingsperioden.

I forhold til referansemørtlene i Tabell 6, ga de tre undersøkte lettilslagene mørtler med vektøkninger i om lag samme område som det skumglass og flygeaske gav, og da betydelig over vektøkningen for mørtelen med det alkalireaktive Ottersbo-tilslaget.

5.4.3 Oppsummerende kommentarer/vurderinger fra Mørtelprismeforsøkene

Slik de tre tilslagene ble prøvd (knust), hadde de betydelig mindre hulromsandel enn de har slik de tradisjonelt benyttes (uknust) for produksjon av lettbetong. Derved har de ved prøvingen hatt mindre teoretisk kapasitet for vektøkning og større kapasitet for ekspansjon pga absorpsjon av lagringsvæske og reaksjonsmateriale fra eventuelle alkalireaksjoner, enn det de har ved bruk (uknust) i LWA- og MND-betong. Dette gjør at resultatenes representativitet er usikker, slik at de er vanskelig å tolke. At også andre forhold som at metoden er svært akselerert ved høy temperatur og høy alkalikonsentrasjon, og at erfaringene fra bruk av den for prøving av lettilslag er svært begrenset, gjør det heller ikke enklere å tolke resultatene.

Det at mørtlene med de tre lettilslagene oppviste signifikante ekspansjoner kan imidlertid skyldes at de alle har utviklet alkalireaksjoner i løpet av prøvingsperioden. Ekspansjonene var størst for mørtelen med Stalite-tilslaget, det samme var vektøkningene.

De vektøkninger som er registrert i prøveperioden skyldes nok i all hovedsak absorpsjon av lagringsvæske. Hvor stor andel av vektøkningene som eventuelt skyldes eventuelle alkalireaksjoner, gir prøveresultatene ingen svar på.

Når det gjelder metodens egnethet for påvisning av lettilslags potensial for bidrag til utvikling av eventuelt skadelige alkalireaksjoner i betong, anser SINTEF den som betydelig dårligere enn for Betongprismemetoden. Dette både fordi Betongprismemetoden er betydelig mindre akselerert (lavere temperatur, ingen ekstern tilførsel av alkalier), fordi den benytter ukunst lettilslag, og fordi resultatene, og da ikke minst for vektøkning i løpet av prøveperioden, blir mer relaterbar til lettbetong brukt i konstruksjoner.

6 Mikroskopiundersøkelser av mørtelprismer

6.1 Utførte forsøk

Etter ferdigstillelse av mørtelprismeforsøkene etter 56 døgns eksponering (jfr kapittel 5) er utvalgte prizmer (ett fra prøving av hvert av de tre lettilslagene) undersøkt nærmere ved mikroskopiundersøkelser (polarisasjonsmikroskopi + SEM-EDAX). Både tynnslipmikroskopi og sveipeelektronmikroskopi (SEM) benyttes for studier av mikrostrukturen (evt. riss og gel) og små lokale variasjoner i denne, mens energidispersiv analyse av røntgenstråler (EDAX) benyttes til semikvantitative analyser med hensyn på kjemisk sammensetning av faste stoffer (i dette tilfelle evt. gel).

6.2 Prøvepreparering

For hvert av de tre lettilslagene ble det ble skåret et stykke fra midten av ett av mørtelprismene, slik at tre sidekanter var synlig. Det ble laget ett tynnslip uten dekkglass for hver av prøvene for undersøkelse med optisk mikroskopi (tynnslipundersøkelser – jfr kapittel 6.3). Prøvene ble pådampet et lag karbon for å gjøre overflaten elektrisk ledende før undersøkelse ved SEM (jfr kapittel 6.4).

6.3 Tynnslipundersøkelser

6.3.1 Metode tynnslip

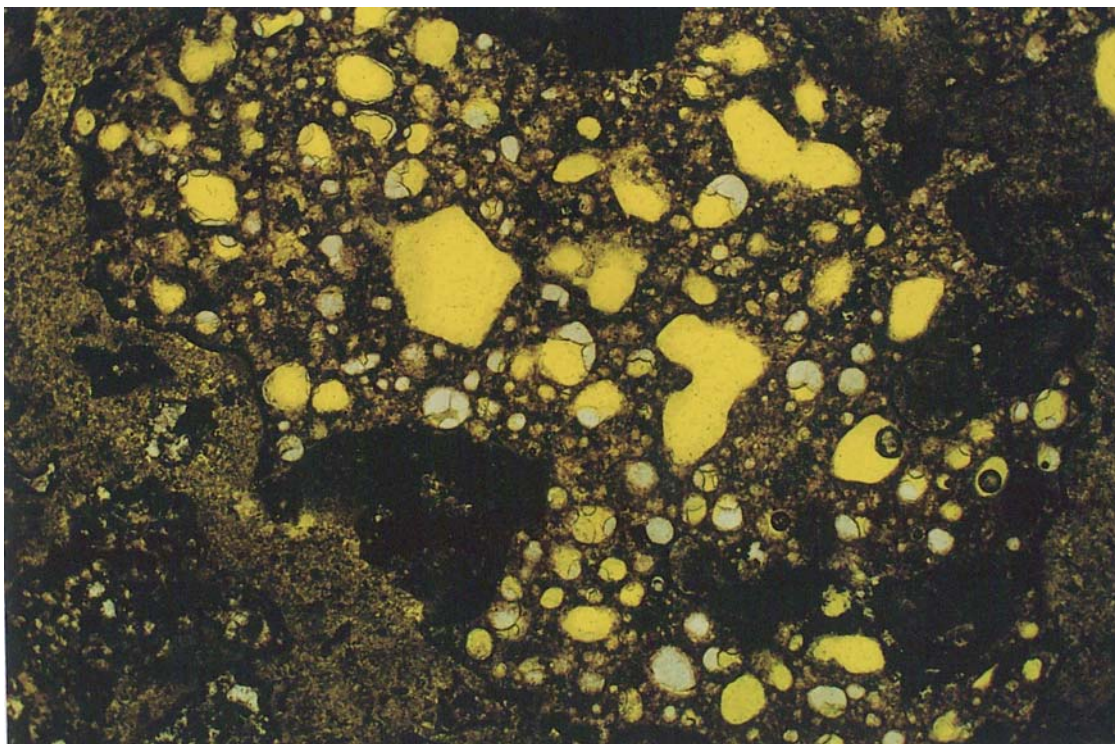
Tynnslipundersøkelsene ble foretatt i polarisasjonsmikroskop med UV-filer.

6.3.2 Resultater tynnslip

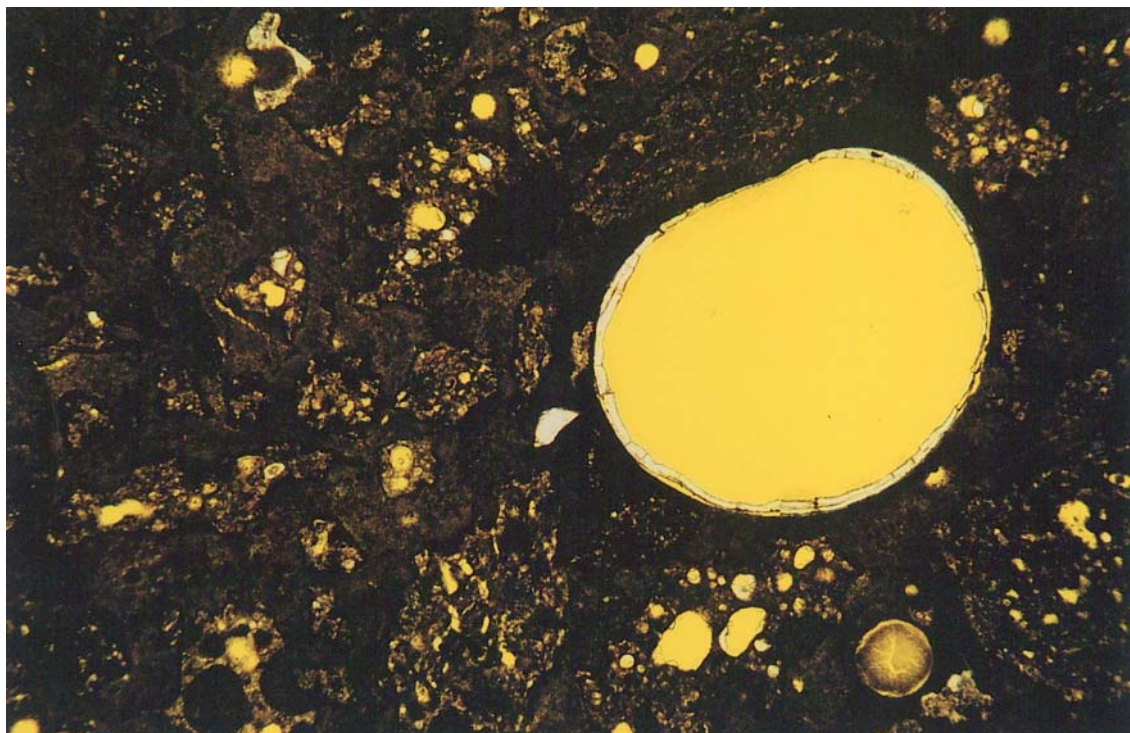
Observasjonene fra de utførte tynnslipanalysene er presentert i Tabellene 7-9. Utvalgte foto er vist i Figurene 2-7.

Tabell 7 *Observasjoner i tynnslip for mørtelprisme med Stalite.*

Letttilslag	Tynnslip av mørtelprisme med Stalite
Porøsitet	Meget lys pasta, meget høy porøsitet, homogen (farge tilsvarende v/c > 0,75)
Mikroriss	Lite
Fine riss i mørtelen	Noen (rissene går hovedsakelig fra eksponeringsflaten og innover i mørtelen)
Grove riss	Ikke observert
Alkalireaksjoner	Ja
Reaksjonsprodukter	Det meste av alkaligelen (hovedsakelig hvit, stedvis brun) er observert i luftporer inne i Stalite-kornene. Noe alkaligel er også observert i luftporer i pastaen (som en hvit rand inne i porene)
Kommentar	Betydelig mengde alkaligel



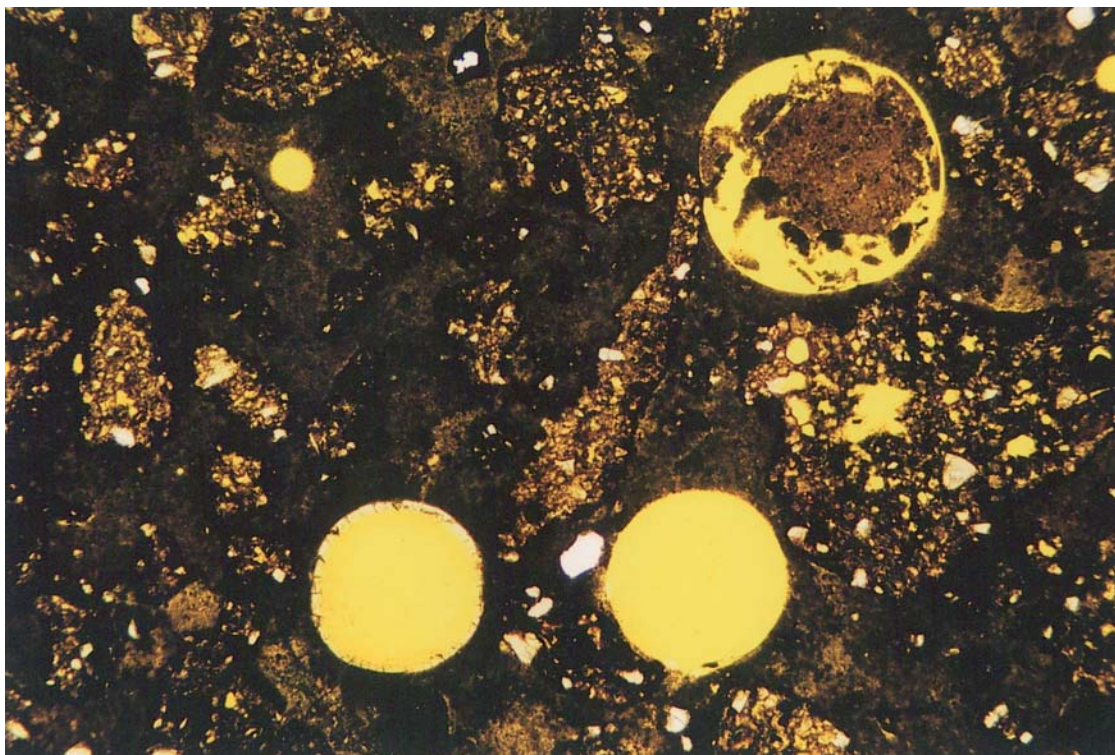
Figur 2 *Bildet viser tynnslipet av mørtelen med Stalite. Merk den hvite alkaligelen i luftporer inne i et Stalite-korn. Bildet er 2,2 mm x 1,4 mm.*



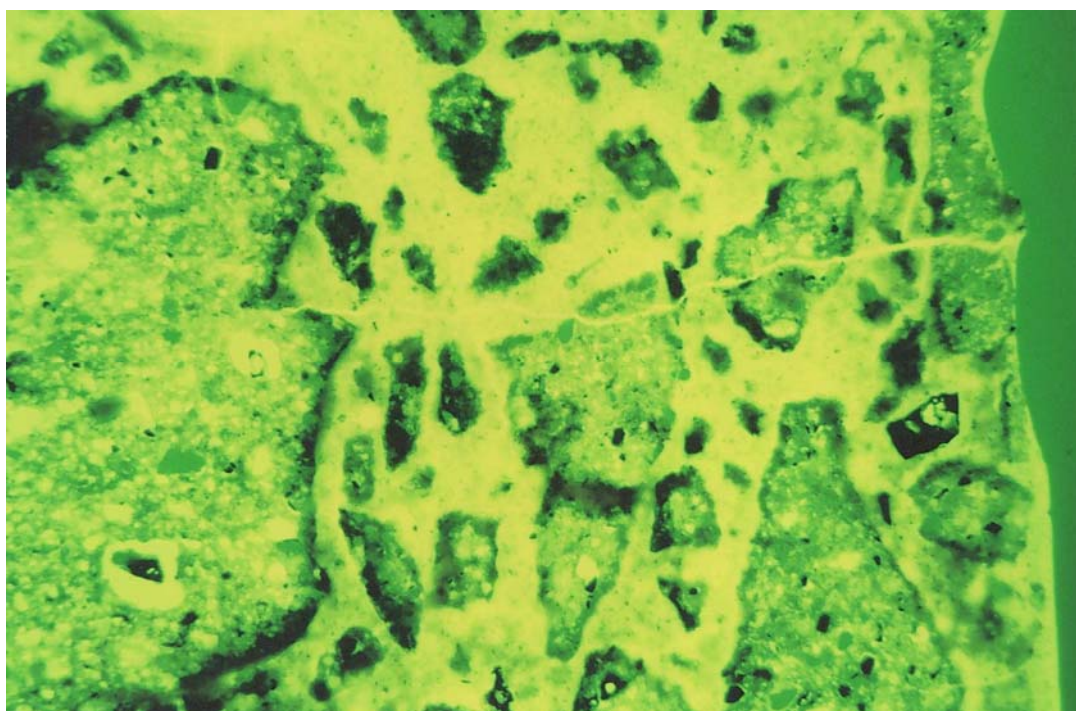
Figur 3 Bildet viser tynnslipet av mørtelen med Stalite. Merk alkaligel (hvit) som er utfelt i randen av en stor luftpore. Bildet er 4,2 mm x 2,7 mm.

Tabell 8 Observasjoner i tynnslip for mørtelprisme med Leca 800.

Letttilslag	Tynnslip av mørtelprisme med Leca 800
Porøsitet	Lys pasta, høy porøsitet (farge tilsvarende v/c ca 0,75), homogen (med unntak av et lite område med lavere porøsitet)
Mikroriss	Lite
Fine riss i mørtelen	Enkelte (rissene går hovedsakelig fra eksponeringsflaten og innover i mørtelen)
Grove riss	Få (rissene går fra eksponeringsflaten og innover i mørtelen)
Alkalireaksjoner	Ja
Reaksjonsprodukter	Litt alkaligel (hvit og brun) er observert som en rand i luftporer i pastaen. Litt materiale som kan være alkaligel er også observert i luftporer inne i Leca 800-kornene
Kommentar	Litt alkaligel. Flere luftporer i pastaen har et brunt, kornet innhold. Dette antas å være knusestøv fra Leca 800 kulene som er dannet under tynnslip-prepareringen



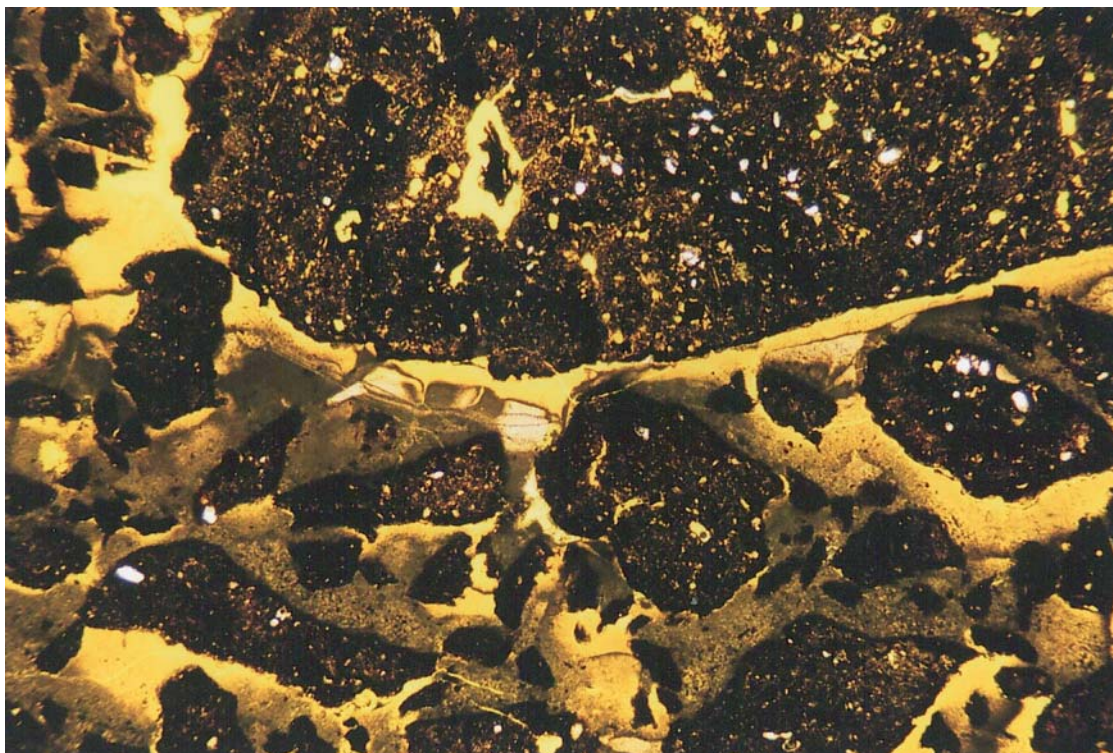
Figur 4 *Bildet viser tynnslipet av mørtelen med Leca. Merk alkaligel (hvit) som er felt ut i randen av luftporen nede til venstre. Det brune innholdet i luftporen oppe til høyre er trolig slipestøv fra Leca-kulene som er dannet under tynnslip-prepareringen. Bildet er 4,2 mm x 2,7 mm.*



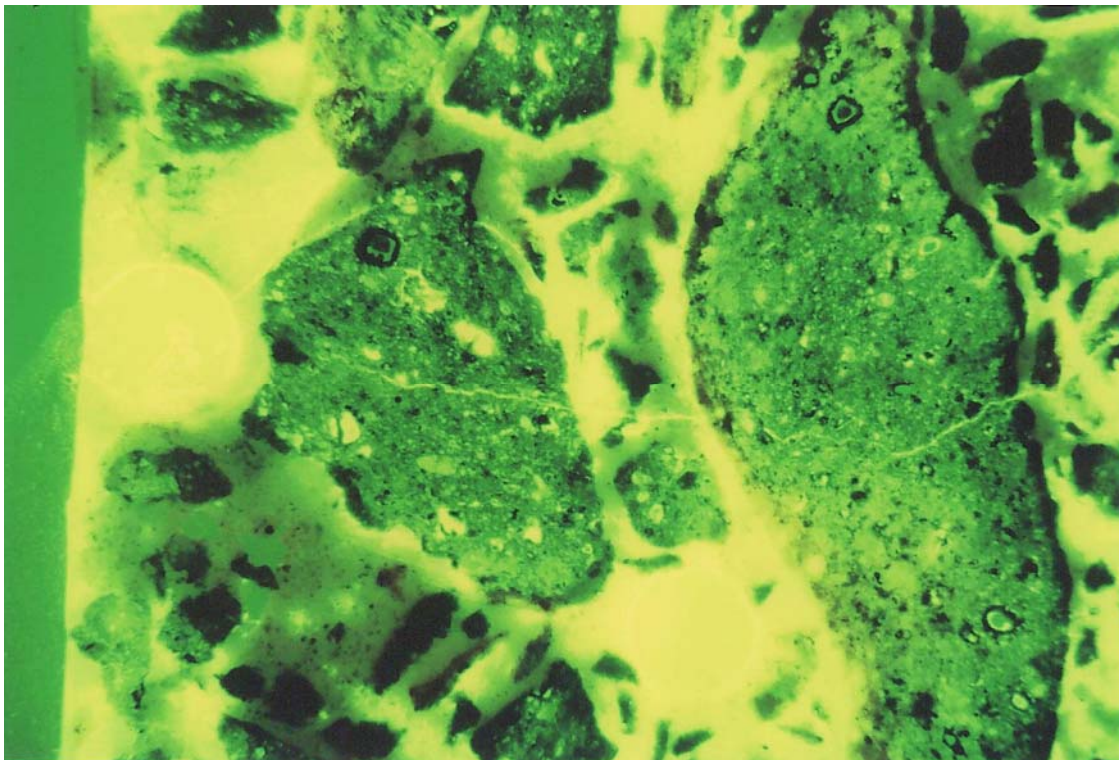
Figur 5 *Bildet viser tynnslipet av mørtelen med Leca fotografert i fluorescerende lys. Merk risset som går fra eksponeringsflaten og innover i betongen. Bildet er 4,2 mm x 2,7 mm.*

Tabell 9 Observasjoner i tynnslip for mørtelprisme med Liapor 8.

Lettilslag	Tynnslip av mørtelprisme med Liapor 8
Porøsitet	Inhomogen pasta (pastaen veksler fra å være meget lys (høy porøsitet - farge tilsvarende v/c ca 0,75) til mørk (lav porøsitet - farge tilsvarende v/c ca 0,35). Dominans av lyse områder
Mikroriss	Lite
Fine riss i mørtelen	Enkelte (rissene går hovedsakelig fra eksponeringsflaten og innover i mørtelen)
Grove riss	Ikke observert
Alkalireaksjoner	Ja
Reaksjonsprodukter	Alkaligel (hvit og brun) er observert i randen av luftporer og hulrom i pastaen. Det kan være gellignende materiale i porer i enkelte korn
Kommentar	Noe alkaligel. Mørtelen virker "utvasket" med åpne og tette partier



Figur 6 Bildet viser tynnslipet fra mørtelen med Liapor. Merk at mørtelen virker "utvasket" med "åpne" og tette partier. Bildet er 4,2 mm x 2,7 mm.



Figur 7 *Bildet viser tynnslipet fra mørtelen med Liapor fotografert i fluorescerende lys. Merk risset som går inn fra eksponeringsflaten samt den inhomogene sementpastaen (lyse og mørke partier). Bildet er 4,2 mm x 2,7 mm.*

6.3.3 Vurdering av tynnslipundersøkelsene

Porøsitet

Porøsiteten i mørtelen med Stalite er meget høy, mens mørtelen med Leca 800 har litt lavere porøsitet (men dog høy). Porøsiteten i mørtelen med Liapor 8 er meget varierende, fra høy til lav. Her er det imidlertid også dominans av høy porøsitet.

Riss

Ingen av prøvene har spesielt mye riss, men en rangering av rissintensiteten er som følger: Stalite, Leca 800 og Liapor 8 (Stalite har mest riss).

Alkalireaksjoner

Det er observert alkaligel i alle prøver. Mørtelen med Stalite har betydelige mengder gel. Gelen i Stalite-mørtelen er observert i porer i tilslaget, samt i luftporer i pastaen. I Leca 800-mørtelen er det betydelig mindre gel, men også her er gelen observert i luftporer i pastaen. I luftporer inne i Leca 800-kulene er det observert materiale som kan være alkaligel.

I Liapor 8-mørtelen er gelen hovedsakelig observert i randen av luftporer og i hulrom i pastaen, og da i litt større mengde enn i Leca 800-mørtelen. Det kan være gel-lignende materiale i porer i enkelte Liapor 8-korn.

6.4 Sveipeelektronmikroskopi (SEM)

6.4.1 Metode SEM

SEM kan danne bilder fra tilbakespredte elektroner (BEI = backscattered electron imaging) i form av ulike gråtoneverdier for de ulike faser i materialet. Faser av høy tetthet og bestående av tunge kjemiske elementer vil fremstå som hvite i BEI, mens faser av lav tetthet og lette kjemiske elementer vil fremstå som sorte. F eks vil en luftpore fylt med epoksy fremstå som sort. Elementanalytoren kan analysere den kjemiske elementfordelingen i et punkt (ca 1 μm^3) eller over et område (f eks sirkel med diameter 10 μm). Analysen foregår ved at elektronstrålen eksiterer elektronene (løfter de til en høyere bane rundt kjernen) i hvert element. Når de faller tilbake til sin opprinnelige bane sender de ut stråling som er spesifikk i bølgelengde eller energi for hvert enkelt element. Her har man skilt på energi, og man får da et energidispersivt spektrum (EDS) som viser fordelingen av elementene.

6.4.2 Resultater SEM

SEM observasjoner for Stalite

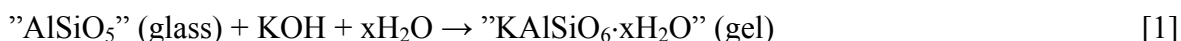
Stalite hadde en del reaksjonsprodukter i porene inne i tilslaget som ofte så ut som runde halvkuler (eksempler i Figur 8). Disse bestod hovedsakelig av silisium (Si), aluminium (Al), natrium (Na) og kalium (K), med veldig lite kalsium (Ca).

Et eksempel på en 40 μm rand av gel i en stor luftpore er vist i Figur 9. Det er også observert mindre luftporer i bindemidlet som nesten er fylt av gel (eksempel i Figur 10). Sammensetningen av gelen i porer i bindemidlet er typisk rik i silisium og kalsium, redusert i kalium, mens aluminium nesten er fraværende.

Vurdering av AR til Stalite basert på SEM-analyser

Stalite kan gi alkalireaksjoner, men mesteparten av gelen samler seg i porene inne i letttilslagene inntil disse eventuelt blir fylt. I hvilken grad de blir fylt avgjøres av forholdet mellom volum potensiell gel og volum porøsitet. Man kan tenke seg en vektøkning uten særlig ytre ekspansjon i begynnelsen, men en senere plutselig økning av ekspansjon når porene i letttilslaget er fylt. Metoden synes egnet for vurdering av alkalireaktivitet til Stalite.

Mekanismen for alkalireaksjon i Stalite (og de andre letttilslagene) er sannsynligvis som følger: Veggene i letttilslag består ofte av en aluminosilikat glassfase som reagerer med lut til den type gel vi ser i porene i Stalite (Figur 8);



Ligning 1 er ment som et prinsipp og sammensetningen er ikke riktig. Denne type ''KAlSi''-gel har nok en viss løselighet og har ellers sannsynligvis relativt lav viskøsitet. Man kan ikke utelukke at det kan dannes krystallinske forbindelser som f eks zeolitter med liknende sammensetning. Når forbindelsen har form som en jevnt grå, rund halvkule som i Stalite, er den mest sannsynlig amorf.

Hvis en slik gel skulle komme ut i mørtelens bindemiddel vil den møte kalsiumhydroksid, Ca(OH)_2 , og reagere til et mer stabilt produkt, f eks;



Denne "CaSi"-gelen i ligning 2 har sannsynligvis lavere løselighet enn "KAlSi"-gelen i ligning 1. Produktet $\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ er sannsynligvis krystallinsk, men det finnes også kalsium-aluminat-hydrat geler. Alkaliene (i dette eksemplet KOH) frigjøres igjen og kan reagere med nytt tilgjengelig glass, slik at de egentlig opptrer som en katalysator så lenge det finnes kalsiumhydroksid tilgjengelig.

Gelen observert i luftporene i mørtel med f eks Stalite kan ha vært igjennom en slik prosess som beskrevet ved likningene 1 og 2, eller den kan ha oppstått ved direkte reaksjon med små fragmenter av lettislag i pastaen. Det er da sannsynlig at alkaliene har deltatt katalytisk i reaksjonen som i likning 1 og 2, og forskjellen ligger kun i transportavstanden mellom likning 1 og 2. I en slik mer direkte reaksjon vil jo heller ikke alkali bli forbrukt og konsekvensen av "ikke forbrukt" versus "frigjort på et senere tidspunkt" være akkurat den samme; alkaliene er tilgjengelig for videre reaksjon.

Alkalireaksjoner kan ut ifra et kjemisk synspunkt sees på som en pozzolan reaksjon hvor hovedforskjellen er kornstørrelse/fordeling av det "sure" oksidet (e.g. silika) og tilgang av basiske reaktanter i dens mikromiljø (e.g. alkalihydroksid versus kalsiumhydroksid). Justnes (1) fremsatte en liknende hypotese som i likningene 1 og 2 for pozzolanreaksjonen til silikastøv, fordi Sellevold (2) hadde vist at silikastøv blandet med kun kalsiumhydroksid (i.e. alkalihydroksid utelatt) tok måneder for å utvikle fasthet. Justnes (3) viste imidlertid at sementfri mørtel hvor bindemidlet kun var silikastøv og kalsiumhydroksid med alkalihydroksid direkte eller indirekte som katalysator utviklet betydelig fasthet i løpet av få døgn. Liknende mørtelfastheter ble oppnådd når silikastøv ble byttet ut med industrielt avfall bestående av finfordelte aluminosilikater (4).

Merk at reaktanten kalsiumhydroksid i ligning 2 vil ha spesielt lav løselighet i Mørtelprismemetoden i forhold til virkeligheten, både pga høy temperatur og høy tilsats av lut. Derfor kan en tenke seg at en alkalisilika-gel kan bevege seg lenger enn i praksis før den eventuelt reagerer med kalsiumhydroksid og får nedsatt løselighet/viskositet.

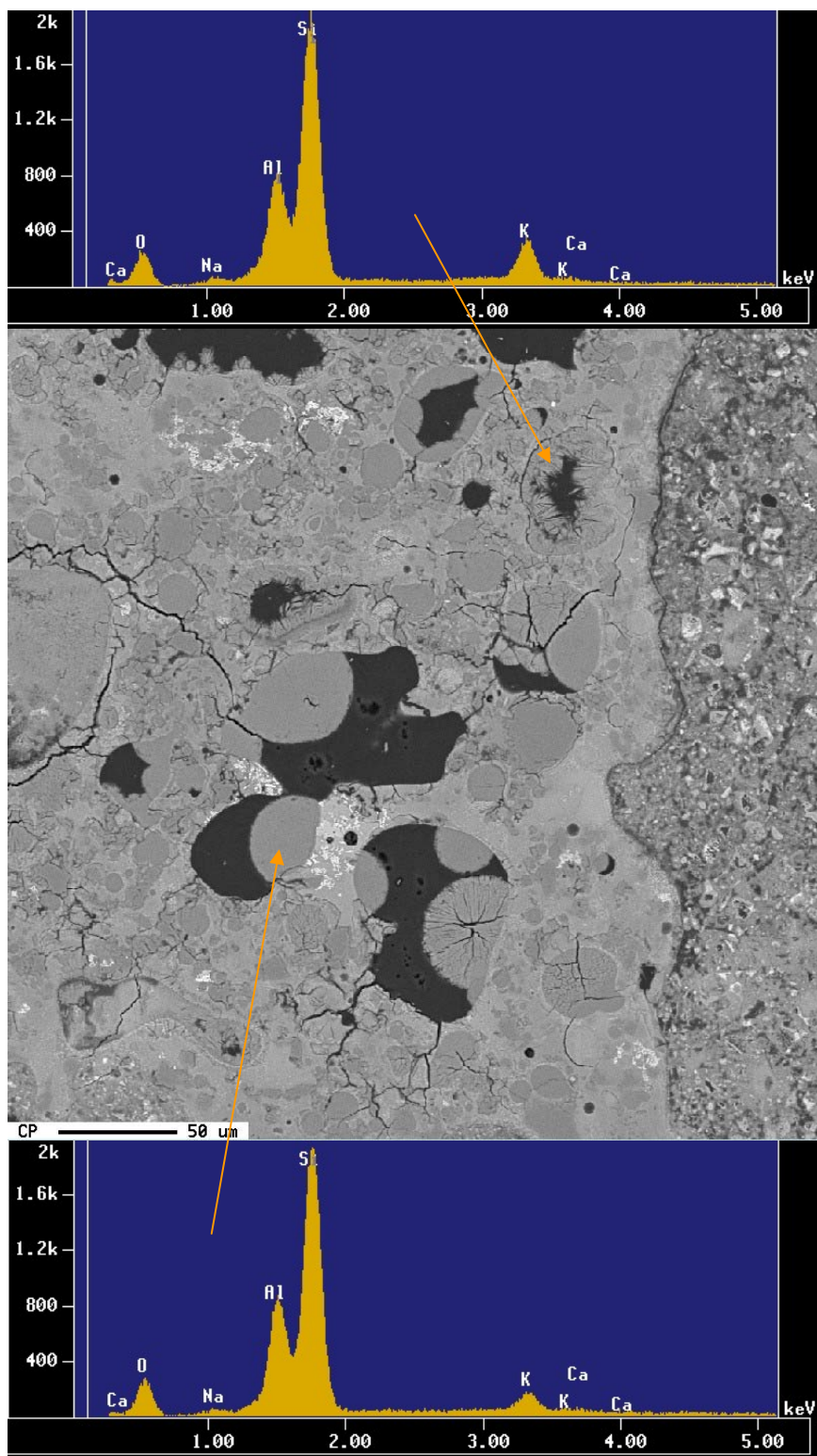
Bindemidlet i mørtel er mer eller mindre porøst (avhengig av resept) og inneholder for en velherdet mørtel ca 25 % kalsiumhydroksid, $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Kalsiumhydroksid er bare delvis løselig i vann, men løseligheten avtar med økende temperatur (ulikt de fleste andre salter). Løseligheten ved 0, 10, 20, 30, 40, 60 og 90°C er oppgitt til henholdsvis 1,89, 1,82, 1,73, 1,60, 1,41, 1,21 og 0,86 g/liter. I Mørtelprismemetoden eksponeres mørtelen for 80°C.

Sement inneholder i seg selv rundt regnet 1 % alkalioksider (Na_2O og K_2O), ofte som sulfater. Disse omdannes raskt til lettløselige hydroksider (NaOH og KOH) når sementen blandes med vann. I tillegg eksponeres mørtelen i Mørtelprismemetoden for 1 M NaOH. Alkalihydroksidene i porevannet vil påvirke løseligheten av kalsiumhydroksid, siden kalsiumhydroksid er tungt løselig og de har felles anion (hydroksyl, OH^-).

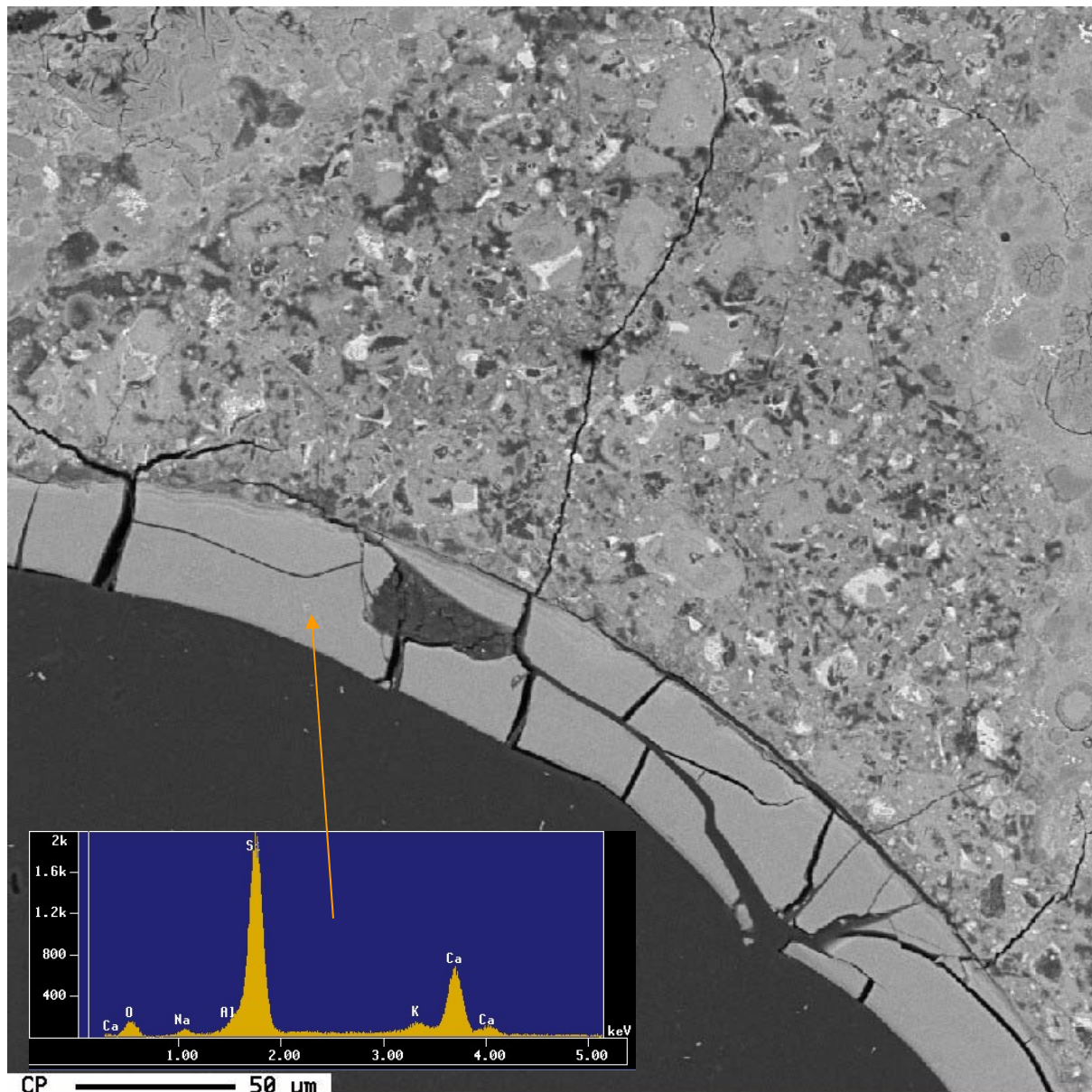
Løselighetsproduktet til kalsiumhydroksid ved 25°C er oppgitt til;

$$[\text{Ca}^{2+}] \cdot [\text{OH}^-]^2 = 5.5 \cdot 10^{-6} \quad [3]$$

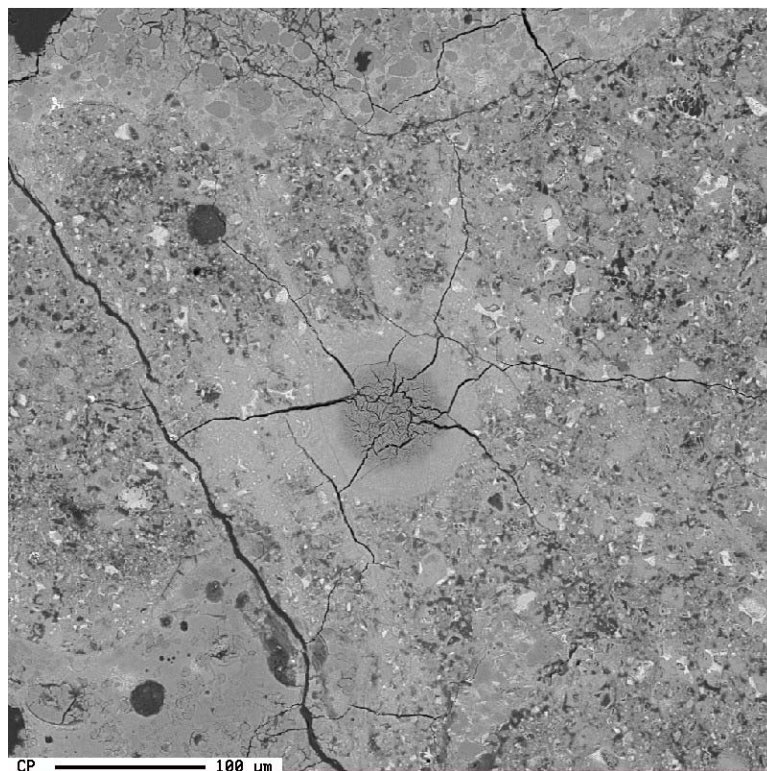
I rent vann ved 25°C er dermed konsentrasjonen av kalsium halvparten av hydroksid; $[\text{Ca}^{2+}] = \frac{1}{2} \cdot [\text{OH}^-]$ hvilket gir $[\text{OH}^-]^3 = 11 \cdot 10^{-6}$ eller en konsentrasjon av hydroksid på 0,0222 mol/liter som tilsvarer $\text{pH} = 12,35$ og en løselighet på 1,64 g kalsiumhydroksid/liter. På grunn av alkalihydroksidene kan porevannet ha $\text{pH} = 14$ tilsvarende hydroksylkonsentrasjon på 1 mol/liter i Mørtelprismemetoden. Konsentrasjonen av kalsiumhydroksid blir da satt ned fra 0,011 til $5.5 \cdot 10^{-6} / (1)^2 = 5,5 \cdot 10^{-6}$ mol/liter eller fra 1 640 til 0,4 mg/liter (en reduksjon på 99,98 %!).



Figur 8 300x BEI av Stalite lettilslag i mørtel. Grenseflate mellom lettilslag og bindemiddel går fra topp til bunn på høyre side og viser ingen spesielle tegn til reaksjonsprodukt. Øverste EDS tilsvarer relativ atomær sammensetning; 38 Si, 1 Ca, 13 Al, 1 Na og 10 K, mens nederste EDS tilsvarer 42 Si, 1 Ca, 15 Al, 1 Na og 4 K. Gelen inne i porene består med andre ord hovedsakelig av silisium, aluminium og kalium.



Figur 9 300x BEI av en $\approx 40 \mu\text{m}$ tykk rand av gel (lys grå) felt ut i ei stor luftpore (fremstår sort mot nederste venstre hjørne) i mørtel med Stalite. Gelen er sannsynligvis vannrik og har sprukket opp pga uttørking under prøvepreparering. Området ovenfor randen er mørtelens bindemiddel. Innfelt EDS av gelen i luftporen tilsvarer relativ atomær sammensetning 34 Si, 29 Ca, 1 Al, 2 Na og 2 K. I motsetning til gelen inne i porene er denne rik i kalsium, fattig i aluminium og har et redusert innhold av kalium.



Figur 10 200x BEI av ca 80 μ m luftpore fylt til randen med gel i mørtel med Stalite lettislag. I overkant av bildet vises deler av et lettislag. Noen tettere, grå ganger kan synes å forbinde lettislaget med luftporen.

SEM observasjoner for Leca 800

Figur 11 viser en oversikt over mørtelen med Leca 800 lettislag. Det er en tydelig randsoner rundt de grovere tilslagskornene, mens de finere virker veldig tette. Figur 12 viser et nærbilde av en slik reaksjonsrand med analyse (EDS) av randen og av ureagert lettislagsmateriale innenfor. Reaksjonsranden er noe rikere på kalsium og noe fattigere på aluminium og kalium enn materialet innenfor, i tråd med ligningene 1 og 2. Man kan imidlertid ikke være sikker på om reaksjonsranden på det grove tilslaget kanskje delvis skyldes selve produksjonsprosessen til Leca 800, særlig siden randsonen inneholder noe magnesium som kommer fra strøing med dolomitt for å minimere agglomerering under produksjonen. Dessuten ser en tydelig reaksjonsprodukter i porene inne i Leca 800 også, hvilket vil påvirke analysen. Tendensen i analysen peker imidlertid i retning av reaksjon i tråd med ligning 2 i ytterkanten.

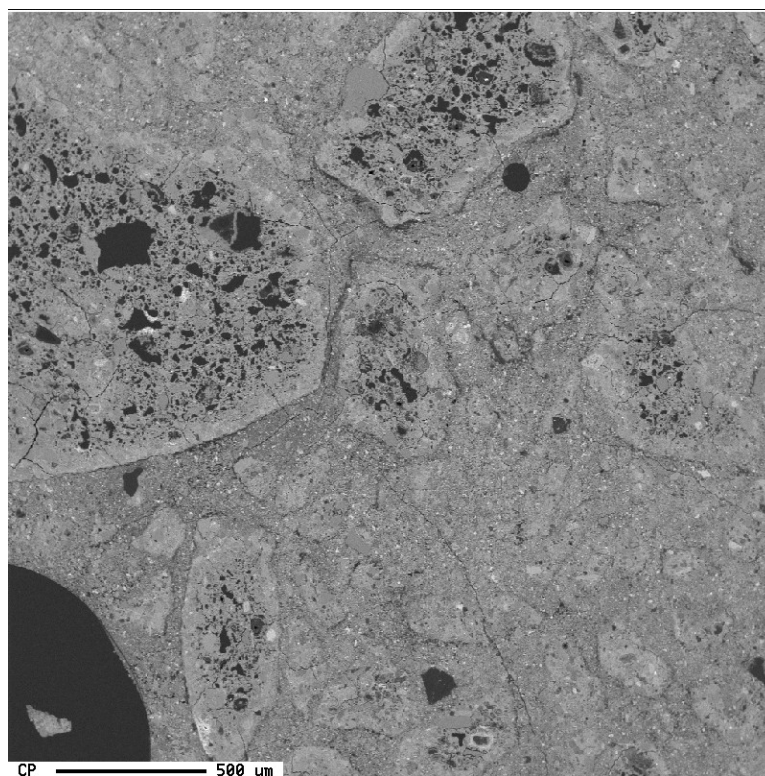
Figur 13 viser to typer morfologi av groing i porer inne i Leca 800 lettislag med tilhørende analyser, mens Figur 14 viser gel utfelt i en rand av en luftpore med tilhørende analyse.

Lite Al og mye Ca i produktene inne i Leca 800 lettislag (Figur 13) tyder på at kalsium har vært tilgjengelig inne i lettislaget (enten som en del av produktet eller diffundert inn fra pastaen), eller at produktet som sådan har diffundert inn fra bindemidlet og krystallisert i åpne porer pga plassmangel (dvs minimering av overflateenergi er drivende kraft). Gelen utfelt i luftporen i bindemidlet (Figur 14) hadde mye mer kalsium relativt til silisium enn produktene i porene inne i lettislaget, og er dermed sannsynligvis mye mindre mobilt.

