

Rekvirent:

Kirkelig fellesråd i Oslo
Akerssbakken 32
Postbox 2674 – St. Hanshaugen
N-0131 Oslo

FORELØBIG KOPI

Sag: 070705

Dato: 28. august 2007

Rapport nr.: R070705

Side 1 af 48

RAPPORT

Bygværk:

Oslo Domkirke

Prøver:

Puds- og mørtelprøver med farvelag
(i alt 14 stk.)

Undersøgelser:

Tyndslibsanalyser:
■ Farve-, puds- og mørtelanalyser

Oplæg.....	side 2
Sammenfatning og vurdering af resultater.....	side 4
Tyndslibsanalyser.....	side 12
Fotodokumentation	side 38

Torben Seir Hansen
Geolog, Cand. Scient.

SEIR-materialanalyse A/S

H.P. Christensensvej 1, DK-3000, Helsingør

Tlf: +45 49 21 97 16

Fax: +45 49 21 97 28

E-mail: tsh@seir-analyse.dk

Oplæg

Rekvirent

Kirkelig fellesråd i Oslo
Akerssbakken 32
Postbox 2674 – St. Hanshaugen
N-0131 Oslo

Laboratoriets kontakt

A.L.Høyer as
Hammersborg Torg 3
N-0179 Oslo

Kontaktperson: Margrethe Moe

Tlf: +47 23 27 80 39
Fax: +47 23 27 80 01
Mobil: +47 91 84 39 37
E-mail: mm@allhoyer.no

Prøvemateriale

Prøvematerialet består af følgende prøver modtaget den 27. juli 2007:

Prøve nr.	Mærket	Prøvetype	Prøvetagningssted (oplyst af kontakt)	Undersøgelser
P070705-1	200607/01	Flageformede brudstykker af gråbrun, svagt rødlig puds Dimensioner: op til 29 x 68 mm Pudstykkelse: op til 12 mm	Sokkelpuss tverrskip SV-hjørne 1800-talls sokkel	Tyndslibsanalyse (Tyndslib T1)
P070705-2	200607/02	Flageformede brudstykker af gråbrun, svagt rødlig puds Dimensioner: op til 30 x 54 mm Pudstykkelse: op til 5 mm	Sokkelpuss SV-hjørne 1800-talls sokkel	Tyndslibsanalyse (Tyndslib T1)
P070705-3	Kerne 1 Av SV-vegg	Borekerne med gråbrun, svagt rødlig puds yderst og sort kalksten inderst Dimensioner: Ø29 x 117 mm	Sokkel SV-vegg	Tyndslibsanalyse (Tyndslib T2)
P070705-4	Kerne 2 av SV-vegg	Borekerne med gråbrun, svagt rødlig, lysegrå og brunlig puds yderst, og sort kalksten inderst Dimensioner: Ø29 x 165 mm Pudstykkelse: 38 mm	Sokkel SV-vegg	Tyndslibsanalyse (Tyndslib T3)
P070705-5	Kerne 3 av SV-hjørne	Borekerne med grå mørtel yderst og rødlig granit inderst Dimensioner: Ø43 x 53 mm Pudstykkelse: 38 - 46 mm	Sokkel SV-hjørne	Tyndslibsanalyse (Tyndslib T4)
P070705-6	060707/01	Brudstykker af hvid mørtel Dimensioner: op til 51 x 50 x 29 mm	NØ-vegg Nordre tverrskip Oppr. muremørtel	Tyndslibsanalyse (Tyndslib T5)
P070705-7	180707/02	Brudstykke af hvid mørtel (mørteltunge) med tilsmudset overflade Dimensioner: 43 x 29 x 22 mm	Ø-vegg Nordre tverrskip Gjenmurt vindu	Tyndslibsanalyse (Tyndslib T5)

Fortsættes

P070705-8	230707/01	Udkåret stykke af hvid mørtel Dimensioner: 34 x 18 x 9 mm Fugetykkelse: 9 mm	V-vegg Nordre tverrskip Fugemørtel	Tyndslibsanalyse (Tyndslib T6)
P070705-9	180707/01	Brudstykker af hvid mørtel med gulbrunt farvelag Dimensioner: op til 8 x 15 mm Pudstykkelse: max. 3 mm	Sakristi Gul farge	Tyndslibsanalyse (Tyndslib T7)
P070705-10	180707/03	Brudstykker af hvid mørtel med mørkerødt farvelag Dimensioner: op til 15 x 20 mm Pudstykkelse: max. 4 mm	Sakristi Rød farge	Tyndslibsanalyse (Tyndslib T8)
P070705-11	180707/04	Brudstykker af hvid mørtel med tilsmudset, gulligt farve- lag Dimensioner: op til 10 x 20 Pudstykkelse: max. 7 mm	Sakristi Hvit på gul	Tyndslibsanalyse (Tyndslib T9)
P070705-12	180707/05	Brudstykker af hvid mørtel med gulbrunt farvelag Dimensioner: op til 7 x 10 mm Pudstykkelse: max. 2 mm	Sakristi Gul med hvit	Tyndslibsanalyse (Tyndslib T10)
P070705-13	180707/06	Brudstykker af hvid mørtel med mørkerødt farvelag Dimensioner: op til 7 x 9 mm Pudstykkelse: max. 1 mm	Sakristi Rød	Tyndslibsanalyse (Tyndslib T11)
P070705-14	180707/07	Brudstykker af hvid mørtel med gråsort, tilsmudset farve- lag Dimensioner: Op til 21 x 23 mm Pudstykkelse: max. 9 mm	Sakristi Rød med hvit	Tyndslibsanalyse (Tyndslib T12)