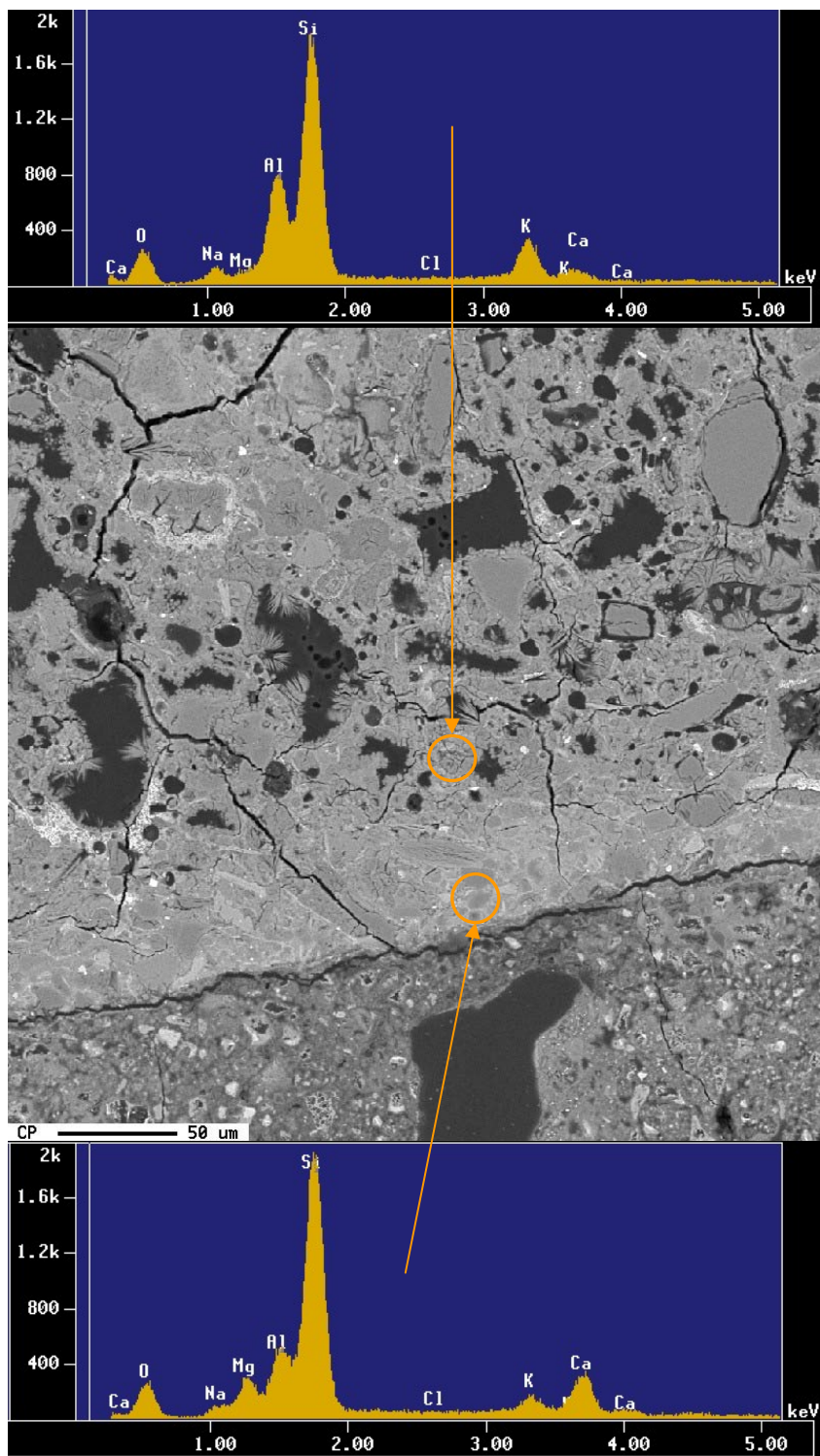
Vurdering av AR til Leca 800 basert på SEM-analyser

Leca 800 kan gi alkalireaksjoner, men mesteparten av gelen samler seg i porene inne i letttilslagene inntil disse eventuelt blir fylt. I hvilken grad de blir fylt avgjøres av forholdet mellom volum potensiell gel og volum porøsitet. Man kan tenke seg en begynnende vektøkning uten særlig ytre ekspansjon etterfulgt av en senere plutselig økning av ekspansjon når porene i letttilslaget er fylt. Det er også indikasjoner på at den ytre sonen til Leca 800 reagerer mer eller mindre pozzolant under disse forholdene, og Mørtelprismemetoden egner seg sannsynligvis derfor ikke for Leca 800. Betongprismemetoden er muligens bedre egnet for vurdering av alkalireaktivitet til Leca 800.

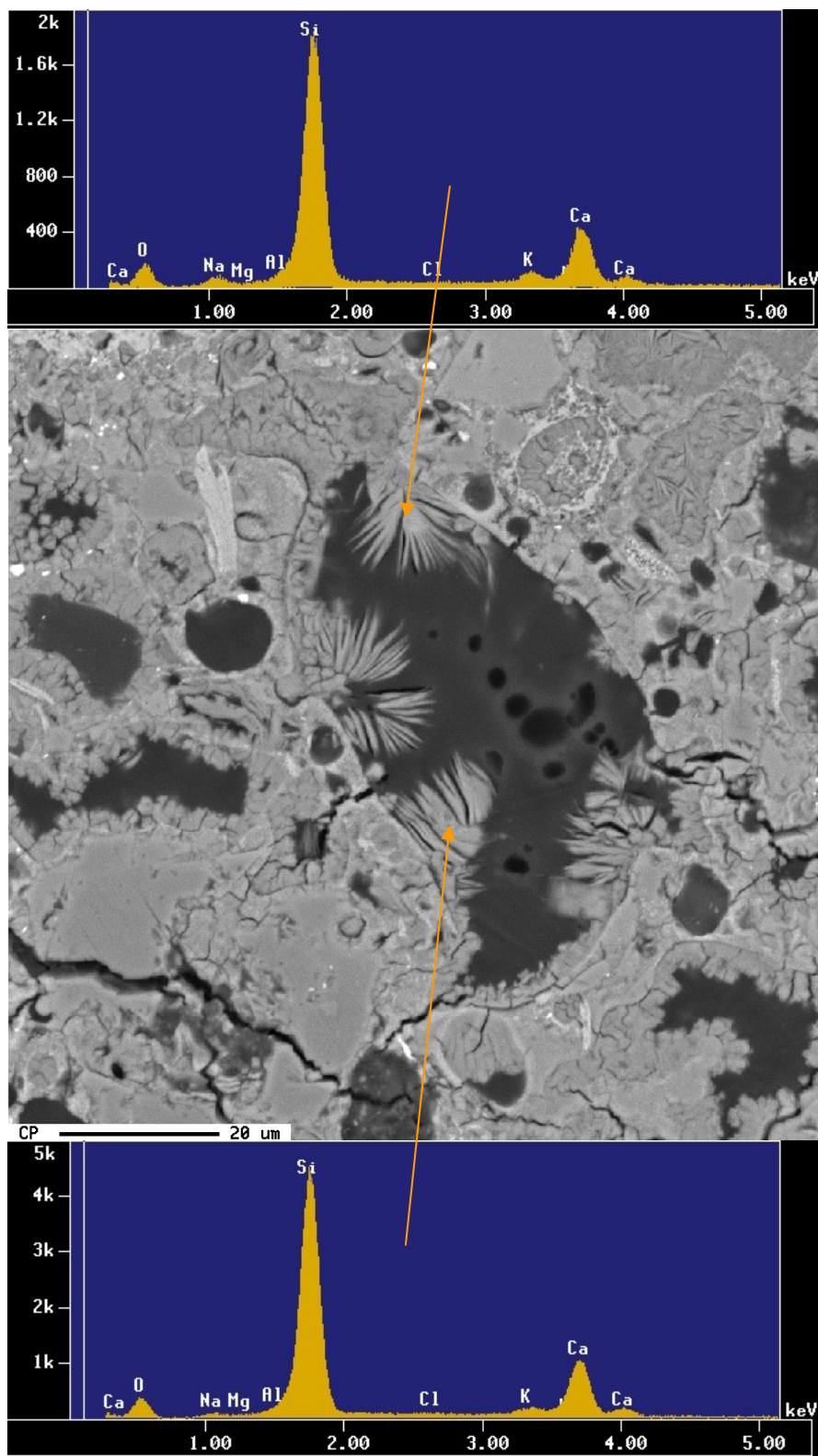
Helt tette mindre Leca korn kan tyde på at selve tilslagskornet reagerer med lut/kalsiumhydroksid (ligningene 1 og 2) og at de mindre kornene kanskje er helt gjennomreagerte. Dette underbygger også hypotesen om et bidrag fra pozzolan reaksjon til reaksjonsranden i grovere tilslag (se f eks Fig. 12). Et annet poeng er at tilslaget er nedknust i Mørtelprismemetoden. Tilslag av størrelse 500 μm (se f eks øverst i Fig. 11) har derfor sannsynligvis ikke en ”produksjonsrand” rundt hele, men snarere en ”reaksjonsrand” noen steder. Når man velger en tilfeldig rand for analyse er det imidlertid vanskelig å vite om man treffer på en opprinnelig ”produksjonsrand” eller en ”reaksjonsrand”.



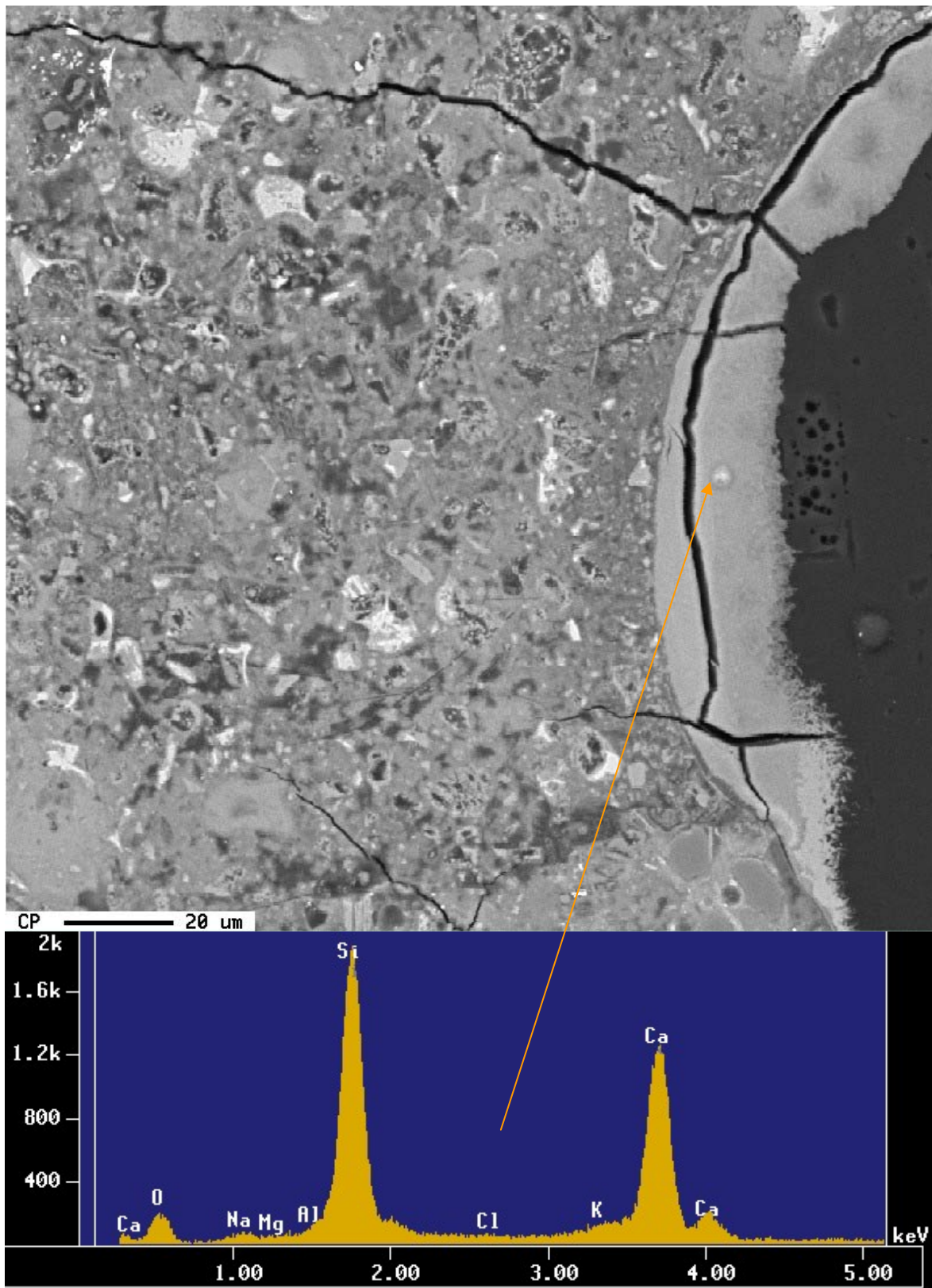
Figur 11 *40x BEI som gir en oversikt over mørtel med Leca 800 letttilslag. Det ser ut til at Leca 800 letttilslag har en reaksjonsrand rundt det grovere tilslaget, mens mindre tilslagskorn virker veldig tette og gjennomreagerte.*



Figur 12 300x BEI som viser overgangssone mellom lettilslag og bindemiddel (nede i bildet) for mørtel med Leca 800 lettilslag. Det ser ut til at Leca 800 lettilslag har en reaksjonskant på $\approx 50 \mu\text{m}$. Analysen av et sirkulært område på ca $10 \mu\text{m}$ viser for reaksjonskanten (nederste EDS) en relativ atomær sammensetning tilsvarende 34 Si, 13 Ca, 8 Al, 2 Na og 3 K, mens øverste EDS viser en sammensetning for materialet innenfor tilsvarende 36 Si, 3 Ca, 14 Al, 4 Na og 9 K. Merk at EDS for reaksjonskanten også viser noe magnesium, som kan komme fra strøingen av Leca 800 med dolomitt for å minimere agglomerering under produksjonen.



Figur 13 1000x BEI som viser groing av gel/krystaller i en pore inne i Leca 800 lettilslag. Øverste EDS tilsvarende en relativ atomær sammensetning på 33 Si, 21 Ca, 1 Al, 2 Na og 3 K, mens nederste EDS tilsvarende 36 Si, 23 Ca, 0 Al, 1 Na og 1 K.



Figur 14 600x BEI som viser rand av utfelt gel i luftpore i mørtel med Leca 800 lettilslag. EDS refereres til analyse av det punktet som er synlig i gelen og som pilen peker på. Relativ atomær sammensetning tilsvarer 23 Si, 40 Ca, 1 Al, 1 Na og 1 K. Det tydelige merket etter elektronstrålen tyder på at gelen er vannrik. Krakeleringen av gelen skyldes delvis uttørking (tap av vann) under prepareringen av prøven.

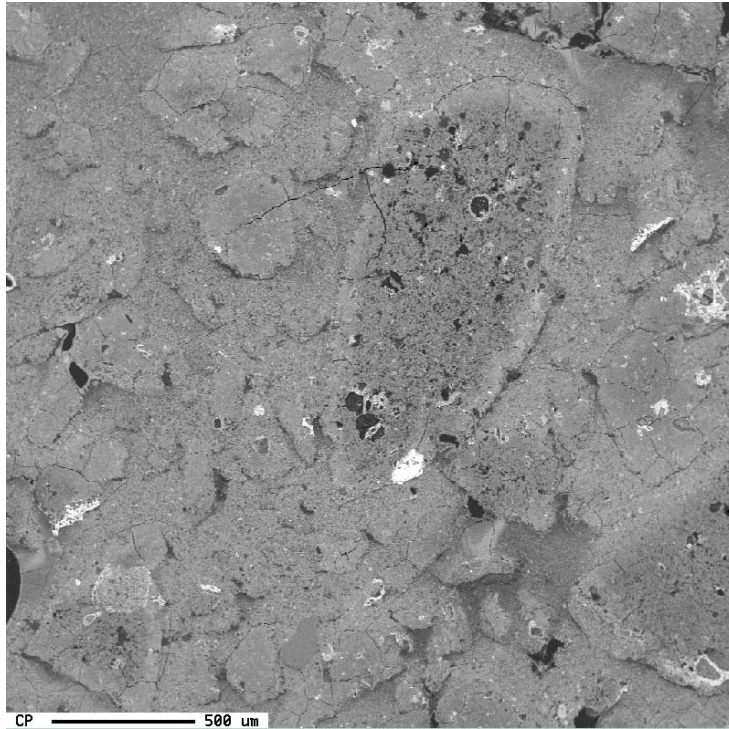
Figur 15 viser en oversikt over mørtel med Liapor 8 lettilslag som viser et tilsynelatende kupert terreng (topografi). Figur 15 viser også et stort Liapor 8 korn hvor bare en rand er reagert, mens det indre viser et mer opprinnelig materiale. Figur 16 viser et stort lettilslagskorn med krakelert reaksjonsrand. Figur 17 viser overgangen mellom Liapor 8 lettilslag og bindemidlet i mørtelen med en tydelig reaksjonsrand. I tillegg inneholder Figur 17 analyse av sirkulære område med diameter 10 μm av reaksjonsranden og mer inntakt lettilslag innenfor. Reaksjonsranden viser seg å inneholde silisium, kalsium, aluminium, natrium og kalium (dvs alle aktuelle elementer, ettersom oksygen og hydrogen ikke er med i analysen), men noe mer kalsium og mindre aluminium/kalium enn området innenfor. Det kan også sees av Figur 17 at enkelte av de små porene inneholder utfellinger på overflaten.

Det var ikke så mange gelfylte porer i bindemidlet, men en irregulær pore delvis fylt med gel er vist i Figur 18. Gelen nær kanten er også analysert og viser seg å inneholde mye mer kalsium enn f.eks reaksjonsranden og at den nesten er fri for aluminium og kalium.

Vurdering av AR til Liapor 8 basert på SEM-analyser

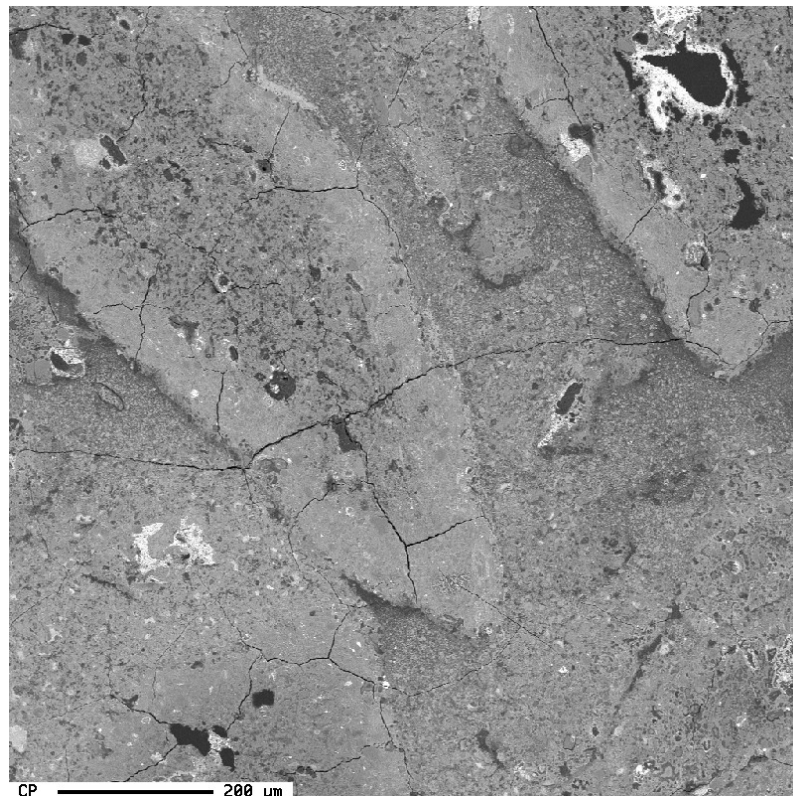
Liapor 8 kan gi alkalireaksjoner, men mesteparten av gelen ser ut til å reagere videre med kalsiumhydroksid, slik at hele tilslaget reagerer for små fraksjoner og en ytre sone for grovere fraksjoner. Liapor 8 er rett og slett for pozzolant til at Mørtelprismemetoden er egnet. Det er mulig at Betongprismemetoden kan fungere bedre for vurdering av alkalireaktivitet til Liapor 8.

Den tilsynelatende topografien i Figur 15 er sannsynligvis heller tetthetsforskjeller mellom små gjennomreagerte lettilslagskorn og et mer porøst bindemiddel som er frarøvet kalsiumhydroksid (brukt til å reagere lettilslag) og dermed stedvist mer porøst. Forskjellen i kjemisk sammensetning mellom reaksjonsrand og mer inntakt område innenfor er i tråd med reaksjonene i ligning 1 og 2.



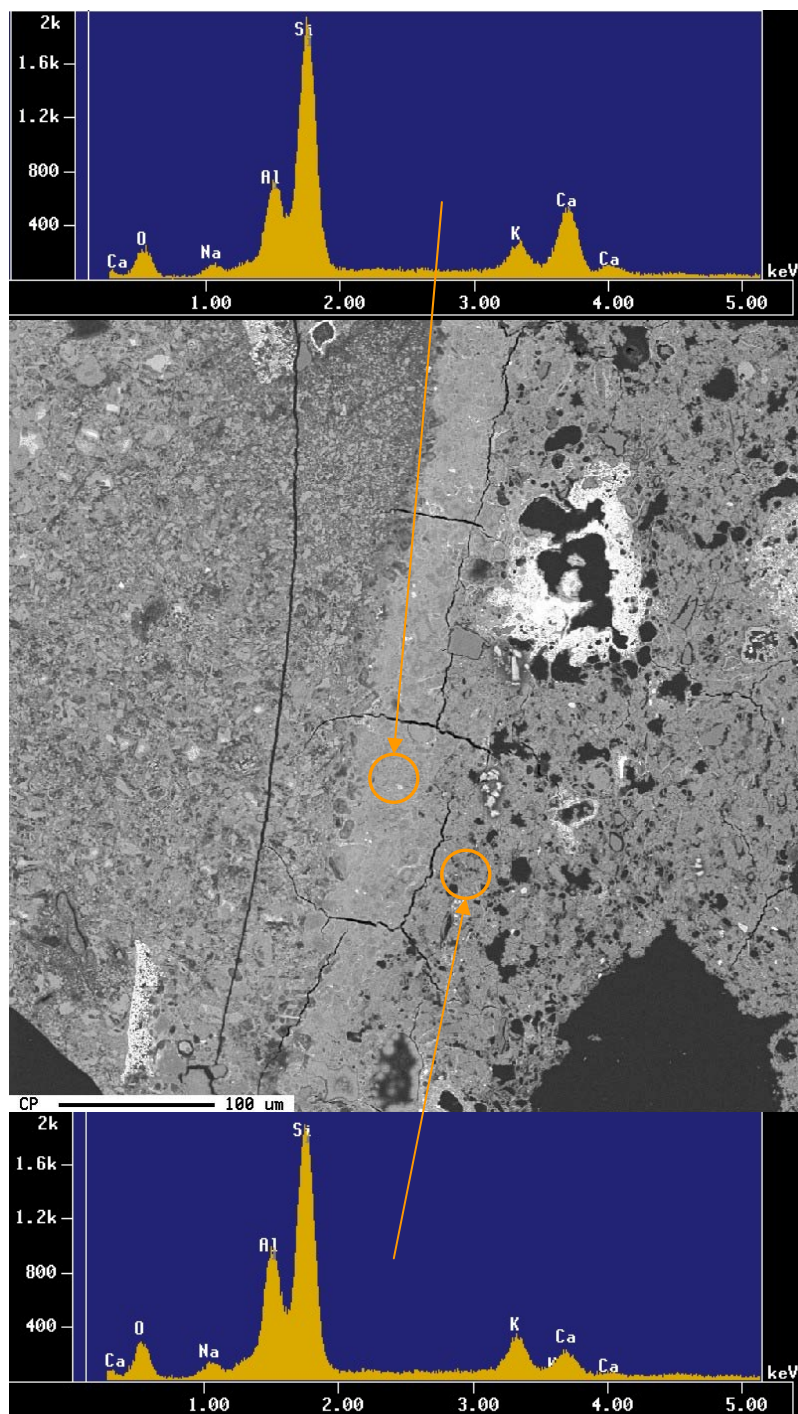
Figur 15

40x BEI som viser oversikt over mørtel med Liapor 8 letttilslag. Tilsynelatende topografi skyldes sannsynligvis tetthetsforskjeller mellom gjennomreagerte mindre korn og porøs pasta hvor kalsiumhydroksid er overført til letttilslag i en kjemisk reaksjon. Det store letttilslag kornet i midten viser en tydelig randsone som har reagert, mens det indre er intakt.

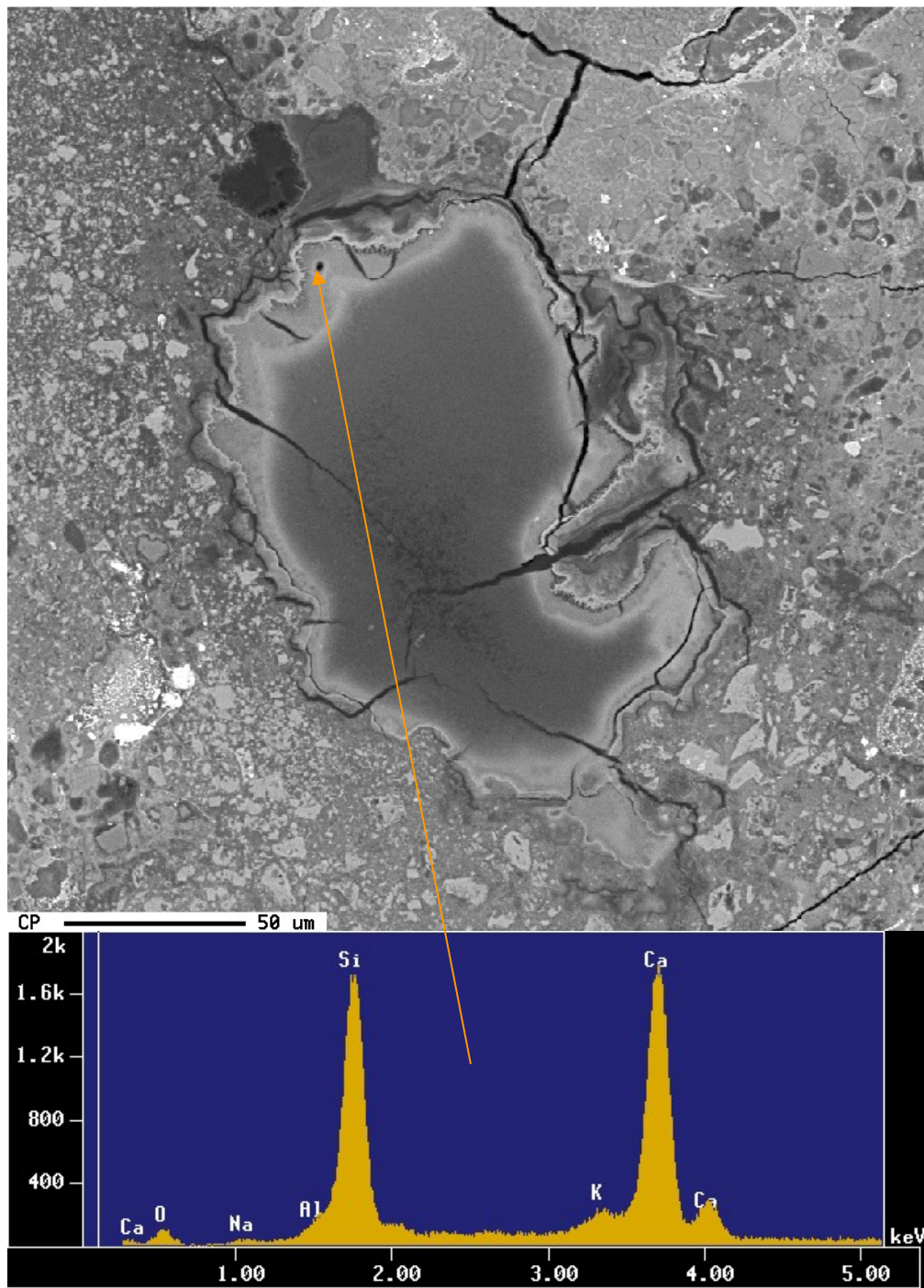


Figur 16

100x BEI som viser større korn av Liapor 8 letttilslag med krakelert reaksjonsrand.



Figur 17 200x BEI som viser overgangssonen mellom bindemiddel (til venstre) og lettilslag (til høyre) i mørtel med Liapor 8. Det er en delvis krakelert, tettere reaksjonsrand som strekker seg inn i lettilslaget. Øverste EDS er opptak av et sirkulært område på 10µm i diameter av reaksjonsranden som indikert og tilsvarende en relativ atomær sammensetning på 31 Si, 18 Ca, 10 Al, 2 Na og 5 K. Nederste EDS er tatt opp for et tilsvarende område inne i lettilslaget som indikert med sirkel og tilsvarende en relativ atomær sammensetning på 32 Si, 6 Ca, 15 Al, 2 Na og 7 K.



Figur 18 400x BEI som viser en irregulær pore delvis fylt med gel i mørtel med Liapor 8 letttilslag. Det er en sterk gradient i porefyllingsgrad med lite fylling i midten, slik at det nesten fremstår som en kantfylling. Et EDS ble tatt opp av gelen nær overgangen til bindemidlet som indikert med pil, og man kan også se et hull etter elektronstrålen. Den relative atomære sammensetningen tilsvarer 20 Si, 54 Ca, 1 Al, 1 Na og 2 K.

6.4.3 Oppsummering fra SEM-undersøkelsene

Alle de tre undersøkte lettilslagene utvikler alkalireaksjoner ved prøving i Mørtelprismemetoden. Det gror gel og krystaller i porene inne i lettilslagene, og gel er utfelt langs vegger i enkelte luftporer i pasta. Det at alkaligelen gror inne i lettilslagene kan gi en vektøkning uten særlig ytre ekspansjon. Man kan ikke utelukke senere betydelig ytre ekspansjon hvis det er nok reaktive bestanddeler til å fylle de indre porene med produkter.

Det synes som om Mørtelprismemetoden ikke er egnet for prøving av alkalireaktivitet av leirebaserte lettilslag (så som Leca 800 og Liapor 8), da de i seg selv er reaktive og fører til en slags pozzolan reaksjon. Stalite er imidlertid basert på ekspandert skifer og ser ut til å oppføre seg mer i likhet med vanlige alkalireaktive normaldensitetstilslag testet med denne metoden.

7 Samlet vurdering av prøvingsresultatene

Gjennom dette begrensede prosjektet (fase I) er det utført et innledende laboratorieprogram for å søke å belyse følgende viktige spørsmål:

- o Kan alkalireaksjoner være et potensielt problem i lettbetong?

En samlet vurdering av resultatene fra de utførte undersøkelsene er presentert i Tabell 10, ved at de relevante spørsmålene som ble stilt i kapittel 1.3 er søkt besvart kortfattet.

Tabell 10 Samlet vurdering av resultatene fra undersøkelsene (henvisning til kapittel med nærmere omtale av de ulike laboratorieforsøk er gitt i parentes).

Letttilslag	Stalite	Leca 800	Liapor 8
Har lettilslagene pozzolan effekt? (3)	Ja	Ja	Ja (størst)
Kan lettilslagene være kilde for utluting av alkalier? (4)	Ja	Ja	Ja
Ekspanderer mørtelprismene? (5)	Noe (0,08 % / 14 døgn) (0,32 % / 7 mnd)	Lite ¹⁾ (0,05 % / 14 døgn) (0,18 % / 7 mnd)	Lite ¹⁾ (0,04 % / 14 døgn) (0,11 % / 7 mnd)
Får mørtelprismene stor vektøkning? (5)	Ja	Ja	Ja
Utvikles det riss i mørtelen? (5 og 6)	Noen fine, ingen grove	Enkelte fine, få grove	Enkelte fine, ingen grove
Produseres det alkaligel ved ekspansjonsforsøk? (5 og 6)	Ja	Ja	Ja
Hvordan fordeler evt. alkaligelen seg i mørtelen? (6)	Mest i luftporer inne i lettilslaget, noe i pastaporer	I luftporer inne i lettilslaget, samt i pastaporer	I luftporer inne i lettilslaget, samt i pastaporer
Kan alkalireaksjoner være et potensielt problem?	Ja	Ja	Ja

¹⁾ Mørtelprismemetoden anses som lite egnet for vurdering av alkalireaktivitet til dette lettilslaget

8 Forslag til videre undersøkelser

Det er vanskelig ut fra de innledende laboratorieforsøkene å vurdere hvordan de ulike lettilslagene vil oppføre seg i praksis med tanke på utvikling av alkalireaksjoner i en betong, og hvilke negative konsekvenser dette evt. vil føre til for den aktuelle konstruksjonen. I tråd med det som ble beskrevet i det opprinnelige prosjekttilbudet, foreslår vi derfor at det utføres supplerende laboratorieforsøk med alle de tre lettilslagene for å søke å besvare følgende relevante problemstillinger:

- Hvor store mengder alkalier kan de ulike lettilslagene lute ut i praksis avhengig av fraksjonsstørrelse? (hvilke konsekvenser kan dette evt. ha i en MND-betong der normaldensitetstilslaget er alkalireaktivt?)
- Utvikler noen av lettilslagene også alkalireaksjoner ved Betongprismeforsøk (38°C)? (hvilke ekspansjoner oppnås avhengig av betongsammensetning?)
- Hvilke vektøkninger kan forventes i en lettbetong avhengig av betongsammensetning og lokalt miljø? (her bør det også utføres forsøk på lettilslagene alene ved ulike temperaturer og ulike miljø, for å vurdere vektøkning som evt. skyldes andre forhold enn alkali-reaksjoner – i de utførte Mørtelprismeforsøkene ble det benyttet lettilslag som var forkondisjonert med 1 times vannlagring)
- For å undersøke nærmere hvordan en evt. alkaligel som produseres fordeler seg i en betong (i porer og riss? inne i lettilslagene?), kan det også være aktuelt å kombinere lettilslag med alkalireaktive normalttilslag for å få utviklet gel fra disse (Betongprismeforsøk). Vil lettilslagene kunne fungere som ”ekspansjonskammer” for alkaligel som produseres i en betong? (det vil her være aktuelt å foreta nærmere undersøkelser av eksponerte betongprismer både ved planslip-/tynnslipanalyse, samt SEM-EDX)
- Hvordan påvirkes mekaniske egenskaper av evt. alkalireaksjoner i lettbetong? (sylindere kan eksponeres i ”Betongprismemiljø” ved 38°C, før det bestemmes trykkfasthet, strekkfasthet og E-modul etter gitte eksponeringstider? hva skyldes den observerte økte porøsiteten i pastafasen i mørtelprismene, og vil den føre til reduserte mekaniske egenskaper?)
- Reduseres lettbetongens frostbestandighet ved evt. alkalireaksjoner? (prøvestykker med ulike luftinnhold kan eksponeres i ”Betongprismemiljø” ved 38°C, før frostprøving foretas etter gitte eksponeringstider)
- Hvordan skal en sette sammen en lettbetong (evt. MND-betong) for å unngå evt. utvikling av skadelige alkalireaksjoner? (funksjonsprøving av lettbetong med ulike bindemidler bør foretas vha Betongprismemetoden for å dokumentere ”sikre bindemidler”. Vil f eks et bindemiddel bestående av Norcem Anleggsement og 8 % silika være tilstrekkelig til å forhindre evt. utvikling av skadelige alkalireaksjoner?)
- Kan noen av lettilslagene lute ut sulfater, som også kan gi problemer med sulfatbestandigheten (kan det også oppstå forsinket ettringittdannelse, som sammen med alkalireaksjoner øker en evt. skadeutvikling?)

I tillegg til et utvidet laboratorieprogram, foreslår vi at det foretas nærmere undersøkelser av eksisterende konstruksjoner med lettbetong (observeres det riss eller ekspansjoner i felt? kan det observeres alkalireaksjoner i utborede betongkjerner?). Et aktuelt case er å analysere evt. gjenværende betongmateriale fra Endrestø bru (minimum planslip-, tynnslip- og SEM-analyser).

Et annet aktuelt ”feltcase” er å foreta nærmere undersøkelser av restmateriale fra testblokker med lettbetong som har vært lagret på Østmarkneset rett nord for Trondheim sentrum. Blokkene ble støpt ut i 1991 som ledd i FoU-prosjektet Light Weight Aggregate Concrete for Floaters /5/. Det ble benyttet betongkvalitet LC40 med vann-sement tall på 0,34. I de grove fraksjonene (> 4 mm)

ble det benyttet Liapor 7. I de finere fraksjoner ble det benyttet knust Leca 0-3 mm og Liapor "kaviar" 1-4 mm. Krav til fersk densitet var 1450-1500 kg/m³. I løpet av forsommeren hentet vi noe restmateriale fra blokkene inn til vårt laboratorium. Aktuelle undersøkelser er også for disse minimum planslip-, tynnslip- og SEM-analyser.

9 Konklusjoner

Basert på dette begrensede innledende laboratorieprogrammet (fase I) er hovedkonklusjonen at det ved Mørtelprismemetoden utvikles alkalireaksjoner for alle de tre lettilslagene Stalite, Leca 800 og Liapor 8. Stalite gir både høyest ekspansjon, høyest vektøkning og den største produksjonen av alkaligel.

Mørtelprismemetoden synes egnet for vurdering av alkalireaktiviteten til Stalite, men det er mer tvilsomt om den egner seg for prøving av Leca 800 og Liapor 8.

For å undersøke betydningen av de observerte funnene, både med tanke på bruk av de ulike lettilslagene i betong og med tanke på hvilke metoder lettilslag bør prøves og vurderes i henhold til, er det foreslått et oppfølgende prosjekt i tråd med det opprinnelige prosjekttilbudet.

10 Referanser

1. Justnes, H., Sellevold, E.J. and Lundevall, G.; "High Strength Concrete Binders. Part A: Reactivity and Composition of Cement Pastes with and without Condensed Silica Fume." 4th International Conference on Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolana in Concrete, Editor: V.M. Malhotra, Istanbul, May 3-8, 1992a, CANMET/ACI SP 132-47 (Volume 2) pp. 873-889.
2. Sellevold, E.J., Bager, D.H., Klitgaard Jensen, E. and Knudsen, T. "Silica Fume Cement Pastes: Hydration and Pore Structure", Proceedings of the Nordic Research Seminar "Condensed Silica Fume in Concrete", 10th December 1981, Report BML 82.610, NTH, 1982-02-15, pp. 19.
3. Justnes, H.: "Accelerated Hardening of Mortars with Hydraulic Binders of Silica Fume/Lime", Nordic Concrete Research, Publication No. 17, 2/1995, pp. 30-41.
4. Justnes H.: "Utilization of Spent Cracker Catalyst and Lime as Hydraulic Binders for Mortars", Nordic Concrete Research, Publication No. 19, 2/1996, pp. 21 - 28.
5. Rønne, M. og Havdahl, J.: "Beskrivelse av prosjekt med lettbetong, Østmarkneset testblokker", SINTEF-rapport nr STF22 A97821 (del av Lightcon prosjektet), Trondheim, 1997, pp. 47

Litteratur

Tittel (år)	Ref.	Bestilt	Mottatt	Lest	Kommentarer (med blått og kursiv = ikke lest, men kun nevnt hva som står der det er referert til denne artikkelen)
NS-EN 13055-1 (2002)	1	OK	OK	OK	Krav til lettilslag. Det er ingen krav til alkali-reaktivitet for "manufactured aggregates"!! (slik som f eks Leca, ...). Kravene i kap. 5.6 gjelder kun "natural" LWA, men standarden er ikke konkrete mht type prøving og krav.
Performance of Structural Lightweight Concrete Made With a Potentially Reactive Sand (2003)	2	OK	OK	OK	Mener at bruk av grove, lette tilslag kan muliggjøre bruk av reaktiv sand (demper reaksjonene; har målt ekspansjon, fc og ft, samt diskutert mekanismer; har referert til ref. 3 og 4). Har foreslått videre forsøk med metodene petrografisk analyse, elektronmikroskop og røntgen.
Addition of Lightweight Aggregate Reduces Expansion in Concrete Containing a Highly Reactive Normal Weight Aggregate (2000)	3	OK	OK	OK	Ved å replasere ND ikke-reaktiv sand med sand av lettilslag reduseres ekspansjonene forårsaket av grove reaktive ND tilslag (har målt ekspansjon, fc og ft, samt diskutert mekanismer).(Samme artikkel som Per H. kommenterte til RK i e-mail av 2004-09-11).
Indirect Tensile Testing to Evaluate The Effect of Alkali-Aggregate Reaction in Concrete (1998)	4	Nei	---	---	Antar at artikkelen omhandler noe av det samme som i ref. 2 og/eller 3 (samme forfatter, samt at det er henvist til denne fra ref. 2). Har søkt på hjemmesiden uten hell – bestiller den ikke.
Alkali-silica reactivity of some frequently used lightweight aggregates (2004)	5	OK	OK	OK	Noe generelt om lettilslag, om faren for AR, om skadekonsekvens av AR, samt noe vurdering av tilgjengelig litteratur. Fire lettilslag undersøkt i hht følgende metoder: ASTM C 1260 (mørtelprismer), ASTM C 289 (kjemisk test), SEM-EDX. "Ekspandert vermikulitt" og "ekspandert leire" er OK. "Ekspandert glass" og "perlite" (glassaktig bergart), som begge inneholder en glassfase, gir AR (SEM-EDX), men ingen ekspansjon. Forfatteren anbefaler sterkt bruk av SEM-EDX. Har referert til ref.6-11.
A comparison of RTA T363 and ASTM C 1260 accelerated mortar bar test methods for detecting reactive aggregates (2001)	6	OK	OK	OK	"Australia har foreslått grenseverdier for AMBT" – ikke noe om LWA i artikkelen, dvs. den er ikke relevant.
Alkali-silica reaction in a lightweight concrete bridge (1992)	7	OK	OK	OK	En 13 år gammel bru i Belgia ble revet i 1989. Tror lettilslag av eksp. skifer har lutet ut alkalier til betongen (ca 15 Na ₂ O-ekv. målt!!), selv om pot. utluting ikke kunne måles direkte på tilslaget. Ref. er til 2 bruer i Danmark og 1 bru i USA med lettilslag og påviste AR (men generelt gode erfaringer i USA med AR og lettbetong).

Tittel (år)	Ref.	Bestilt	Mottatt	Lest	Kommentarer
Lightweight aggregate concrete sometimes grows. Blame ASR if it is the most likely cause (1988)	8	OK	NEI		<i>"AR kan oppstå i lettbetong"</i>
Alkali-silica reaction: Suppression of expansion using porous aggregate (1987)	9	OK	OK	OK	Bytter ut deler av et tett grovt IR-tilslag i en tilslagsblanding med reaktiv sand. Økende porøsitet på den nye tilslaget gir redusert ekspansjon (Fig.1). Resultatene er diskutert i lys av absorpsjon, porøsitet og potensiell reaktivitet av noen av de porøse tilslagene. Gel observert vha. TS i alle betonger med ND-tilslag med mengde som korr. med målt eksp., men ikke gel i porer!! For sintrede tilslag er det eneste tilslaget forfatteren kjenner til som gir ekspansjoner "knust silikamurstein" prod. ved temp. 1200-1400 °C og som inneh. mye kristobalitt (kvarts-min.?). Ref. til at ingen skadelig eksp. er funnet for sintret FA (1ref), sintret leire (3ref) eller slagg (1ref), selv om glassfaser har ført til at slike tilslag er blitt klass. som pot. R i en rask kjem. test (ASTM C289). Også Lytag er inkl. i forsøkene – ingen eksp. og ingen gel. Indikerer at det hindrer eksp. snarere enn å absorbere gel (tror det skyldes red. alkali-innh. pga fortykning av vann abs. i tilslagene og at noe alkalier reagerer med lettilslagene?). Se ref. /17/ - videre forsøk av samme forfatter.
Reaction between cement and artificial glass in concrete (1981)	10	NEI	Skaff		<i>Sagt i ref. 5: "Gel legger seg i porene, slik at ekspansjonen forhindres".</i>
Studies of alkali-silica-reaction: Part II. Effect of air-entrainment on expansion (1984)	11	OK	OK	OK	35 ND sandtyper med ulik reaktivitet er testet ved mørtelprismeforsøk. I snitt medførte tilsetning av L-stoff i mørtlene (økning av luftinnh. fra ca 5,5 til ca 9,5 %) en reduksjon i ekspansjon pga AR på ca 40 %, fordi gel også fylles i luftporer (strukturanalyser). Dette vil igjen føre til redusert frostbestandighet.
Light weight aggregates (2000)	12	OK	OK	OK	Oppsummeringsrapport fra Task 2 i Euro-LightCon-prosjektet. Gir info om ulike LWA (Liapor og Leca er ekspandert leire, mens Stalite er ekspandert skifer), prøvingsmetoder og utvalgte testresultater. Mht AR er det gjort forsøk med AMBT (ASTM-1260; lav ekspansjon for alle som ble testet). <i>(Hvor finnes rapp. 3.3 som diskuterer AR nærmere?)</i>
Final Technical Report (2000)	13	OK	OK	OK	Vedr. AR, så står det samme her som i ref. 12.

Tittel (år)	Ref.	Bestilt	Mottatt	Lest	Kommentarer
LWAC Material Properties State-of-the-Art (1998)	14	OK	OK	OK	I flg <i>BRE (1997; som jeg ikke finner i ref.lista)</i> er letttilslag stabile mht AR, og letttilslag som ekspandert leire/leirskifer/skifer ble på daværende tidspunkt betraktet til å ha en lav reaktivitet. Bekreftes også av tidligere arbeid av <i>Concrete Society (1995; som jeg ikke finner i ref.lista)</i> som betrakter slike tilslag som ikke-reaktive. Sier at lite info finnes om LWA vedr. AR. Sier at man bør ta spesielle forholdsregler (lavalkali sement eller flygeaske) dersom grov LWA skal benyttes sammen med en mulig reaktiv sand.
A Comparative Study of LWAC based on Liapor 8 and Leca 800	15	OK	OK	OK	Har bl.a. utført en kjemisk test (ASTM C289). Leca ligger på grensen til å være "potensielt reaktiv", mens Liapor så vidt er OK (dvs. ingen signifikant forskjell på Leca og Liapor mht. faren for AR). Resultatene ligner på de som er presentert i ref. 5.
Assessment of the industrial utilization of scoria materials in central Harrat Rahat, Saudi Arabia (2000)	16	OK	OK	OK	Gjelder scoria (vulkansk materiale). Forsøk i hht ASTM (1995) Designation C311 for å se om scoria klarer å kontrollere AR ved bruk av et reaktivt tilslag (krav til redusert ekspansjon står i ASTM (1997) Designation C618). Lite endring i ekspansjonsverdier.
Alkali aggregate reactivity in dense concretes containing synthetic or porous natural aggregate (1989)	17	OK	OK	OK	Har studert den relative innvirkningen av "porevannsfortynning" (se ref. /9/), "ekspansjonsrom for gel" (mindre trykk) og potensiell reaktivitet av porøse tilslag (forbruker alkalier, og derav pessimum-effekt for den reaktive sanda?) på evnen til å redusere ekspansjonene i betong som inneholder en reaktiv sand. Tror førstnevnte betyr mest. Har målt ekspansjoner opp til alder ca 10 år for flere syntetiske tilslag. Disse viser en svakt stigende ekspansjon.
"Experience of Ahmad Shayan" (2004)	18	OK	OK	OK	Gjorde noe arbeid (upublisert) for ca 20 år siden. Ved grove LWA fyltes gel i porene, slik at ingen ekspansjon oppstod. Er mer skeptisk til bruk av knust sand fra letttilslag, da porene vil være "borte" slik at ekspansjon kan oppstå.

Tittel (år)	Ref.	Bestilt	Mottatt	Lest	Kommentarer
Use of ground brick as a pozzolanic material to reduce the alkali-silica reaction (2003)	19	OK	OK	OK	Ved brenning av leire til murstein er optimal temp. ca 1000°C for å oppnå en maksimal pozzolan virkning når mursteinen i ettertid knuses + males ned til fint støv og erstatter noe av sementen. Begge prøvde typer reduserte ekspansjon i AMBT, slik som andre pozzolaner gjør.
Lightweight aggregate based on waste glass and its alkali-silica reactivity (2002)	20	OK	OK	OK	Kjemisk test (ASTM C289) viser at det porøse glasstilslaget er hurtig reaktivt og at det kan lute ut alkalier. I mørtelprismeforsøk (ASTM C 227 - 38°C) får man ikke ekspansjon, men finner gel i porer.

-
- ¹ NS-EN 13055-1, "Del 1. Lette tilslag for betong, mørtel og injiseringsmasser", 1. utgave august 2002
- ² Boyd S.R., Holm T.A. and Bremner T.W.: "Performance of Structural Lightweight Concrete Made With a Potentially Reactive Sand", The Bremner Symposium, Thessaloniki 6/2003
- ³ Boyd S.R., Bremner T.W. and Holm T.A.: "Addition of Lightweight Aggregate Reduces Expansion in Concrete Containing a Highly Reactive Normal Weight Aggregate", 11th Int. Conf. on AAR, Quebec 6/2000
- ⁴ ????? Bremner T.W.: "Indirect Tensile Testing To Evaluate The Effect of Alkali-Aggregate Reaction in Concrete", paper presented at a American Society of Civil Engineering, San Francisco 7/1998
- ⁵ Mladenovic A., Suput J.S., Ducman V. and Skapin A.S.: "Alkali-silica reactivity of some frequently used lightweight aggregates", Cement and Concrete Research Volume 34, Issue 10 (2004), pp. 1809-1816
- ⁶ Shayan A. and Morris H.: A comparison of RTA T363 and ASTM C 1260 accelerated mortar bar test methods for detecting reactive aggregates, Cement and Concrete Research Volume 31, Issue 4 (2001), pp 655-663
- ⁷ De Ceukelaire L.: "Alkali-silica reaction in a light-weight concrete bridge", Proc. of the 9th ICAAR, London, UK, 1992, pp. 231-239
- ⁸ Crumpton, C.F.: "Lightweight aggregate concrete sometimes grows. Blame ASR if it is the most likely cause", *Concr. Constr.* No. 33 (1988), (6) pp. 618-619 and (12) pp. 1103-1105
- ⁹ Collins R.J. and Bareham P.D.: "Alkali-silica reaction: Suppression of expansion using porous aggregate", Cement and Concrete Research Volume 17, Issue 1 (1987), pp. 89-96
- ¹⁰ Figg, J.W.: "Reaction between cement and artificial glass in concrete", Proc. of the 5th ICAAR, Cape Town, South Africa, 1981, pp. S 252/7
- ¹¹ Jensen, A.D., Chatterji, S., Christensen, P. and Thaulow, N.: "Studies of alkali-silica-reaction: Part II. Effect of air-entrainment on expansion", Cement and Concrete Research Volume 14, Issue 3 (1984), pp. 311-314
- ¹² "Light Weight Aaggregates", rapport 15 i EuroLightCon-prosjektet, document BE96-3942/R15, 2000
- ¹³ "Final Technical Report", rapport 99 i EuroLightCon-prosjektet, document BE96-3942/R99, 2000
- ¹⁴ "LWAC Material Properties State-of-the-Art", rapport 2 i EuroLightCon-prosjektet, document BE96-3942/R2, 1998
- ¹⁵ Justnes, H., Johansen, K., Hammer, T.A., Meland, I. and Øye, B.A.: "A Comparative Study of LWAC based on Liapor 8 and Leca 800", SINTEF-rapport nr. STF70 F92119, Trondheim 1992
- ¹⁶ Moufti, M.R., Sabtan, A.A., El-Mahdy, O.R. and Shehata, W.M.: "Assessment of the industrial utilization of scoria materials in central Harrat Rahat, Saudi Arabia" *Engineering Geology*, Volume 57, Issues 3-4, July 2000, pp. 155-162
- ¹⁷ Collins, R.J.: "Alkali aggregate reactivity in dense concretes containing synthetic or porous natural aggregate", Cement and Concrete Research Volume 19, Issue 2 (1989), pp. 278-288
- ¹⁸ Shayan, A.: Personal communication (e-mail of 2004-11-23)
- ¹⁹ Turanli, L., Bektas, F. and Monteiro, P.J.M.: "Use of ground brick as a pozzolanic material to reduce the alkali-silica reaction", Cement and Concrete Research Volume 33, Issue 10 (2003), pp. 1539-1542
- ²⁰ Ducman, V., Mladenovic, A. and Suput, J.S.: "Lightweight aggregate based on waste glass and its alkali-silica reactivity", Cement and Concrete Research Volume 32, Issue 2 (2002), pp. 223-226
- pr 2004-12-10

VEDLEGG 2

SINTEF-notat: «Alkalireaksjoner i lettbetong. Supplerende undersøkelser etter lang tids eksponering i 80°C og 1N NaOH», 2007



SINTEF Byggforsk
Betong

Postadresse: 7465 Trondheim
Besøk: Richard Birkelands vei 3
Telefon: 73 59 52 24
Telefaks: 73 59 71 36

Foretaksregisteret: NO 948 007 029 MVA

NOTAT

GJELDER

**Alkalireaksjoner i lettbetong.
Supplerende undersøkelser etter
lang tids eksponering i 80°C og 1N NaOH.**

BEHANDLING

UTTALELSE

ORIENTERING

ETTER AVTALE

GÅR TIL

Reidar Kompen

X

X

ARKIVKODE

GRADERING

Fortrolig

ELEKTRONISK ARKIVKODE

I:\pro\3D0011\20336 Lettbetong 2007 2007-11-29

PROSJEKTNR.

DATO

SAKSBEARBEIDER/FORFATTER

ANTALL SIDER

227185

2007-11-29

Marit Haugen, Harald Justnes og Jan Lindgård

29 +1v

1 INNLEDNING

I 2006 ble det utgitt en SINTEF-rapport med tittel: ”Alkalireaksjoner i lettbetong – innledende laboratorieprøving” (SINTEF-rapport SBF52 F06004 datert 2006-08-10), hvor tre ulike lettilslag (Stalite, Leca 800 og Liapor 8) ble prøvd mht alkalireaktivitet (Mørtelprismemetoden), pozzolan aktivitet og utlutning av alkalier. For mørtelprismeforsøkene ble det i tillegg til resultater fra vekt- og lengdeendring etter 7 måneders eksponering, presentert resultater fra mikroskopiundersøkelser foretatt på ett av de tre mørtelprismene fra hver blanding som hadde vært eksponert i den 80°C varme natriumhydroksidløsningen (1N NaOH) i 56 døgn. Mikroskopiundersøkelsene inkluderte både undersøkelser i polarisasjonsmikroskop (tynnslip) og ved hjelp av sveipeelektronmikroskopi (SEM).

På oppfordring fra oppdragsgiver (e-post fra Reidar Kompen av 2006-12-01) har SINTEF Byggforsk foretatt supplerende undersøkelser etter lang tids eksponering av prismene i 80°C og 1N NaOH. Dette notatet presenterer resultatene fra disse forsøkene som inkluderer måling av lengde og vekt på de gjenværende mørtelprismene, samt mikroskopiundersøkelser (tynnslip + SEM) av ett mørtelprisme fra hver blanding.

2 MØRTELPRISMEFORSØK; LENGDE- OG VEKTENDRING

2.1 Utførte forsøk – lagringsforhold

Mørtelprismeforsøkene ble startet opp i oktober 2005. Ved alder 56 døgn ble ett prisme fra hver blanding benyttet til mikroskopiundersøkelser, mens de to gjenværende prismene ble lagret videre i 80°C og 1N NaOH. Siste rapporterte måling av lengde og vekt var ved alder 7 måneder (mai 2006). Da forsøkene egentlig skulle avsluttes etter rapportering, har ikke vannstanden i lagringskarene vært kontrollert tilstrekkelig etter dette tidspunktet. Når det i desember 2006 skulle

foretas supplerende målinger på de gjenværende prismene, var kun de nedre ca 2/3 av prismene dekket av væske.

I forbindelse med ferdigstilling av dette notatet ble det foretatt en siste måling på de gjenværende prismene ved alder ca 25 måneder (ett prisme fra hver blanding – foto av prismene er vist i VEDLEGG 1). De siste to månedene før måling har prismene ligget helt neddykket i lagringskarene (vann ble etterfylt i september 2007). Ved kontroll av prismene ved alder ca 23 måneder var det imidlertid ikke noe væske i lagringskarene, dvs prismene har ligget tørt en periode før de igjen ble neddykket.

2.2 Lengde- og vektendring

Resultatene fra måling av lengde og vekt av mørtelprismene fra hver blanding er presentert i Tabell 1, samt Figur 1 og 2.

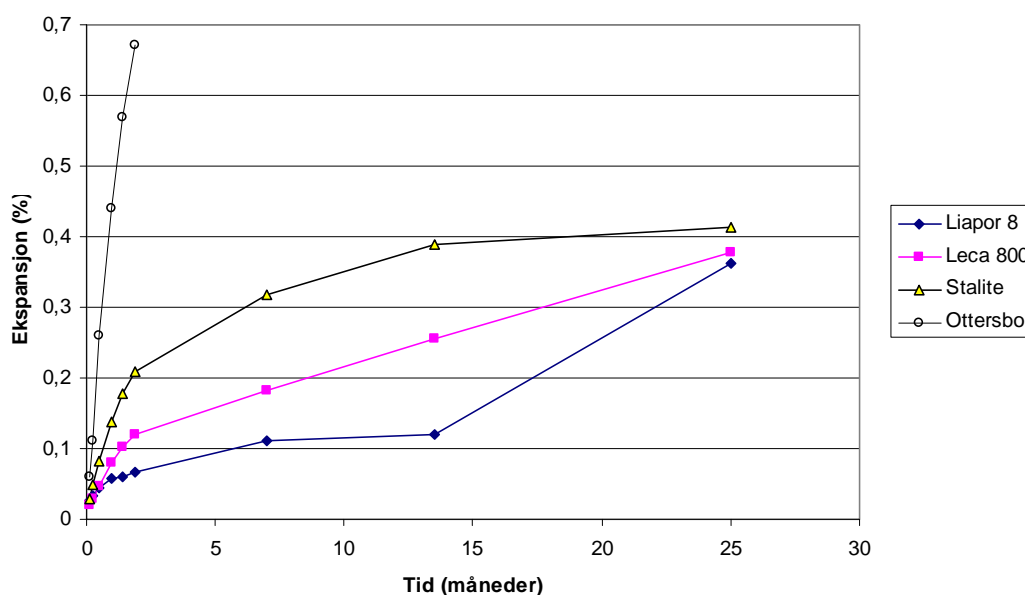
Tabell 1 Resultater fra Mørtelprismeforsøk med de tre lettilslagene Liapor 8, Leca 800 og Stalite.

Tilslag (Blanding nr)		Liapor 8 (1)	Leca 800 (2)	Stalite (3)	
Material-sammen-setning, gram pr blanding	Sement	600			
	Lettilslag (inkl. absorbert vann)	Liapor 8	1169	-	-
		Leca 800	-	1170	-
		Stalite	-	-	1156
	Scanflux AD-18	20	0	0	
Fritt vann	270				
Konsistens; rystebordsverdi, mm		189	143	227	
Ekspansjon i % (vekt-økning i gram/dm ³) av referanselengde (referansevekt) etter lagring i 1 N NaOH-løsning av 80 ± 2 °C i	4 døgn	0,026 (46)	0,019 (31)	0,029 (55)	
	7 døgn	0,034 (62)	0,028 (48)	0,048 (80)	
	14 døgn	0,044 (84)	0,046 (75)	0,083 (111)	
	28 døgn	0,057 (111)	0,080 (99)	0,138 (133)	
	42 døgn	0,061 (126)	0,103 (107)	0,177 (141)	
	56 døgn	0,066 (138)	0,120 (111)	0,209 (148)	
	7 mnd *	0,112 (164)	0,183 (149)	0,317 (198)	
	13,5 mnd *,***	0,121 (160)	0,256 (150)	0,388 (213)	
25 mnd **,***	0,363 (149)	0,377 (117)	0,413 (164)		

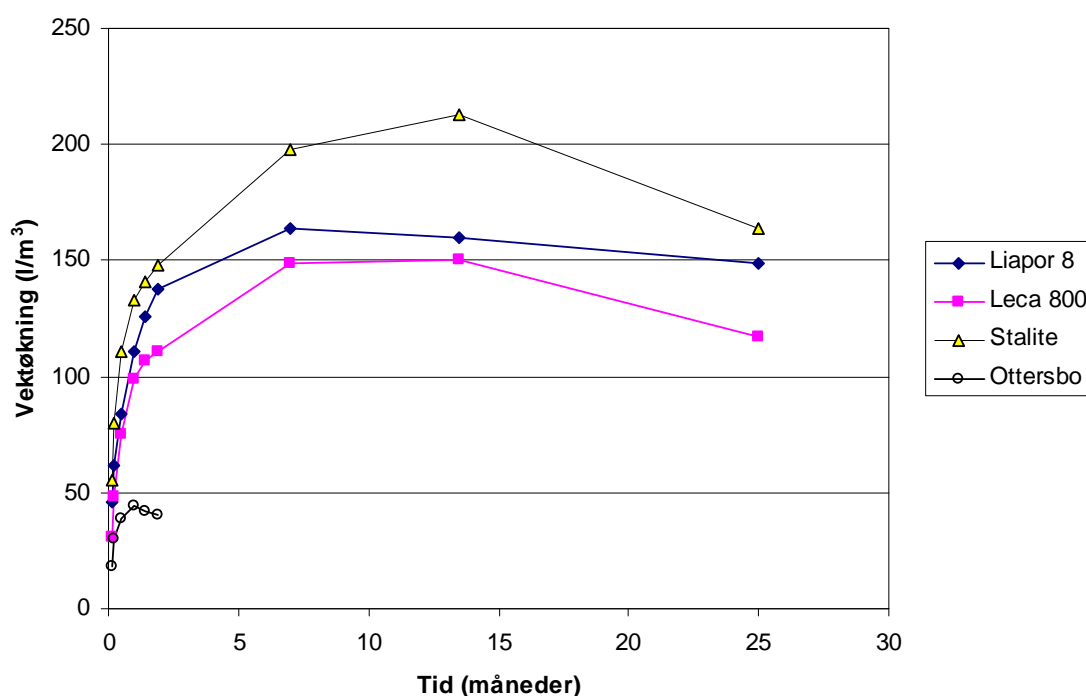
* Kun to prizmer fra hver blanding

** Kun ett prisme fra hver blanding

** Væskenivået har ikke hele tiden dekket prismene



Figur 1 Mørtelprismeforsøk med tre letttilslag. Resultater fra lengdemålinger (inkl resultater for Ottersbo som er et meget reaktivt norsk normaldensitetstilslag).



Figur 2 Mørtelprismeforsøk med tre letttilslag. Resultater fra måling av vekt (inkl resultater for Ottersbo som er et meget reaktivt norsk normaldensitetstilslag).

2.3 Kommentarer til resultatene fra Mørtelprismeforsøkene

På grunn av lavt væskenivå i lagringskarene i noen perioder etter alder 7 måneder (se kapittel 2.1), antas målingene av vekt og lengde ved de to siste måletidspunktene å være noe lavere enn de ellers ville ha vært hvis prismene hadde vært neddykket i hele lagringsperioden. Dette vises også ved en vektreduksjon av prismene.

3 MIKROSKOPIUNDERSØKELSER AV MØRTELPRISMER

3.1 Utførte forsøk

Etter ca 13,5 måneders eksponering av mørtelprismene (jfr kapittel 2.1 mht kommentarer om lagringsforhold) ble ett prisme fra prøving av hvert av de tre lettilslagene undersøkt nærmere ved mikroskopiundersøkelser (polarisasjonsmikroskopi + SEM-EDAX). Både tynnslipmikroskopi og sveipeelektronmikroskopi (SEM) benyttes for studier av mikrostrukturen (evt. riss og gel) og små lokale variasjoner i denne, mens energidispersiv analyse av røntgenstråler (EDAX) benyttes til semikvantitative analyser med hensyn på kjemisk sammensetning av faste stoffer (i dette tilfelle evt. gel).

3.2 Prøvepreparering

For hvert av de tre lettilslagene ble det ble skåret et stykke fra midten av det utvalgte mørtelprismet, slik at tre sidekanter var synlig. Det ble laget ett tynnslip uten dekkglass for hver av prøvene for undersøkelse med optisk mikroskopi (tynnslipundersøkelser). Prøvene ble pådampet et lag karbon for å gjøre overflaten elektrisk ledende før undersøkelse ved SEM.

3.3 Tynnslipundersøkelser

3.3.1 Metode tynnslip

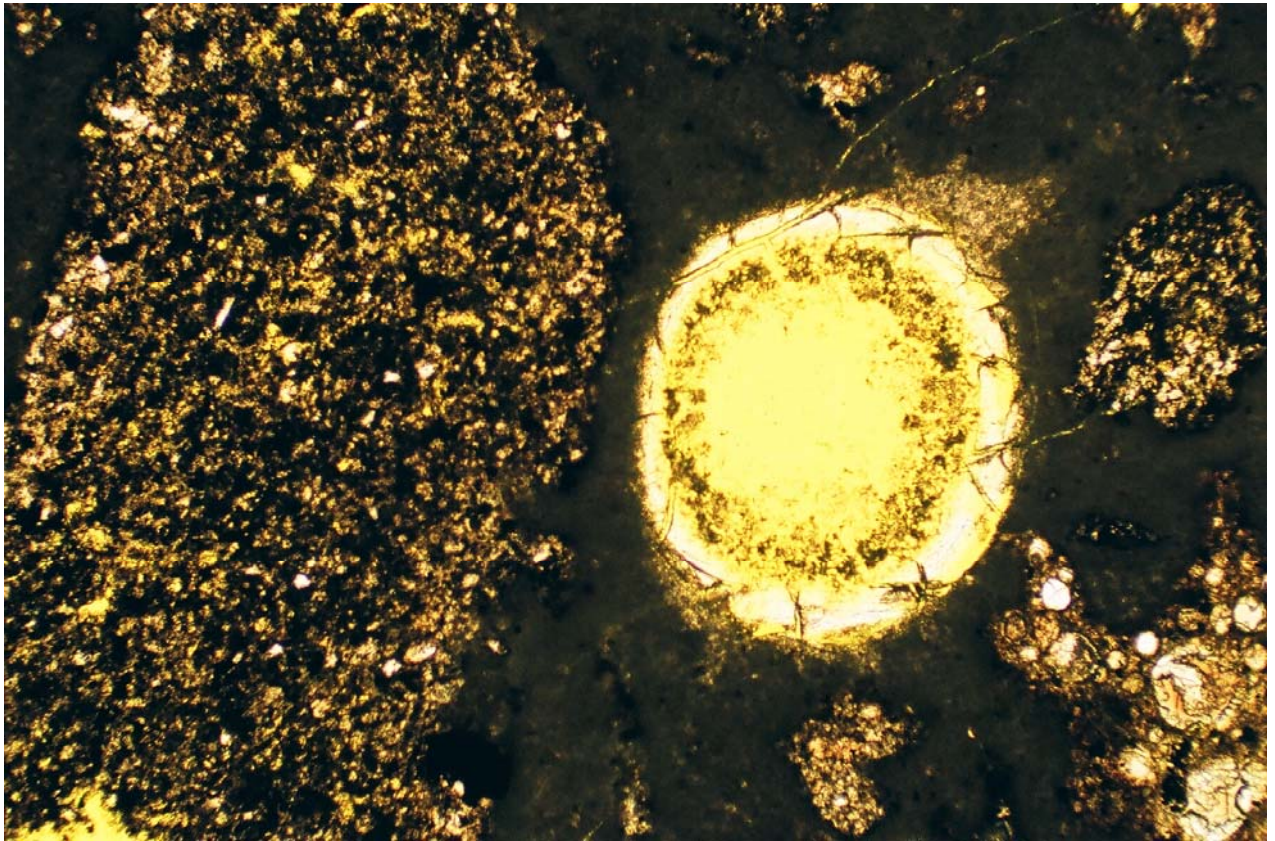
Tynnslipundersøkelsene ble foretatt i polarisasjonsmikroskop med UV-filer.

3.3.2 Resultater tynnslip

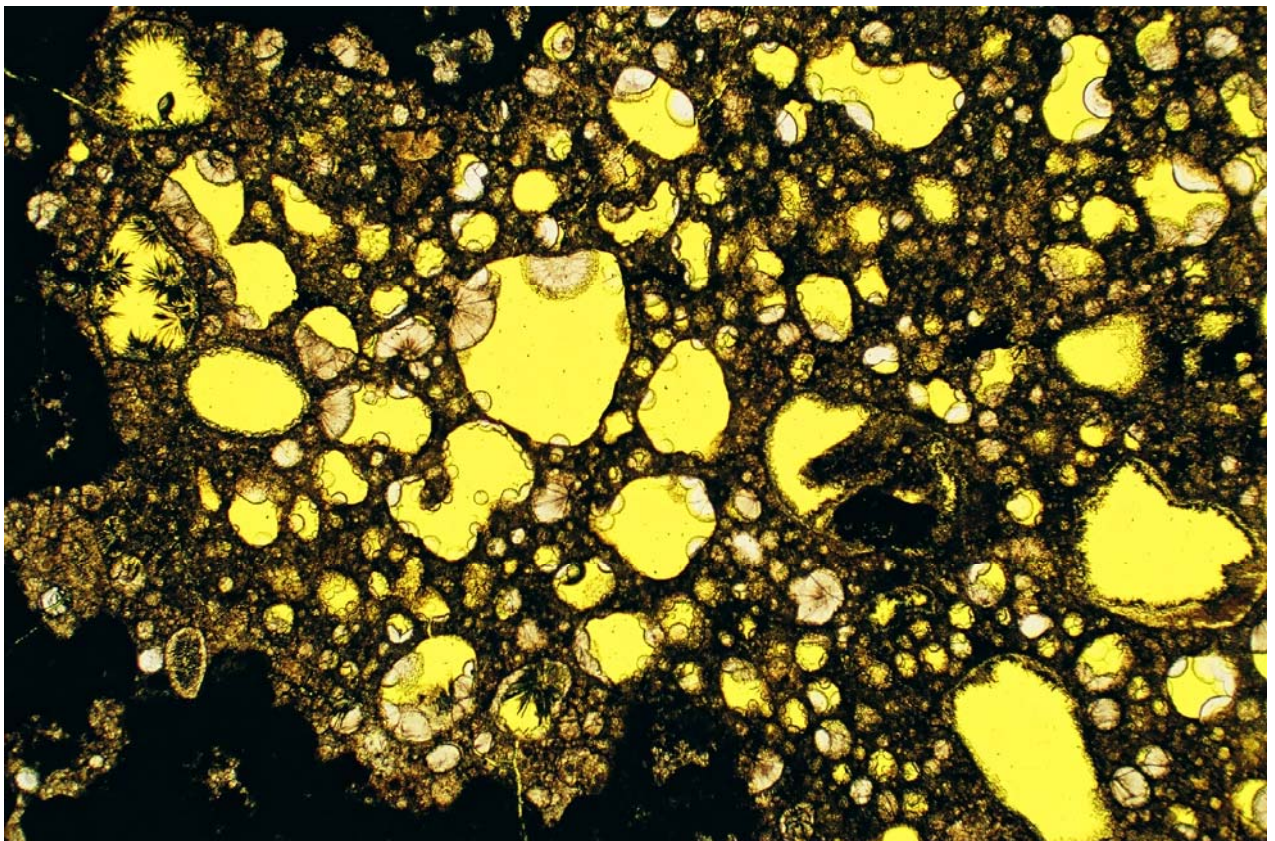
Observasjonene fra de utførte tynnslipanalysene er presentert i Tabellene 2-4. Utvalgte foto er vist i Figurene 3-14.

Tabell 2 Observasjoner i tynnslip for mørtelprisme med Stalite

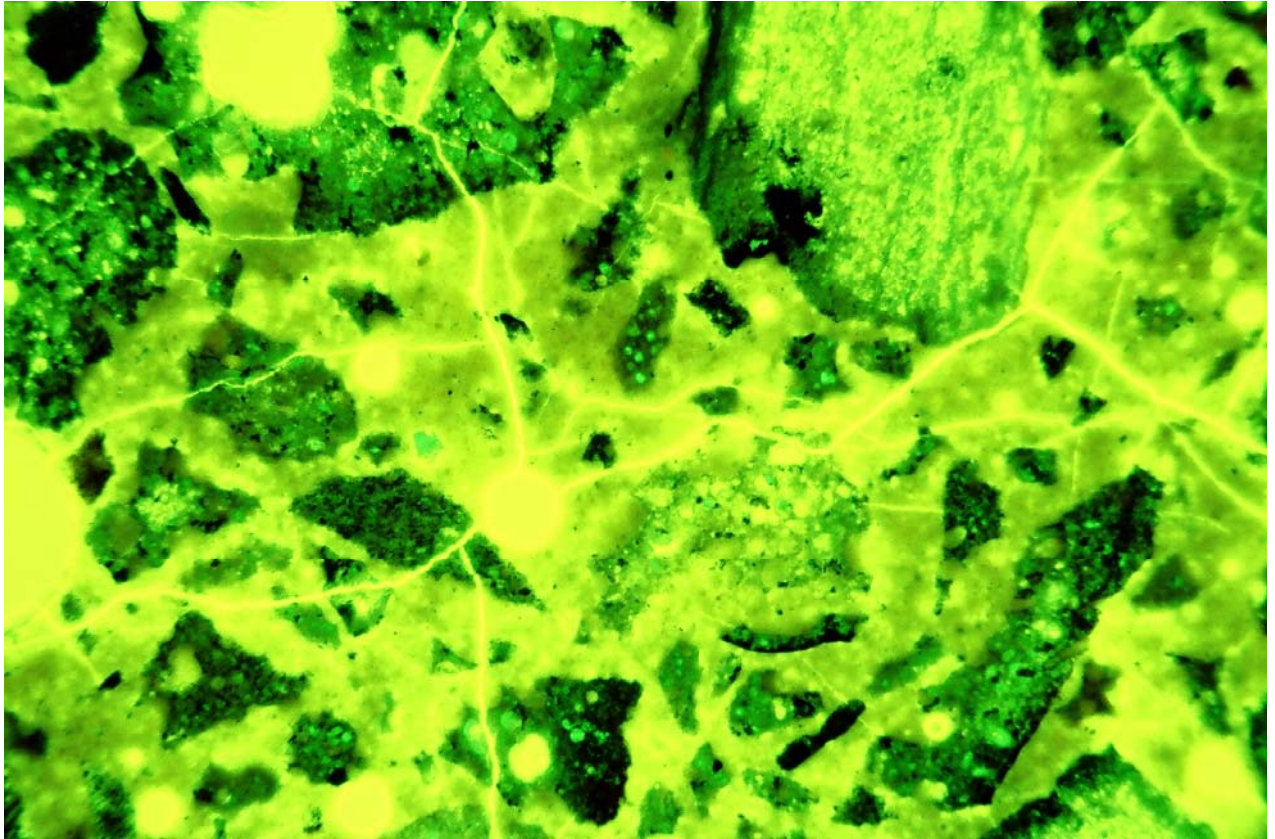
Lettislag	Tynnslip av mørtelprisme med Stalite
Porøsitet	Meget tett, mørk pasta, lav porøsitet (farge tilsvarende v/c ca 0,35). Homogen porøsitet
Mikroriss	Mange
Fine riss i mørtelen	Mange (nettverk gjennom hele tynnslipet)
Grove riss	Enkelte
Alkalireaksjoner	Ja
Reaksjonsprodukter	Alkaligel er observert i luftporer inne i Stalite-kornene samt i luftporer i pastaen
Kommentar	Merkbar økning i mengde alkaligel sammenlignet med resultatene fra 2006. Mye tettere pasta enn i 2006. Større rissintensitet enn i 2006



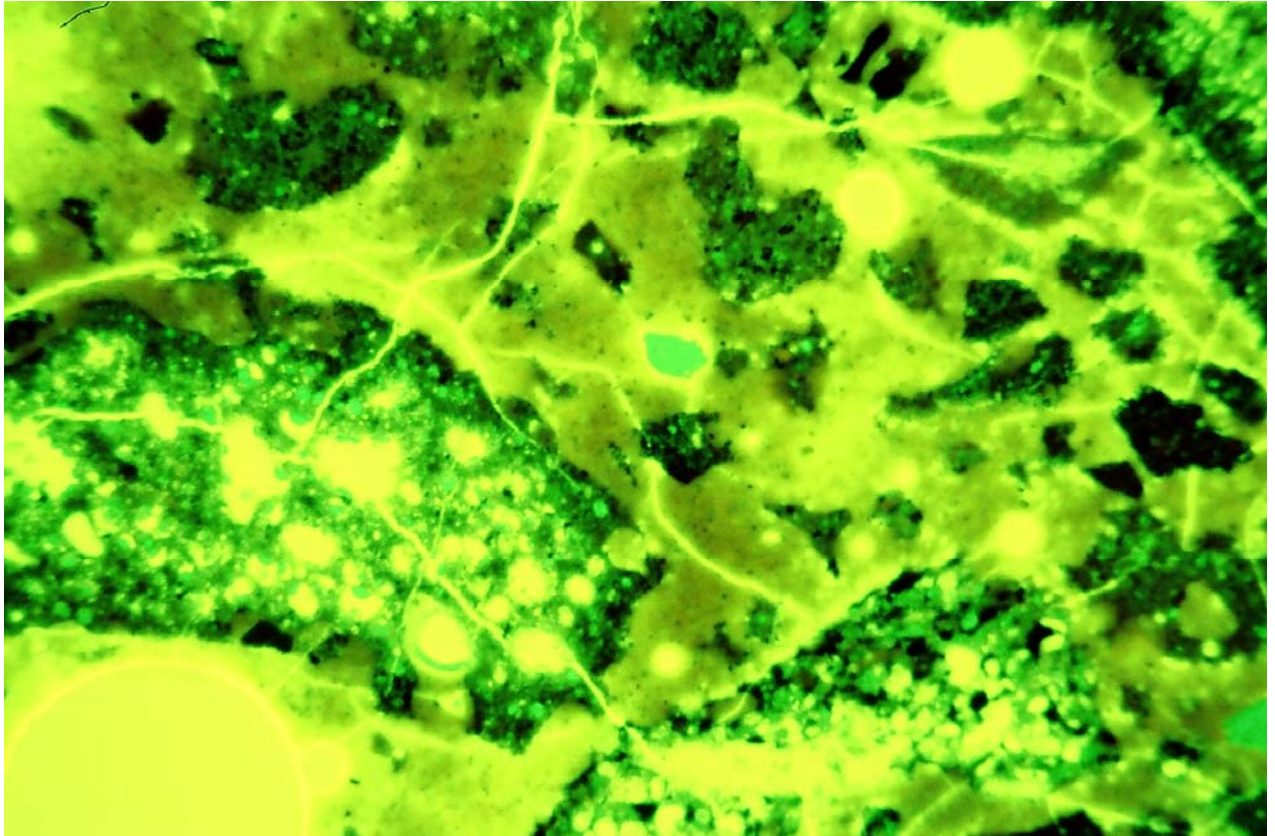
Figur 3 Bildet viser tynnslipet av mørtelen med Stalite. Merk alkaligelen (hvit) som er utfelt i randen av luftporen i pastaen. Bildet er 2,2 mm x 1,4 mm.



Figur 4 Bildet viser tynnslipet av mørtelen med Stalite. Merk alkaligel (hvit) som er utfelt i luftporer inne i et Stalite-korn. Bildet er 2,2 mm x 1,4 mm.



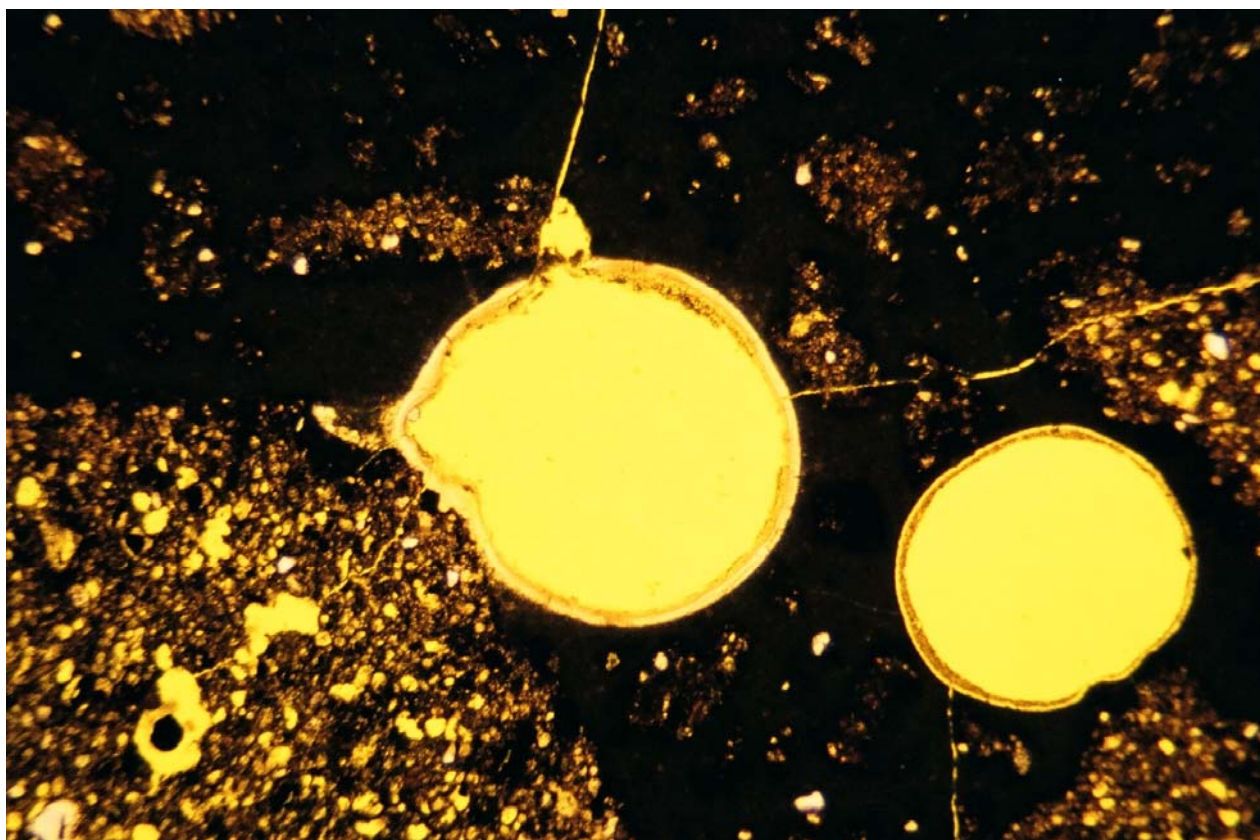
Figur 5 Bildet viser tynnslipet av mørtelen med Stalite fotografert i fluorescerende lys. Merk rissene i mørtelen. Bildet er 4,2 mm x 2,7 mm.



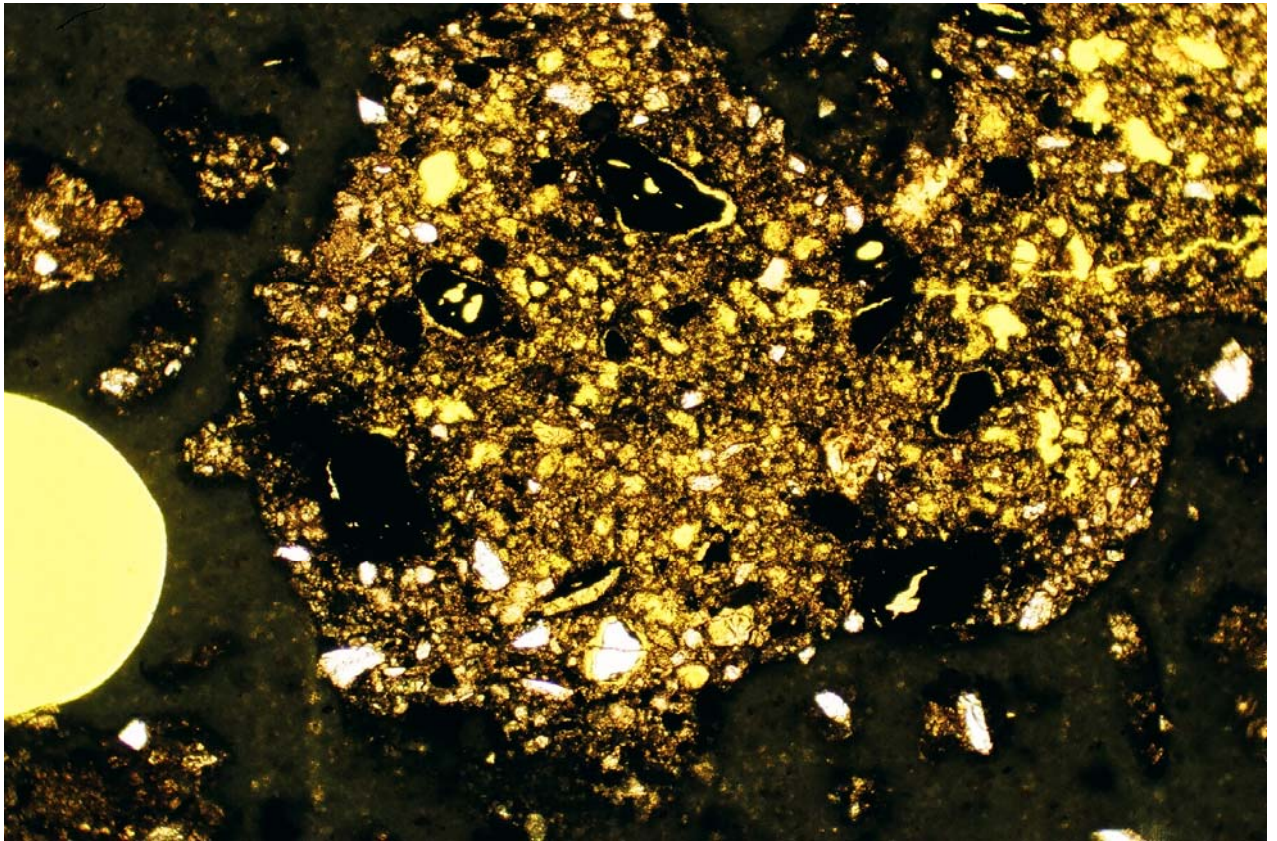
Figur 6 Bildet viser tynnslipet av mørtelen med Stalite fotografert i fluorescerende lys. Merk riss i mørtelen. Bildet er 4,2 mm x 2,7 mm.

Tabell 3 Observasjoner i tynnslip for mørtelprisme med Leca 800

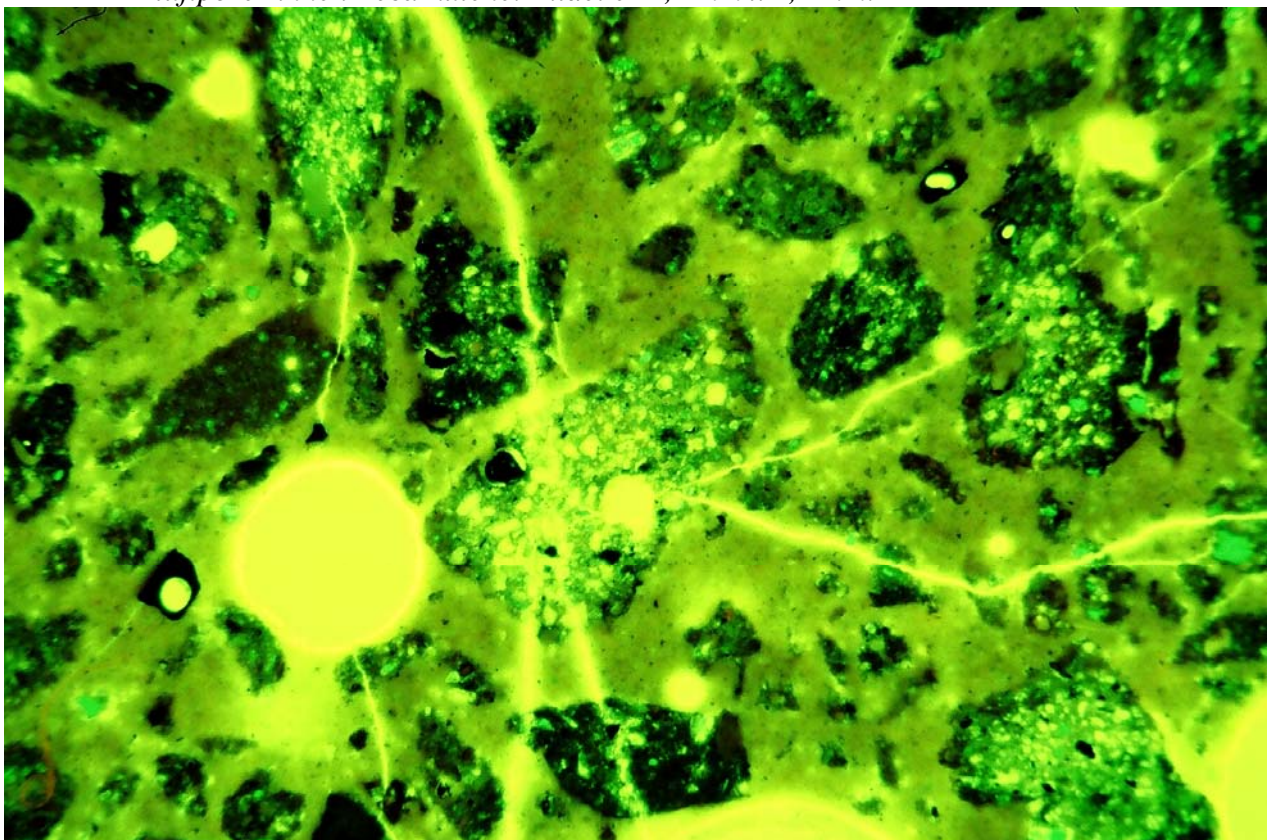
Letttilslag	Tynnslip av mørtelprisme med Leca 800
Porøsitet	Meget tett, mørk pasta, lav porøsitet (farge tilsvarende v/c ca 0,35). Homogen porøsitet
Mikroriss	En del
Fine riss i mørtelen	Mange (nettverk gjennom hele tynnslipet)
Grove riss	Enkelte
Alkalireaksjoner	Ja
Reaksjonsprodukter	Noe alkaligel i luftporer. Litt gel i porer inne i Leca-tilslag
Kommentar	Noe alkaligel. Mer gel i luftporer enn i 2006, men ikke observert forskjell i gelmengde inne i Leca-kulene. Mye tettere pasta enn i 2006. Større rissintensitet enn i 2006



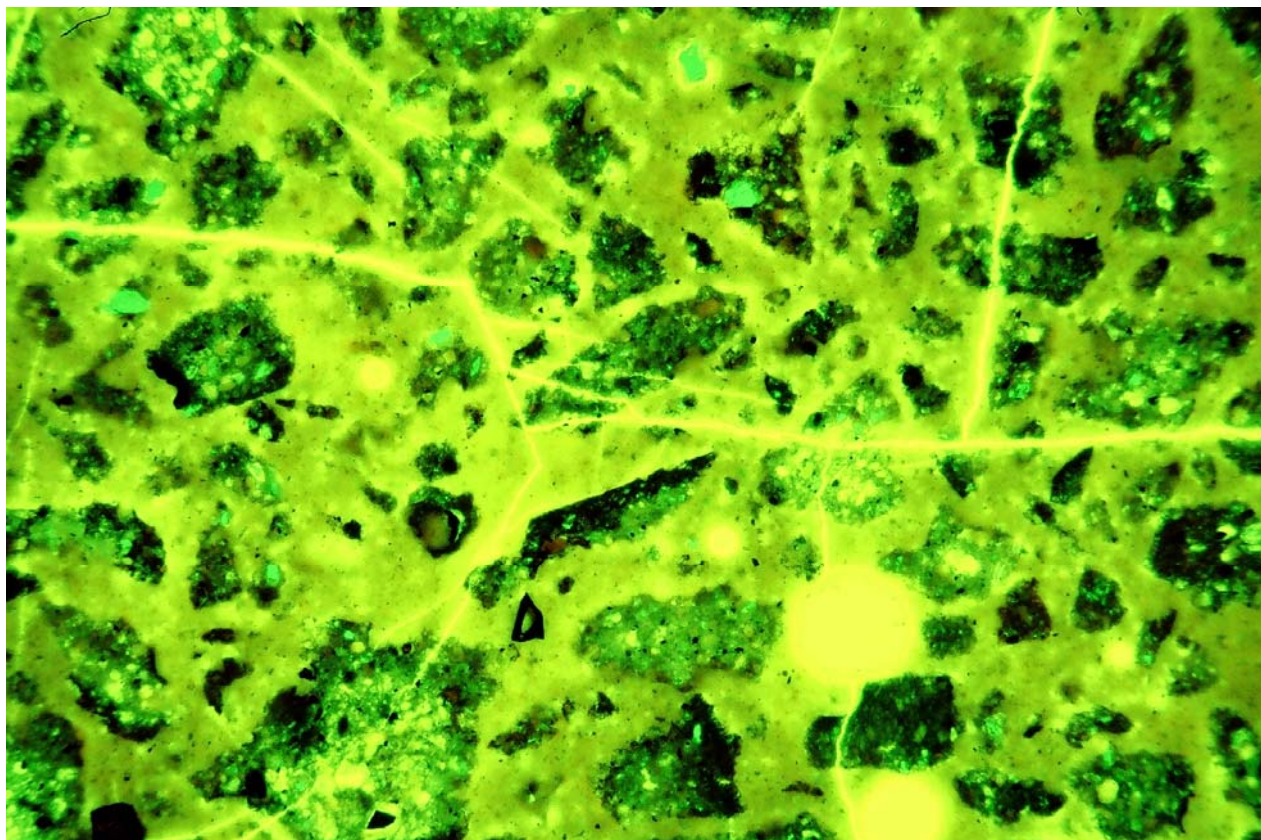
Figur 7 Bildet viser tynnslipet av mørtelen med Leca. Merk alkaligel (hvit-brun) som er felt ut i randen av luftporen til venstre. Det brune innholdet i luftporen til høyre er trolig slipestøv fra Leca-kulene som er dannet under tynnslip-prepareringen. Bildet er 4,2 mm x 2,7 mm.



Figur 8 Bildet viser tynnslipet av mørtelen med Leca. Merk hvit utfelling (trolig gel) i luftporer inne i Leca-kulene. Bildet er 2,2 mm x 1,4 mm.



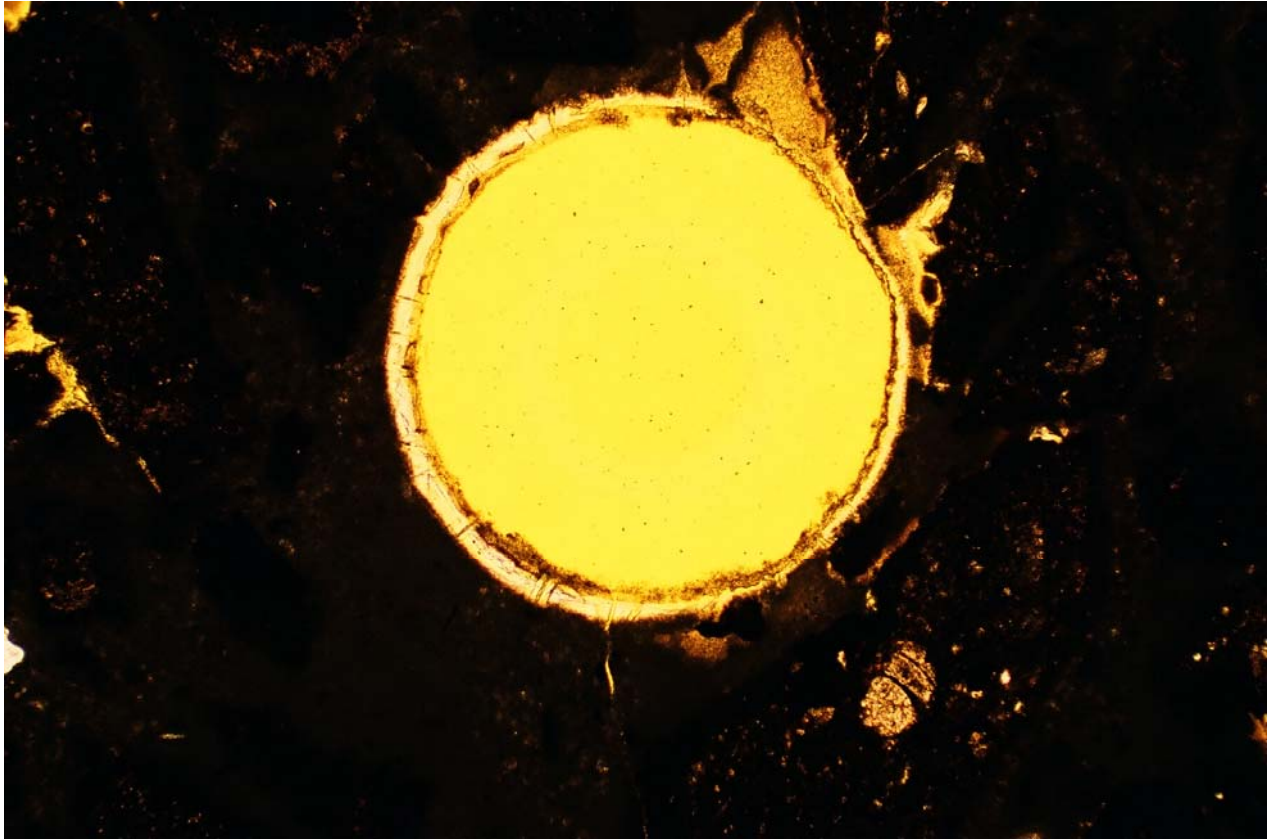
Figur 9 Bildet viser tynnslipet av mørtelen med Leca fotografert i fluorescerende lys. Merk riss i mørtelen. Bildet er 4,2 mm x 2,7 mm.