Skema 1: Beskrivelse og registrering af prøvematerialet

Undersøgelser

Der er fremstillet og analyseret tyndslib af alle prøver. Analysen omfatter for hver prøve:

- Beskrivelse af prøvens opbygning
- Beskrivelse af pudsens/mørtlens bestanddele
- Bestemmelse af pudsens/mørtlens sammensætning; det vil sige bestemmelse af mængden af henholdsvis tilslag, bindemiddel og luft. Bestemmelsen er udført ved punkttælling
- Beskrivelse og bestemmelse af evt. forekommende farvelag
- Vurdering af bindemiddeltyper (mørteltyper)
- Vurdering af omdannelses- og nedbrydningstegn

Resultater

Resultatet af undersøgelsen fremgår af afsnittet: *Tyndslibsanalyser*. Resultaterne er endvidere sammenfattet og vurderet i afsnittet: *Sammenfatning og vurdering*.

Forbehold

De anførte resultater er alene baseret på materialet i de undersøgte prøver og gælder kun for de pågældende konstruktioner som helhed, i den udstrækning de undersøgte prøver er repræsentative.

Sammenfatning og vurdering af resultater

Der er undersøgt i alt 11 stk. pudsprøver med farvelag og 3 stk. prøver af murings- og fugemørtel. Alle prøver er udtaget fra Oslo Domkirke. Undersøgelsen er udført ved tyndslibsanalyse. Resultatet af tyndslibsanalyserne fremgår af efterfølgende sider i rapporten. Nedenfor er sammenfattet de væsentligste resultater. Der er endvidere udført en vurdering af de oprindelige blandingsforhold til de anvendte mørtler. Vurderingen er baseret på resultatet af de udførte punkttællinger samt relevante materialeparametre, ligeledes vurderet på baggrund af tyndslibsanalyserne.

Prøver mærket: **200607/01 og 200607/02. Sockelpuds** (Lab nr.: P070705-1 og -2)

Prøverne omfatter gråbrun, svagt rødlig puds, som efter det oplyste er fra 2001. Sammensætningen af de enkelte lag fremgår af efterfølgende:

Sockelpuds	Kalkcementmørtel
Bindemiddel:	Kalk (lufthærdende) og portlandcement (grå)
Tilslag:	Finkornet naturligt sand med største kornstørrelse på 1,2 mm
Brændt skifer:	Nedknust brændt skifer med kornstørrelse op til 2 mm
Blandingsforhold:	Som KC 55/45/500 (5 rummål) tilsat brændt skifer (1 rummål)
Luftindhold:	7 - 9 vol%

Den brændte skifer har formentlig været af typen alunskifer (undertiden benævnt "*rødfyr*").

Der er ikke observeret tegn på anormal omdannelse eller nedbrydning af pudsen.

Prøver mærket: **Kjerne 1 av SV-vegg. Sokkel** (Lab nr.: P070705-3)

Kernen omfatter sort kalksten (inderst) efterfulgt af grå mellemkornet puds (Puds 1) og brungrå, svagt rødlig puds (Puds 2) (yderst). Sammensætningen af de enkelte lag fremgår af efterfølgende:

Puds 2, sokkelpuds	Kalkcementmørtel
Bindemiddel:	Kalk (lufthærdende) og portlandcement (grå)
Tilslag:	Finkornet naturligt sand med største kornstørrelse på 3 mm
Brændt skifer:	Nedknust brændt skifer med kornstørrelse op til 1 mm
Blandingsforhold:	Som KC 55/45/550 (6 rummål) tilsat brændt skifer (1 rummål)
Luftindhold:	4 vol%
Puds 1, ældre puds	Kalkcementmørtel
Bindemiddel:	Portlandcement tilsat lidt luftkalk (kulekalk)
Tilslag:	Fillerfattigt, naturligt sand med største kornstørrelse på 2,5 mm
Blandingsforhold:	Skønsmæssigt som KC 10/90/350. Kulekalk vurderes at være tilsat i begrænset mængde for at opnå en mere egnet konsistens for pudsning
Luftindhold:	6 vol%
Puds 0	Kalksvumme
	Ren kalk svarende til kalken i puds 1
Sokkelsten	Kalksten
	Gråsort kalksten

Puds 2 svarer til den beskrevne sokkelpuds i prøve 200607/01 og 200607/02.

Den anvendte portlandcement i puds 1 er af en ældre grovkornet type fra 1800-tallet.

Kalksvummen i puds 0 kan være påført for at forbedre vedhæftningen af puds 1 til sokkelstenen.