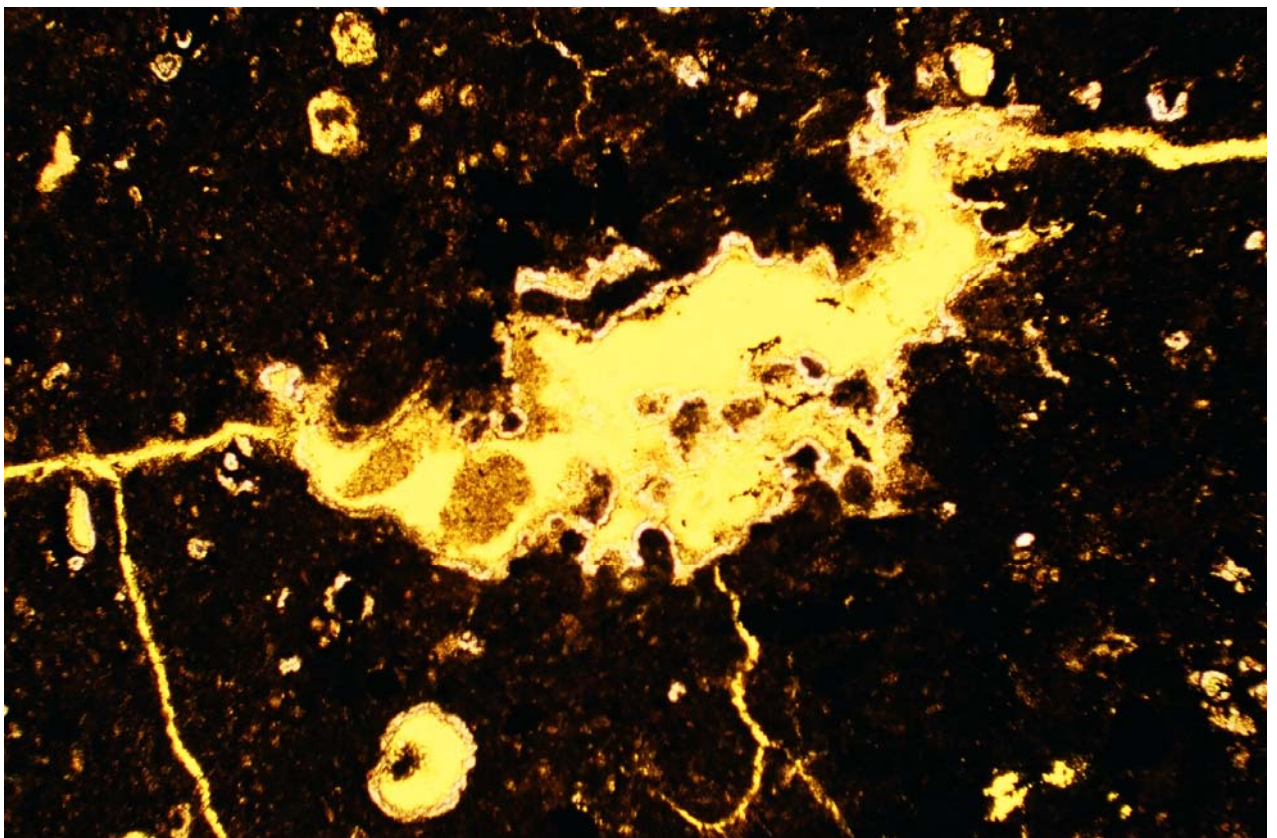
Figur 10 Bildet viser tynnslipet av mørtelen med Leca fotografert i fluorescerende lys. Merk riss i mørtelen. Bildet er 4,2 mm x 2,7 mm.

Tabell 4 Observasjoner i tynnslip for mørtelprisme med Liapor 8

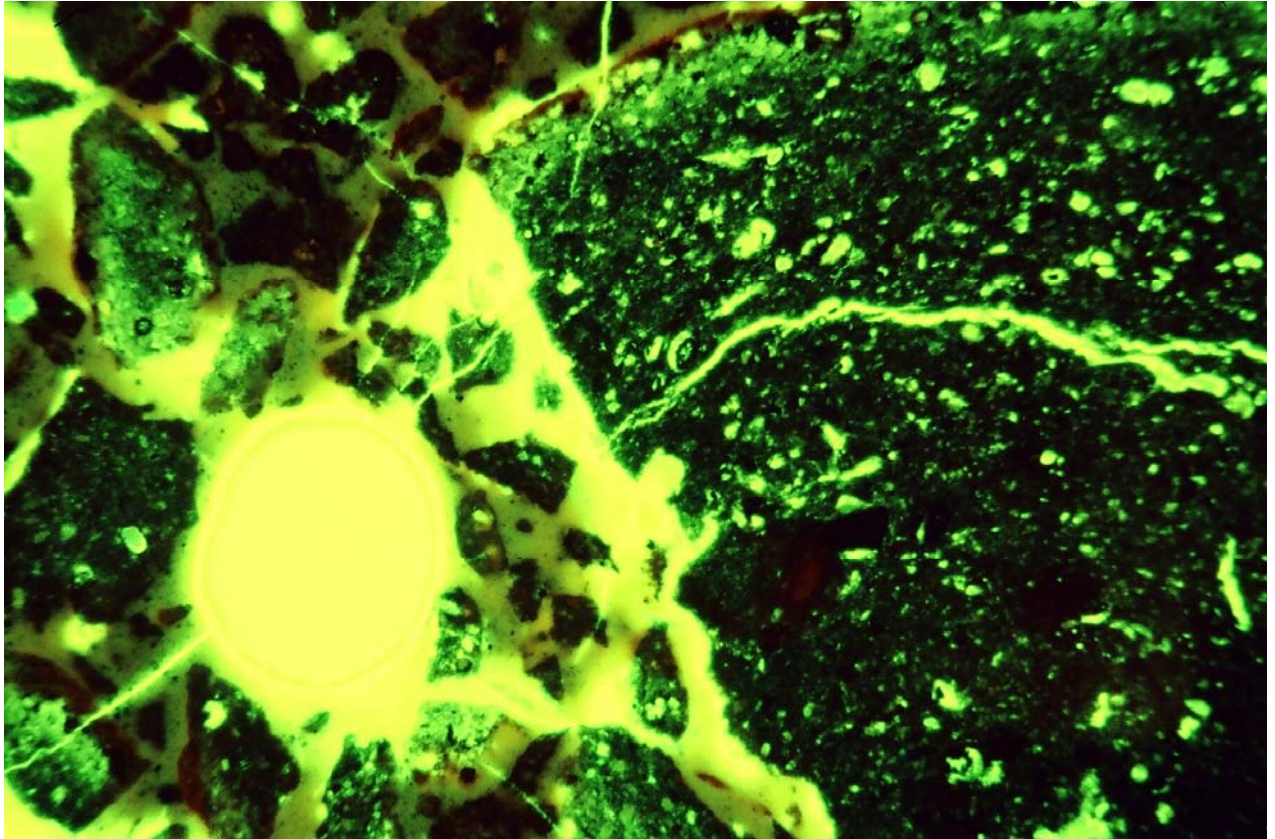
Lettilslag	Tynnslip av mørtelprisme med Liapor 8
Porøsitet	Meget inhomogen pasta med sterk dominans av meget tett, mørk pasta - farge tilsvarende $v/c < 0,35$). Mindre partier med meget åpen, lys pasta
Mikroriss	En del
Fine riss i mørtelen	En del (gjennom hele tynnslipet)
Grove riss	Ikke observert
Alkalireaksjoner	Ja
Reaksjonsprodukter	Alkaligel er observert i randen av luftpore og hulrom i pastaen. Det ser også ut til å være gel i porer inne i Liapor-korn
Kommentar	En del alkaligel. Mindre åpne partier (som ser "utvasket" ut) i pasten sammenlignet med prøven fra 2006. Tettere pasta enn i 2006. Større rissintensitet enn i 2006



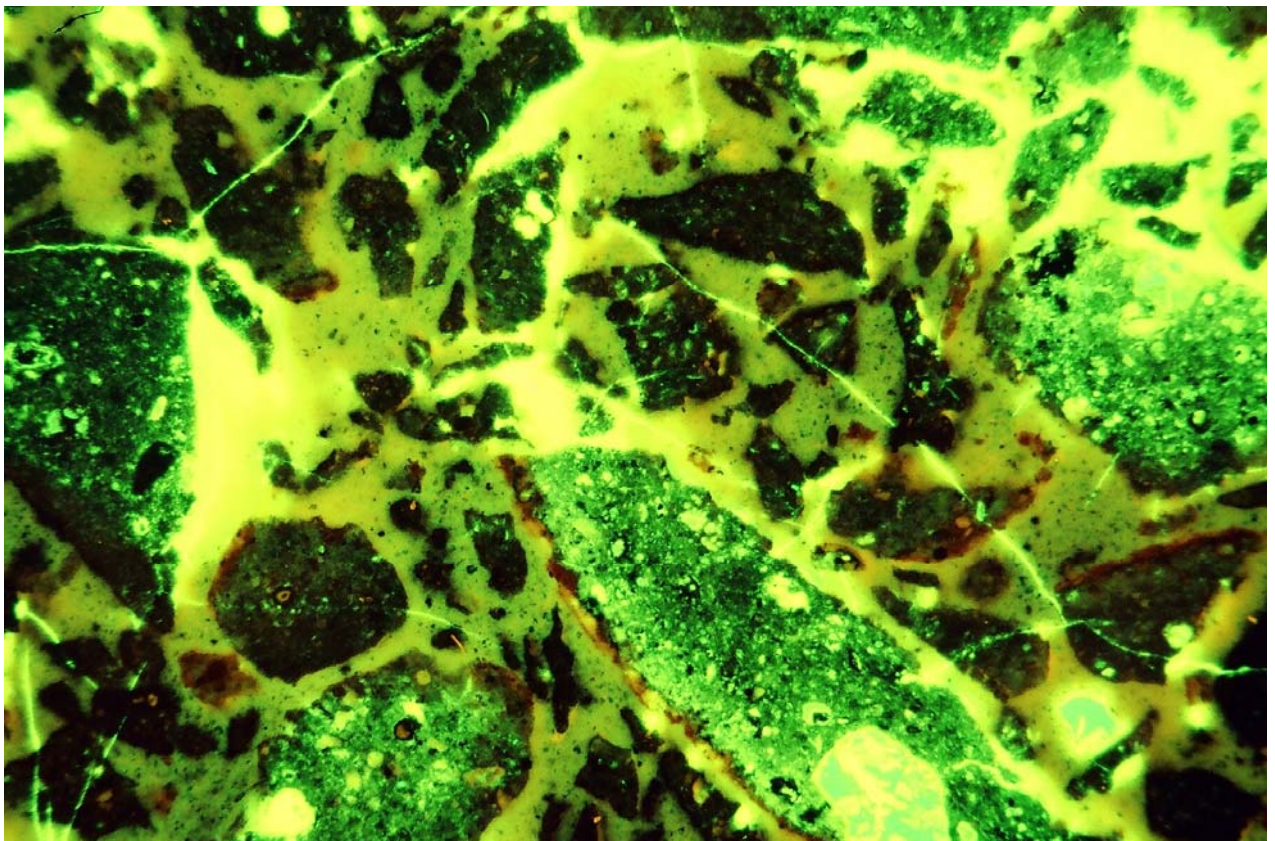
Figur 11 Bildet viser tynnslipet fra mørtelen med Liapor. Merk alkaligel som er utfelt i randen av en luftpore. Bildet er 2,2 mm x 1,4 mm.



Figur 12 Bildet viser tynnslipet fra mørtelen med Liapor. Merk utfelling av alkaligel i randen av hulrommet i pastaen. Bildet er 2,2 mm x 1,4 mm.



Figur 13 Bildet viser tynnslipet fra mørtelen med Liapor fotografert i fluorescerende lys. Merk riss i mørtelen, samt porøsitetsforskjeller. Bildet er 4,2 mm x 2,7 mm.



Figur 14 Bildet viser tynnslipet fra mørtelen med Liapor fotografert i fluorescerende lys. Merk riss i mørtelen samt porøsitetsforskjeller. Bildet er 4,2 mm x 2,7 mm.

3.3.3 Vurdering av tynnslipundersøkelsene

Porøsitet

Porøsiteten i mørtelen med Stalite og Leca 800 er homogen og meget lav. Mørtelen med Liapor har imidlertid mindre partier med meget høy porøsitet, men også her er meget lav porøsitet dominerende. Ved analysene av mørtelprismene i 2006 (ved alder 56 døgn) var porøsiteten høy. Porøsiteten har derfor blitt redusert over tid (dvs. ved ytterligere ca ett års eksponering), uten at vi med sikkerhet vet hvorfor (kan ha sammenheng med fordeling av reaksjonsprodukter i pastaen).

Riss

Rissintensiteten i alle mørteltypene er betraktelig høyere etter vel ett års eksponering enn etter ca 2 måneders eksponering. En rangering av rissintensiteten etter ca 13,5 måneders eksponering er som følger: Stalite, Leca 800 og Liapor 8 (Stalite har mest riss).

Alkalireaksjoner

Det er observert alkaligel i alle prøver. Mørtelen med Stalite inneholder betydelige mengder alkaligel, mer enn tilfellet var ved ca ett år mindre eksponering. Gelen i Stalite-mørtelen er observert i porer i tilslaget, samt i luftporer i pastaen.

I Leca 800-mørtelen er det mindre gel enn i Stalite-mørtelen, men også her er det ved siste analyse observert mer gel i luftporer i pastaen enn for ca ett år siden. I luftporer inne i Leca 800-kulene er det observert materiale som trolig er alkaligel. Mengden av evt. gel inne i Leca 800-kulene vurderes ut fra tynnslipanalysen ikke til å være særlig høyere enn for ca ett år siden.

I Liapor 8-mørtelen er det observert mer gel i randen av luftporer og i hulrom i pastaen enn for ca ett år siden. Det er gel-lignende materiale i porer i enkelte Liapor 8-korn, og det er noe mer av dette nå enn tilfellet var etter ca 2 måneders eksponering.

3.4 Sveipeelektronmikroskopi (SEM)

3.4.1 Metode SEM

SEM kan danne bilder fra tilbakespredte elektroner (BEI = backscattered electron imaging) i form av ulike gråtoneverdier for de ulike faser i materialet. Faser av høy tetthet og bestående av tunge kjemiske elementer vil fremstå som hvite i BEI, mens faser av lav tetthet og lette kjemiske elementer vil fremstå som sorte. F eks vil en luftpore fylt med epoksy fremstå som sort. Elementanalytoren kan analysere den kjemiske elementfordelingen i et punkt (ca 1 μm^3) eller over et område (f eks sirkel med diameter 10 μm). Analysen foregår ved at elektronstrålen eksiterer elektronene (løfter de til en høyere bane rundt kjernen) i hvert element. Når de faller tilbake til sin opprinnelige bane sender de ut stråling som er spesifikk i bølgelengde eller energi for hvert enkelt element. Her har man skilt på energi, og man får da et energidispersivt spektrum (EDS) som viser fordelingen av elementene.

3.4.2 Resultater SEM

SEM observasjoner for Stalite

Figur 15 viser et utsnitt av et Stalite korn med ulike reaksjonsprodukter. Et område virker krystallinsk (risset, kornet) og er fattig i alkalier, mens et annet virker mer amorf (homogent, rundet) og er rikt i alkalier. Den semikvantitative atomære fordelingen i det krystallinske området basert på EDS er 5% Na, 6% K, 26% Al og 63% Si, mens atomfordelingen i det tilsynelatende amorfte området er 52% Na, 4% K, 14% Al og 29% Si.

Figur 16 viser at noe av tidligere reaksjonsprodukt (amorf type?) har gått i oppløsning og etterlatt en "bord" sannsynligvis av en annen sammensetning med mindre løselighet. "Bordens" sammensetning var 35% Na, 25% K, 19% Al og 43% Si, og hvis man sammenlikner med det amorfte området i forrige avsnitt, ser man at Na/Si forholdet er betydelig lavere.

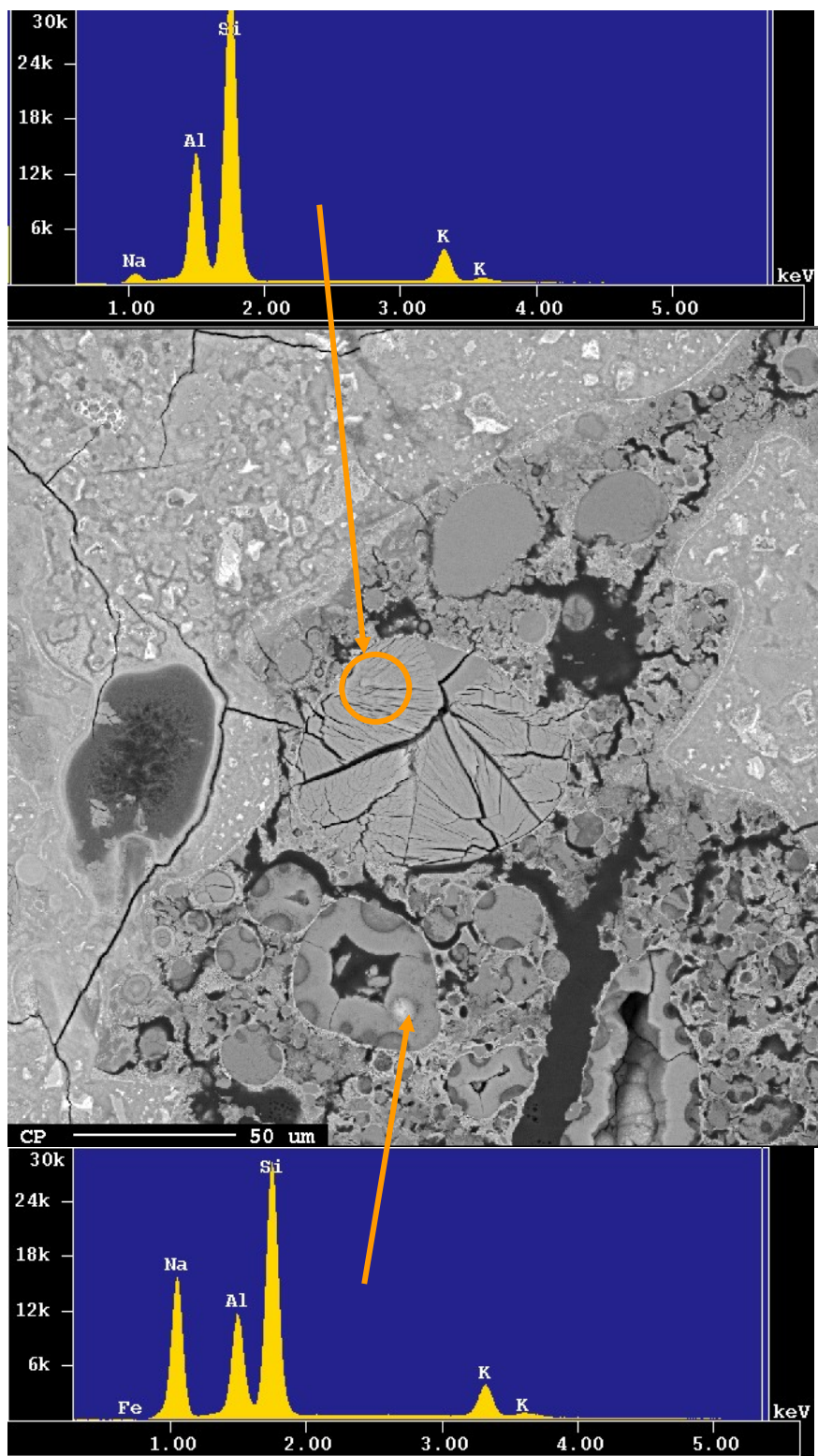
Figur 17 viser randen av en utfelling i en luftpore. Nærmest pastaen er utfellingen tett, mens den går over til en mer fibrig og løsere struktur innover i poren. Til forskjell fra utfellingene inne i letttilslaget inneholder denne utfellingen kalsium og mindre alkali, sannsynligvis som en konsekvens av ionebytting med kalsiumhydroksid i pastaen. Geler med kalsium antas å være mindre løselig enn geler uten kalsium. I den porøse, fibrige strukturen ser man også et signal fra klor i EDS. Dette finnes i epoksy resinen som er brukt til å impregnere prøven før polering, og er ikke en del av prøven.

Figur 18 viser en oversikt (100x) over et tilsynelatende intakt Stalite korn i sementpastaen, men et nærbilde (1500x) viser at kornet er fullstendig gjennomreagert og at reaksjonsprodukter fyller de fleste hulrom.

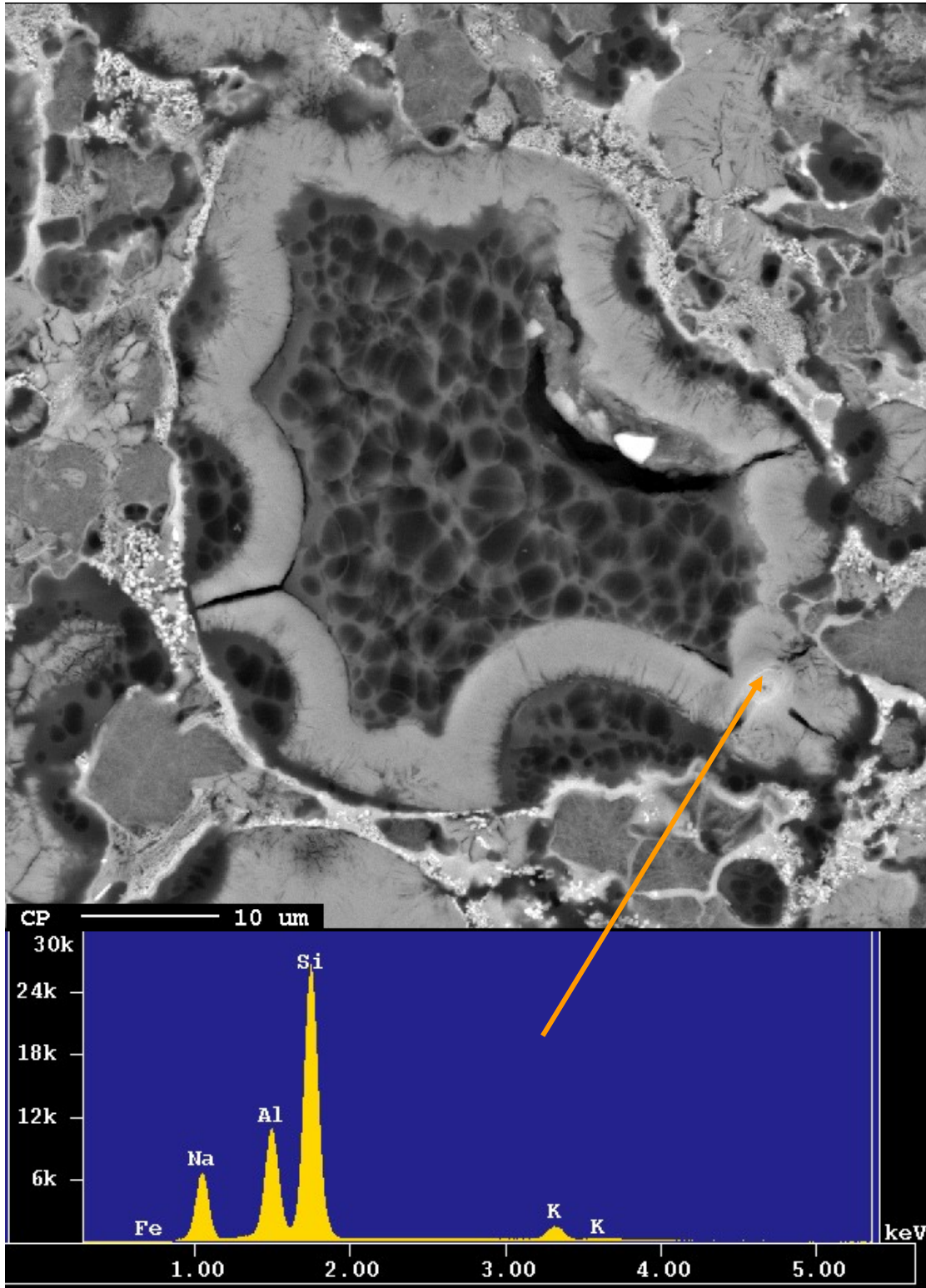
Vurdering av AR i Stalite basert på SEM-analyse

Sammenliknet med undersøkelsen i 2006 (SINTEF rapport STF52 F06004), virker det som om reaksjonen mellom Stalite og alkaliene er mer framskredent og hulrommene mer fylt med reaksjonsprodukter.

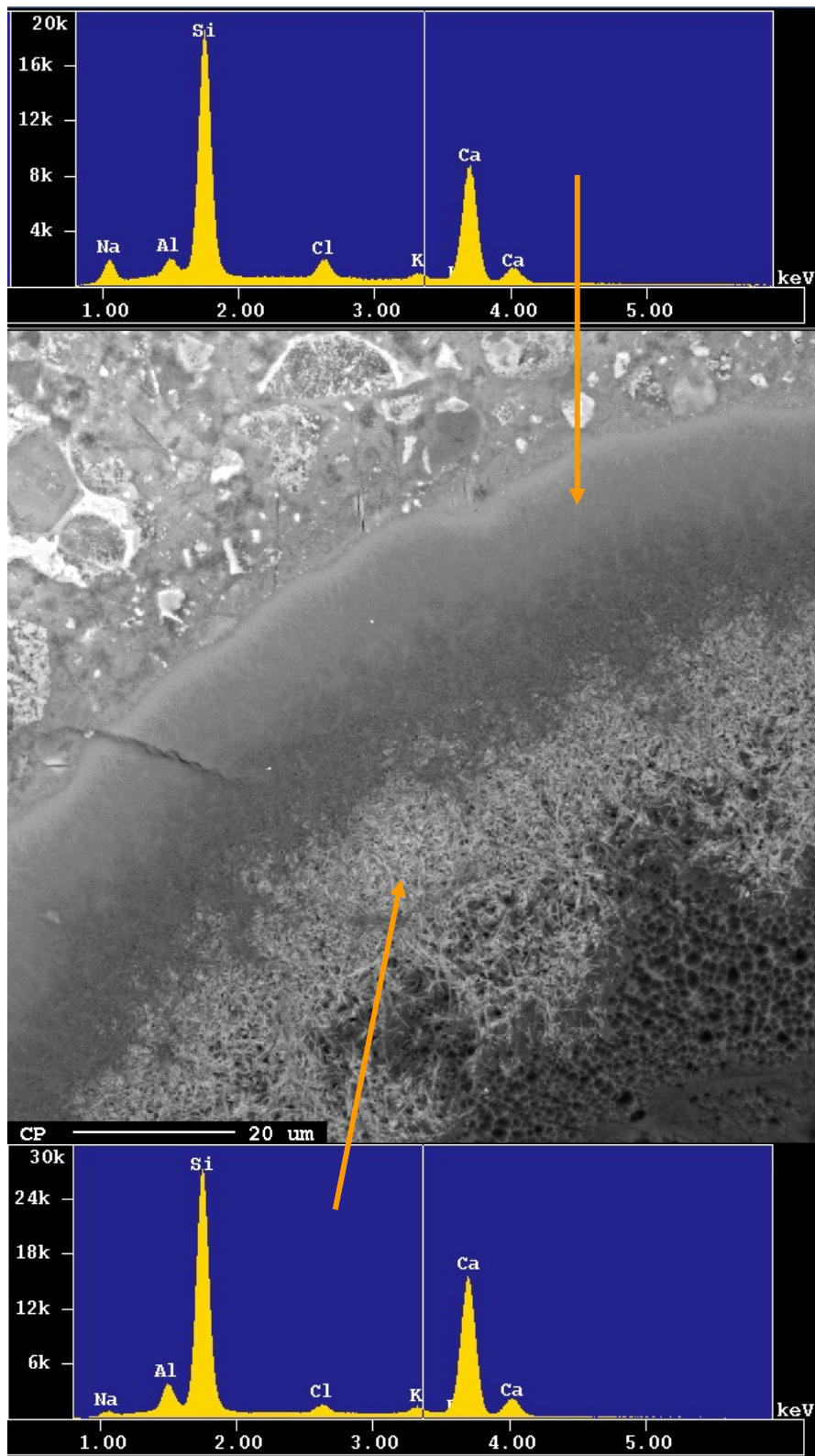
Det er utfellingsprodukter i en rekke luftporer og hulrom i sementpastaen. Til forskjell fra produktene inne i LWA, så inneholder disse også kalsium etter ionebytting med kalsiumhydroksid fra sementpastaen.



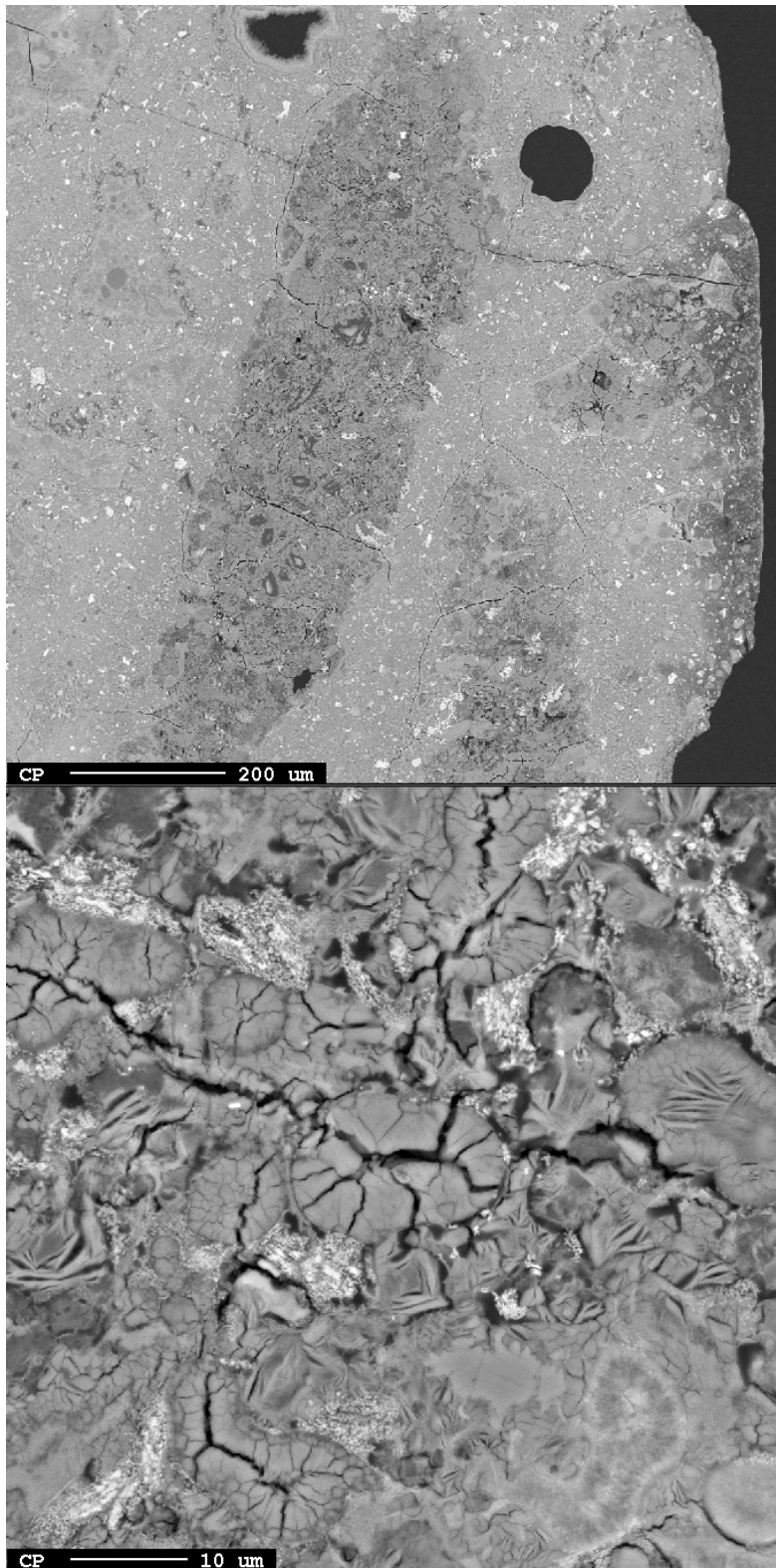
Figur 15 BEI av et reagert Stalitekorn med et tilsynelatende krystallinsk område analysert til å være lavt i alkalier (over EDS) og områder med mer amorf-liknende materiale som er analysert til å være rikt i alkalier (nedre EDS). De mer homogene områdene til venstre og oppe til høyre er sementpasta.



Figur 16 BEI av pore i Stalite med en "bord" som tyder på at noe har gått i oppløsning innenfor "borden". EDS av selve "borden" tilsvarer en semikvantitativ sammensetning på 35% Na, 25% K, 19% Al og 43% Si.



Figur 17 BEI som viser kanten av en luftpore med en massiv utfelling etterfulgt av en mer fibrig struktur innover i luftporen. Det øvre EDS av den massive utfellingen tilsvarer en semikvantitativ sammensetning på 19% Na, 2% K, 31% Ca, 4% Al og 45% Si, mens det nedre EDS av den fibrige utfellingen tilsvarer 5% Na, 1% K, 40% Ca, 6% Al og 48% Si.



Figur 18 Det øvre BEI (100x) viser et fragment av et Stalite korn som virker tilsynelatende intakt, men en høyere forstørrelse (1 500x BEI) i det nedre bildet viser at kornet er gjennomreagert og hulrommene fylt med reaksjonsprodukt. Øverst i øvre bilde sees et hulrom i pasta med utfellinger av reaksjonsprodukt. Legg også merke til rissene gjennom prøven i øverste bilde.

SEM observasjoner for Leca 800

Figur 19 viser at også Leca 800 er betydelig reagert med alkalier når man ser det på nært hold. Oppsprukne (krystallinske?) produkt er rike i alkalier (spesielt natrium pga metoden) og fattige i kalsium. EDS av produktet tilsvarer 7% Na, 7% K, 1% Ca, 26% Al, 55% Si og 3% Fe. Et unntak er imidlertid en større pore i tilslaget som inneholder et noe mer porøst produkt som også består av kalsium (6% Na, 2% K, 37% Ca, 7% Al, 47% Si og 1% Fe). Man kan ikke utelukke at den poren har hatt en nær forbindelse med sementpastaen og dermed god tilgang på kalsium fra kalsiumhydroksid.

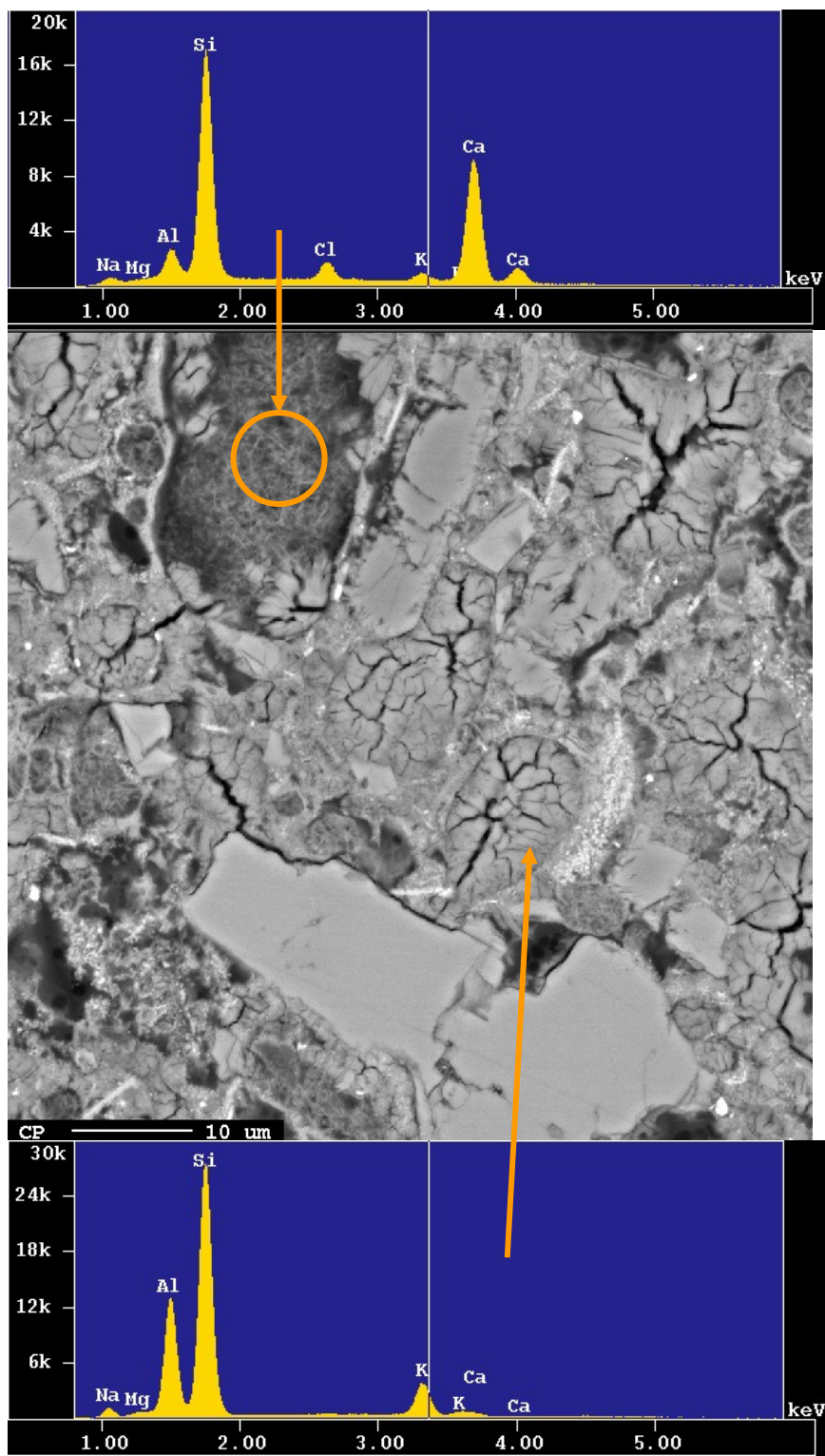
I figur 20 sees en luftpore i sementpastaen som er nesten helt fylt med et jevnt grått produkt som viser seg å bestå av nesten ren CSH-gel med Ca/Si \approx 1 (EDS viser nesten bare Ca og Si; 42% Ca, 44% Si, 3% Al, 9% Na og 2% K, mens uttørkingssprekkene tilsier at den er vannrik) til forskjell fra vanlig CSH i sementpasta som har Ca/Si i området 1,5-1,7.

Figur 21 avbilder relativt grove porer inne i et Lecakorn som har tydelige reaksjonsprodukter langs kantene. Disse består i henhold til semikvantitativ analyse med EDS av 3% Na, 5% K, 26% Al og 66% Si. Det store innholdet av aluminium og silisium indikerer at dette er et produkt fra etsing av glassfasen i letttilslaget. Merk at de mindre porene i letttilslaget er helt fylt med liknende produkt.

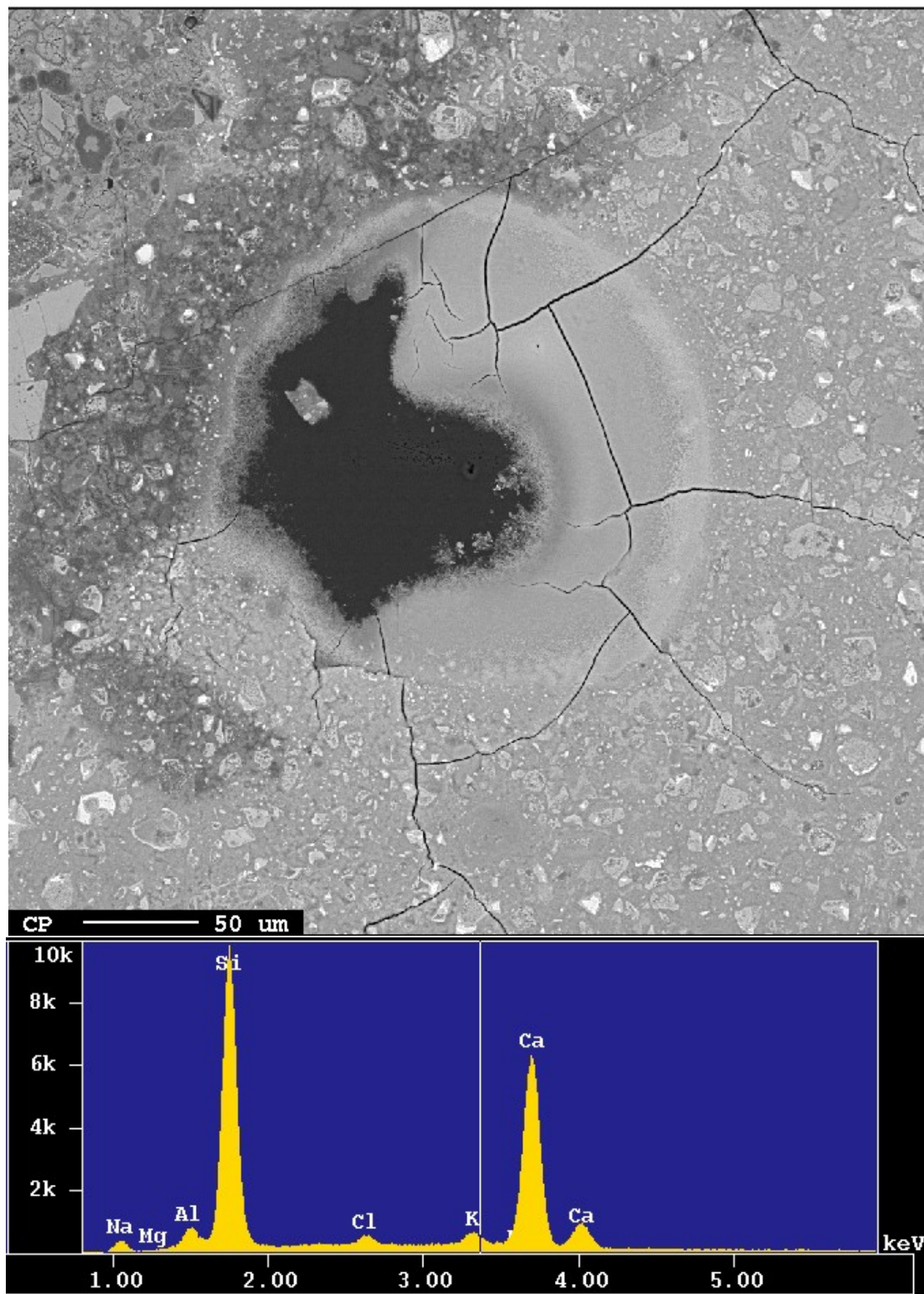
Figur 22 viser en større pore i Lecakornet som er fylt med "foliert" produkt. En analyse over et større område (til forskjell fra et punkt) viser at dette også er rikt i kalsium; 23% Ca, 55% Si, 10% Al, 8% Na og 2% K. Man kan ikke utelukke at en slik stor pore står i direkte kontakt med sementpastaen og det derfor har skjedd en videre reaksjon med kalsiumhydroksid.

Vurdering av AR i Leca 800 basert på SEM

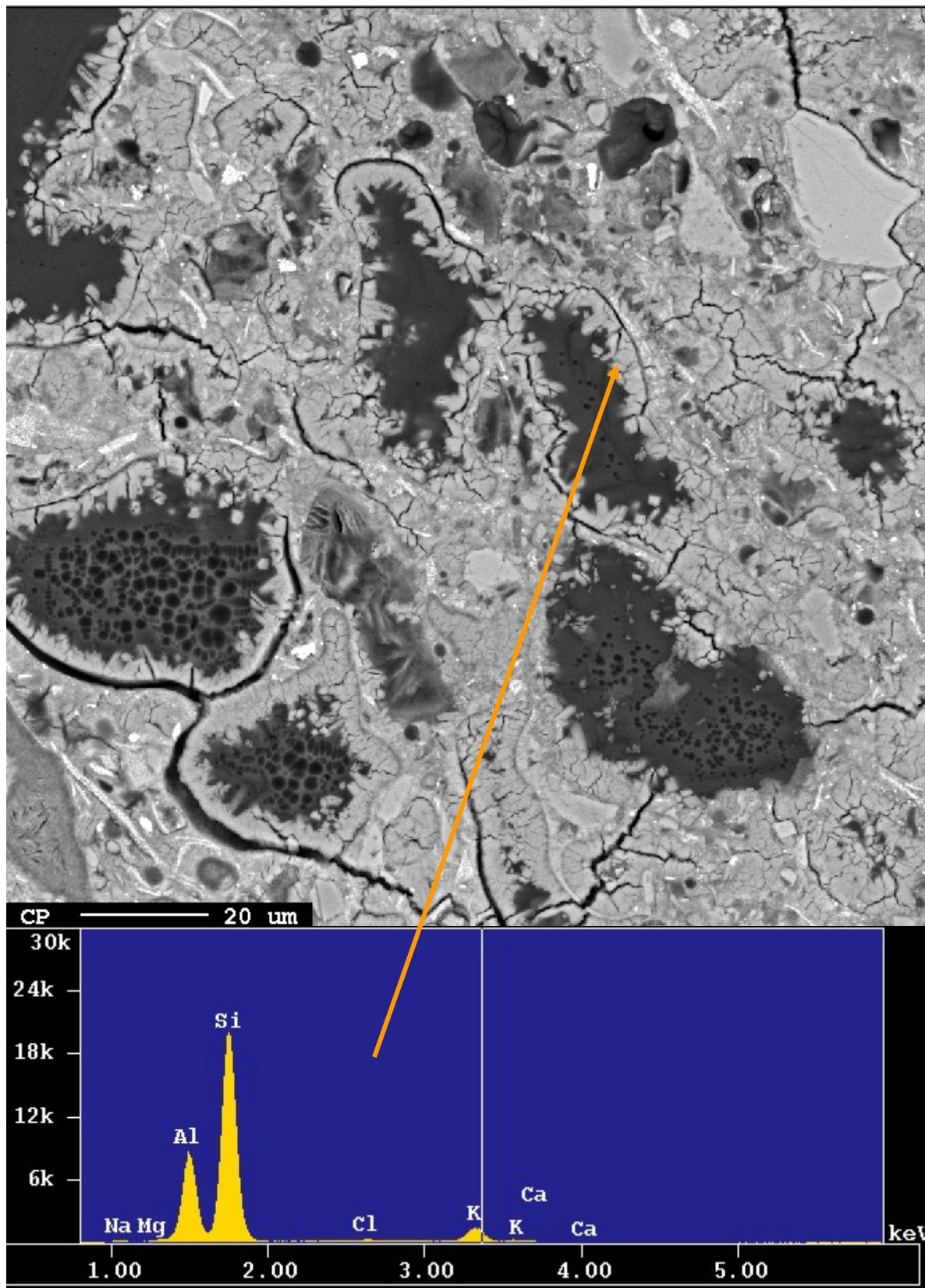
Leca 800 virker totalt gjennomreagert og danner alkalirik aluminiumsilikat som primærprodukt som senere kan reagere med kalsiumhydroksid fra sementpastaen. Omfanget av reaksjonen har økt betydelig siden forrige undersøkelse (SINTEF Rapport SBF52 F060004).



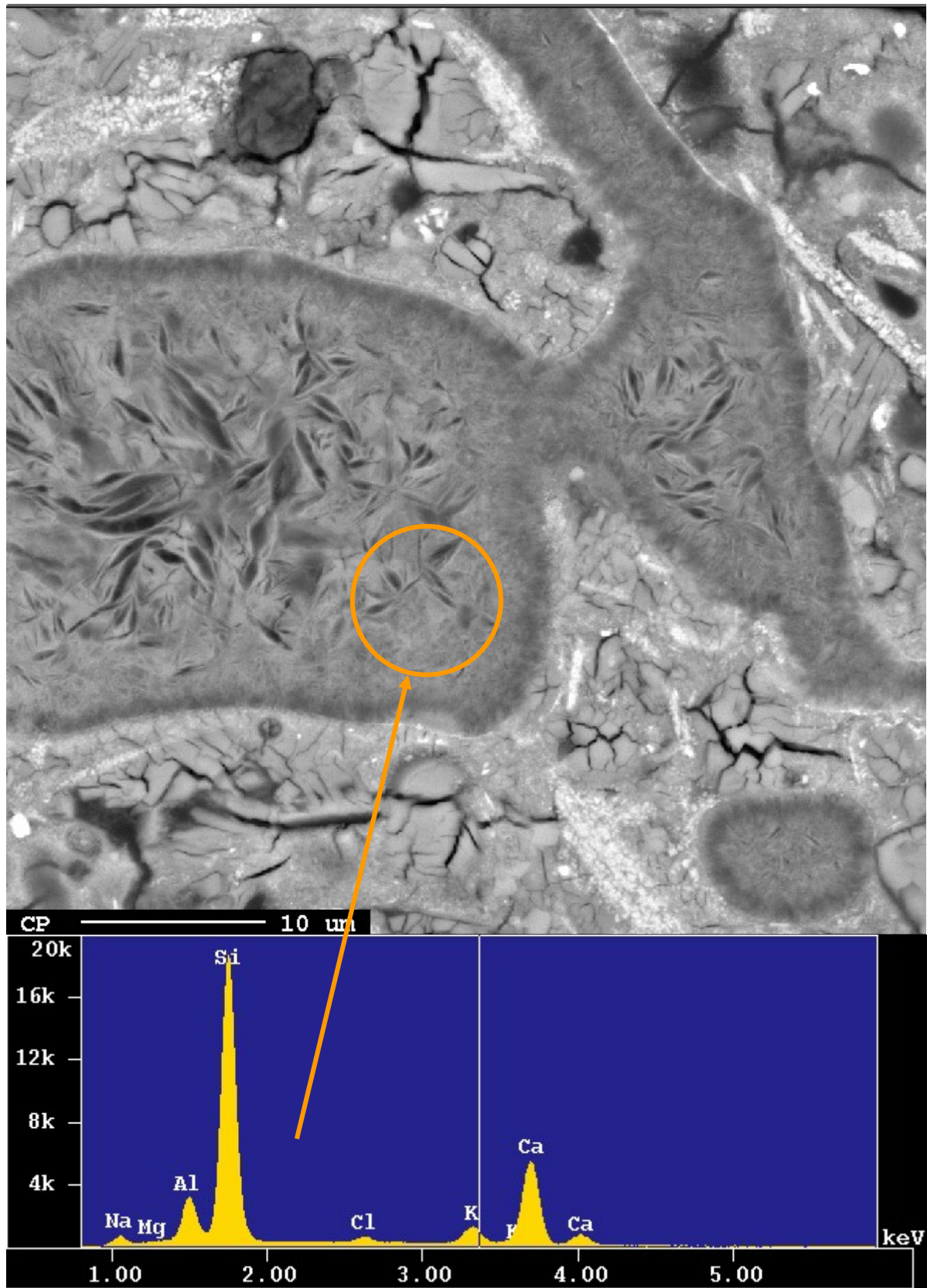
Figur 19 BEI (1500x) inne i et reagert Leca 800 korn. Nedre EDS viser semikvantitativ elementfordeling i en pore fylt med oppsprukket reaksjonsprodukt tilsvarende 7% Na, 7% K, 1% Ca, 1% Mg, 26% Al, 55% Si og 3% Fe, mens det øvre EDS av et hulrom fylt med et mer porøst, fibrig materiale tilsvarende sammensetning 6% Na, 2% K, 37% Ca, 7% Al, 47% Si og 1% Fe.