Prøve mærket: **Kjerne 2 av SV-vegg. Sokkel** (Lab nr.: P070705-4)

Kernen omfatter sort kalksten (inderst) efterfulgt af brun puds (Puds 1), lysegrå puds (Puds 2) og brungrå, svagt rødlig puds (Puds 3) (yderst). Kun de tre pudslag er undersøgt. Sammensætningen af disse lag fremgår af efterfølgende:

Puds 3, sokkelpuds	Kalkcementmørtel
Bindemiddel:	Kalk (lufthærdende) og portlandcement (grå)
Tilslag:	Finkornet naturligt sand med største kornstørrelse på 2 mm
Brændt skifer:	Nedknust brændt skifer med kornstørrelse op til 2 mm
Blandingsforhold:	Som KC 55/45/600 (5 rummål) tilsat brændt skifer (1 rummål)
Luftindhold:	5 vol%
Puds 2	Kalkcementmørtel
Bindemiddel:	Kalk (lufthærdende) og portlandcement (grå)
Tilslag:	Finkornet naturligt sand med største kornstørrelse på 1,5 mm, tilsat knust materiale i de finere fraktioner (stenmel)
Blandingsforhold:	Skønsmæssigt som KC 50/50/750
Luftindhold:	13 vol%
Puds 1, ældre puds	Hydraulisk kalkmørtel
Bindemiddel:	Hydraulisk kalk
Tilslag:	Naturligt, fillerfattigt sand med største kornstørrelse på 4 mm
Blandingsforhold:	Skønsmæssigt som 1 rummål kalk til 1 rummål sand (tørre materialer)
Luftindhold:	4 vol%

Puds 3 svarer til den beskrevne sokkelpuds i prøve 200607/01 og 200607/02.

Puds 2 vurderes at være udført kort forinden udførelsen af puds 2.

Den anvendte hydrauliske kalk i puds 1 er af en type, som kan være fra midt i 1800-tallet. Kalken vurderes ikke at være af norsk oprindelse. Kalken vurderes at have haft hydrauliske egenskaber skønsmæssigt svarende til NHL 3 efter EN 459-1¹

¹ Building lime – Part 1: Definitions, specifications and conformity criteria

Prøve mærket: **Kjerne 3 av SV-hjørne. Sokkel** (Lab nr.: P070705-5)

Kernen omfatter rødlig granit (inderst) efterfulgt af grå puds (Puds 1). Yderst optræder enkelte rester af brungrå, svagt rødlig puds (Puds 2) (yderst). Kun de to pudslag er undersøgt. Sammensætningen af disse lag fremgår af efterfølgende:

Puds 2, sokkelpuds	Kalkcementmørtel
Bindemiddel:	Kalk (lufthærdende) og portlandcement (grå)
Tilslag:	Naturligt sand
Brændt skifer:	Nedknust brændt skifer
Blandingsforhold:	Ikke fastlagt
Luftindhold:	Ikke fastlagt
Puds 1	Kalkcementmørtel
Bindemiddel:	Portlandcement (grå) tilsat lidt kalk (lufthærdende)
Tilslag:	Skønsmæssigt som KC 10/90/350. Kulekalk vurderes at være tilsat i begrænset mængde for at opnå en mere egnet konsistens for pudsning
Blandingsforhold:	Skønsmæssigt som KC 10/90/850
Luftindhold:	13 vol%

Puds 2 svarer til den beskrevne sokkelpuds i prøve 200607/01 og 200607/02.

Den anvendte portlandcement i puds 1 er af en ældre grovkornet type fra 1800-tallet.

Prøver mærket: **060707/01 og 180707/02. Ø-vegg, nordre tverrskip**

Muremørtler (Lab nr.: P070705-6 og -7)

Begge prøver omfatter hvid, meget bindemiddelrig mørtel af middel til høj styrke. Sammensætningen fremgår af efterfølgende:

Muremørtel	Kalkmørtel
Bindemiddel:	Kalk (let hydraulisk)
Tilslag:	Naturligt, let fillerfattigt sand med største kornstørrelse på 3 mm sand
Blandingsforhold:	Som 2 rummål kalk (vådlæsket) til 1 del sand
Luftindhold:	2 – 7 vol%

Den anvendte kalk vurderes at være baseret på brændt, sedimentær kalksten fra Oslo området. Kalkstenen har haft et vist indhold af ler og finkornet sand (silt), som efter brændingen har givet kalken hydrauliske egenskaber skønsmæssigt svarende til NHL 2 efter EN 459-1.

Ud fra kalkmørtelens struktur og sammensætning anslås kalkmørtelen at være fra før 1700-tallet.

Prøve mærket: **230707/01. V-vegg, nordre tverrskip. Fugemørtel** (Lab nr.: P070705-8)

Prøven omfatter hvid, meget bindemiddelrig mørtel af middel til høj styrke. Fugens oprindeligt eksponerede overflade fremstår forvitret med svage rester af et gult farvelag (Farvelag 1) og et gråligt farvelag (Farvelag 2). Sammensætningen af de enkelte lag fremgår af efterfølgende:

Farvelag 2	Grålig kalkfarve Tilsat pigment som kønrøg
Farvelag 1	Gullig kalkfarve (kun svage rester er bevaret) Tilsat pigment som gulbrun okker
Muremørtel	Kalkmørtel
Bindemiddel:	Kalk (let hydraulisk)
Tilslag:	Naturligt, let fillerfattigt sand med største kornstørrelse på 3 mm sand
Blandingsforhold:	Som 5 rummål kalk (vådlæsket) til 1 del sand
Luftindhold:	1 vol%

Mørtelen svarer i kalktype og struktur til muringsmørtlerne i prøve 060707/01 og 180707/02. Alderen vurderes at være som for disse.

Bindemidlet er i fugemørtelens eksponerede yderside omdannet til gips til en dybde af 0,2 mm. Gipsdannelse vurderes at være forårsaget af påvirkning fra "sur" svovlholdig nedbør. Bindemidlet i kalkfarven er ligeledes helt omdannet til gips. Det kan ikke helt udelukkes, at det beskrevne farvelag 1 blot repræsenterer en lokal misfarvning på overfladen.

Prøve mærket: **180707/01. Sakristi, gul farge** (Lab nr.: P070705-9)

Prøven omfatter hvid, meget bindemiddelrig mørtel (Puds) med delvist afskallet, gråligt misfarvet, gulgråt farvelag på overfladen. Sammensætningen af de enkelte lag fremgår af efterfølgende:

Farvelag	Gulgrå kalkfarve Tilsat pigment som gul okker og lidt rød jernoxid
Puds	Kalkmørtel Som murings- og fugemørtler (060707/01, 180707/02 og 230707/01)

Det vurderes, at kalkfarven er påført tidsmæssigt kort efter udførelsen af pudsens.

I pudsens ses revner, som vurderes at være opstået som følge af sen læskning af ulæskede kalkklumper i pudsens efter at denne er påført.

Prøve mærket: **180707/01. Sakristi, rød farge** (Lab nr.: P070705-10)

Prøven omfatter hvid, meget bindemiddelrig mørtel (Puds) med delvist afskallet, gråligt misfarvet, mørkerødt farvelag på overfladen. Sammensætningen af de enkelte lag fremgår af efterfølgende:

Farvelag	Mørkerød kalkfarve Tilsat pigment som rød jernoxid. Organisk tilsats (lim) kan være anvendt
Puds	Kalkmørtel Som murings- og fugemørtler (060707/01, 180707/02 og 230707/01)

Det vurderes, at kalkfarven er påført tidsmæssigt kort efter udførelsen af pudsens.

I pudsens ses revner, som vurderes at være opstået som følge af sen læskning af ulæskede kalkklumper i pudsens efter at denne er påført.

Prøve mærket: **180707/04. Sakristi, hvid på gul** (Lab nr.: P070705-11)

Prøven omfatter hvid, meget bindemiddelrig mørtel (Puds) med delvist afskallet, gråligt misfarvet, gulgråt farvelag (Farvelag 1) efter af et hvidt farvelag (Farvelag 2). Sammensætningen af de enkelte lag fremgår af efterfølgende:

Farvelag 2	Hvid kalkfarve Ikke pigmenteret
Farvelag 1	Gulgrå kalkfarve Tilsat pigment som gul okker og lidt rød jernoxid
Puds	Kalkmørtel Som murings- og fugemørtler (060707/01, 180707/02 og 230707/01)

Det vurderes, at begge kalkfarvelag er påført tidsmæssigt kort efter udførelsen af pudsens.

Prøve mærket: **180707/05. Sakristi, gul farge med hvit** (Lab nr.: P070705-12)

Prøven omfatter hvid, meget bindemiddelrig mørtel (Puds) med delvist afskallet, gråligt misfarvet, gulgråt farvelag. Sammensætningen af de enkelte lag fremgår af efterfølgende:

Farvelag	Gulgrå kalkfarve Tilsat pigment som gul okker og lidt rød jernoxid
Puds	Kalkmørtel Som murings- og fugemørtler (060707/01, 180707/02 og 230707/01)

Det vurderes, at kalkfarven er påført tidsmæssigt kort efter udførelsen af pudsen.

I pudsen ses revner, som vurderes at være opstået som følge af sen læskning af ulæskede kalkklumper i pudsen efter at denne er påført. Læskningen kan have medført udfældning af hvid kalk på kalkfarvens overflade.

Prøve mærket: **180707/06. Sakristi, rød farge** (Lab nr.: P070705-13)

Prøven omfatter hvid, meget bindemiddelrig mørtel (Puds) med delvist afskallet, gråligt misfarvet, mørkerødt farvelag på overfladen. Sammensætningen af de enkelte lag fremgår af efterfølgende:

Farvelag	Mørkerød kalkfarve Tilsat pigment som rød jernoxid. Organisk tilsats (lim) kan være anvendt
Puds	Kalkmørtel Som murings- og fugemørtler (060707/01, 180707/02 og 230707/01)

Det vurderes, at kalkfarven er påført tidsmæssigt kort efter udførelsen af pudsen.

Prøve mærket: **180707/07. Sakristi, rød med hvid** (Lab nr.: P070705-14)

Prøven omfatter et hjørnestykke af hvid, meget bindemiddelrig mørtel (Puds 1) med rødligt farvelag (Farvelag 1) efterfulgt af et tyndt, hvidt pudslag (Puds 2) med enkelte rester af et hvidt farvelag (Farvelag 2) på overfladen. Sammensætningen af de enkelte lag fremgår af efterfølgende:

Farvelag 2	Hvid kalkfarve Ikke pigmenteret
Puds 2	Kalkmørtel Meget bindemiddelrig, iblandet lidt organiske fibre (dyrehår)
Farvelag 1	Rød kalkfarve Tilsat pigment som rød jernoxid. Organisk tilsats (lim) kan være anvendt
Puds 1	Kalkmørtel Som murings- og fugemørtler (060707/01, 180707/02 og 230707/01)

Det vurderes at farvelag 1 er påført tidsmæssigt kort efter udførelsen af pudsen. Puds 2 er påført på et tidspunkt, hvor puds 1 og farvelag 1 har haft nedbrudt overflade.