Figur 20 BEI (250x) som viser delvis fylling av en luftpore med gel. Gelen er sannsynligvis vannrik pga uttørkningssprekker oppstått pga vakuum, men de strekker seg også delvis inn i omliggende sementpasta. EDS av gelen tilsvarer semikvantitativ sammensetning 9% Na, 2% K, 42% Ca, 3% Al og 44% Si, eller nærmest en ren CSH-gel.



Figur 21 BEI av et annet Lecakorn som viser "frynsete" reaksjonsprodukter langs overflaten av relative grove hulrom, mens mindre hulrom er helt fylt av reaksjonsprodukt. EDS av disse reaksjonsproduktene viser at de består av kaliumaluminiumsilikat (i.e. K, Al og Si). Leca-kornet er også betydelig oppsprukket.



Figur 22 BEI (2 000x) av store porer med en annen type utfelling som er mer "foliert". EDS av et større område som indikert med sirkel viser at dette produktet er silikarikt med en del kalsium. Det er derfor sannsynlig at disse store porene har hatt en åpen forbindelse mot sementpastaen.

SEM observasjoner for Liapor 8

Denne prøven er den eneste som har tilsynelatende inhomogent bindemiddel med sjatteringer av mørke og lyse områder som vist i Figur 23. Dette kan skyldes av områdene har ulik porøsitet pga avsetning/oppløsning eller ulik kjemisk sammensetning pga påvirkning fra reaksjonsprodukter fra lettilslaget.

Figur 24 viser at også Liapor lettilslag er reaktivt med hensyn til alkalier. Porene i lettilslaget er helt eller delvis fylt av reaksjonsprodukter. En større pore fylt med lyse, oppsprukne produkter og omgitt av en lys randsone bestående av jernoksid/-hydroksid er analysert til å bestå av 17% Ca, 7% Na, 1% K, 25% Al og 50% Si. Jernoksid/-hydroksid er muligens en avsetning eller en oppløselig rest etter at glassfasen av aluminumsilikat er helt eller delvis oppløst av alkaliene. Dernest ble det analysert et jevnt grått felt inne i en pore som var noe oppløst i kantene. Dette var ganske vannrikt, da det ”kokte” på grunn av oppvarming når elektronstrålen for analyse fokuserte i materialet. Denne bestod av 19% Na, 4% K, 24% Al og 53% Si, og må vel sies å kunne være en alkaligel. Et annet jevnt grått område som fylte en liten pore ble også analysert. Dette var også vannrikt og bestod av 11% Na, 3% K, 1% Ca, 28% Al og 55% Si og altså ikke så ulikt forrige alkaligel.

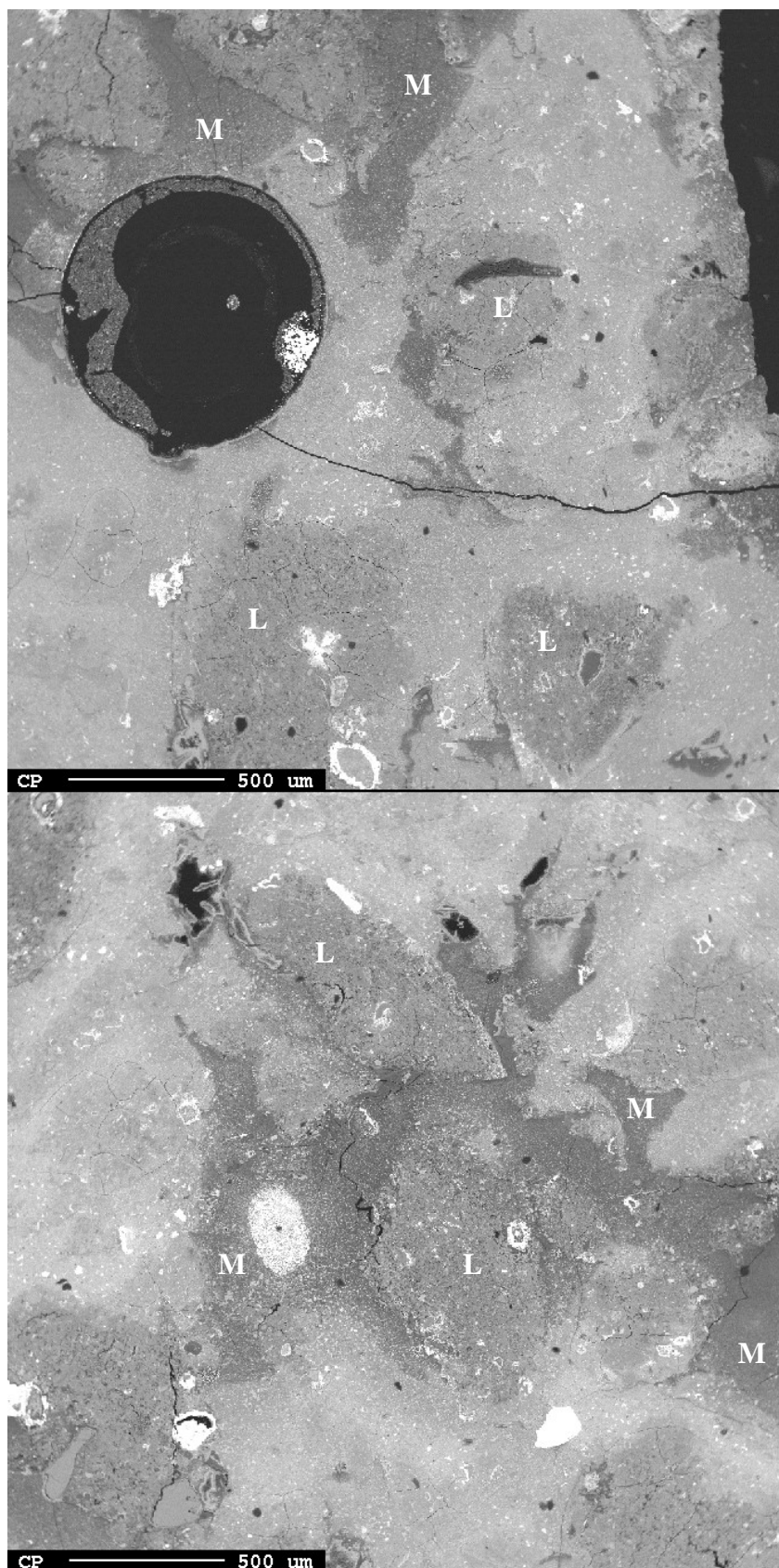
En tilsvarende pore med hvit rand som i Figur 24 er også vist i Figur 25 hvor reaksjonsproduktet hadde semikvantitativ sammensetning 27% Na, 1% K, 1% Mg, 28% Al og 43% Si. Dette produktet inneholdt imidlertid ikke noe kalsium og var betydelig rikere i natrium, hvilket tyder på at det er et primærprodukt.

Groing langs kanten av et hulrom i sementpastaen er vist i Figur 26. Groingen består av et jevnt grått lag etterfulgt av lysere frynsere innover i hulrommet. Semikvantitativ analyse av frynsene ga 12% Na, 1% K, 34% Ca, 7% Al og 44% Si, analyse av det jevnt grå belegget ga 4% Na, 2% K, 62% Ca 29% Si og 2% Al. Frynsene var altså mye mer alkalirike enn det jevnt grå belegget, selv om begge deler inneholdt betydelige mengder kalsium sannsynligvis fra reaksjon med kalsiumhydroksid fra sementhydratasjonen.

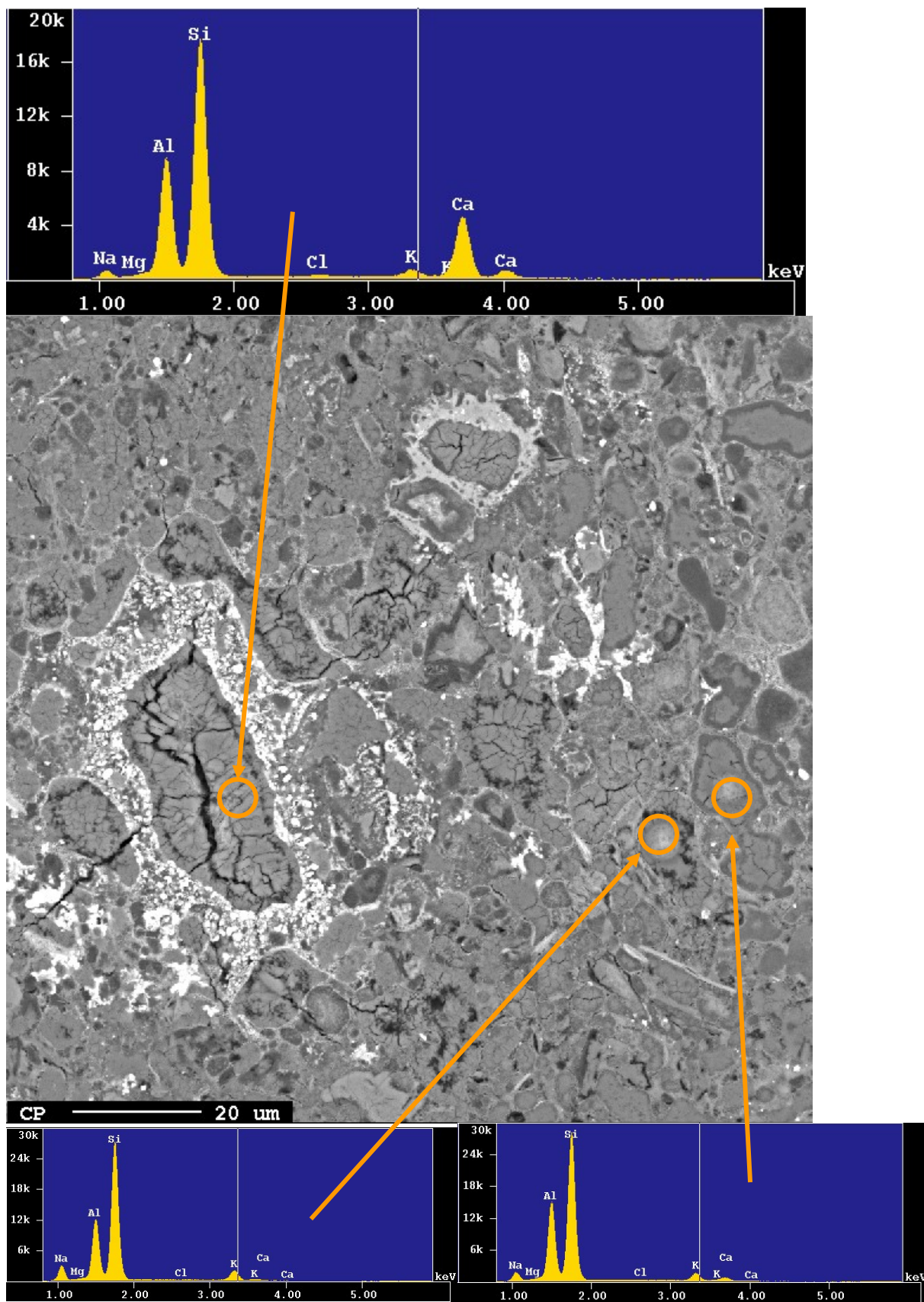
Figur 27 viser groing av reaksjonsprodukt i en pore i sementpastaen nær et Liapor tilslagskorn. Til tross for dette er produktet ekstremt natriumrikt og inneholder ikke noe kalsium; 61% Na, 17% Al og 21% Si. Ionebytting med kalsium fra pasta har altså ennå ikke funnet sted.

Vurdering av AR i Liapor 8 basert på SEM-analyser

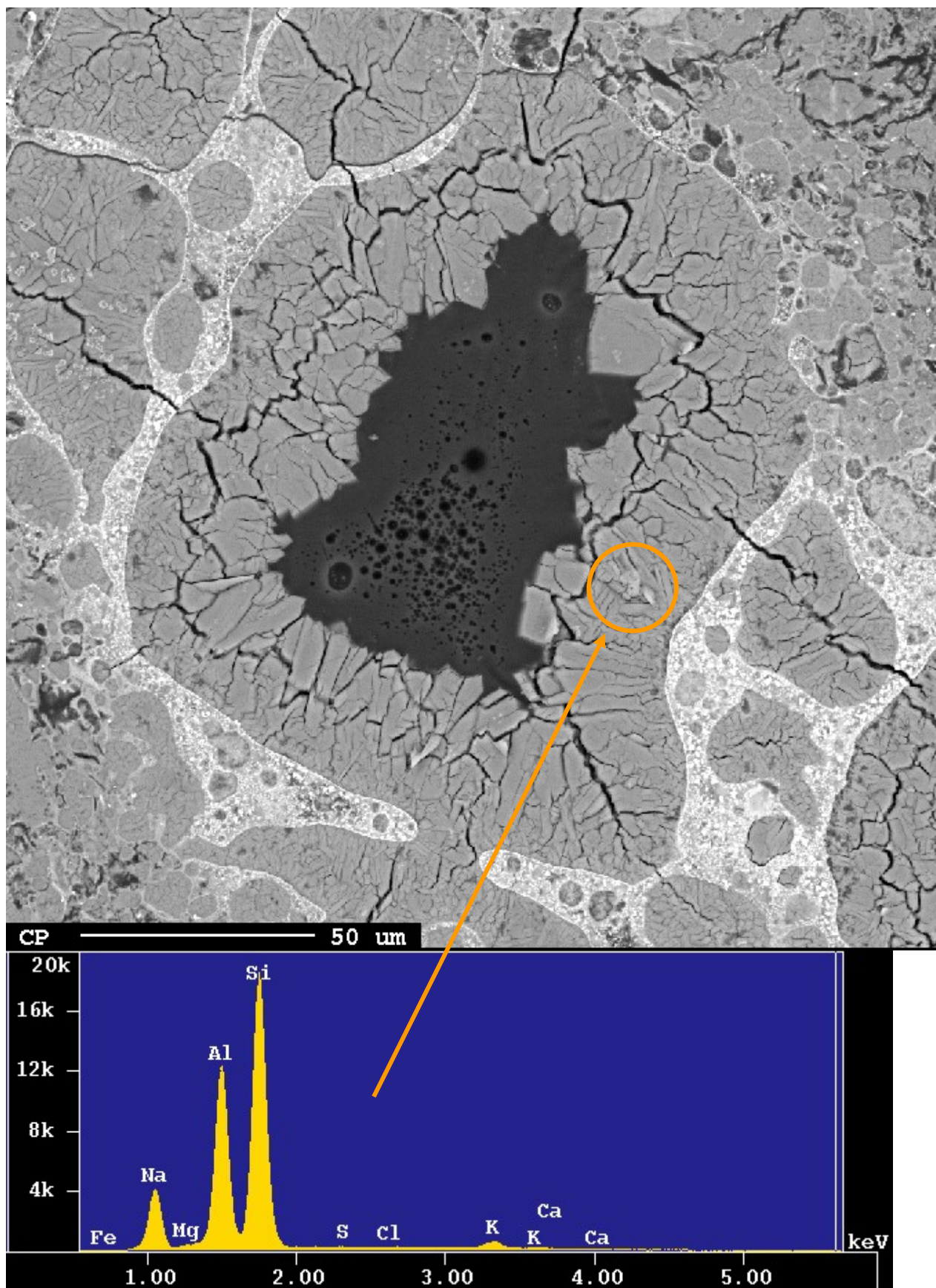
Liapor 8 har reagert betydelig med den tilsatte natriumhydroksid brukt i testmetoden og danner alkalirikt aluminumsilikat som primærprodukt som senere kan reagere med kalsiumhydroksid fra sementpastaen. Omfanget av reaksjonen har økt betydelig siden forrige undersøkelse (SINTEF Rapport SBF52 F060004).



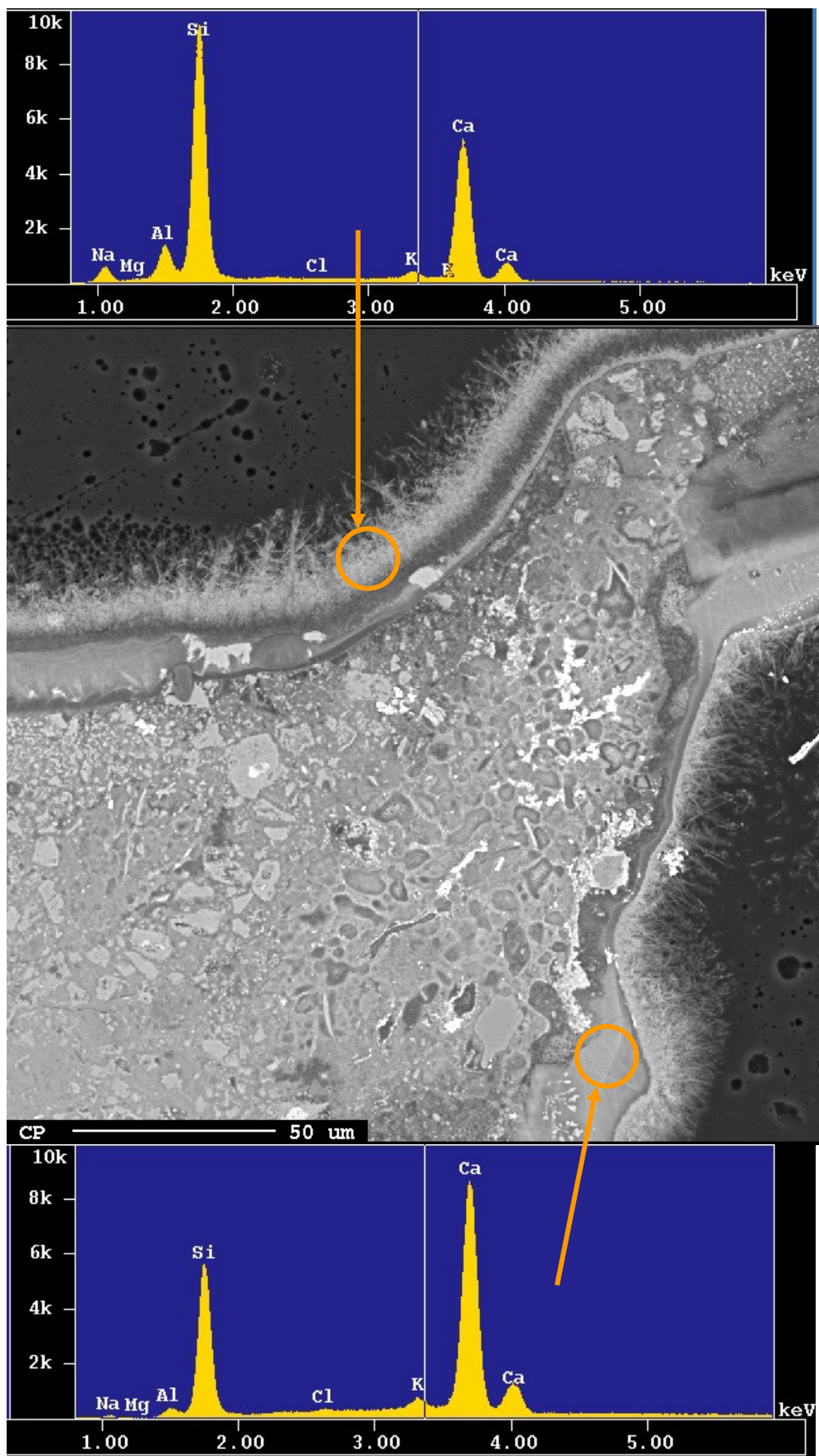
Figur 23 40x BEIs som viser en oversikt over mørtel med Liapor letttilslag (merket L). Oversiktene viser at bindemiddelet har tydelige sjatteringer med vekselvise mørke (merket M) og lyse områder. Dette kan skyldes forskjeller i sammensetning og/eller porøsitet som følge av avsetninger av reaksjonsprodukter. "Avsetningene" i den store, runde luftporen i det øverste bildet er slipestøv fra planpoleringen av prøven.



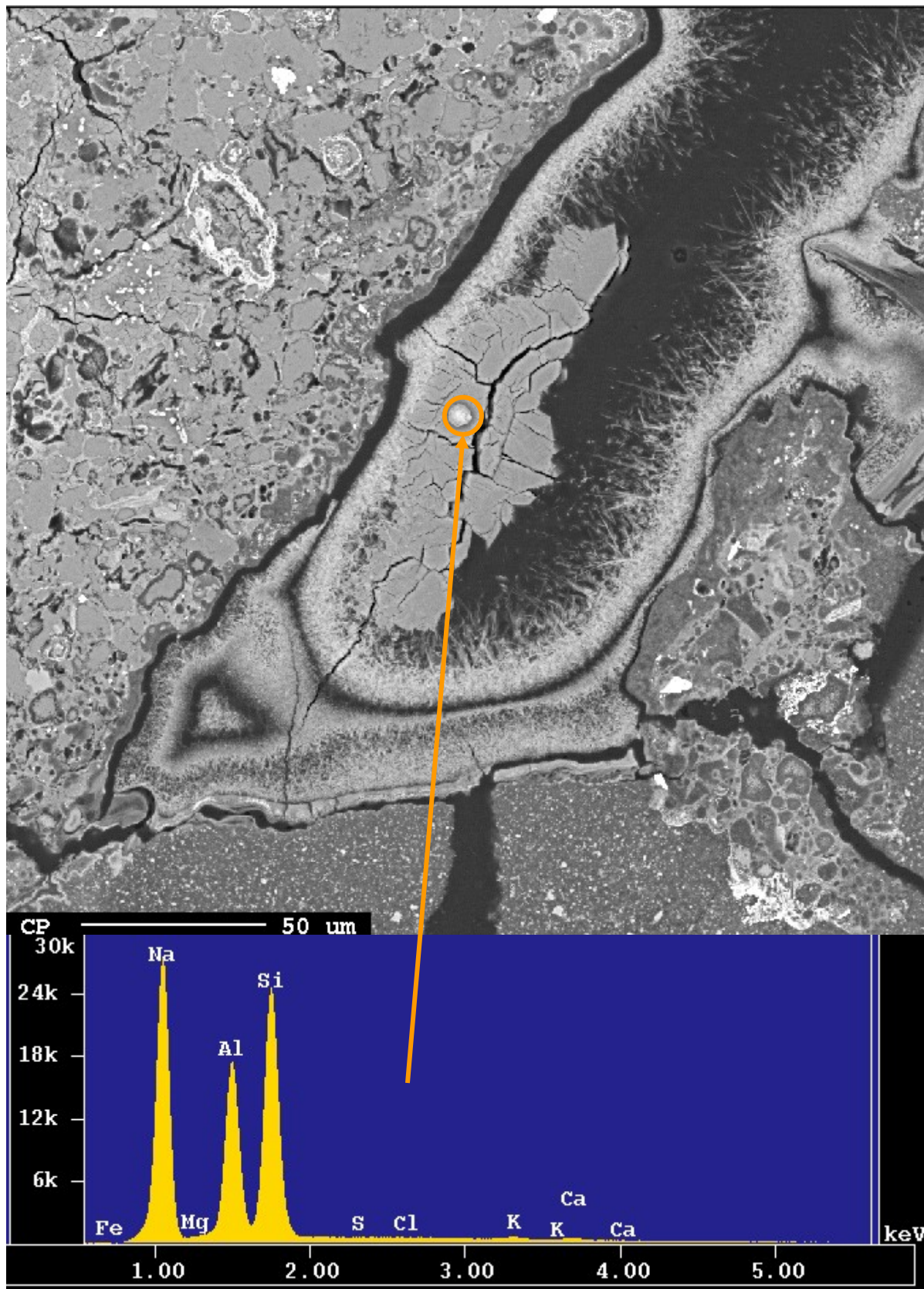
Figur 24 800x BEI inne i et Liapor-tilslag som viser ulike reaksjonsprodukter og EDS av ulike analyserte faser. Korresponderende sammensetninger er gitt i teksten. De hvite feltene er avsetninger av jernoksid/hydroksid, muligens som en konsekvens av alkali-reaksjoner.



Figur 25 500x BEI av pore i et Liapor-tilslag nesten helt fylt av reaksjonsprodukt. EDS av angitt område tilsvarer en semikvantitativ sammensetning på 27% Na, 1% K, 1% Mg, 28% Al og 43% Si. Rundt poren er et hvitt område bestående av jernoksid/hydroksid som sannsynligvis er anrikt etter hvert som glassfasen går i oppløsning.



Figur 26 500x BEI som viser groing langs kanten av hulrom i sementpastaen bestående av et jevnt grått lag etterfulgt av lysere frynsere innover i hulrommet. EDS av frynsene som indikert tilsvarer 12% Na, 1% K, 34% Ca, 7% Al og 44% Si, mens EDS av det jevnt grå belegget som indikert tilsvarer 4% Na, 2% K, 62% Ca 29% Si og 2% Al.



Figur 27 400x BEI som viser reaksjonsprodukt i en pore i sementpastaen nær et Liapor tilslagskorn til venstre i bildet. Pastaen i nedre kant av bildet ser ut til å være av den mørke/porøse typen. Produktet er ekstremt rikt på natrium og EDS som angitt tilsvarer en semikvantitativ sammensetning på 61% Na, 17% Al og 21% Si.

3.4.3 Oppsummering fra SEM-undersøkelsene

Alle de tre lettilslagene, Stalite, Leca 800 og Liapor 8 utvikler alkalireaksjoner ved prøving i Mørtelprismemetoden. Det gror alkalirik gel og krystaller i porene inne i lettilslagene, og gel er utfelt langs vegger i enkelte porer i pastafasen. Det at alkaligel gror inne i lettilslagene kan gi en vektøkning uten særlig ytre ekspansjon inntil disse er fylt. Det kan derfor skje en betydelig forsinkelse av eventuell senere ekspansjon (se kapittel 2).

Mengden reaksjonsprodukter har økt betydelig siden forrige måling.

4 FORSLAG TIL VIDERE UNDERSØKELSER

Det er vanskelig ut fra de innledende laboratorieforsøkene å vurdere hvordan de ulike lettilslagene vil oppføre seg i praksis med tanke på utvikling av alkalireaksjoner i en betong, og hvilke negative konsekvenser dette evt. vil føre til for den aktuelle konstruksjonen. I tråd med det som ble beskrevet i det opprinnelige prosjektilbudet, foreslo vi derfor i SINTEF-rapport SBF52 F060004 at det utføres supplerende laboratorieforsøk med alle de tre lettilslagene for å søke å besvare relevante problemstillinger. De supplerende resultatene presentert i dette notatet har ikke gitt oss grunnlag for å revidere de tidligere foreslåtte undersøkelsene.

Foto av de tre gjenværende prismene etter ca 25 måneders eksponering i 1N NaOH og 80°C



Liapor 8



Leca 800



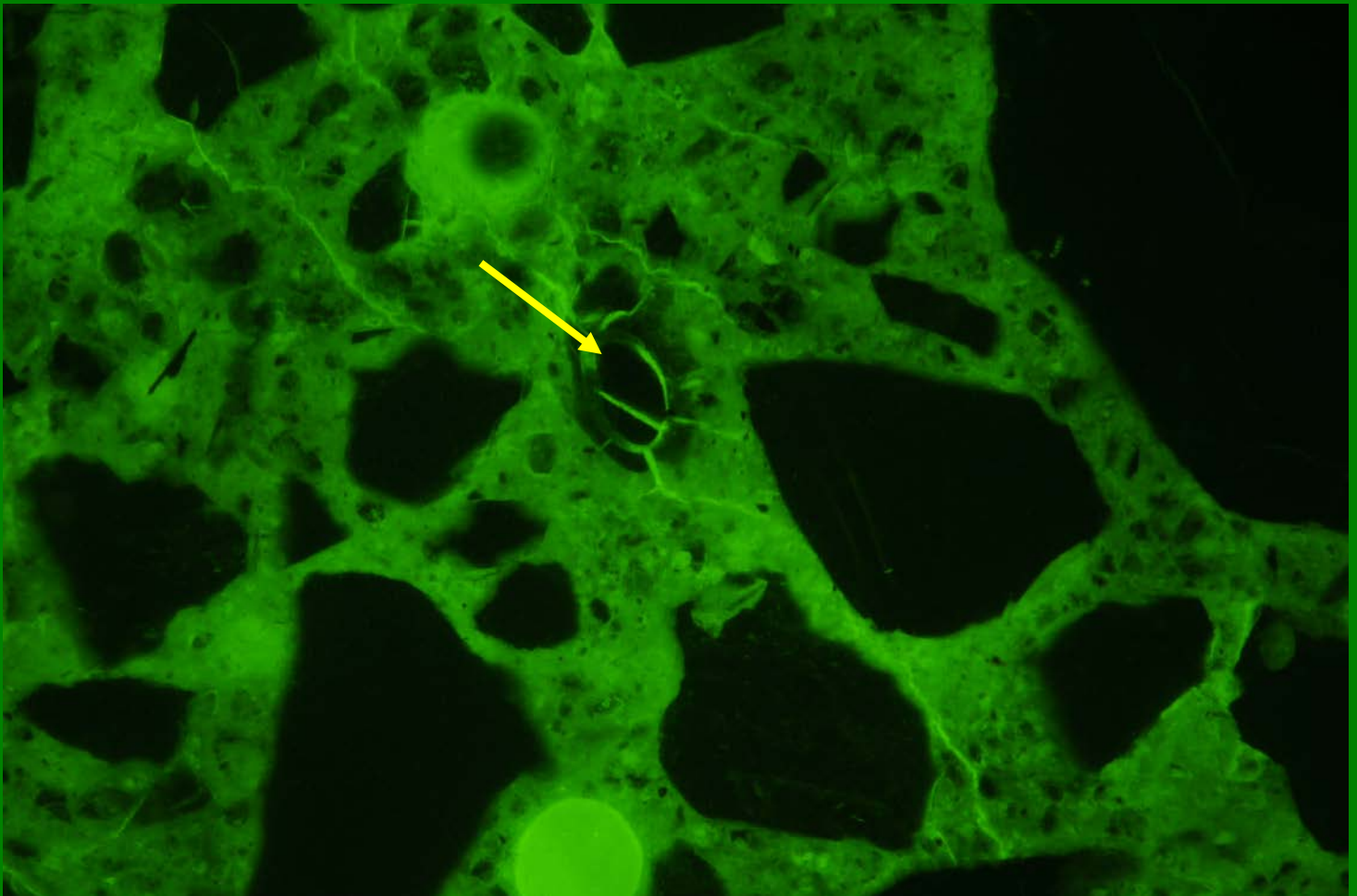
Stalite

VEDLEGG 3

NBTL-rapport: «Avrop 17: Strukturanalyser for undersøkelse
av eventuell alkalireaksjon fra fire ulike
konstruksjoner/elementer med fire ulike betonger», 2013

Rapport

Avrop 17: Strukturanalyser for undersøkelse av eventuell alkalireaksjon fra fire ulike konstruksjoner/elementer med fire ulike betonger



Mikrofoto av udispergert silikastøvpartikel fotografert i fluorescerende lys

Rapport nr. 13318 den 9. desember 2013

NBTL'

Tittel

Avrop 17: Strukturanalyser for undersøkelse av eventuell alkalireaksjon fra fire ulike konstruksjoner/elementer med fire ulike betonger

Sorgenfriveien 11

7037 Trondheim

Telefon 73 945150

Telefax 73 945151

Mobil: 99712599

E-mail: viggo.jensen@nbt.noWeb: www.nbt.no

Oppdragsgiver(e)

Statens Vegvesen

Organisasjonsnr. NO 984 706 138

Sertifisert prøvingslaboratorium nr U19

Oppdragsgivers referanse

Eva Rodum



Forfatter(e)

Viggo Jensen

Ansvarlig signatur

Rapportnummer

P13318

Dato

09.12.2013

Gradering:

Fortrolig

Antall sider + vedlegg

4 + 3 (40 sider)

Formål og sammendrag

Formålet med undersøkelsen er å vurdere forekomsten av eventuell alkalireaksjon i mottatte boreprøver/skiver fra Raftsund bru, Stolmasund bru, Sandhornøy bru og Nordhordland bru undersøkt ved visuell strukturanalyse. Det er spesielt vurdert om lettilslag og granit-gneis har reagert i betongene.

Det er ikke observert tegn på alkalireaksjon i noen av prøvene hverken fra lettilslag eller granit-gneis partikler. Mulig rissdannelse fra udispergerte silikastøvpartikler i en av prøvene.

1 Formål

Rapporten er en del av rammeavtale på laboratorietjenester innen betong, betongkonstruksjoner, tunnel og bruvedlikehold med FOU, tilbud 2010174185 avrop 17. Formålet med undersøkelsen er å vurdere forekomsten av eventuell alkalireaksjon i mottatte boreprøver. NBTL har ingen andre informasjonen om betongen enn gitt i tilbudsinnbydelsen avrop 17.

2 Prøvematerialet og undersøkelser

Den 18 og 21. oktober 2013 mottok NBTL 6 stk betongskiver og 4 stk borekjerner. Prøvene var pakket inn i tett plast og merket på forhånd. Følgende preparater er utført iht. avrop 17 inkl. avtalte tilleggsprøver som vist i tabell 1. Prøvene er alle gitt et NBTL prøvenummer.

Tabell 1: Merking og utførte preparater

NBTL nr.	Ø (mm)	Lengde/tykkelse (mm)	Merking (SVV)	Planslip (mm)	Tynnslip (mm fra utboringside)
13318A1	74	17	13-2T	Ø 74mm	halve planslip
13318A2	74	17	13-2M	Ø 74mm	halve planslip
13318A3	74	17	13-2B	Ø 74mm	halve planslip
13318B1	74	17	14-4T	Ø 74mm	halve planslip
13318B2	74	20	14-4M	Ø 74mm	halve planslip
13318B3	74	17	14-4B	Ø 74mm	halve planslip
13318C	82	270	2A	82 mm x 270 mm	110, 210
13318D	82	280	3A	82 mm x 280 mm	30,130
13318E	104	295	P1	104 mm x 295 mm	0, 135, 245
13318F	104	302	P2	104 mm x 302 mm	90

For betongskivene ble det først framstilt en fluorescerende planslip som ble analysert under mikroskop og fotografert. Heretter ble det framstilt en fluorescerende tynnslip av den halve planslip til videre mikroskopanalyse.

Iht. avrop 17 stammer prøvematerialet fra følgende konstruksjoner:

- 1) Raftsund: Lettbetong med Stalite lettilslag og Norcem Anleggscement. Felteksponert fra 1997
- 2) Stolmasund: Lettbetong med Leca lettilslag og Norcem Anleggscement. Felteksponert fra 1997
- 3) Sandhornøy: Lettbetong med Liapor lettilslag og Norcem P30. Felteksponert fra 1989
- 4) Nordhordaland: Normalvektsbetong. Felteksponert fra 1994

Prøvematerialet består av følgende "enheter":

- 1) Betong 1: 3 skiver, diameter 70 mm, tykkelse ca 20 mm
- 2) Betong 2: 3 skiver, diameter 70 mm, tykkelse ca 20 mm
- 3) Betong 3: 2 kjerner, diameter 90 mm og lengde ca 150-200mm
- 4) Betong 4: 2 kjerner, diameter 90 mm og lengde ca 150-200mm

Prøvematerialet skal undersøkes med hensyn på tegn på alkalireaksjon, ved strukturanalyser.

NBTL har ikke mottatt informasjon hvilke konstruksjoner prøvene stammer fra. Prøvene merket P1 og P2 er ifølge mottatt skriv fra Multiconsult (dokumentkode 711755-900-01) tatt ut fra Sandhornøy bru. Etterfølgende vurderinger og vedlegg er merket med NBTL laboratorienummer og SVV merking.

3 Utførte undersøkelser

Fra hver borekjerne/skive er det framstilt 1 fluorescensimpregnert planslip og 1-3 fluorescensimpregnert tynnslip plassert i overflaten og/eller forskjellige dybder/områder som visuelt antydende tegn på alkalireaksjon (se vedlegg 1 som angir plassering av tynnslipene i alle prøver). Vurdering av alkalireaksjon er utført iht. referanse 1 og vurdering av risikobergarter iht. NB 21/NB 32. Det er utført tellinger av riss i stein > 4 mm (lettilslag og naturtilslag) og riss i planslip. Riss er vurdert og talt under UV-lys som antall stein med riss, antall stein med riss som løper ut i sementpastaen og antall riss i sementpastaen. Det er spesielt vurdert om riss i lettilslag løper ut i sementpastaen (tegn på reaksjon). Preparater er undersøkt visuelt, fotografert, og mikroskopert vha. polarisasjonsmikroskopi og fluorescensmikroskopi. Visuelle strukturanalyser inkl. riss og fotodokumentasjon av borekjerner, planslip og tynnslip finnes i *vedlegg 1*, en forklarende ordliste finnes i *vedlegg 2* og informasjon om alkalireaksjon og kvantitative parametere ved den visuelle strukturanalyse finnes i *vedlegg 3*.

4 Resultater og vurderinger

Alle resultater, observasjoner og fotodokumentasjon finnes i *vedlegg 1*. I det etterfølgende er det for hver prøveserie gitt vurderinger av undersøkelsene:

13318A1-A3 (13-2T, 13-2M, 13-2B):

Det er ikke observert tegn på alkalireaksjon i prøvene. I prøve 13-2M er det observert en del lange mikroriss.

13318B1-B3 (14-4T, 14-4M, 14-4B):

Det er ikke observert tegn på alkalireaksjon i prøvene.

13318C (2A):

Det er ikke observert tegn på alkalireaksjon i prøven. Det ses områder i sement pastaen med avlange riss/porøsiteter muligens pga. tidlig frysing (is-linser)

13318D (3A):

Det er ikke observert tegn på alkalireaksjon i prøven. Det ses områder i sement pastaen med avlange riss/porøsiteter muligens pga. tidlig frysing (is-linser)

13318E (P1):

Det er ikke observert tegn på alkalireaksjon i prøven. I noen lettilslag er det observert riss som løper ut i pastaen men ingen alkaligel.

13318F (P2):

Det er ikke observert tegn på alkalireaksjon i prøven. Prøven inneholder ikke lettilslag. Mulig rissdannelse fra udispergerte silikastøvpartikler

5 Konklusjon

Det er ikke observert tegn på alkalireaksjon i noen av prøvene hverken fra letttilslag eller granitt-gneis partikler. Mulig rissdannelse fra udispergerte silikastøvpartikler i en av prøvene.

Referanser

- 1 Jensen, V :”Alkali Aggregate reaction in Southern Norway” Doctor Technicae Thesis, NTH, University of Trondheim, 1993
- 2 NB 21: Norsk Betongforening publikasjon 21 (NB 21) 2004: ”Bestendig betong med alkalireaktivt tilslag”.
- 3 NB 32: Norsk Betongforening publikasjon 32 (NB 32) 2005: ”Alkalireaksjon i betong: Prøvmingsmetoder og krav til laboratorier”

Vedlegg på etterfølgende sider

Vedlegg 1: Visuell strukturanalyse inkl. fotos, 35 sider

Vedlegg 2: Forklarende ordliste, 3 sider

Vedlegg 3: Alkalireaksjon; parametere og skadesgrad, forklaringer, 2 sider

Alkalireaksjon (alkalikiselreaksjon):

Kjemisk-fysisk reaksjon mellom visse tilslagstyper og sementpastaen. Reaksjonen er avhengig av høy fuktighet (RF >80%), høyt alkaliinnhold i betongen og reaktivt tilslag (>20% risikobergarter i norske bergarter). Reaksjonen i Norge er av typen langsom/senkspansiv alkalireaksjon. Alkalireaksjon vurderes skadelige i de tilfeller reaksjonen forårsaker riss/sprekker i betongen (rissdannende). I tilfeller alkaligel og kryptokrystalline reaksjonsprodukter kun observeres i luftporer og inne i tilslager uten risdannelser vurderes reaksjonen å være ”i begynnende stadium” og ”uskadelig”.

Alkaligel:

Reaksjonsprodukt etter alkali reaksjon. Gelen er ofte (men ikke alltid) fargeløs, hvit og inneholder svinn- riss.

Alkalireaktiv bergart:

Bergarter som er dokumentert å ha reagert i Norske betongkonstruksjoner med typiske kornstørrelser < 0,06 mm. Iht. Norsk betongforenings publikasjon NB 32 består listen av følgende bergarter: Sedimentære bergarter som sandstein, gråvakke, siltstein, leirstein og metamergel, mylonitt, kataklasitt, mylonittgneis, rhyolitt, fyllitt, kvartsskifer og mikrokrystallin kvartsitt.

Amorf: Se isotrop.

Anisotrop:

Polarisert lys vil kunne passere transparente, anisotrope mineraler. Avhengig av mineralets optiske egenskaper, snittet i tynnslipet og tynnslipets tykkelse, ses interferensfarger i mineralet. F eks ses kvarts med lysgrå-grå interferensfarger.

Ekvivalent vann/semest-forhold:

I tynnslip sammenliknes prøvens fargeintensitet i fluorescerende lys med standardprøver med kjent vann/semest-forhold. Fargeintensiteten er et indirekte uttrykk for sementpastaens kapillærporøsitet, og kan benyttes til å anslå ekv. v/c.

Ettringitt (kalsiumsulfoaluminat):

Mineral som dannes ved sementhydratisering. Ved fuktbelastet, herdet betong vil ettringitt kunne utfelles som krystaller i luftporer, riss og i sementpastaen.

Fine riss:

Riss med vidde 0,01 - 0,1 mm.

Fluorescerende lys:

Fargepigmentet "Hudson Yellow" vil ved belysning med ultrafiolett lys avgi et gulgrønt lys (fluorescere).

Fluorescensimpregneret:

Ved visuell strukturanalyse er betongen impregneret med epoksy tilsatt et fluorescerende fargestoff (Hudson Yellow).

Fluorescensmikroskopi:

Undersøkelse ved petrologisk mikroskop påmontert ultrafiolette filtre og planslip undersøkt under UV-lys.

Fyllitt:

Lavmetamorft omdannet bergart dominert av leirmineraler. Fyllitt er alkalireaktiv.

Gel: Se alkaligel.

Grove riss:

Riss med vidde større enn 0,1 mm.

Grønnstein:

Omdannet basisk bergart, f.eks basalt. Grønnstein anses ikke å være alkalireaktiv.

Gråvakke:

Sandstein karakterisert av et høyt innhold av bergartsfragmenter (bruddstykker av bergarter), feltspat og leirmatriks. Gråvakke er alkalireaktiv.

Isotrop:

Kubiske mineraler og amorf materiale som f eks gel, glass og epoksy tillater ikke polarisert lys å passere gjennom mineralet/materialet, hvilket er en karakteristikk for isotrope stoffer. I tynnslip er isotrope stoffer sorte i polarisert lys, og rødfiolett ved anvendelse av gipsblad.

Kapillærporøsitet:

I tynnslip i fluorescerende lys vil sementpasta med høy kapillærporøsitet ses som gulgrønne felt, mens sementpasta med lav kapillærporøsitet er mørkegrønne. Variasjon i kapillærporøsiteten angis som: Homogen, inhomogen og meget inhomogen.

Karbonatisering:

Sementpasta omdannet til karbonatmineraler pga reaksjon mellom luftens karbondioksid og kalsiumhydroksid/semntgel. I betong måles karbonatiseringsdybden som regel indirekte med phenolphalein (nøytraliseringsdybde).

Kataklasitt (se også mylonitt):

Homogen bergart dannet ved ekstrem deformasjon og nedknusning (dynamisk metamorfose). Kataklasitt er alkalireaktiv.

Krypto-mikrokrystallint gel:

Reaksjonsprodukt etter alkali reaksjon. I tynnslip er reaksjonsproduktet ofte brunfarget i gjennomfallende lys og har et prikket sort-hvitt utseende i polarisert lys (salt and pepper tekstur). Krystallstørrelsen er $< 0,01$ mm.

Kvantitativ:

Riss og bestanddeler kvantifiseres ved punkttelling, telling i rastenett og telling langs linjer. Resultater om regnes ofte til volum prosent og antall pr arealenhet eller pr preparat.

Kvartsrik bergart:

Bergart med kvartsinnhold > 20 volum prosent og typiske krystallstørrelser $< 0,130$ mm blir klassifiseres iht. NB 32 som tvivlstilfeller og skal inngå i beregningen av risikobergarter

Makroanalyse:

Betegnelse for undersøkelse foretatt på planslip.

Mafisk:

Mørke mineraler som f eks amfiboler, pyroksener og biotitt. Prefiks anvendt ved bergarter dominert av mørke mineraler. Mørke bergarter er ikke alkalireaktive.

Meta:

Prefiks anvendt ved metamorfoserte bergarter, f eks omdanning av sandstein og vulkanske bergarter.

Mikroanalyse:

Betegnelse for undersøkelse foretatt på tynnslip.

Mikrokrystallin:

Krystallstørrelsen av mineralet er kun synlig i mikroskop. Krystallstørrelser $0,01 - 0,001$ mm.

Mikroriss:

Rissvidde $< 0,01$ mm. Lange mikroriss i sementpastaen er "lengre" en pastariss og løper over flere tilslagspartikler

Mylonitt (se også kataklasitt):

Foliert bergart dannet ved ekstrem deformasjon og nedknusning (dynamisk metamorfose). Mylonitt er alkalireaktiv.

Opak:

I tynnslip ikke gjennomskinnelig mineral e, f eks sulfider.

Pastariss:

Korte mikroriss i pastaen. Pastariss kan dannes ved flere prosesser, f eks svinn.

Planslip:

Planslip er halvdelen av en borekjerne (eller snitt i en prøve), saget på langs og heretter polert og fluorescensimpregnert.

Portlanditt (kalsiumhydroksyd):

Portlanditt dannes ved sementens hydratisering, og ses i tynnslip som spredte mikrokrystalline krystaller i sementpastaen. Portlanditt kan også være utfelt i riss, riss omkring tilslag og helt eller delvis utfylle luftporer. Dette kan skyldes separasjon og/ eller fuktbelastning i herdet betong.

Polarisasjonsmikroskopi:

Undersøkelse foretatt vha. petrologisk mikroskop med polarisasjonsfiltre. Ved betongundersøkelser er mikroskopet påmontert ultrafiolette filtre.

Reaksjonssone:

I bruddflater i reagert tilslag ses ytterst en tynn mørk sone (alkaligel) og like under hvite, bløte uttelling (krypto-mikrokrystallinsk utfellingsprodukt). I planslip ses mørke renner om tilslagskorn som antyder reaksjon med sementen.

Rhyolitt:

Sur, vulkansk bergart med samme kjemiske sammensetning som granitt. Rhyolitt er alkalireaktiv.

Risikobergart:

Summen av alkalireaktive bergarter og tvivlstilfeller (iht NB 32). I Norge skal alkalireaktiviteten av et tilslag beregnes utefra en sammenligningsverdi som inkluderer alle tidligere analyser siden 1993 (Norsk betongforenings publikasjon NB 21)

Riss:

Ved visuell strukturanalyse kan rissvidder inndeles i størrelsesklasser: *Grove riss; rissvidde > 0,1 mm, Fine riss; rissvidde 0,1 - 0,01 mm og Mikroriss; rissvidde < 0,01 mm*

Riss i tilslagskorn:

I betong med forekomst av skadelig alkalireaksjon observeres ofte et stort antall tilslagskorn med riss. Når riss løper ut i sementpastaen anses reaksjonen som rissdannende (undersøkes i tynnslip og planslip under UV-lys).