Tyndslibsanalyser

Prøver mærket: **200607/01 og 200607/02. Sockelpuss** (Lab nr.: P070705-1 og -2)

Makroskopisk beskrivelse af prøverne

Begge prøver består af afhuggede flager af gråbrun, svagt rødlig mørtel (puds). Flagerne er mellem 4 og 12 mm tykke og har let ujævne (kornede) ydersider. Flagernes bagsider er glatte og repræsenterer formentlig kontaktfladerne mod underlaget. Pudsens styrke vurderes som middel.

Mikroskopisk beskrivelse af prøverne set i tyndslibet

Mørtlerne, som udgør pudsen, i de to prøver er stort set identiske og består af følgende delmaterialer:

Tilslag: 43 vol%¹⁾ (prøve /01) – 46 vol% (prøve /02)

Kantrundede korn af granit og gneiss samt mineralkorn af kvarts og feldspat. Største kornstørrelse i tyndslibet er 1,2 mm. Tilslaget kan karakteriseres som et finkornet naturligt sand.

Bindemiddel: 34 vol% (prøve /01) – 35 vol% (prøve /02)

Mikrokrystallin grundmasse af kalk og carbonatiseret cementgel med korn og klumper af følgende bindemiddeltyper:

Kalk uden urenheder: Enkelte hvide, afrundede klumper af mikrokrystallin kalk uden urenheder. Tværmål op til 0,1 mm. Klumperne udgør mindre end 1 vol% af bindemidlet i begge prøver.

Krystalline korn med cementklinkermineraller: Grålige, kantrundede til afrundede korn på op til 120 µm (enkelte dog op til 200 µm) med cementklinker-mineralerne ferrit (C₄AF), alit (C₃S) og belit (C₂S), som er karakteristiske for **Portlandcement**. Kornene er ensartede i struktur og sammensætning. Kornene udgør henholdsvis 4 vol% (prøve /01) og 5 vol% (prøve /02) af bindemidlet.

Bindemidlet er fuldt carbonatiseret med undtagelse af de største cementkorn.

Brændt skifer: 14 vol% (prøve /01) – 12 vol% (prøve /02)

Rødbrune, typisk flageformede korn med højt indhold af røde til rødbrune jernforbindelser (jernoxid). (foto 1 og 2). Derudover stedvis okker og et sort, muligvis organisk materiale. De flageformede korn er op til 2 mm lange. Udover jernforbindelser ses stedvis krystaller af gips.

Luft: 9 vol% (prøve /01) – 7 vol% (prøve /02)

Pudsen indeholder noget luft i form af kugleformede til let irregulære luftporer med diameter op til 0,8 mm. Der ses nogle svindrevner.

¹⁾ Mængdeangivelsen vol% betegner det rumfang (faststofrumfang + interne porøsiteter) den pågældende bestanddel optager i materialet

Omdannelses- og nedbrydningstegn

Der er ikke observeret tegn på anormal omdannelse eller nedbrydning af pudsen.

Prøve mærket: **Kjerne 1 av SV-vegg. Sokkel** (Lab nr.: P070705-3)

Makroskopisk beskrivelse af prøven

Prøven består af en borekerne (i 3 dele) omfattende 78 mm sort kalksten (inderst) efterfulgt af 31-36 mm grå mellemkornet puds af høj styrke og 4-5 mm brungrå, svagt rødlig puds svarende til pudsen i prøve 200607/01 og 200607/02 (yderst).

Mikroskopisk beskrivelse af prøven set i tyndslibet

Prøven udviser følgende lagvise opbygning:

	Betegnelse	Lagtykkelse	Beskrivelse
Yderst:	Puds 2	4 – 5 mm	Brungrå mørtel
	Puds 1	35 – 36 mm	Grå mørtel
	Puds 0	0 – 0,3 mm	Hvidt lag af ren kalk
Inderst:	Natursten	max. 4 mm	Sort kalksten (yderste del)

Beskrivelse af puds 2, brungrå mørtel

I mørtelen, som udgør pudsen, kan udskilles følgende delmaterialer:

Tilslag: 52 vol%

Kantrundede korn af granit og gneiss samt nogle mineralkorn af kvarts og feldspat. Største kornstørrelse i tyndslibet er 3,0 mm. Tilslaget kan karakteriseres som et finkornet naturligt sand.

Bindemiddel: 34 vol%

Mikrokrystallin grundmasse af kalk og carbonatiseret cementgel med korn og klumper af følgende bindemiddeltyper:

Kalk uden urenheder: Enkelte hvide, afrundede klumper af mikrokrystallin kalk uden urenheder. Tværmål op til 0,15 mm. Klumperne udgør mindre end 1 vol% af bindemidlet.

Krystalline korn med cementklinkerminerale: Grålige, kantrundede til afrundede korn på op til 100 µm med cementklinker-mineralerne ferrit (C₄AF), alit (C₃S) og belit (C₂S), som er karakteristiske for **Portlandcement**. Kornene er ensartede i struktur og sammensætning. Kornene udgør 4 vol% af bindemidlet.

Bindemidlet er fuldt carbonatiseret med undtagelse af de største cementkorn.

Brændt skifer: 10 vol%

Rødbrune, typisk flageformede korn med højt indhold af røde til rødbrune jernforbindelser (jernoxid). Derudover stedvis okker og et sort, muligvis organisk materiale. De flageformede korn er op til 1 mm lange. Udover jernforbindelser ses stedvis krystaller af gips.

Luft: 4 vol%

Pudsen indeholder noget luft i form af kugleformede til let irregulære luftporer med diameter op til 0,5 mm. Der ses nogle svindrevner.

Beskrivelse af puds 1, grå mørtel

I mørtelen, som udgør pudsen, kan udskilles følgende bestanddele:

Sand: 45 vol%

Sand hovedsagligt bestående af fragmenter af granit/gneiss og vulkanske bjergarter. Mange af korne-
ne er gennemvævet af rustfarvede jernforbindelser. Største kornstørrelse er 2,5 mm. Kornformen er
kantet til kantrundet. Sandet kan karakteriseres som naturligt, fillerfattigt sand.

Bindemiddel: 49 vol%

Mikrokrystallin grundmasse af kalk og carbonatiseret cementgel med spredte korn og klumper af føl-
gende bindemiddeltyper:

Klumper af ren kalk: Lyse, afrundede kalkklumper på op til 0,3 mm bestående af ren mikrokry-
stallin kalk. Klumperne udgør mindre end 1 vol% af bindemidlet.

Korn med velkrystalliserede cementklinkerminerale: Grå til brunlige, kantrundede korn på op
til 0,6 mm (*foto 3*). Kornene består af aggregater af cementklinkerminerale belit (C_2S), alit (C_3S)
og ferrit (C_4AF). Der udover er der observeret flere andre uidentificerede cementklinker-faser samt
glas/slagge og huller efter fri kalk (CaO). Kornene er meget uensartede i struktur og sammensæt-
ning. Kornene udgør 25 vol% af bindemidlet.

Bindemidlet er fuldt carbonatiseret, dog ikke de fleste cementkorn større end ca. 0,05 mm.

Luft: 6 vol%

Pudsen indeholder lidt luft i form af let irregulære luftporer med tværmål op til 2 mm. Der ses ingen
svindrevner.

Beskrivelse af puds 0, hvidt lag af ren kalk

På overfladen af den underliggende kalksten optræder et tyndt lag ren kalk med struktur og udseende
som i kalken de under puds 1 beskrevne rene kalkklumper. Ved modtagelsen var borekernen brudt i

to dele i forbindelse med dette lag. Overgangen til puds 1 er diffus. Der ses ingen tegn på tilsmudning eller tidligere afrensningsforsøg.

Beskrivelse af kalksten

Kalkstenen, som udgør den inderste del af borekernen, er en mørkegrå til næsten sort, meget fossilrig kalksten. Den mørke farve stammer fra tilstedeværende organisk stof eller grafit. Udover kalk (mineralnavn: calcit) er der observeret enkelte korn af kvarts og feldspat. Kalkstenen er en type som optræder i Oslo feltets kalkbjergarter (geologisk alder: ordovicium – silur).

Tidsmæssige relationer samt omdannelses- og nedbrydningstegn

Overfladen af puds 2 viser tegn på behugning/afrensning på tidspunktet for påføringen af den yderste puds 2. Kalken i puds 0 vurderes at være udført umiddelbart før påføringen af puds 1 – muligvis som en form for svumme for at forbedre vedhæftningen til kalkstenen. Der er ikke observeret tegn på ældre puds eller farvelag på stenens overflade.

Der ses en enkelt overfladeparallel, gipsfyldt revne med vidde op til 0,03 mm ca. 0,2 mm fra kalkstens overflade. Der er ikke observeret andre tegn på anormal omdannelse eller nedbrydning.

Prøve mærket: **Kjerne 2 av SV-vegg. Sokkel** (Lab nr.: P070705-4)

Makroskopisk beskrivelse af prøven

Prøven består af en borekerne (i 3 dele) omfattende 135 mm sort kalksten (inderst) efterfulgt af 16-25 mm brun puds af høj styrke, 4-9 mm lysegrå puds af middel styrke og 8-9 mm brungrå, svagt rødlig puds svarende til puds i prøve 200607/01 og 200607/02 (yderst).

Mikroskopisk beskrivelse af prøven set i tyndslibet

Prøven udviser følgende lagvise opbygning:

	Betegnelse	Lagtykkelse	Beskrivelse
Yderst:	Puds 3	8 – 9 mm	Brungrå mørtel
	Puds 2	6 – 7 mm	Lysegrå mørtel
Inderst:	Puds 1	max. 25 mm	Brun mørtel

Den inderste sorte kalksten er ikke omfattet af tyndslibet.