Sandstein:

Sedimentær bergart bestående av sammenkittede sandpartikler. Sandstein er alkalireaktiv. Se også gråvakke.

Semikvantitativ:

Vurdering av bestanddeler angitt ved f eks lavt innhold, normalt innhold og høyt innhold eller skjønnet andel.

Siltstein:

Sedimentær bergart med kornstørrelser fra 0,06 mm - 0,002 mm. Siltstein er alkalireaktiv.

Sericitt:

Glimmermineral (som muskovitt) med mikrokrystallin kornstørrelse.

Stereomikroskop (binocular mikroskop):

Mikroskop som i prinsippet virker som en lupe.

Strained:

Se "Undulerende utslukking". " Strained" brukes om deformerte krystall gitter, i det de har indre spenninger.

Strukturanalyse:

Se visuell strukturanalyse

Subkorn:

Ved deformasjon av kvarts dannes små mikrokrystalline subkorn ved kvartsmineralets korn grense.

Suturert korn grense:

Ved deformasjon av bergarter "sammenpresses" mineralene, og det oppstår en bølget ("suturert") kornkontakt.

Tvivlstilfeller

Bergarter som anses å kunne reagere i betongen. Iht. NB 32 bergarter med krystallstørrelser 0,130 mm – 0,06 mm som kvartsitt/kvartsskifer, kvartsrik bergart (kvarts > 20%), kalkstein m. urenheter, hornfels og lyse mylonitter med lite kvarts (kvarts 1% - 5%).

Tynnslip:

Ca 35 x 50 mm stor skive av betongen (fluorescens impregnert) som er ca 0,02-0,03 mm tykk. I tynnslip er de fleste mineraler transparente (gjennomskinnelige).

Undulerende utslukking:

Ses mest i kvarts med deformert krystallgitter (strained). Ved dreining av mikroskopbordet og ved anvendelse av polarisert lys ses et mørkt bånd bevege seg over kvartskornet..

UV -lys:

Ved betongundersøkelser anvendes lang bølget ultrafiolett lys med bølgelengden 350-400 nm.

Vedheftriss:

Mikroriss mellom tilslagskom og sementpasta. Vedheftriss kan ha flere årsaker, f eks separasjon og svinn.

Visuell strukturanalyse (strukturanalyse):

Kvalitativ og kvantitativ beskrivelse av betongens struktur på makro-og mikronivå. Analysen består av tre delundersøkelser: Overflatebeskrivelse av betongprøven, makroanalyse av planslip og mikroanalyse av tynnslip. Ved vurdering av herdet betongs frostegenskaper, og ved kontroll av luftinnblandet anvendes luftporeanalyse (f.eks iht. ASTM C457).

Visuell strukturanalyse : Alkalireaksjon; parametere og skadegrad

Visuell strukturanalyse (strukturanalyse):

Kvalitativ og kvantitativ beskrivelse av betongens struktur på makro- og mikronivå. Analysen består av tre delundersøkelser: Overflatebeskrivelse av betongprøven, makroanalyse av planslip og mikroanalyse av tynnslip. Ved vurdering av herdet betongs frostegenskaper, og ved kontroll av luftinnblanding anvendes luftporeanalyse (f. eks iht. ASTM C457)

Ved visuell strukturanalyse blir det framstilt et fluorescensimpregnert planslip og normalt to fluorescensimpregnert tynnslip. Ved undersøkelser for alkalireaksjon blir tynnslip plassert i områder som visuelt viste tegn på alkalireaksjon. Prøvene er undersøkt visuelt, fotografert, og mikroskopert vha. polarisasjonsmikroskopi og fluorescensmikroskopi.

I etterfølgende er gitt forklaring til parametere og skadegrader anvendt ved visuell strukturanalyse.

Parametere

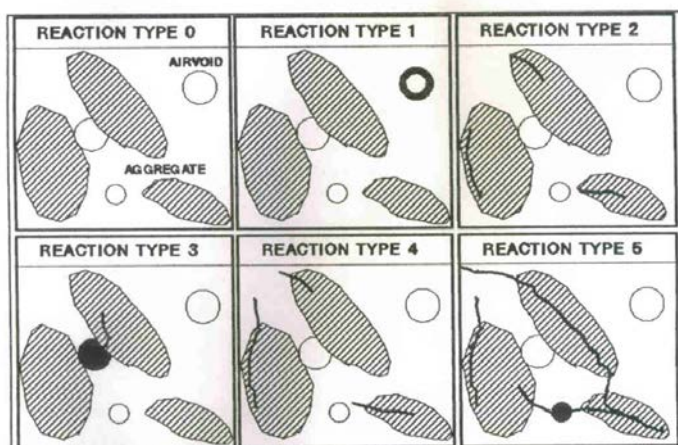
Tilslaget: Her er listet opp ikke alkalireaktive bergarter og alkalireaktive bergarter iht. regelverket i Norge (NB 21/NB32). Videre er det vurdert om sanden og steinen er fra naturlig forekommende forekomst eller knust. Det er videre merket om bergarten har reagert i betongen.

Sementen: Sementtypen er vurdert utefra innholdet og størrelsen av uhydratiserte klinkerkorn og eventuelle tilsetningsstoffer.

Ekvivalent vann/ sement forholdet: Ekvivalent v/c-forholdet er funnet utefra måling av kapillarporøsiteten i fluorescerende lys i tynnslip fra prøven sammenligning med standarder med kjent v/c forhold. Ekvivalent vann/ sementforholdet er usikker og kun veiledende da kapillarporøsiteten i "eldre" betonger kan vær endret f. eks ved vannbelastning og/eller ufullstendig blanding.

Luftinnholdet: Innholdet av luft er vurdert i mikroskop. Samme er formen og størrelsen av luftbobler. Et "høyt" innhold av små sirkulære luftbobler antyder betongen kan være luftinnblandet og frostbestandig.

Reaksjonstype: Reaksjonstypen i tynnslip er angitt ved et tall fra 0-5 utefra etterfølgende figur fra ref. 1 Viggo Jensen 1993 (doktor thesis).



Figur 1. Reaksjonstyper. For forklaring se tekst

- **type 0** ingen alkalireaksjon,
- **type 1** alkaligel i isolert luftpore,
- **type 2** reaksjon i tilslaget uten påvirkning av sementpastaen,
- **type 3** gel i luftpore og reaksjon i tilslaget,
- **type 4** reaksjon i tilslag og riss som løper ut i sementpastaen,
- **type 5** reaksjon i tilslaget og riss som forbinder flere reagerte tilslag.

Type 1-2 klassifiseres som ”ikke rissdannende alkalireaksjon”. Type 3 er ca midt imellom og kan være rissdannende eller ikke, mens type 4 og 5 er rissdannende og skadelig alkalireaksjon.

Omfanget av alkalireaksjon: Omfanget av reaksjonen er vurdert i tynnslip iht. til følgende karakterer basert på en enkel vurdering av alkalireaksjonen:

0	ingen
+	litt /få
++	en del
+++	omfattende (høyt)

Ettringitt: (Ettr.) er et sekundært utfellingsprodukt der viser hvor vannbelastet betongen har vært (avhengig av sementtype). Ettringitt kan være utfellet i luftporer og riss i sementpastaen. Omfanget/mengden av ettringitt er gitt samme karakterer som ved omfang av alkalireaksjon.

0	ingen
+	litt /få
++	en del
+++	omfattende (høyt)

Skadegrad.

Undersøkelsene er utført på planslip (fluorescens impregnert) under UV-lys. Herved vil selv meget små riss bli synlige. Metoden er beskrevet i ref. 1 Viggo Jensen 1993 (doktor thesis) og ref. 2 Sintef rapport STF A02616, mars 2003.

Riss i stein: Antall av stein i % med riss (ikke reagerte stein vil normalt ikke inneholde riss). I planslip er alle stein (tverrmål > 4 mm) med og uten riss blitt talt.

Riss ut i pasta: Antall av stein i % hvor riss løper ut i sementpastaen. Observasjonen er entydig mht. alkalireaksjon da sådanne riss kun kan dannes utefra alkalireaksjon.

Riss i pasta: Antall riss i sementpastaen forårsaket av alkalireaksjon. Antallet er normalisert utefra planslipets areal (lengde og bredde) og angitt som antall/cm². Riss i sementpastaen kan i noen tilfeller være usikker og vanskelig å kvantifisere da riss kan være forårsaket av andre forhold enn alkalireaksjon. F. eks vil en betong med lavt vann/semment-tall eller med silikastøv inneholde betydelige mengder av mikroriss. Fryse-tine kan også initiere riss i sementpastaen.

Skadegrad (risstall): Skadegraden er beregnet utefra % stein med riss ut i pasta multiplisert med 0,6 + riss i pasta antall/cm² multiplisert med 40 (ref. 2: Sintef rapport STF A02616). Det gis ingen rangering av skadegrad i Sintef rapporten. I ref. 3 gis følgende rangering:

Skadesgrad	< 5: ingen tegn på alkalireaksjon
Skadesgrad	5-8: få tegn på alkalireaksjon (gråsoner)
Skadesgrad	> 8: liten til moderat alkalireaksjon
Skadesgrad	> 15: moderat til stor alkalireaksjon

Note: Skadegraden tar ikke hensyn til antall stein med riss som etter NBTLs vurdering er en meget viktig parameter mht. alkalireaksjon.

Visuell strukturanalyse

vedlegg 1

Prøve nr: 13318-A1 (13-2T), 13318-A2 (13-2M), 13318-A3 (13-2B)

Prøvene (mm)

Ø 74 mm

Tykkelse 17 mm

Planslip/prøve	13318-A1 (13-2T) <i>Antal-vurdering</i>	13318-A2 (13-2M) <i>Antall-vurdering</i>	13318-A3 (13-2B) <i>Antall-vurdering</i>
Letttilslag	35	31	24
Grovt tilslag	10	14	18
Riss i stein	0	0	0
Riss i stein ut i pasta	0	0	0
Riss i pasta (stk/cm ²)	0	9 (0,2)	0
Tegn på AAR	ingen	ingen	ingen
Annett			
Tynnslip/prøve			
Sementtype	Portland	Portland	Portland
Portlanditt	normal	lav-normal	normal
Tilsetningsmateriale	ikke observert	ikke observert	ikke observert
Ekv. V/S- forhold	< 0,35	< 0,35	< 0,35
Mikroriss i pastaen*	høyt	høyt	høyt
Lange mikroriss i pasta	få	en del	få
Luftinnhold (vol %)	1,5	0,8	1,9
Lufporer (mm)	0,05-0,2 maks 2	0,05-0,2 maks 0,3	0,05-0,2 maks 2,5
Fint tilslag:	natur	natur	natur
Grovt tilslag	granitt	granitt, feltspatisk bj.	granitt, feltspatisk bj.
Letttilslag	ukjent type	ukjent type	ukjent type
Risikobergart	ingen	ingen	ingen
Reagert tilslag	ingen	ingen	ingen
Alkalireaksjon/gel	ingen	ingen	ingen
Ertringitt/portlanditt	ingen	ingen	ingen
Riss ut fra letttilslag	ingen	ingen	ingen
<i>*En del mikroriss er ikke fluorescensimpregnert</i>			

Vurdering: Det ses ingen tegn på alkalireaksjon i prøven

Foto av planslip og tynnslip på etterfølgende sider

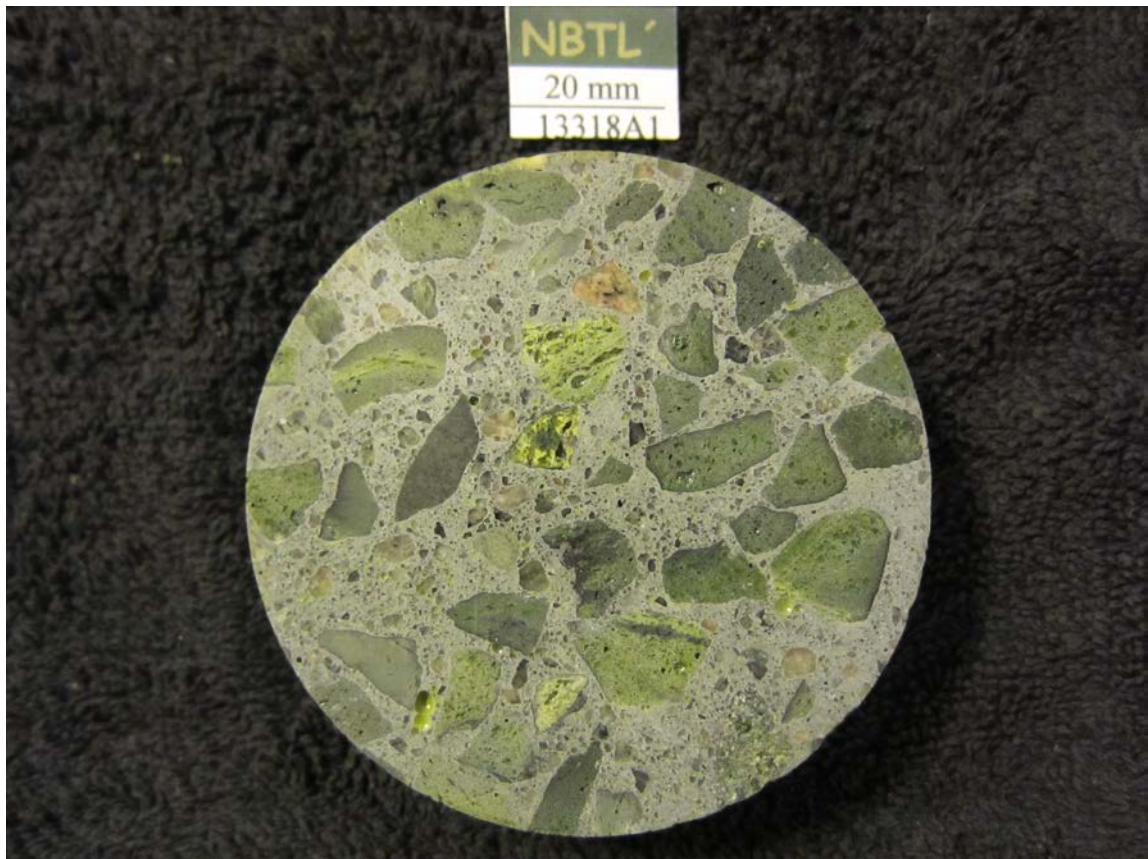


Foto1: Planslip13318A1

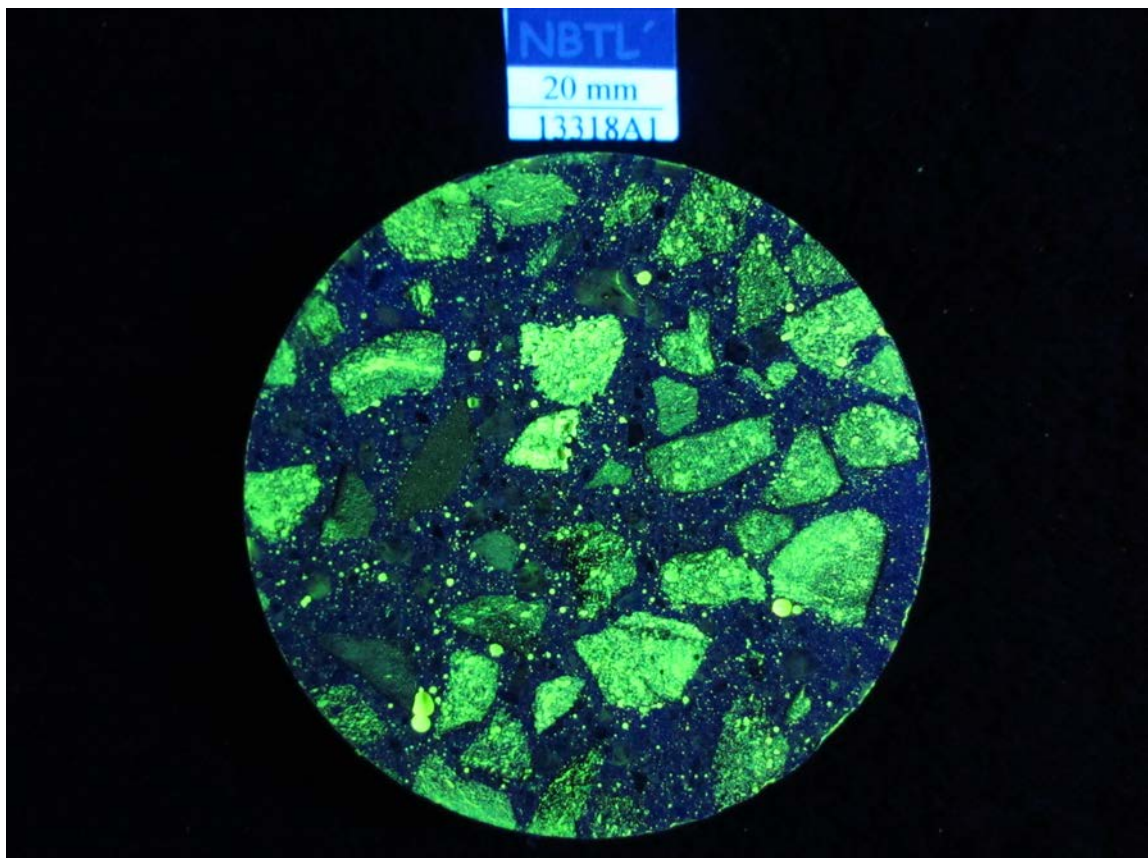


Foto 2: Planslip13318A1 i UV-lys

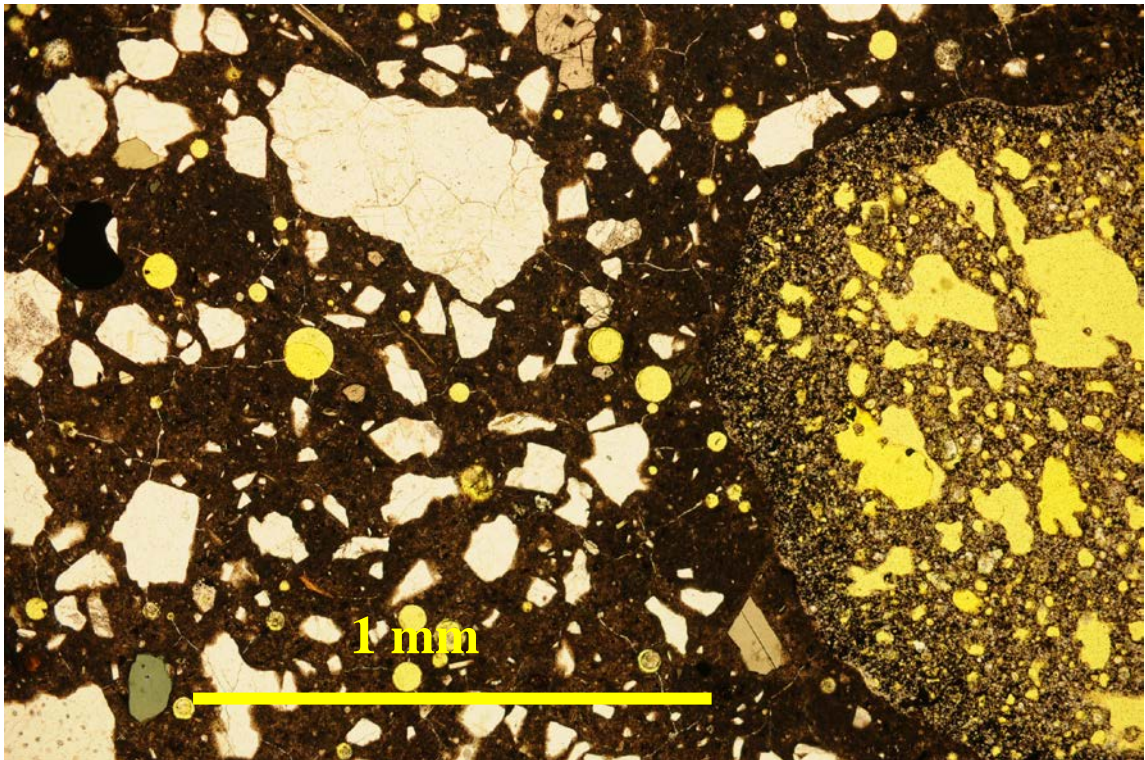


Foto 3: Tynnslip 13318A1iI planpolarisert lys

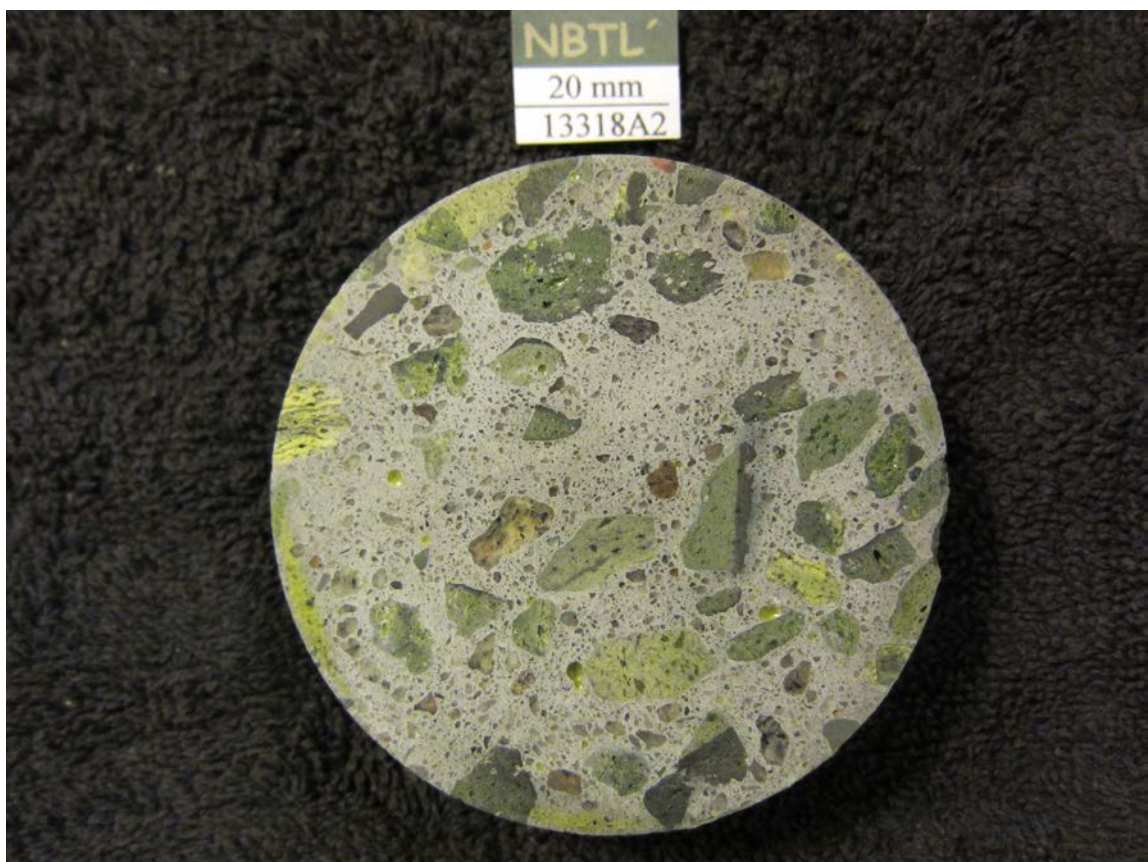


Foto 4: Planslip13318A2

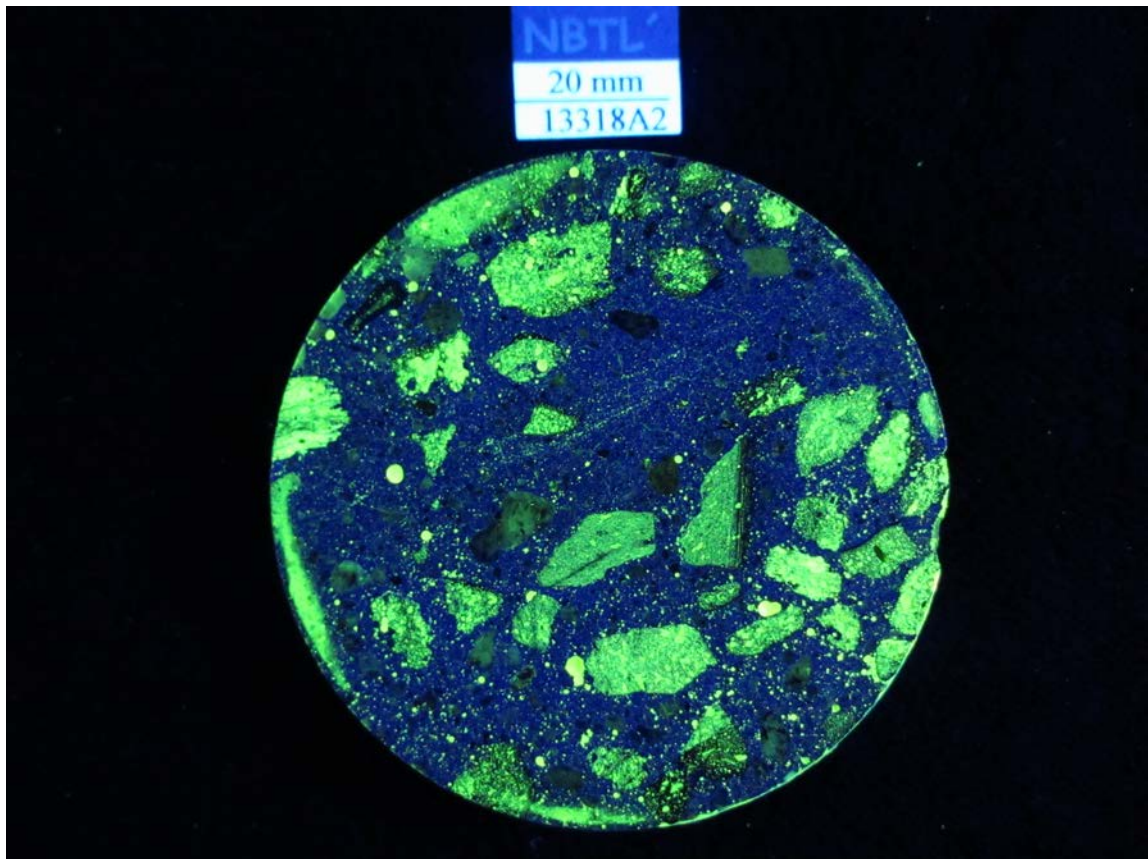


Foto 5: Planslip13318A2 i UV-lys

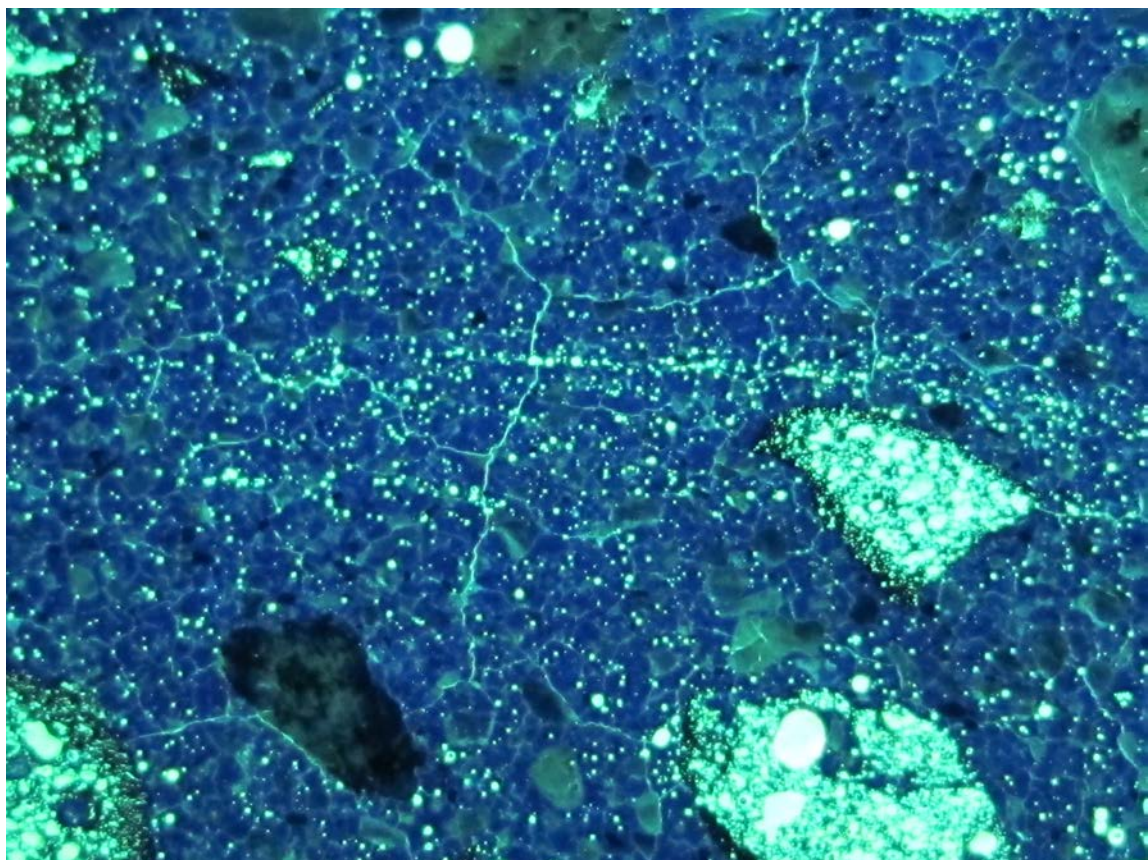


Foto 6: Planslip13318A2 i UV-lys (detalje)

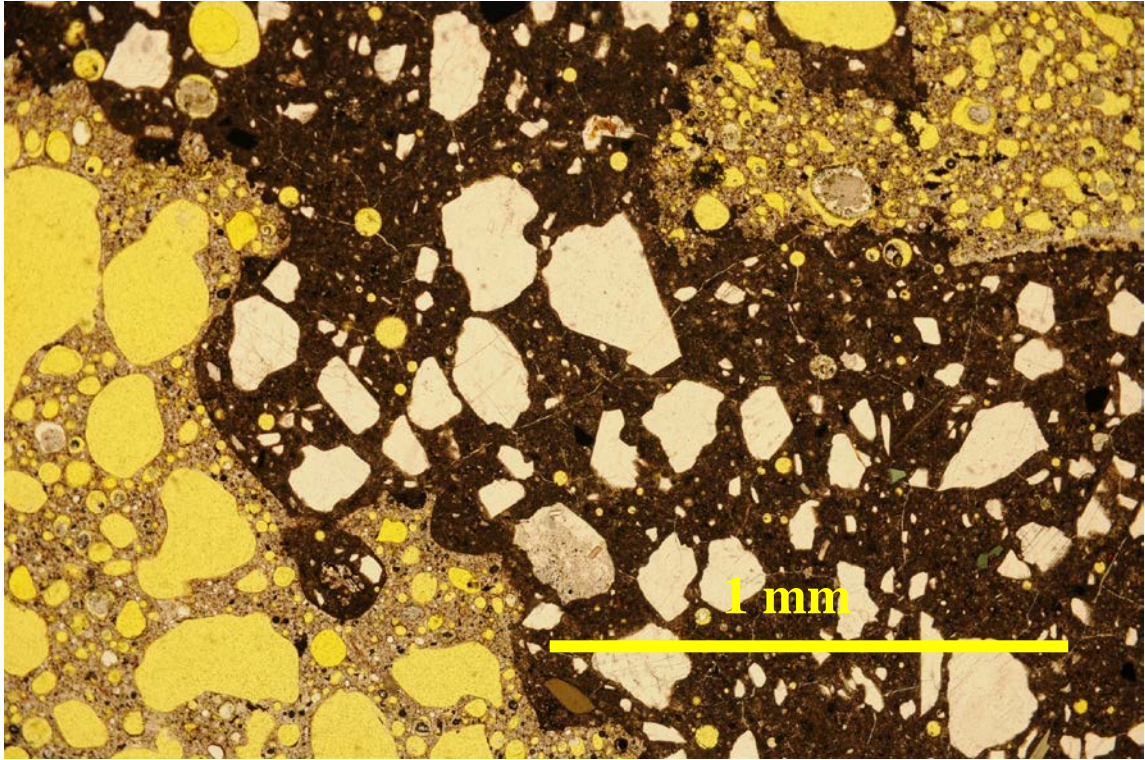


Foto 7: Tynnslip 13318A2 i planpolarisert lys

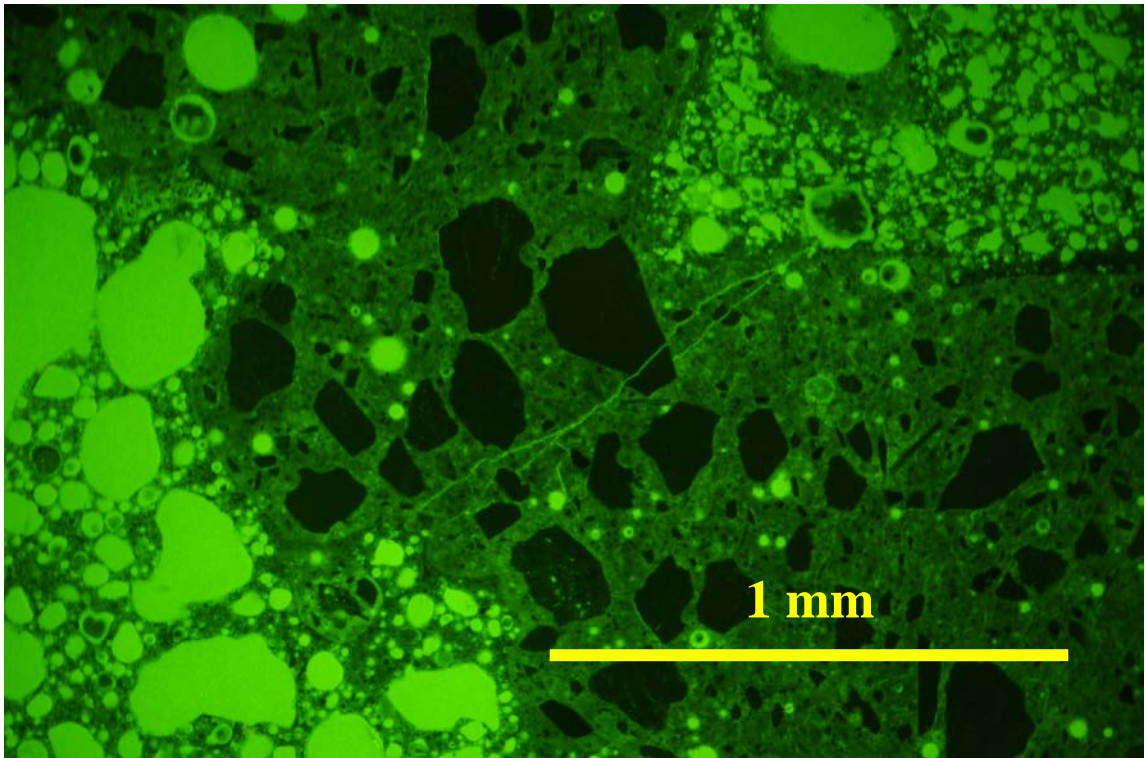


Foto 8: Tynnslip 13318A2 i fluorescerende lys. Merk lang mikroriss



Foto 9: Planslip13318A3

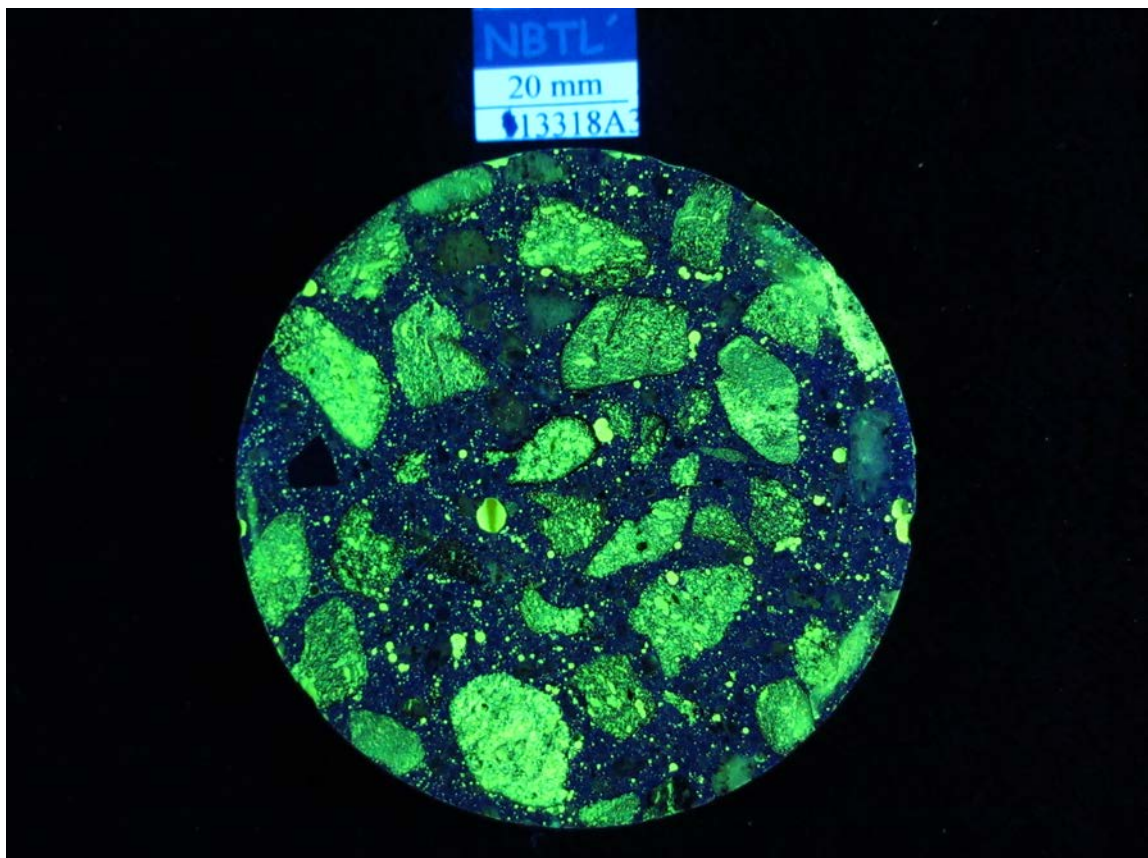


Foto 10: Planslip13318A3 i UV-lys

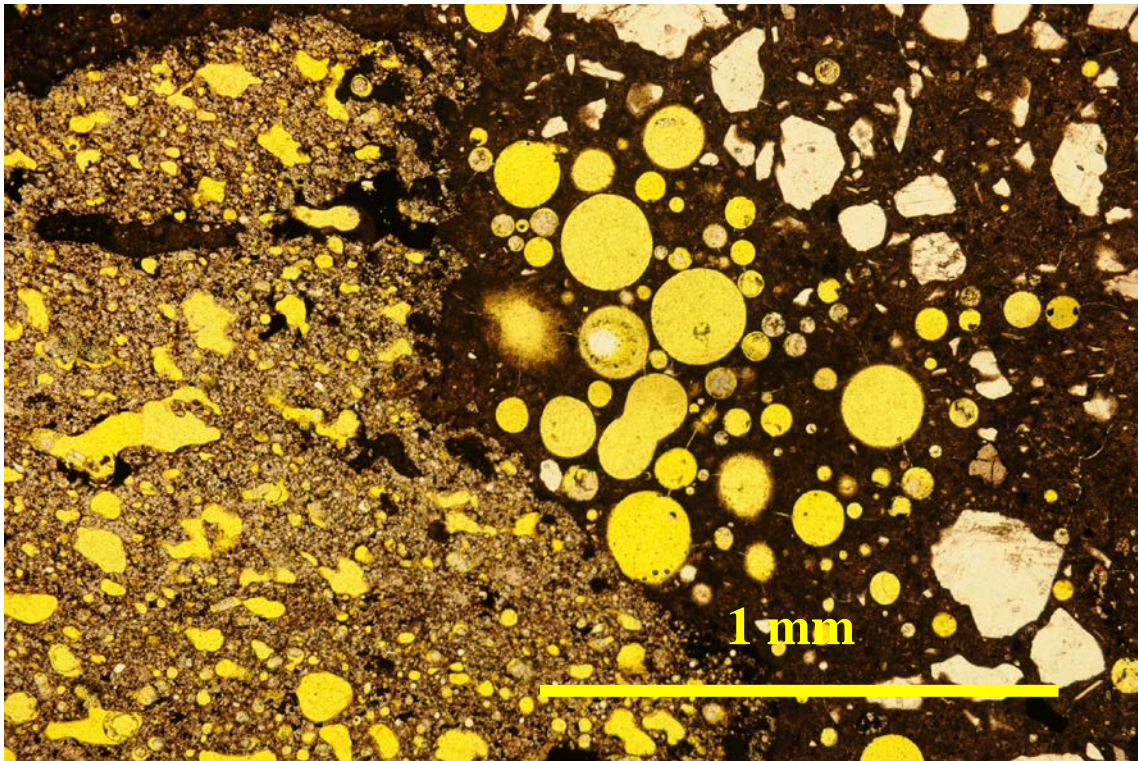


Foto 11: Tynnslip 13318A3 i planpolarisert lys. Merk oppkonsentrasjon av luftporer

Visuell strukturanalyse

vedlegg 1

Prøve nr: 13318-B1 (14-4T), 13318-B2 (14-4M), 13318-B3 (14-4B)

Prøvene (mm)

Ø 74 mm

Tykkelse 17 mm – 20 mm

Planslip/prøve	13318-B1 (14-4T) <i>Antall-vurdering</i>	13318-B2 (14-4M) <i>Antall-vurdering</i>	13318-B3 <i>Antall-vurdering</i>
Letttilslag	69	50	66
Grovt tilslag	7	5	8
Riss i stein	0	0	0
Riss i stein ut i pasta	0	0	0
Riss i pasta	0	0	0
Tegn på AAR	ingen	ingen	ingen
Annett			
Tynnslip/prøve			
Sementtype	Portland	Portland	Portland
Portlanditt	normal	normal	normal
Tilsetningsmateriale	ikke observert	ikke observert	ikke observert
Ekv. V/S- forhold	0,40	0,35	0,35
Mikroriss i pastaen*	en del	høyt	høyt
Lange mikroriss i pasta	høyt	en del	en del
Luftinnhold	2,7	2,8	1,5
Lufporer (mm)	0,1-0,3, maks 2	0,1-0,2, maks 2	0,1-0,3 maks 1
Fint tilslag:	natur	natur	natur
Grovt tilslag	gneis, mafisk bj.	granitt	granitt, kvartsitt
Letttilslag	ukjent type	ukjent type	ukjent type
Risikobergart	ingen	ingen	ingen
Reagert tilslag	ingen	ingen	ingen
Alkalireaksjon/gel	ingen	ingen	ingen
Erttringitt/portlanditt	ingen	ingen	ingen
Riss ut fra letttilslag	ingen	ingen	ingen
<i>*En del mikroriss er ikke fluorescensimpregnert</i>			