Beskrivelse af puds 3, brungrå mørtel

I mørtelen, som udgør puds, kan udskilles følgende delmaterialer:

Tilslag: 49 vol%

Kantrundede korn af granit og gneiss samt nogle mineralkorn af kvarts og feldspat. Største kornstørrelse i tyndslibet er 2,0 mm. Tilslaget kan karakteriseres som et finkornet naturligt sand.

Bindemiddel: 32 vol%

Mikrokrystallin grundmasse af kalk og carbonatiseret cementgel med korn og klumper af følgende bindemiddeltyper:

Kalk uden urenheder: Enkelte hvide, afrundede klumper af mikrokrystallin kalk uden urenheder. Tværmål op til 0,1 mm. Klumperne udgør mindre end 1 vol% af bindemidlet.

Krystalline korn med cementklinkerminerale: Grålige, kantrundede til afrundede korn på op til 100 µm med cementklinker-mineralerne ferit (C₄AF), alit (C₃S) og belit (C₂S), som er karakteristiske for **Portlandcement**. Kornene er ensartede i struktur og sammensætning. Kornene udgør 4 vol% af bindemidlet.

Bindemidlet er fuldt carbonatiseret med undtagelse af de største cementkorn.

Brændt skifer: 14 vol%

Rødbrune, typisk flageformede korn med højt indhold af røde til rødbrune jernforbindelser (jernoxid). Derudover stedvis okker og et sort, muligvis organisk materiale. De flageformede korn er op til 2 mm lange. Udover jernforbindelser ses stedvis krystaller af gips.

Luft: 5 vol%

Pudsen indeholder noget luft i form af kugleformede til let irregulære luftporer med diameter op til 0,6 mm. Der ses få svindrevner med orientering hovedsageligt vinkelret på overfladen.

Beskrivelse af puds 2, lysegrå mørtel

I mørtelen, som udgør pudsen, kan udskilles følgende bestanddele:

Sand: 58 vol%

Sand hovedsagligt bestående af enkeltkorn af kvarts/feldspat samt fragmenter af granit/gneiss. Største kornstørrelse er 1,5 mm. Derudover er der i den yderste del af pudslaget observeret en del små fragmenter af opblæret glas. Kornformen er kantrundet. De finere fraktioner indeholder dog en del kantede korn. Sandet kan karakteriseres som naturligt, let fillerfattigt sand tilsat knust materiale i de finere fraktioner.

Bindemiddel: 29 vol%

Mikrokrystallin grundmasse af kalk og carbonatiseret cementgel med spredte korn og klumper af følgende bindemiddeltyper:

Klumper af ren kalk: Enkelte, lyse, afrundede kalkklumper på op til 0,1 mm bestående af ren mikrokrystallin kalk. Klumperne udgør mindre end 1 vol% af bindemidlet.

Korn med velkrystalliserede cementklinkerminerale: Brunlige, kantrundede korn på op til 110 µm. Kornene består af aggregater af cementklinkerminerale belit (C_2S), alit (C_3S) og ferrit (C_4AF). Kornene er ensartede i størrelse og sammensætning. Indholdet af ferrit kan karakteriseres som højt. Kornene udgør 10 vol% af bindemidlet.

Bindemidlet er fuldt carbonatiseret, dog ikke største cementkorn.

Luft: 13 vol%

Pudsen indeholder en del luft i form af let irregulære luftporer med tværmål op til 0,5 mm. Der ses ingen svindrevner.

Beskrivelse af puds 1, brun mørtel

I mørtelen, som udgør pudsen, kan udskilles følgende bestanddele:

Sand: 49 vol%

Sand hovedsagligt bestående af bjergartsfragmenter af granit/gneiss samt enkelkorn af kvarts/feldspat. Derudover ses korn af vulkanske bjergarter og flint. Kornstørrelsen er op til 4,0 mm. Kornformen er kantrundet. Sandet kan karakteriseres som naturligt, fillerfattigt sand.

Bindemiddel: 47 vol%

Mikrokrystallin grundmasse af overvejende kalk med mange korn og klumper af følgende bindemiddeltyper:

Klumper af ren kalk: Enkelte hvide, afrundede klumper af mikrokrystallin kalk med tværmål op til 0,15 mm. Klumperne udgør mindre end 1 vol% af bindemidlet.

Korn af kalk med urenheder: Uensartede brune, røde og sorte kantrundede korn på op til 0,4 mm (*foto 5*). I kornene kan, udover rødlig mikrokrystallin kalk, skelnes orange til brunlige okkerlignende jern-forbindelser med overgang til rød jernoxid, samt kantede korn af kvarts, feldspat og flint (kornstørrelse op til 0,05 mm) (*foto 6*). Amorf glasfase til submikroskopisk kisel er ligeledes til stede i en del korn, ofte sammen med et sort, opakt materiale. Endeligt optræder der områder med underbrændt, rødlig kalksten i en del korn. Gips-lignende faser optræder undertiden i interne hulrum. Kornene udgør 23 vol% af bindemidlet.

Korn af underbrændt kalksten: Små kantede fragmenter af finkornet, rødfarvet kalksten med tegn på at have været udsat for opvarmning. Kornene udgør mindre en 1 vol% af bindemidlet.

Røde korn af jernoxid: Kantrundede korn på op til 0,2 mm. Desuden som belægninger på sandkorn samt som områder i ovenfor beskrevne kalk med urenheder. Kornene udgør 3 vol% af bindemidlet.