Vurdering: Det ses ingen tegn på alkalireaksjon i prøven

Foto av planslip og tynnslip på etterfølgende sider

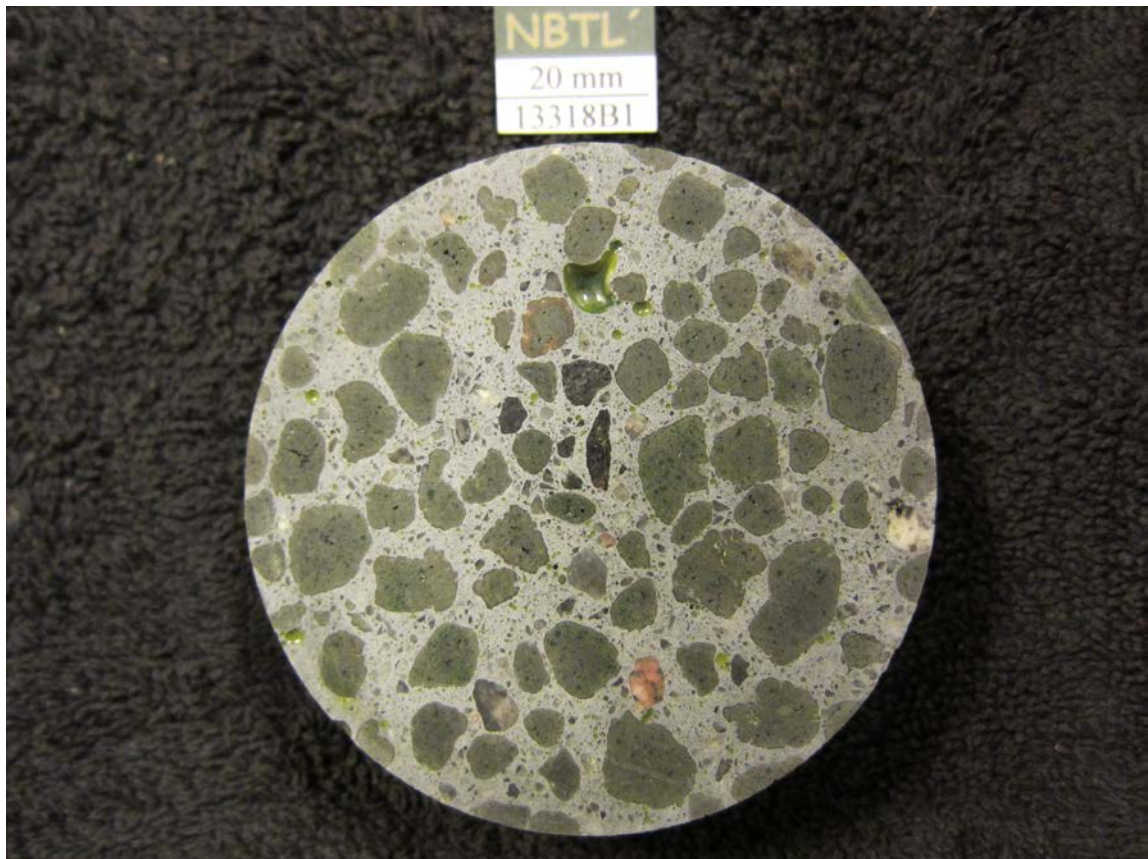


Foto1: Planslip13318B1

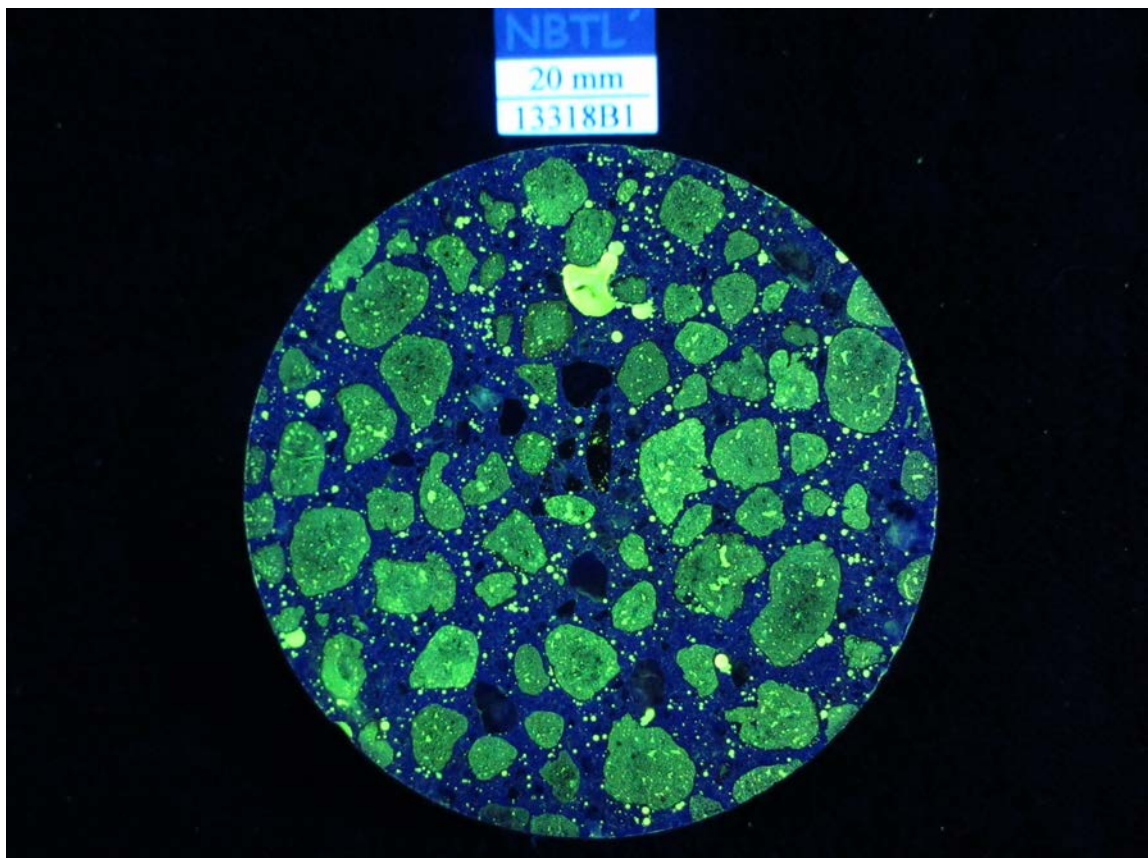


Foto 2: Planslip13318B1 i UV-lys

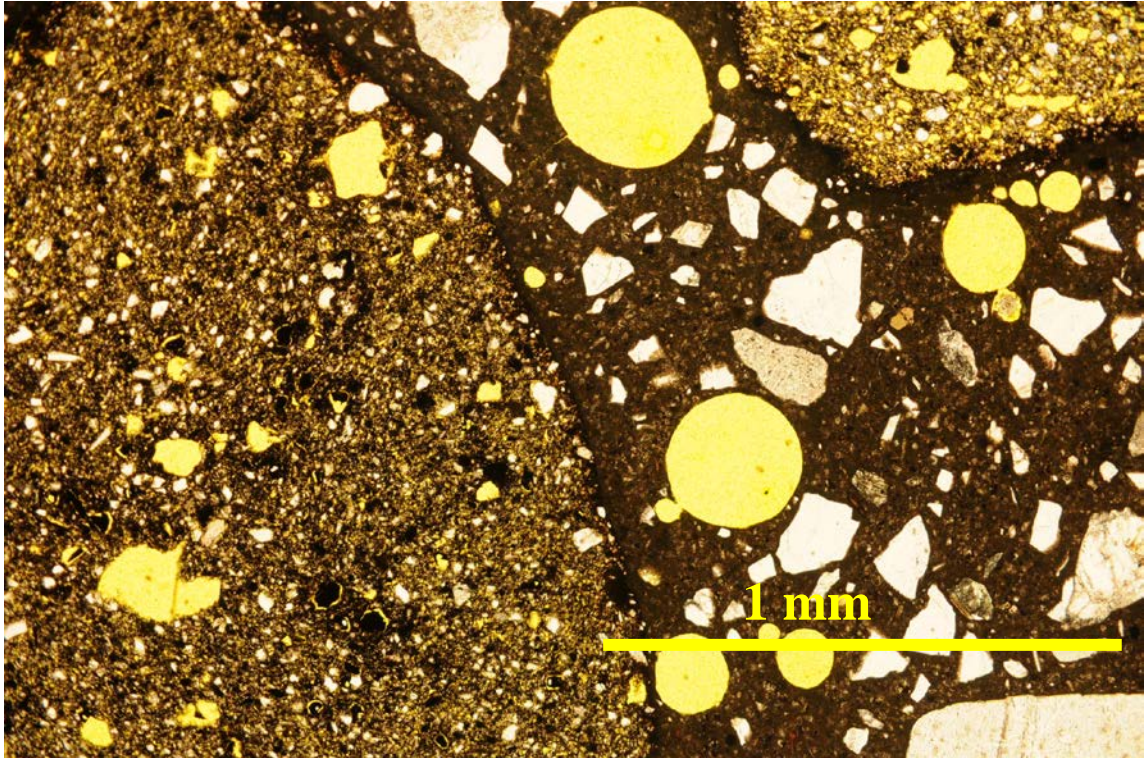


Foto 3: Tynnslip 13318B1 i planpolarisert lys

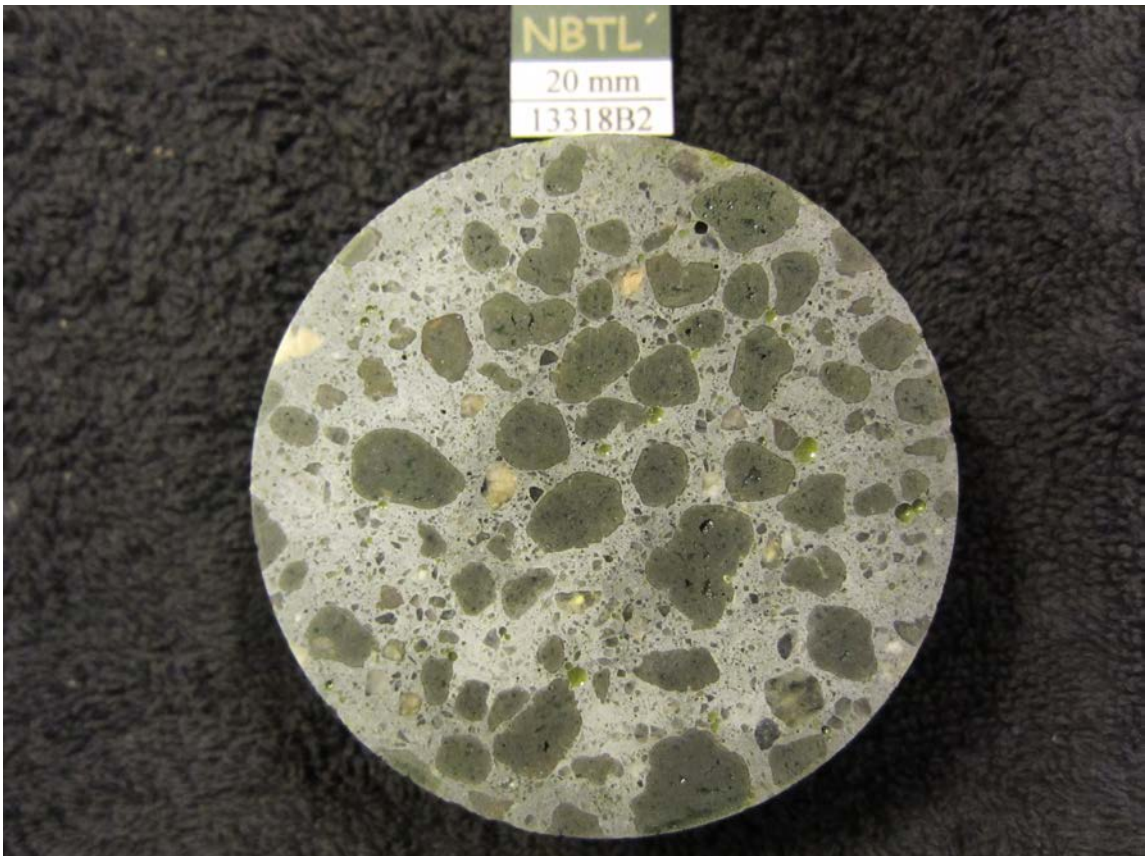


Foto 4: Planslip13318B2

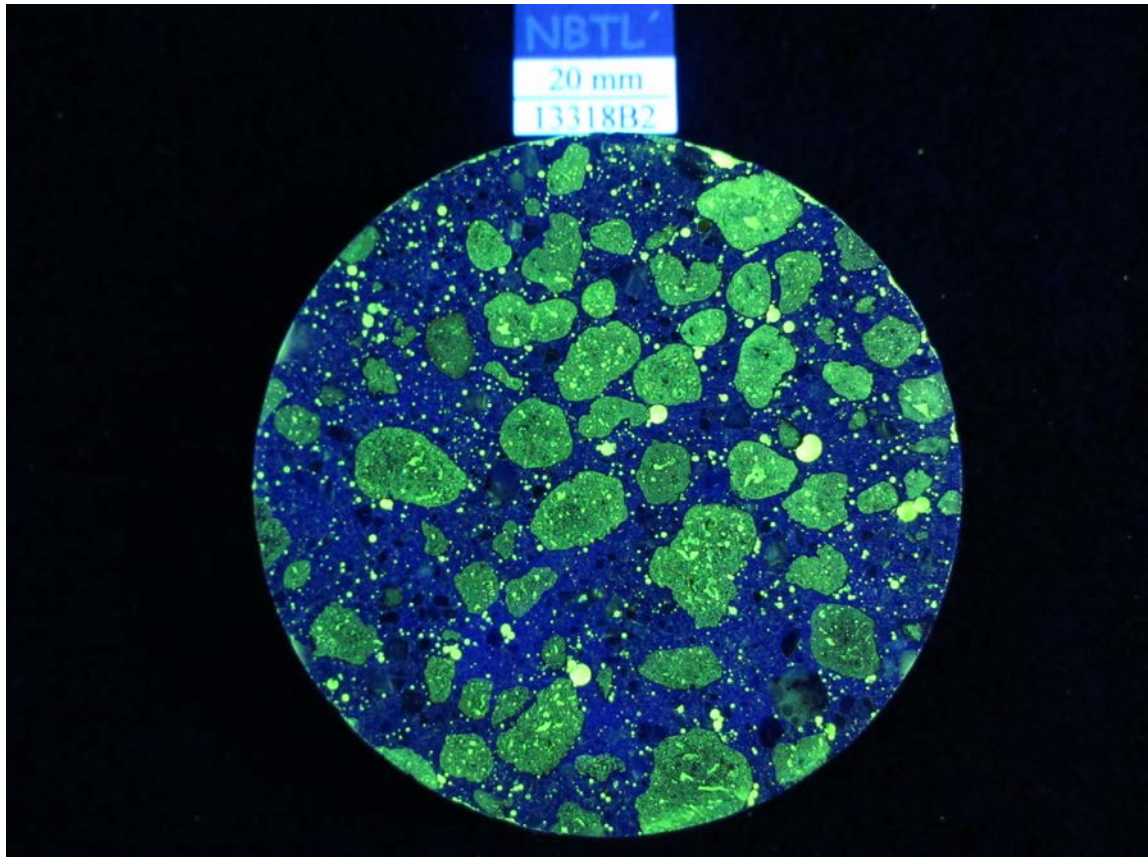


Foto 5: Planslip13318B2 i UV-lys

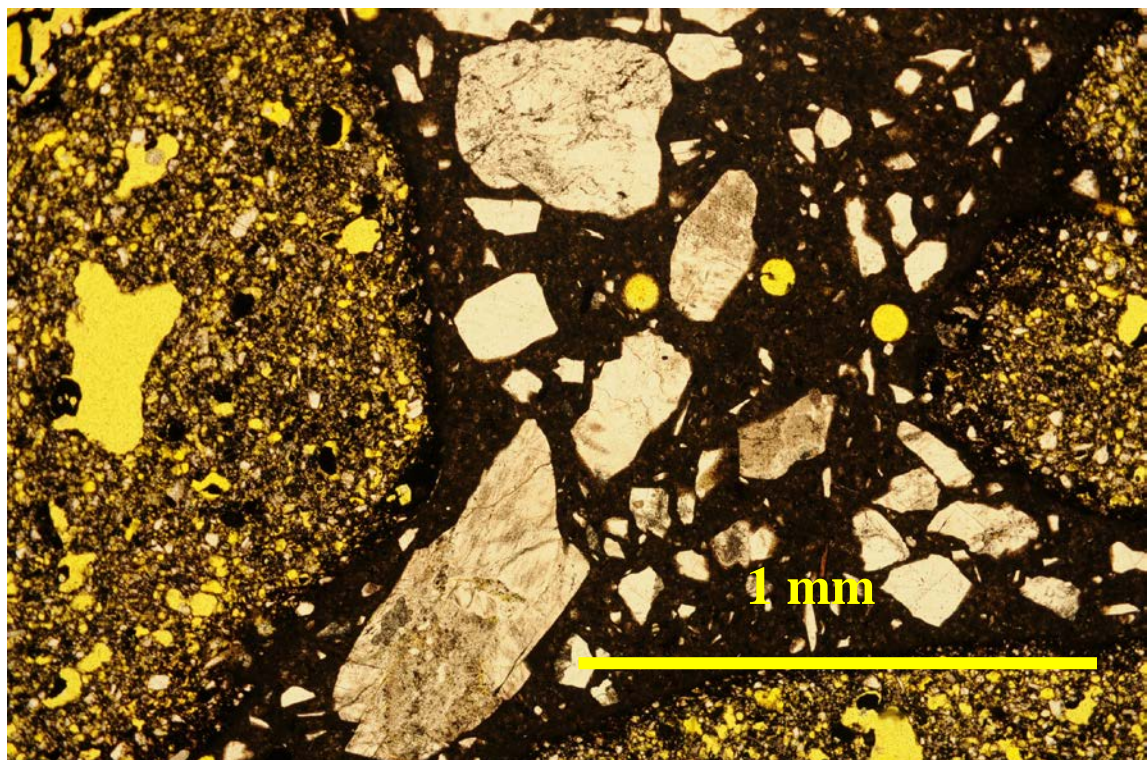


Foto 6: Tynnslip 13318B2 i planpolarisert lys

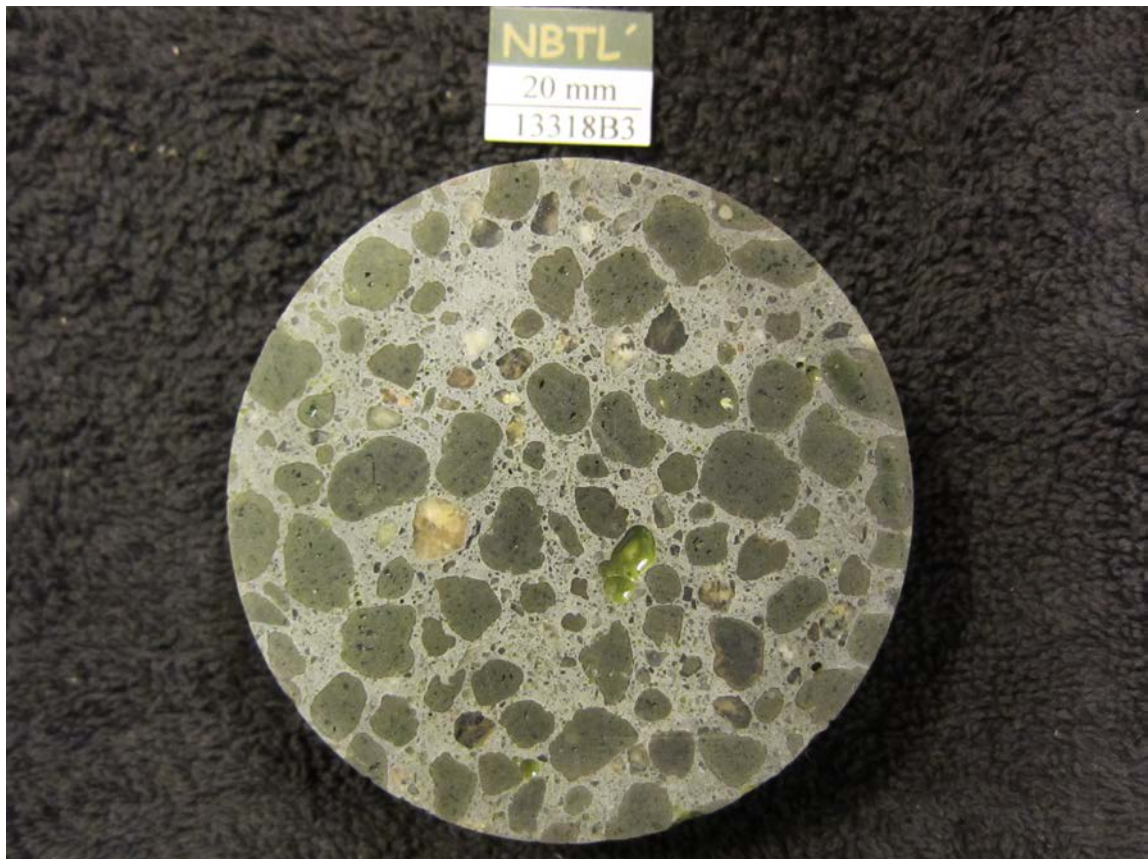


Foto 7: Planslip13318B3

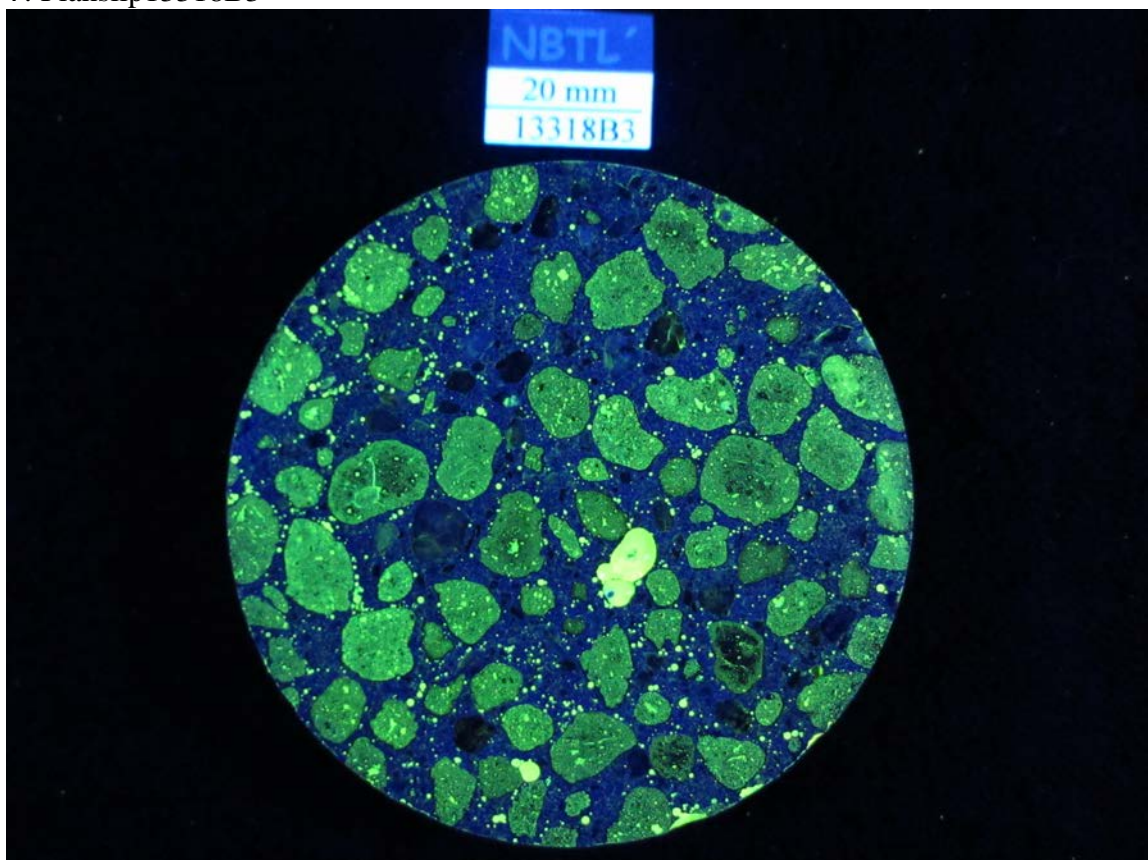


Foto 8: Planslip13318B3i UV-lys

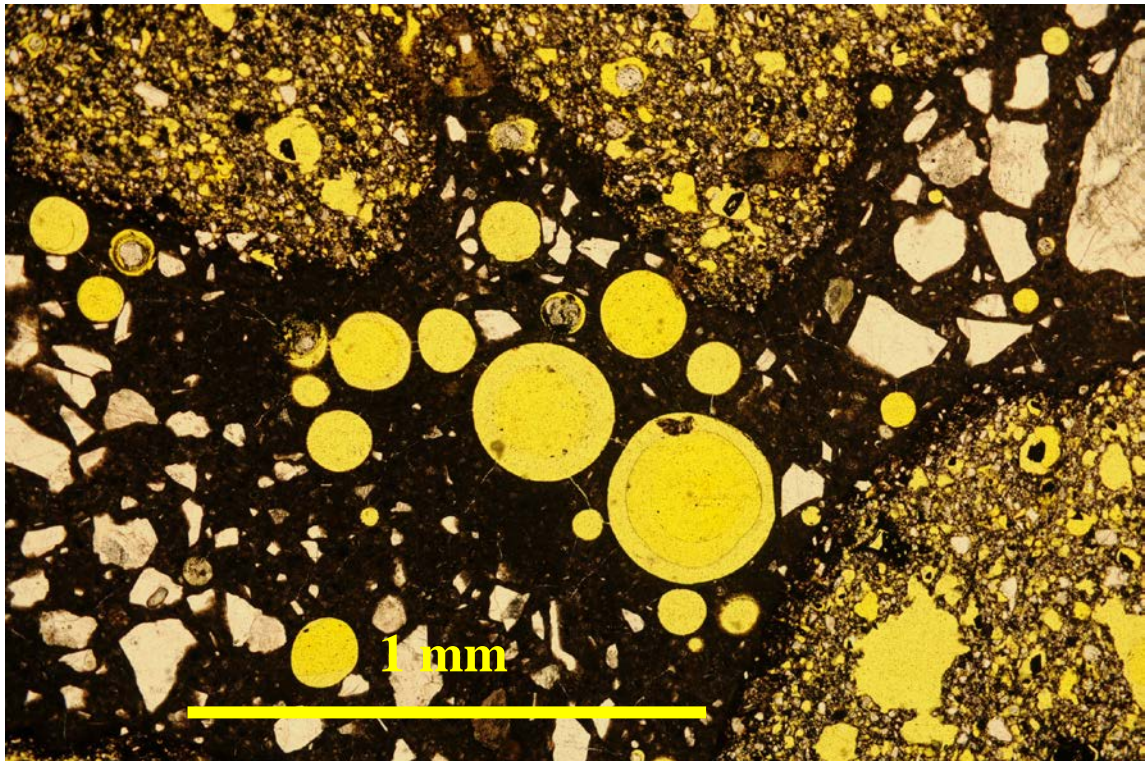


Foto 9: Tynnslip 13318B3 i planpolarisert lys. Merk oppkonsentrering av luftporer

Visuell strukturanalyse

vedlegg 1

Prøve nr: 13318-C (2A)

Borekjernen Ø 82

Lengde 260-270 mm

Riss < 0,05 mm i utboring side

Det ses ingen tegn på alkalireaksjon i boreprøven (renner etc)

Karbonatiseringsdybde med phenophtlein er 1-2 mm

Planslip/prøve	13318-C (2A) Antall-vurdering	
Letttilslag	ingen	
Grovt naturtilslag	119 stk, singel av granitt, gneis, maks 22 mm	
Riss i stein (% av stein)	11 (9,2)	
Riss ut i pasta (% av stein)	0	
Riss i pasta (stk/cm ²)	5 (0,02)	
Riss fra overflate	1 stk, 15 mm inn til granitt	
Luftpore	maks 5 mm	
Tegn på AAR	ingen	
Tynnslip/prøve	13318-C1 Antall-vurdering	13318-C2 Antall-vurdering
Plassering fra overflate (mm)	110	210
Sementtype	Portland	Portland
Portlanditt	lav-normal	lav-normal
Tilsetningsmateriale	ikke observert	ikke observert
Ekv. V/S- forhold	0,40	0,40
Mikroriss i pastaen	høyt	høyt
Lange mikroriss i pasta*	en del	få
Luftinnhold (vol %)	2,0	1,8
Lufporer (mm)	0,1-0,2, maks 2	0,1-0,2, maks 2
Fint tilslag:	natur	natur
Grovt tilslag	granitt, gneis, mylonitt gneis	granitt, gneis
Risikobergart	mylonitt gneis	ingen
Reagert tilslag	ingen	ingen
Alkalireaksjon/gel	ingen	ingen
Ettringitt/portlanditt	ingen	ingen
Annen utfelling	jernhydroksyd i få luftporer	ingen
Tidlig skader/avlange riss**	en del	få

*En del mikroriss er ikke fluorescensimpregnert

**Note: Det ses områder i sement pastaen med avlange riss/porøsiteter muligens pga. tidlig frysing (is-linser)

Vurdering: Det ses ingen tegn på alkalireaksjon i prøven

Foto a v planslip og tynnslip på etterfølgende sider



Foto 1: Boreprøven



Foto 2: Plassering av tynnslip i prøven



Foto 3: Planslip 13318C

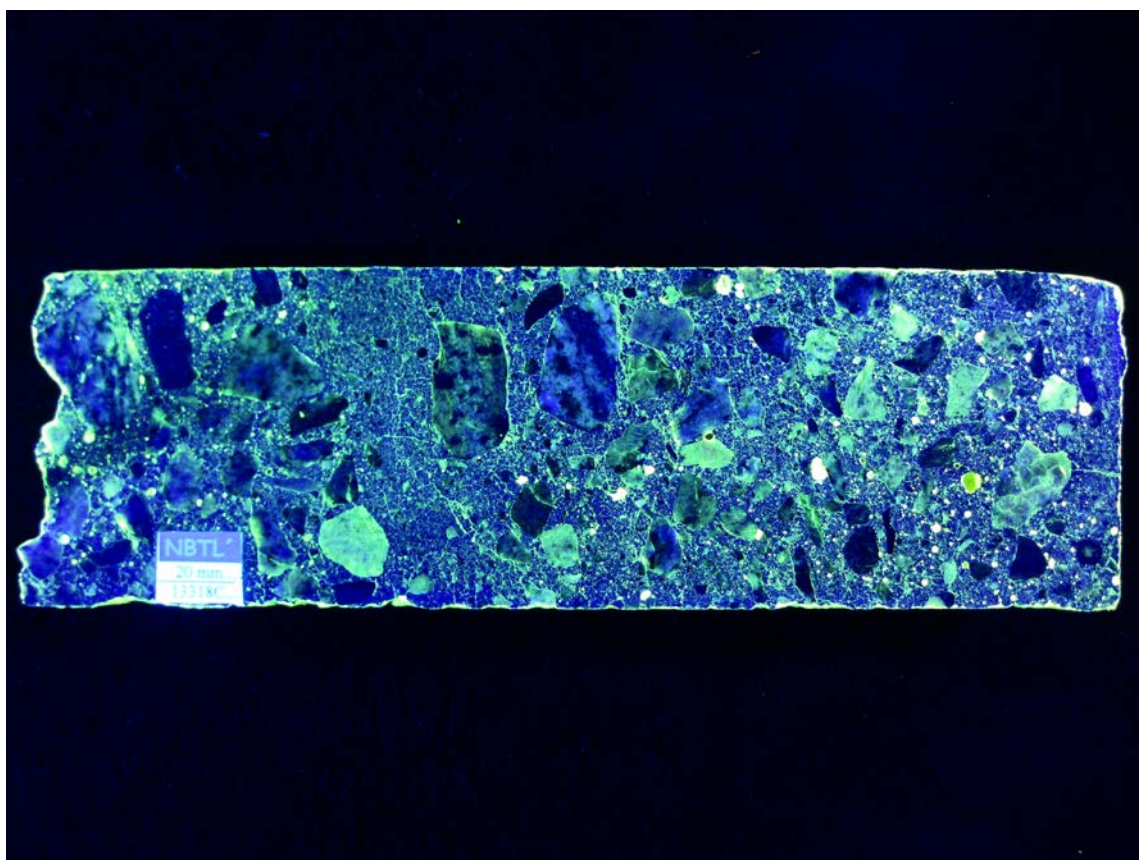


Foto 4: Planslip 13318C i UV-lys

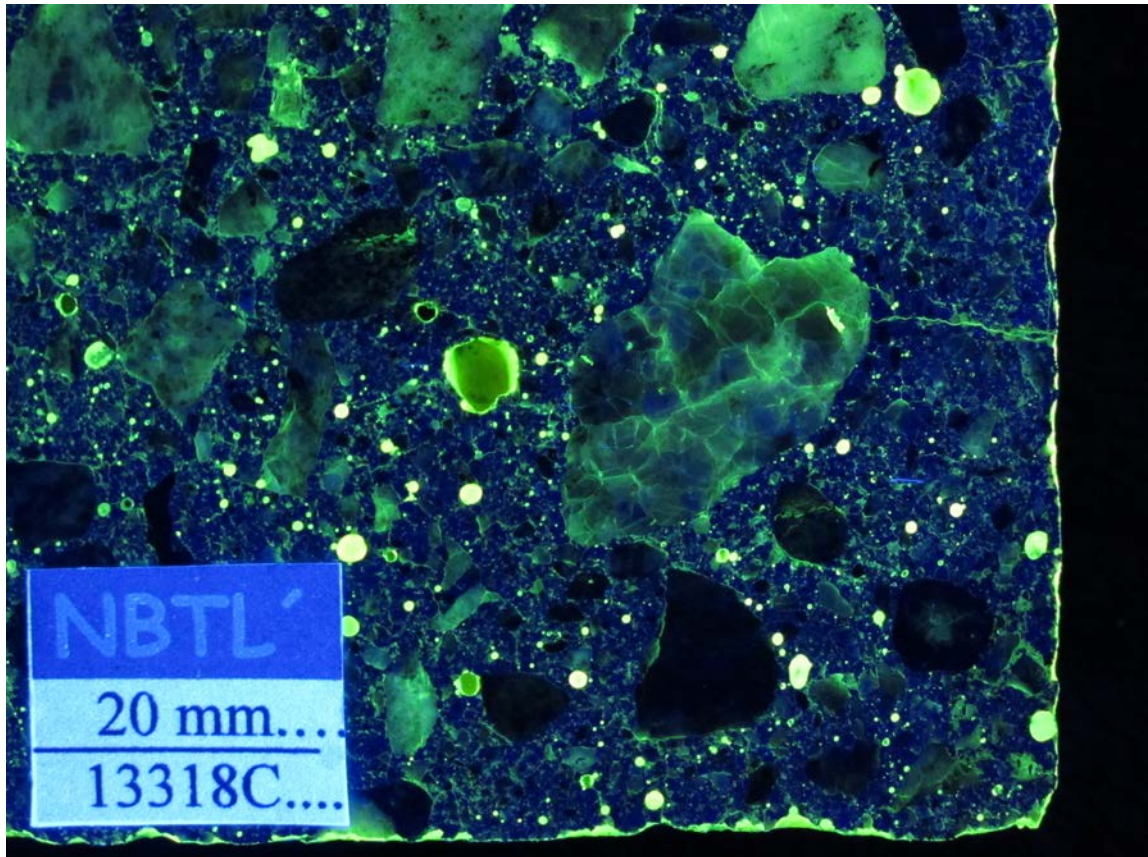


Foto 5: Planslip 13318C i UV-lys, detalje. Merk riss som løper inn fra overflaten

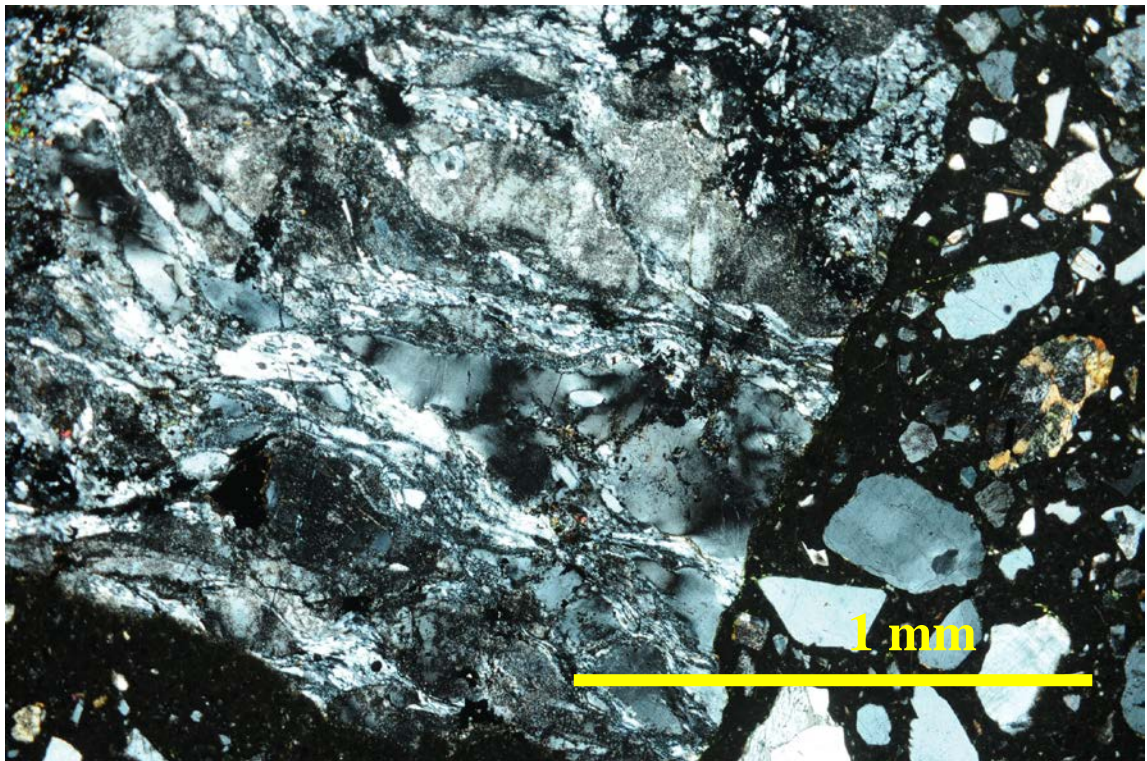


Foto 6: Tynnslip 13318C i polarisert lys. Det ses en mylonitt gneis men ingen tegn på alkalireaksjon

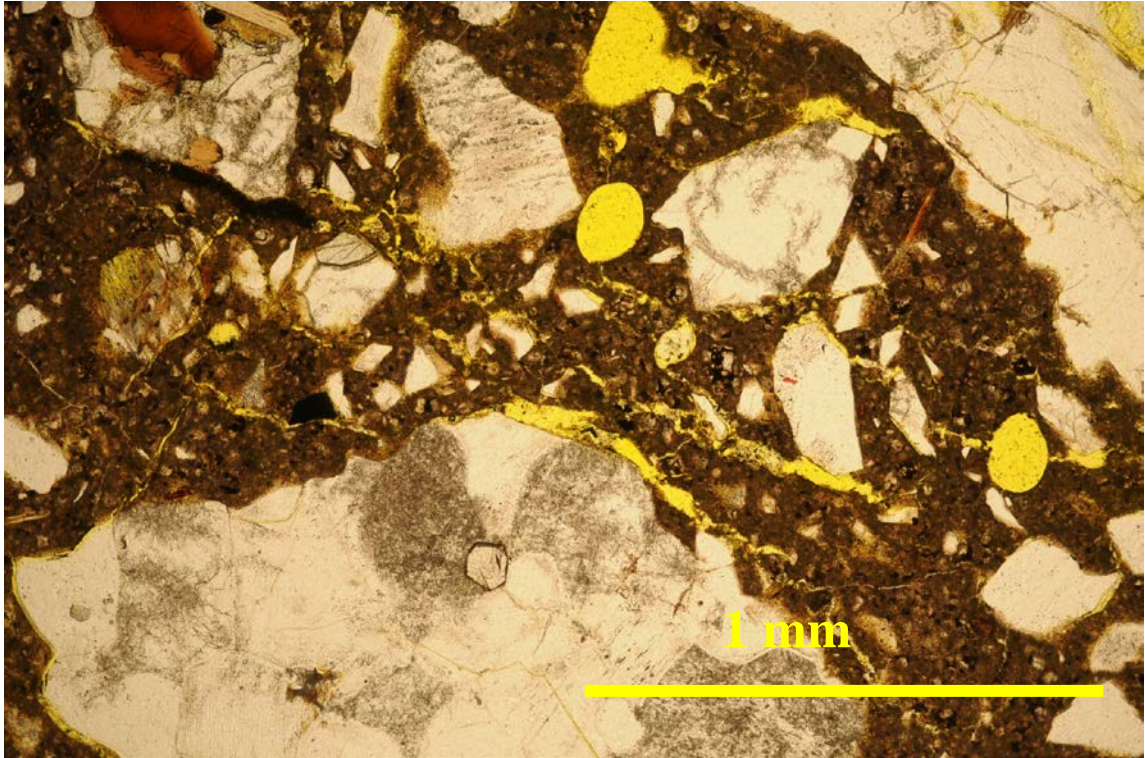


Foto 7: Tynnslip 13318C i planpolarisert lys. Det ses avlange porøsiteter/riss i pastaen som muligens er forårsaket av tidlig frysing (is-linser)

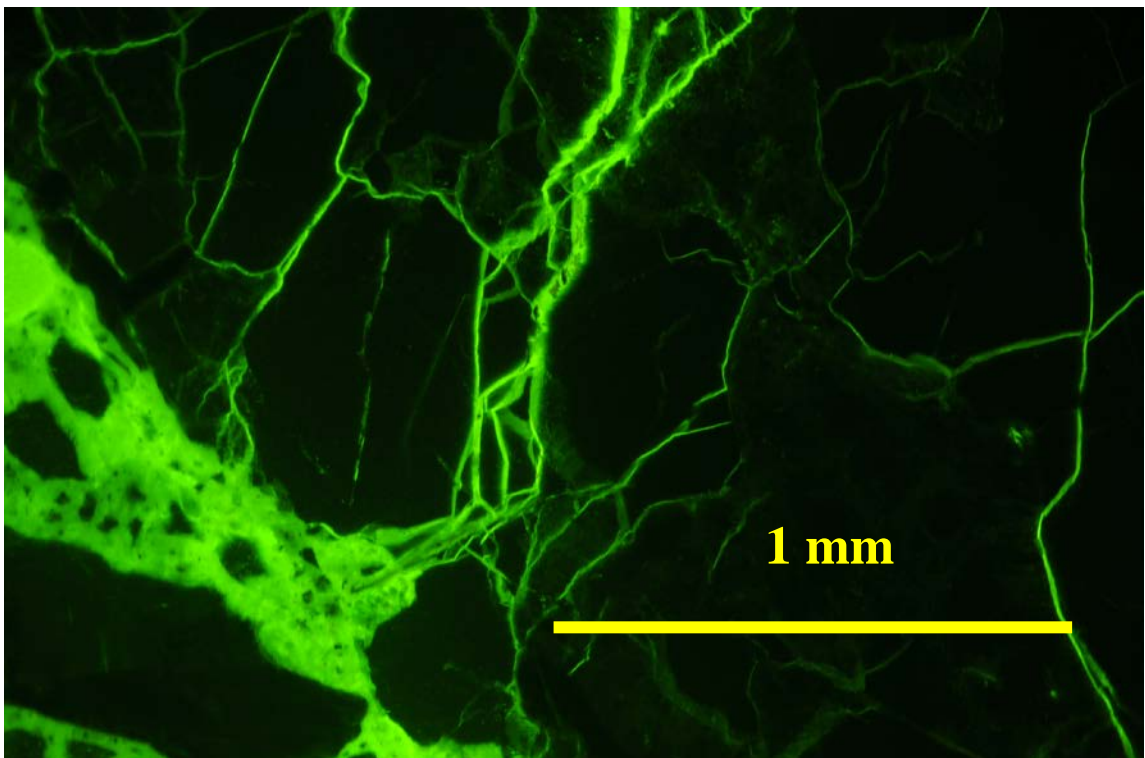


Foto 8: Tynnslip 13318C i fluorescerende lys. Flere granitt korn inneholder intergranulære mikroriss, men det er uklart om disse kan være forårsaket av alkalieaksjon

Visuell strukturanalyse

vedlegg 1

Prøve nr: 13318-D (3A)

Borekjernen Ø 82

Lengde 265-285 mm ingen synlige riss i overflater
Det ses ingen tegn på alkalireaksjon i boreprøven (renner etc)
Karbonatiseringsdybde med phenophtlein er 0 mm

Planslip/prøve	13318-D (3A) Antall-vurdering	
Letttilslag	ingen	
Grovt naturtilslag	162 stk, singel av granitt, gneis, maks 16 mm	
Riss i stein (% av stein)	8 (4,9)	
Riss ut i pasta (% av stein)	2 (1,2)	
Riss i pasta (stk/cm ²)	12 (0,05)	
Riss fra overflate	1 stk, 80 mm inn	
Luftpore	maks 4 mm	
Tegn på AAR	ingen	
Tynnslip/prøve	13318-D1 Antal-vurdering	13318-D2 Antall-vurdering
Plassering fra overflate (mm)	30	130
Sementtype	Portland	Portland
Portlanditt	normal	normal
Tilsetningsmateriale	ikke observert	ikke observert
Ekv. V/S- forhold	0,40	0,40
Mikroriss i pastaen	høyt	høyt
Lange mikroriss i pasta*	en del	en del
Luftinnhold (vol %)	1,8	0,7
Lufporer (mm)	0,1-0,2, maks 0,8	0,1-0,2, maks 2
Fint tilslag:	natur	natur
Grovt tilslag	granitt	granitt, mafisk bj.
Risikobergart	ingen	ingen
Reagert tilslag	ingen	ingen
Alkalireaksjon/gel	ingen	ingen
Ettringitt/portlanditt	en del	ingen
Tidlig skade/avlange riss**	få	få

*En del mikroriss er ikke fluorescensimpregnert

**Note: Det ses områder i sement pastaen med avlange riss/porøsiteter muligens pga. tidlig frysing (is-linser)

Vurdering: Det ses ingen tegn på alkalireaksjon i prøven

Foto a v planslip og tynnslip på etterfølgende sider



Foto 1: Boreprøven

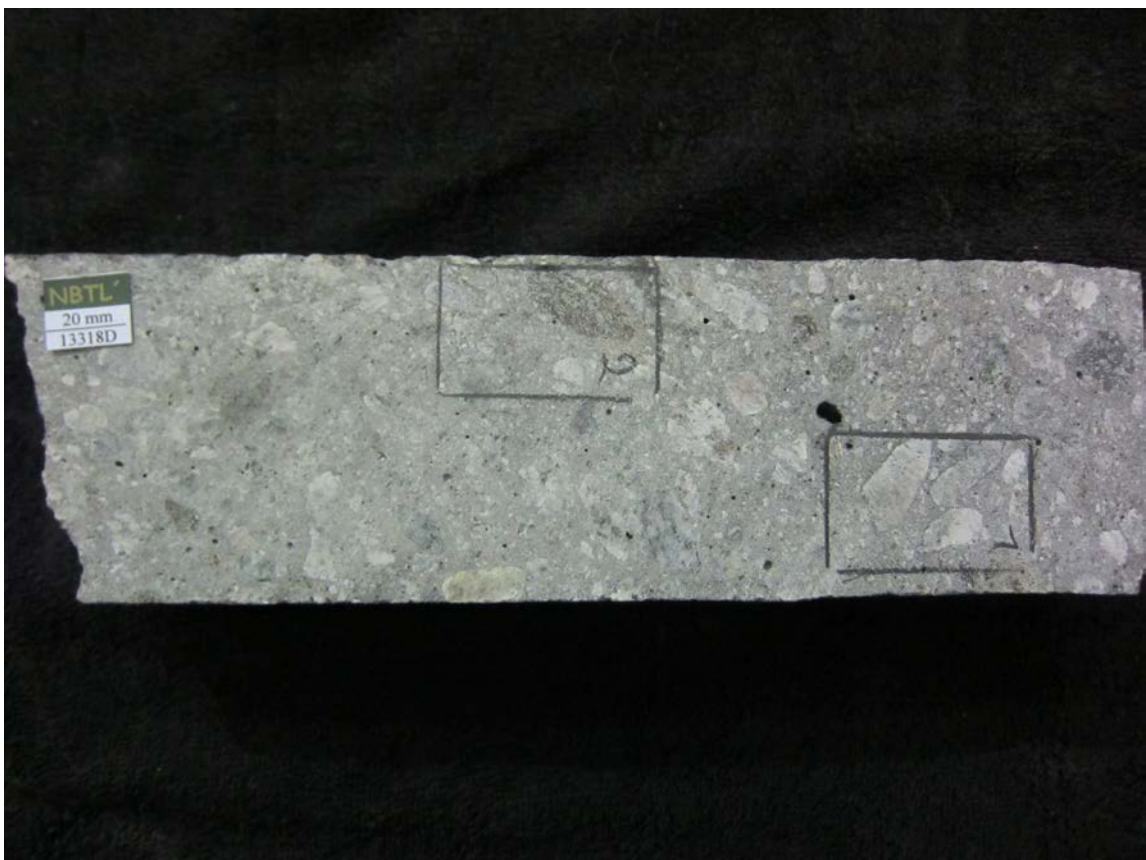


Foto 2: Plassering av tynnslip i prøven



Foto 3: Planslip 13318D

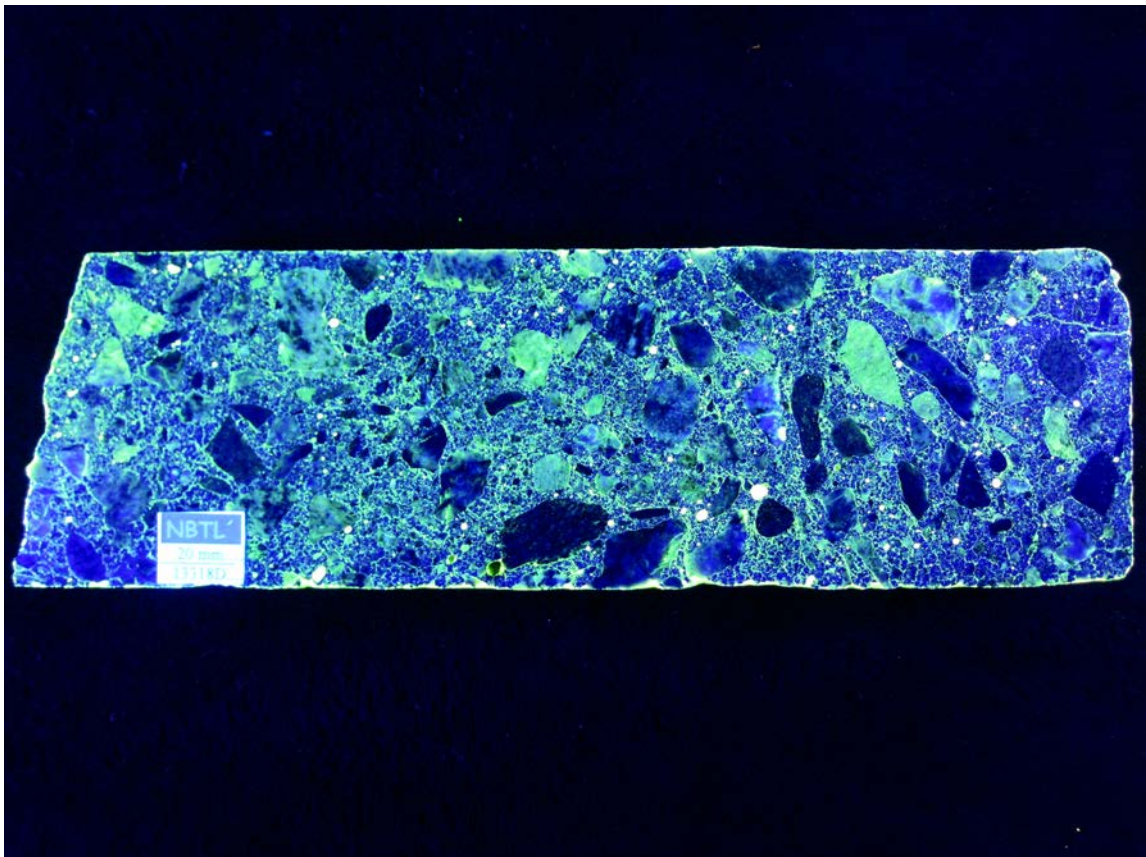


Foto 4: Planslip 13318D i UV-lys

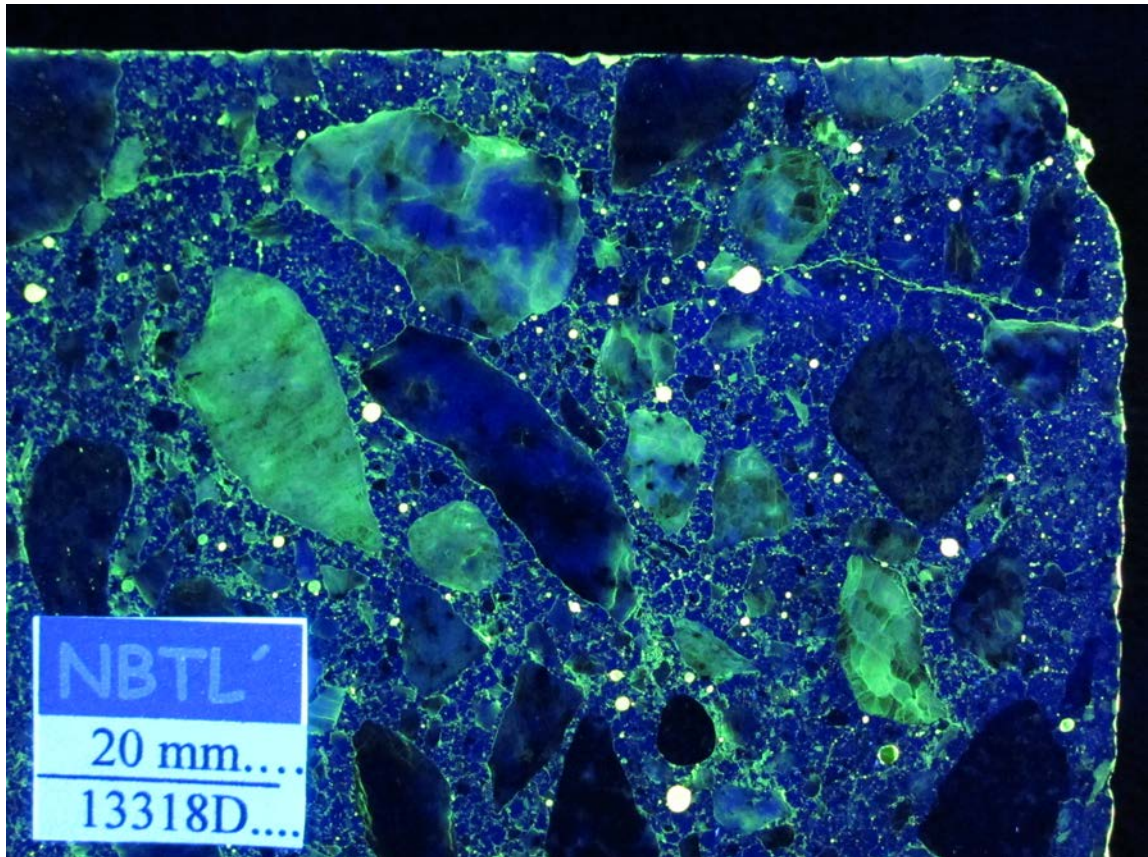


Foto 5: Planslip 13318D i UV-lys, detalje. Merk riss som løper inn fra overflaten

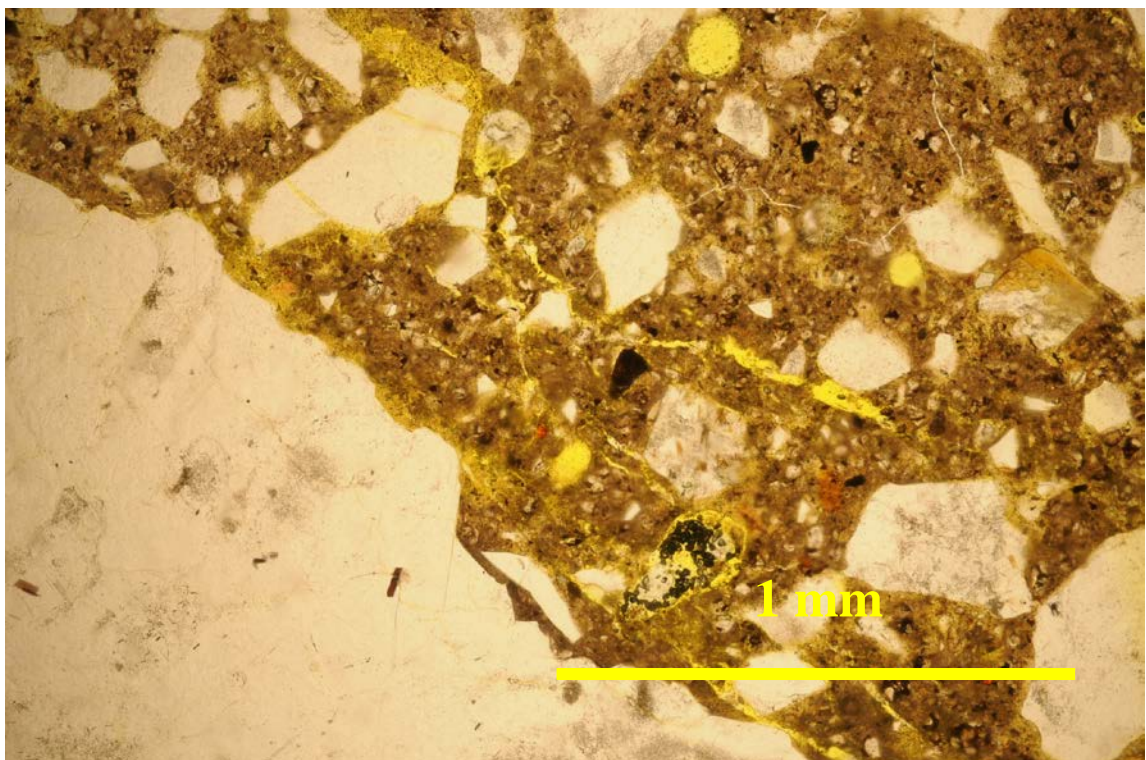


Foto 6: Tynnslip 13318D i planpolarisert lys. Det ses avlange porøsiteter/riss i pastaen som muligens er forårsaket av tidlig frysing (is-linser)

Visuell strukturanalyse

vedlegg 1

Prøve nr: 13318-E (P1)

Borekjernen Ø 104 Lengde 295 mm riss < 0,05 mm i sørsiden

Det ses ingen tegn på alkalireaksjon i boreprøven (renner etc)

Armeringsjern Ø 12 mm, 37 mm, 50 mm, 150 og 240 mm fra nordsiden

Karbonatiseringsdybde med phenophtlein er 0 mm

Planslip/prøve	13318-E (P1) Antall-vurdering		
Letttilslag	389 stk		
Grovt naturtilslag	70 stk, enkelte korn av singel, granitt, gneis, maks 16 mm		
Riss i stein (% av stein)	2 (2,9)		
Riss ut i pasta (% av stein)	0		
Riss i letttilslag (% av letttilsl.)	13 (3,3)		
Riss ut i pasta (% av letttilsl.)	13 (3,3)		
Riss i pasta (stk/cm ²)	17 (0,06)		
Riss fra overflate	1 stk 55 mm inn fra sørsiden, 1 stk 55 mm inn fra nordsiden		
Luftpore	maks 3 mm		
Tegn på AAR	ingen		
Tynnslip/prøve	13318-E1 Antal-vurdering	13318-E2 Antal-vurdering	13318-E3 Antal-vurdering
Plassering fra overflate (mm)	nordsiden	135 fra nordsiden	sørsiden
Sementtype	Portland	Portland	Portland
Portlanditt	Normal-høy	Normal-høy	normal
Tilsetningsmateriale	ikke observert	ikke observert	ikke observert
Ekv. V/S- forhold	0,45	0,45	0,45
Mikroriss i pastaen*	høy	høy	høy
Lange mikroriss i pasta	en del	en del	en del
Luftinnhold (vol %)	1,7	3,5	2,0
Lufporer (mm)	0,1-0,2, maks 1	0,1-0,2, maks 2	0,1-0,2, maks 3
Fint tilslag:	natur	natur	natur
Grovt tilslag	granitt, gneis	granitt	granitt, feltspatisk bj.
Letttilslag	liapor	liapor	liapor
Risikobergart	ingen	ingen	ingen
Reagert tilslag	ingen	ingen	ingen
Alkalireaksjon/gel	ingen	ingen	ingen
Ettringitt/portlanditt	en del	få	få
Riss ut fra letttilslag	8 ut av 20	ingen	2 ut av 25
Riss i overflate og inn (mm)	27 inn til letttilslag	ingen	3
Karbonatisering (mm)	18 (i sprekk)	ingen	24

*En del mikroriss er ikke fluorescensimpregnert

Note: Ettringitt og portlanditt i noen sprekker og porer. Karbonatisering i sprekker og i kontaktzone til letttilslag

Vurdering: Det ses ingen tegn på alkalireaksjon i prøven

Foto av planslip og tynnslip på etterfølgende sider



Foto 1: Boreprøven. Sørsiden er til venstre i bildet

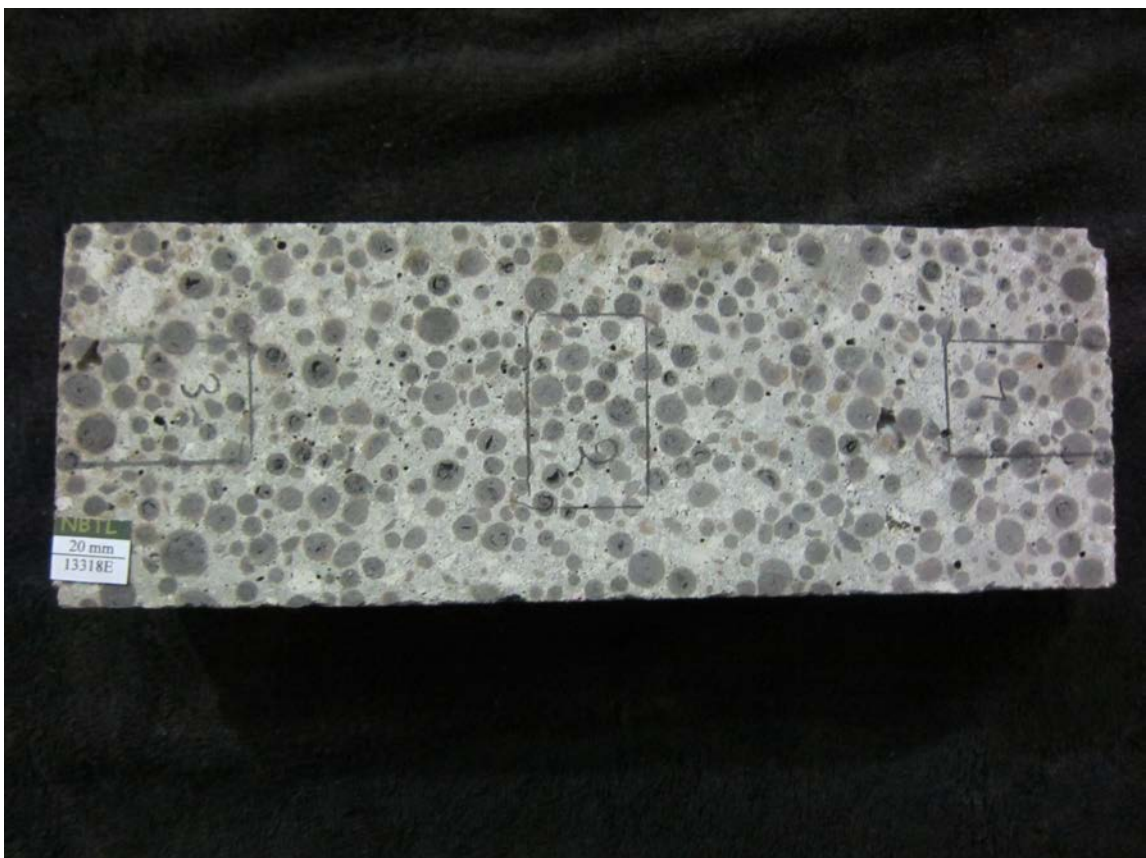


Foto 2: Plassering av tynnslip i prøven. Sørsiden er til venstre i bildet



Foto 3: Planslip 13318E. Nordsiden til høyre i bildet

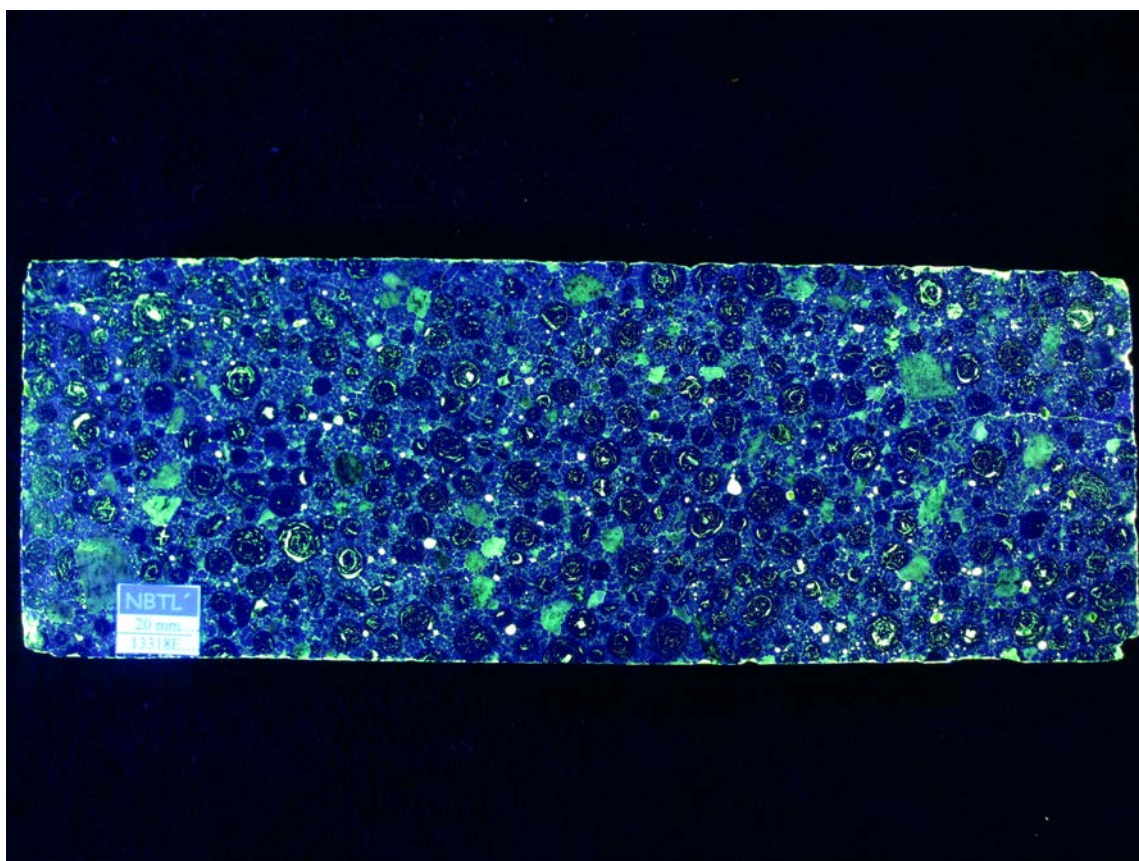


Foto 4: Planslip 13318E i UV-lys. Nordsiden til høyre i bildet

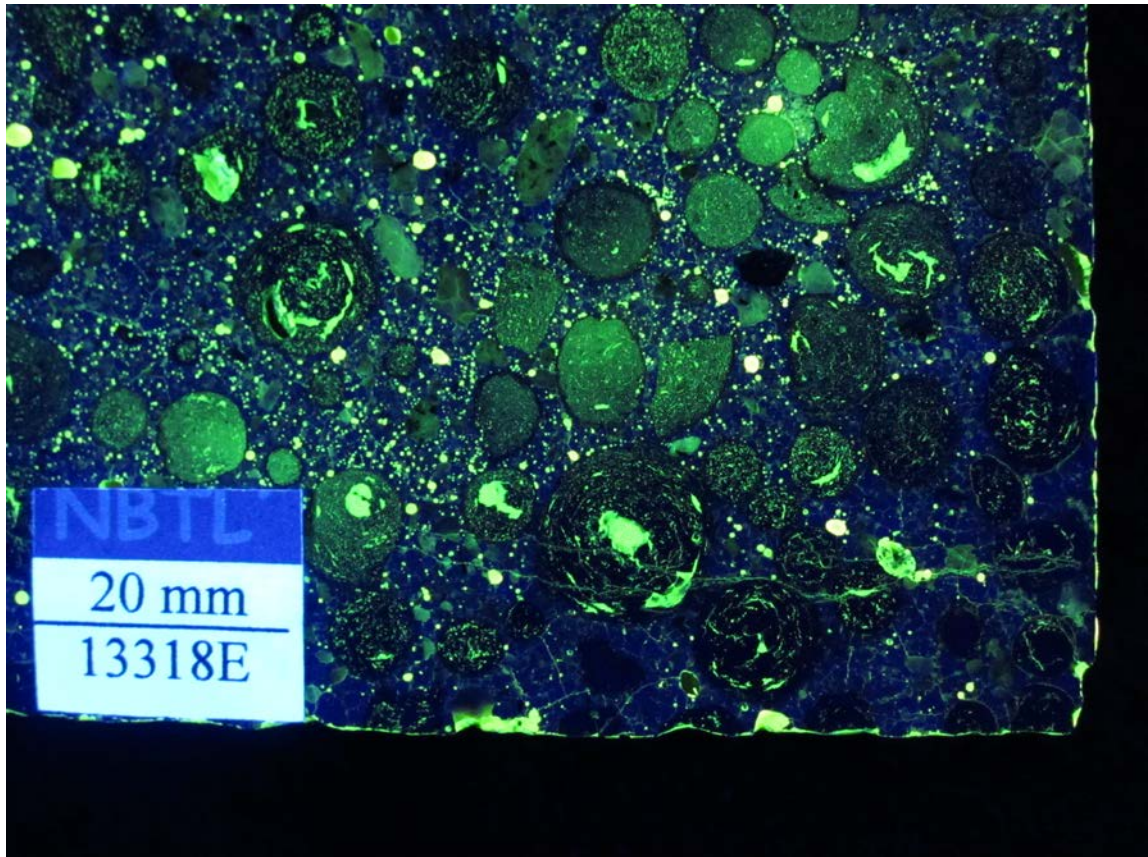


Foto 5: Planslip 13318E i UV-lys, detalj av sørsiden. Merk riss som går inn i betongen

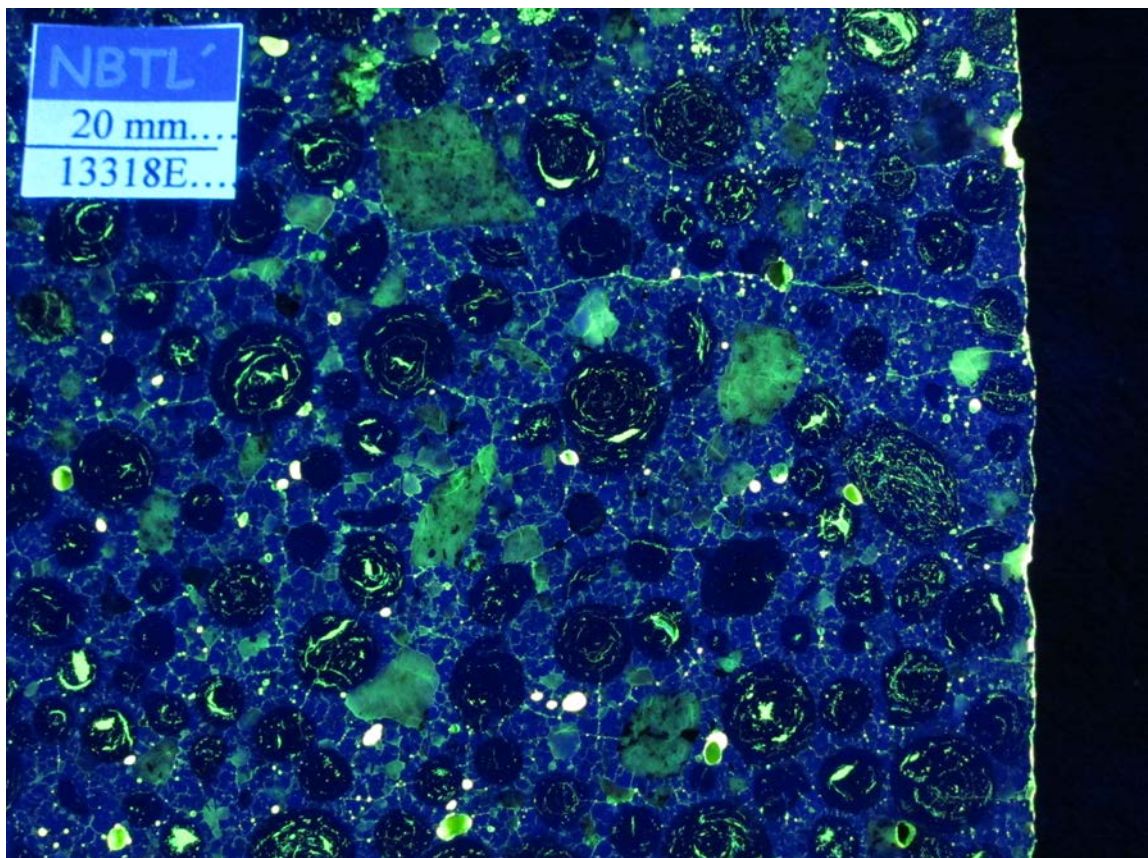


Foto 6: Planslip 13318E i UV-lys, detalj av nordsiden. Merk riss som går inn i betongen

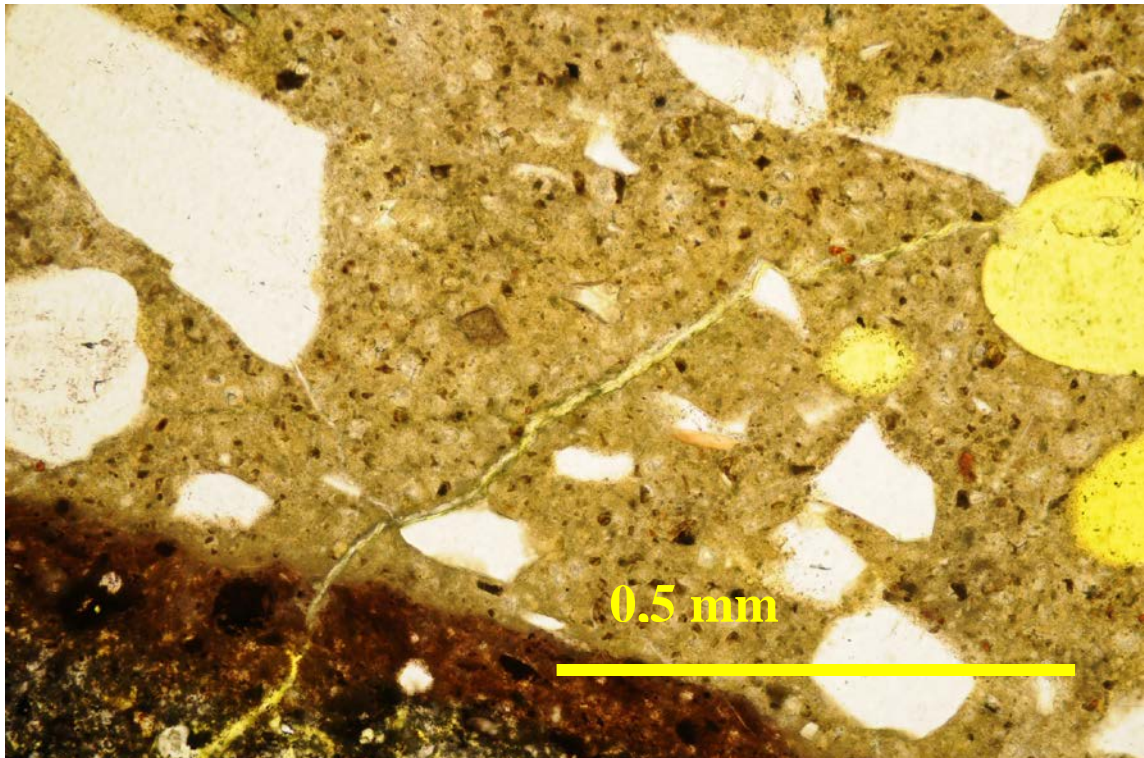


Foto 7: Tynnslip 13318E1 i planpolarisert lys. Riss med utfellingsprodukter som løper ut fra letttilslag

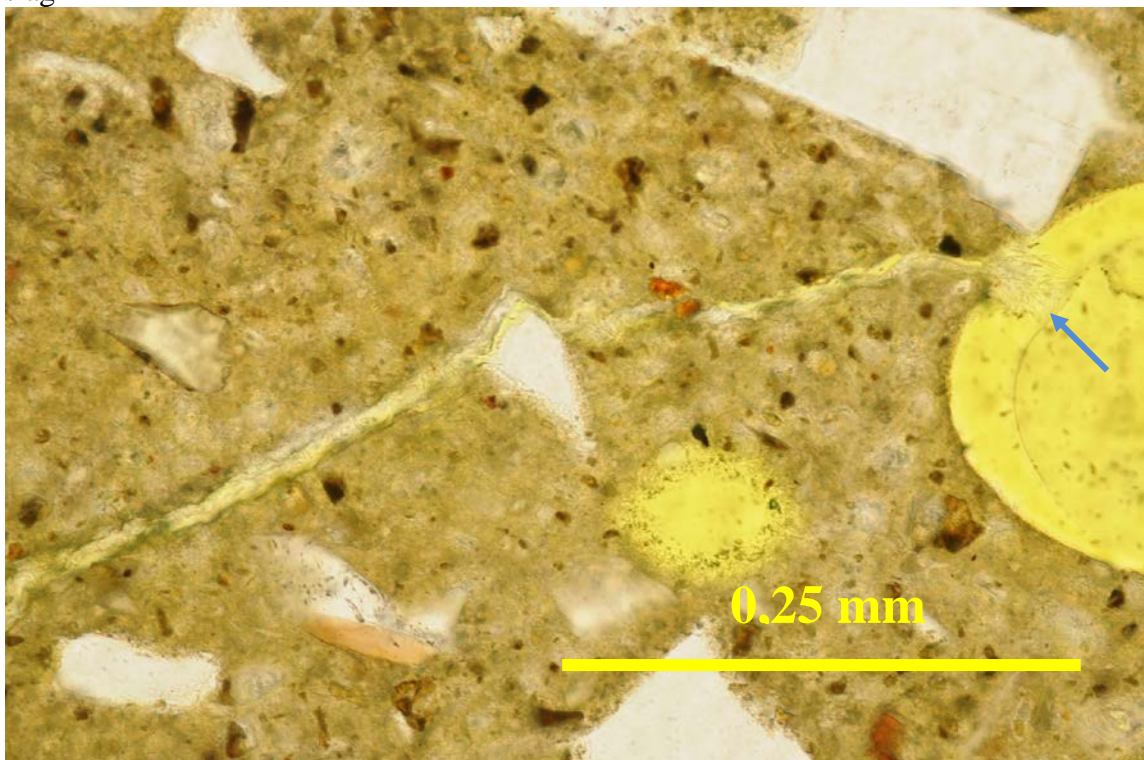


Foto 8: Tynnslip 13318E1 i planpolarisert lys. Riss med utfellingsprodukter som løper ut fra letttilslag. Merk ettringitt i luftporen (pil)

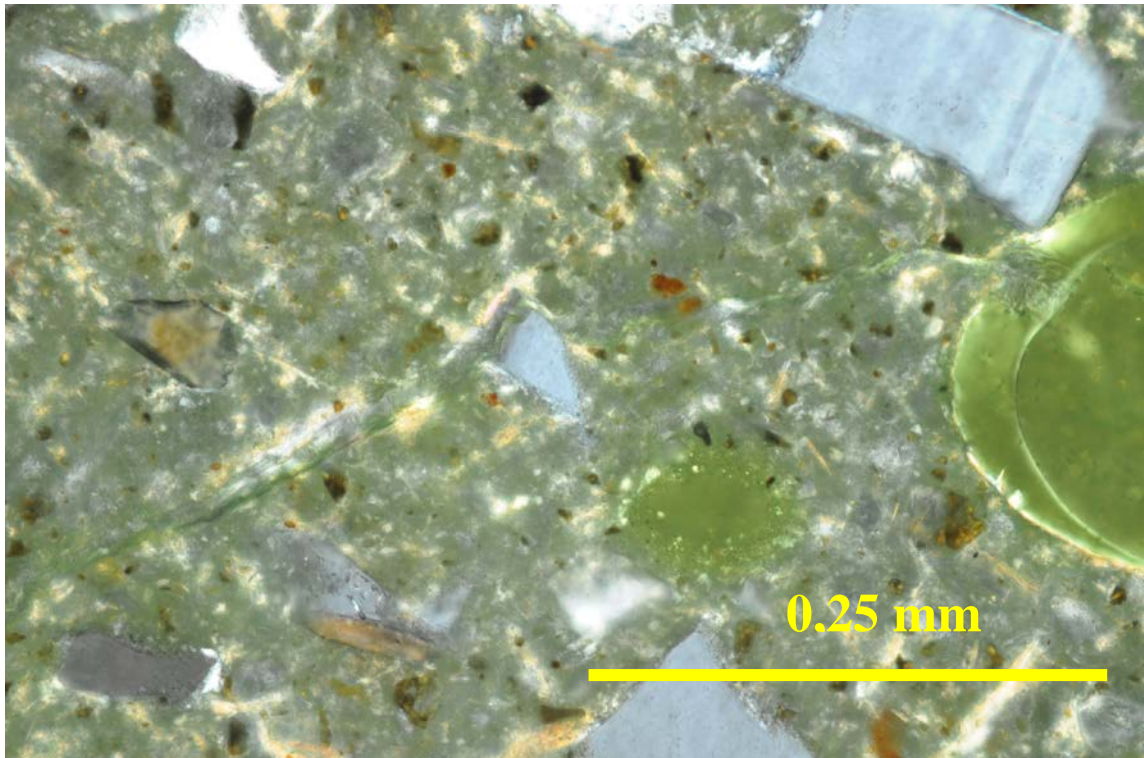


Foto 9: Tynnslip 13318E1 i polarisert lys. Ufellingprodukter er krystalline og sannsynligvis ettringitt.

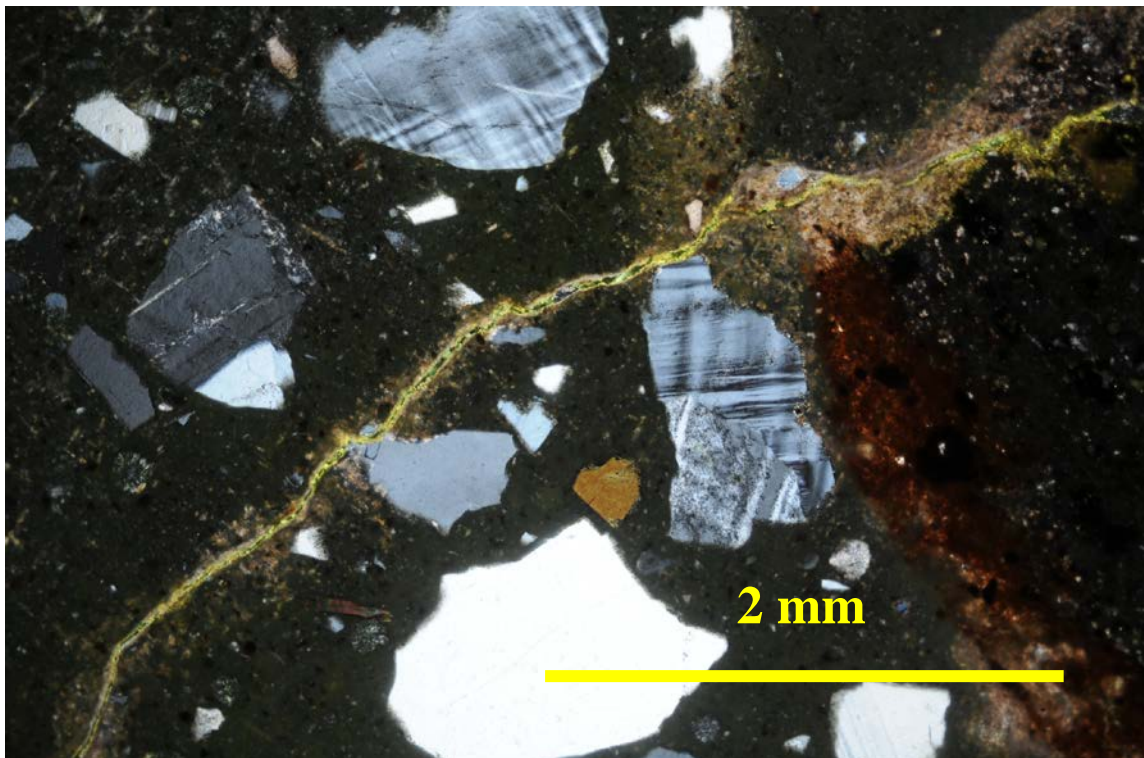


Foto 10: Tynnslip 13318E1 i polarisert lys. Merk karbonatisering om riss

Visuell strukturanalyse

vedlegg 1

Prøve nr: 13318F (P2)

Borekjernen Ø 104

Lengde 302 mm. Ingen synlige riss i overflater
Det ses ingen tegn på alkalireaksjon i boreprøven (renner etc).
Karbonatiseringsdybde med phenophtlein er 0-2 mm

Planslip/prøve	13318-F (P2) Antall-vurdering
Letttilslag	ingen
Grovt naturtilslag	150 stk, singel av granitt, gneis, maks 22 mm (partikkel sprang)
Riss i stein (% av stein)	8 (5,3)
Riss ut i pasta (% av stein)	0
Riss i pasta (stk/cm ²)	12 (0,04)
Riss fra overflate	2 stk 12 mm inn i fra utboringsiden
Luftpore	maks 7 mm
Tegn på AAR	ingen
Tynnslip/prøve	
Plassering fra overflate (mm)	90
Sementtype	Portland
Portlanditt	lav-normal
Tilsetningsmateriale	udispergert silikastøv, ca 0,1 mm
Ekv. V/S- forhold	0,45
Mikroriss i pastaen*	høy
Lange mikroriss i pasta**	høy
Luftinnhold (vol %)	2,3
Lufporer (mm)	0,1-0,2, maks
Fint tilslag:	natur
Grovt tilslag	granitt
Risikobergart	ingen
Reagert tilslag	ingen
Alkalireaksjon/gel	ingen
Ettringitt/portlanditt	ingen
Annen utfelling	jernhydroksyd i få luftporer/riss

*En del mikroriss er ikke fluorescensimpregnert

****Note:** Flere lange mikroriss er i forbindelse med udispergerte silikastøvpartikler. . Udispergerte partikler inneholder "svinnriss" som antyder partiklene har reagert i betongen

Vurdering: Det ses ingen tegn på alkalireaksjon i prøven. Mulig rissdannelse fra udispergerte silikastøvpartikler

Foto a v planslip og tynnslip på etterfølgende sider



Foto 1: Boreprøven. Utboringssiden er til høyre i bildet



Foto 2: Plassering av tynnslip i prøven.. Utboringssiden er til høyre i bildet



Foto 3: Planslip 13318F. Utboringssiden er til høyre i bildet

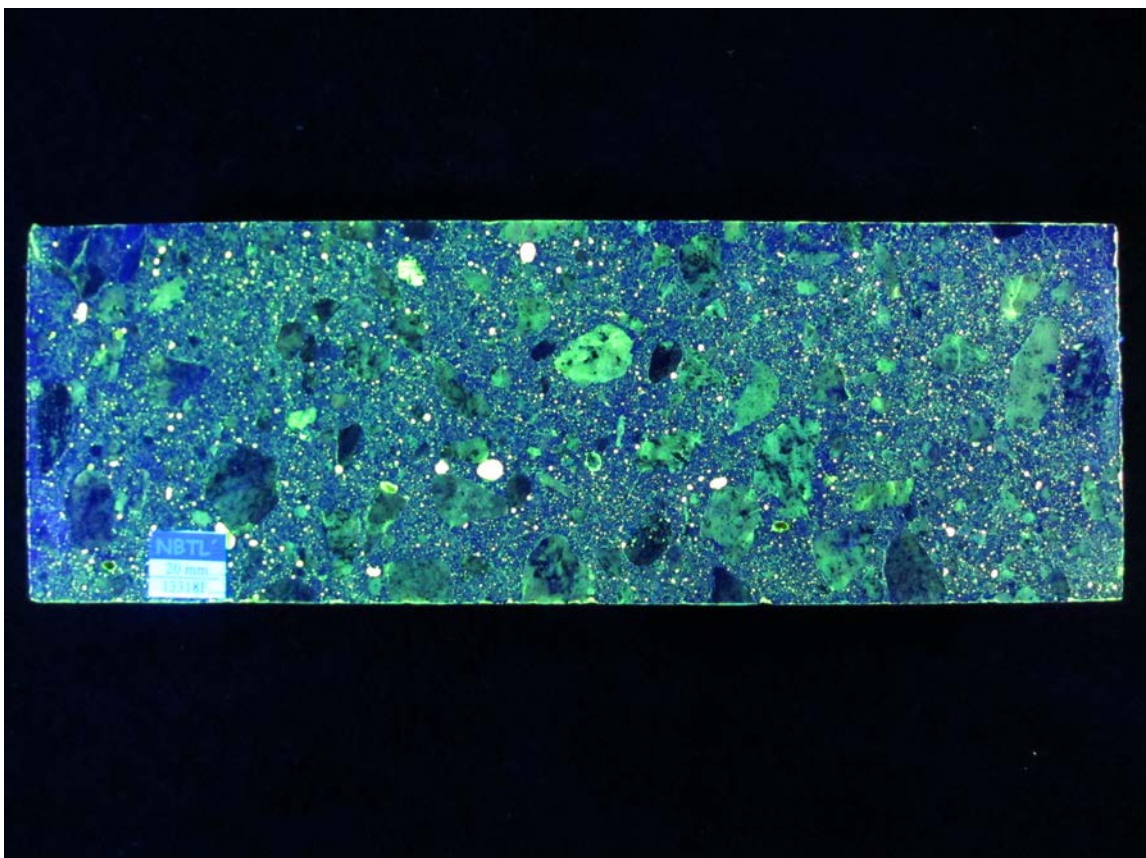


Foto 4: Planslip 13318F i UV-lys

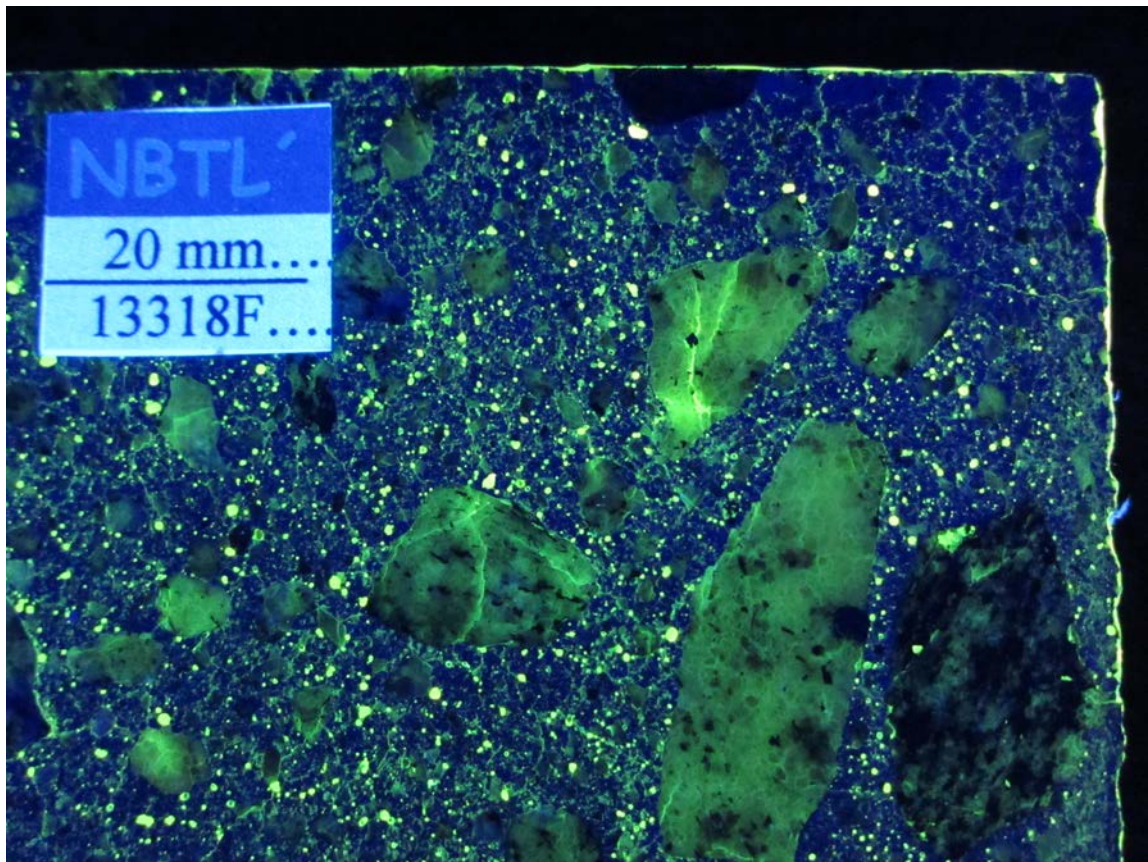


Foto 5: Planslip 13318F i UV-lys, detalj. Merk riss i flere granitt tilslag

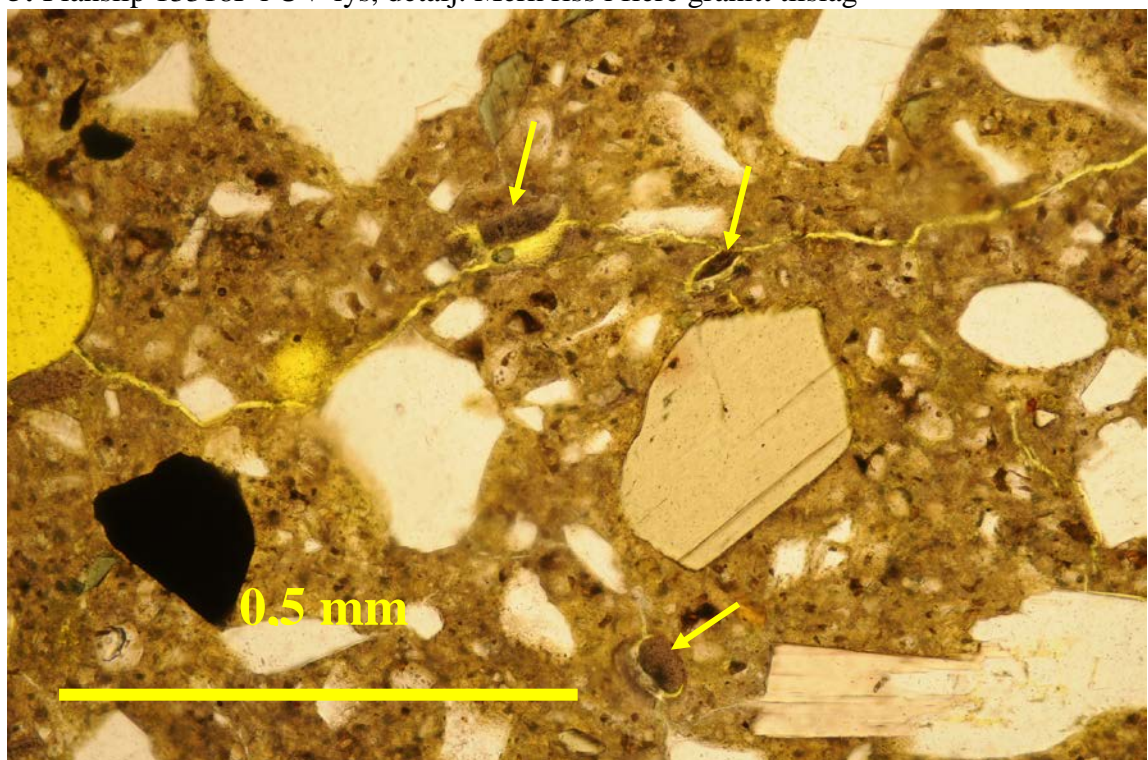


Foto 6: Tynnslip 13318F i planpolarisert lys. Det ses udispergerte silikapartikler (pile) og en lang mikroriss.

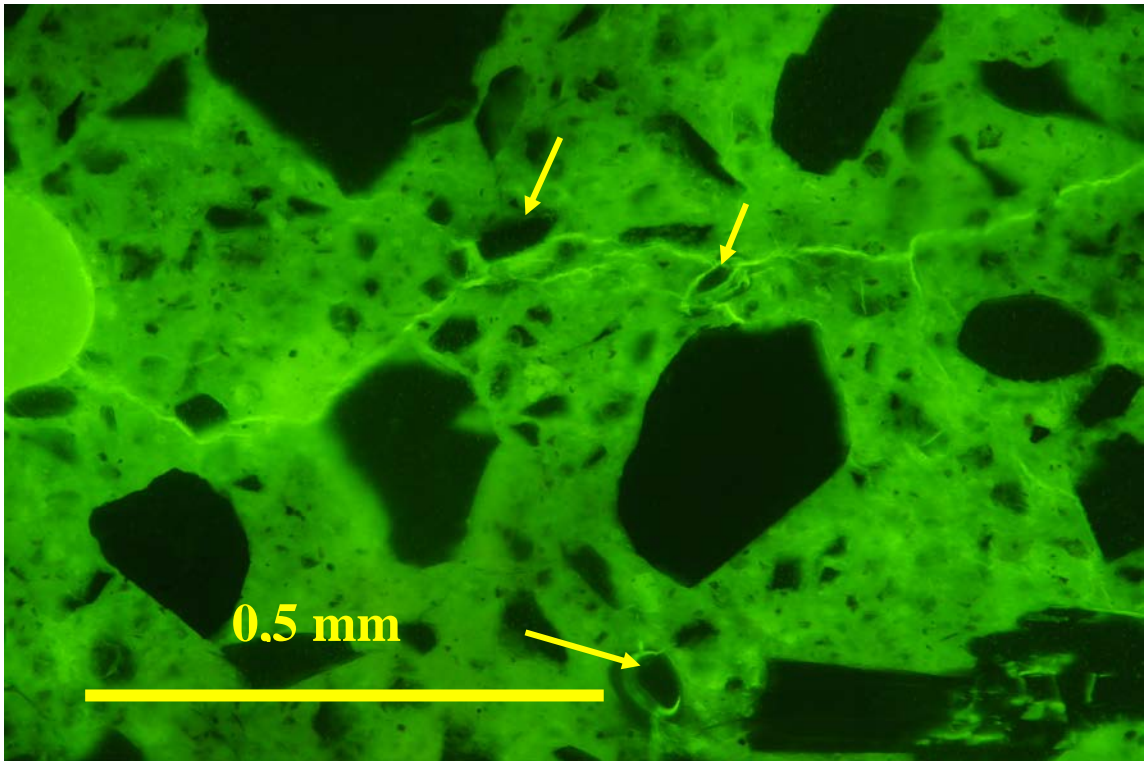


Foto 7: Tynnslip 13318F i fluorescerende lys. Merk udispergerte silikapartikler (pile) og mikroriss

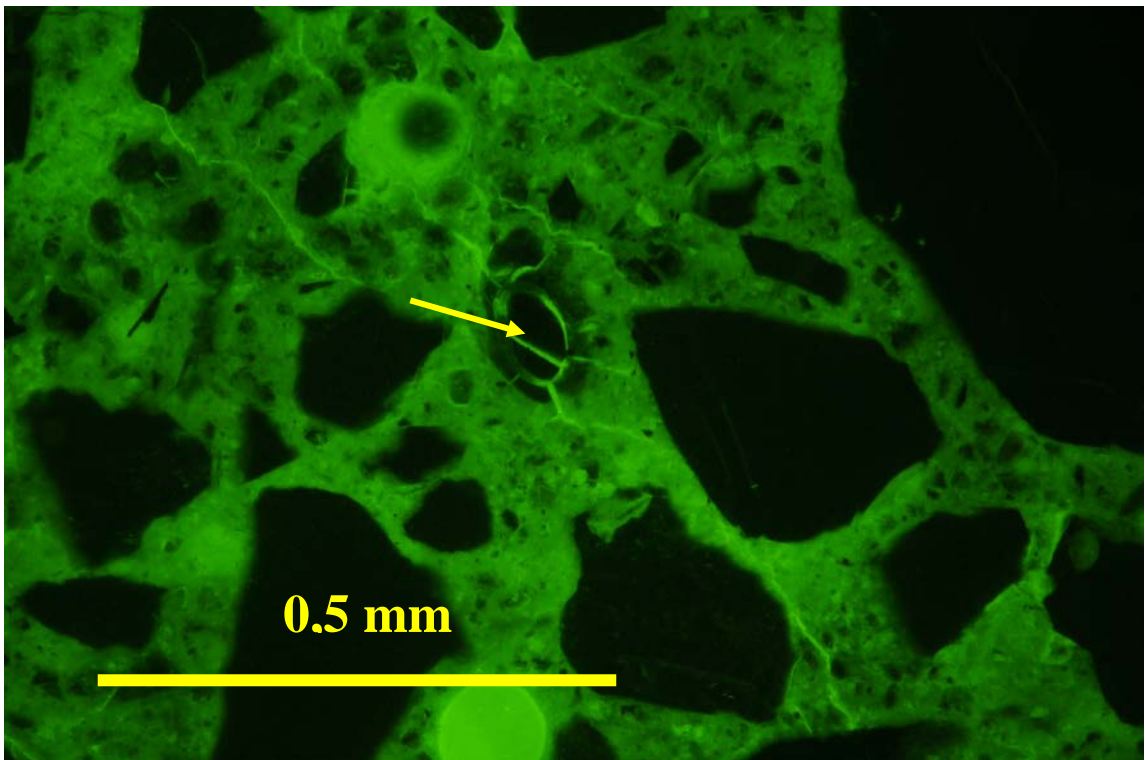


Foto 8: Tynnslip 13318F i fluorescerende lys. Merk udispergert silikapartikel (pil) og mikroriss



Statens vegvesen
Vegdirektoratet
Publikasjonsekspedisjonen
Postboks 8142 Dep 0033 OSLO
Tlf: (+47 915) 02030
publvd@vegvesen.no

ISSN: 1893-1162

vegvesen.no

Trygt fram sammen