Bindemidlet er fuldt carbonatiseret.

Luft: 4 vol%

Mørtelen indeholder luft i form af let irregulære, luftindeslutninger med tværmål op til 2 mm. Der ses ingen svindrevner.

Tidsmæssige relationer samt omdannelses- og nedbrydningstegn

Puds 2 og 3 vurderes at være udført tidsmæssigt kort efter hinanden. Puds 2 er udført på den i forvejen afrensede/nedbrudte overflade af puds 1.

Der er ikke observeret andre tegn på anormal omdannelse eller nedbrydning.

Prøve mærket: **Kjerne 3 av SV-hjørne. Sokkel** (Lab nr.: P070705-5)

Makroskopisk beskrivelse af prøven

Prøven består af en borekerne (i 3 dele) omfattende 4-13 mm rødlig granit (inderst) efterfulgt af 38-46 mm grå mellemkornet puds af høj styrke, hvorpå der optræder enkelte rester af rødlig puds (yderst).

Mikroskopisk beskrivelse af prøven set i tyndslibet

Prøven udviser følgende lagvise opbygning:

	Betegnelse	Lagtykkelse	Beskrivelse
Yderst:	Puds 2	0 – 0,5 mm	Brungrå mørtel
Inderst:	Puds 1	max. 45 mm	Grå mørtel

Den røde granit er ikke omfattet af tyndslibet.

Beskrivelse af puds 2, brungrå mørtel

Enkelte bevarede rester af mørtel med bindemiddel af kalk og portlandcement samt op til 75 µm store røde korn af brændt skifer. Både portlandcement og skifer svarer udseendemæssigt til pågældende delmaterialer beskrevet for den yderste brungrå puds i prøve 200607/01 og 200607/02.

Beskrivelse af puds 1, grå mørtel

I mørtelen, som udgør pudsen, kan udskilles følgende bestanddele:

Sand: 60 vol%

Sand hovedsagligt bestående af fragmenter af granit/gneiss samt en underordnet mængde kalksten, siltsten, kalkholdig sandsten og vulkanske bjergarter. Største kornstørrelse er 3,8 mm. Kornformen er kantrundet. Sandet kan karakteriseres som naturligt, fillerfattigt sand.

Bindemiddel: 27 vol%

Mikrokrystallin grundmasse af kalk og carbonatiseret cementgel med spredte korn og klumper af følgende bindemiddeltyper:

Klumper af ren kalk: Enkelte lyse, afrundede kalkklumper på op til 0,1 mm bestående af ren mikrokrystallin kalk. Klumperne udgør mindre end 1 vol% af bindemidlet.

Korn med velkrystalliserede cementklinkerminerale: Brunlige, kantrundede korn på op til 0,3 mm. Kornene består af aggregater af cementklinkerminerale belit (C_2S), alit (C_3S) og ferrit (C_4AF). Kornene er uensartede i størrelse og sammensætning. Indholdet af ferrit er højt. Kornene udgør 20 vol% af bindemidlet.

Bindemidlet er ufuldstændigt carbonatiseret med enkelte, kun delvist carbonatiserede områder.

Luft: 13 vol%

Pudsen indeholder en del luft i form af let irregulære til irregulære luftporer med tværmål op til 1 mm. Der ses ingen svindrevner.

Tidsmæssige relationer samt omdannelses- og nedbrydningstegn

Overfladen af puds 1 viser tegn på behugning/afrensning på tidspunktet for påføringen af den yderste puds 2.

Der ses enkelt enkelte udfældninger af gips på pudsens eksponerede overflade. Desuden er der observeret ucarbonatiserede områder mørtelen med udfældninger af små nåleformede krystaller med udseende som mineralet thaumasit (*foto 7*). I carbonatiserede områder er der observeret udfældning af calcit i luftporer. Alle udfældning kan tilskrives påvirkning af udefra kommende vand.

Prøver mærket: **060707/01 Ø-vegg, nordre tverrskip**
180707/02 Ø-vegg, nordre tverrskip, gjenmurt vindu
Muremørtler (Lab nr.: P070705-6 og -7)

Makroskopisk beskrivelse af prøverne

Begge prøver omfatter hvid, meget bindemiddelrig mørtel af middel til høj styrke (højest styrke for prøve 6).

Mikroskopisk beskrivelse af prøven set i tyndslibet

Mørtlerne de to prøver er stort set identiske og består af følgende delmaterialer:

Sand: 30 vol% (prøve /01) – 34 vol% (prøve /02)

Sand bestående hovedsagligt af bjergartsfragmenter af granit/gneiss samt enkeltkorn af kvarts/feldspat. Derudover ses en del delvist hærdede klumper af ler/silt og i prøve /01 et enkelt teglstensfragment på 4,5 mm. Kornene forekommer stedvis med rødbrune skorper. Største kornstørrelse er 3 mm. Kornformen er kantrundet. Sandet kan karakteriseres som et naturligt, let fillerfattigt sand.

Bindemiddel: 63 vol% (prøve /01) – 64 vol% (prøve /02)

Mikrokrystallin grundmasse af overvejende kalk med korn og klumper af følgende bindemiddeltyper:

Klumper af ren kalk: Hvide afrundede kalkklumper på op til 1 mm bestående hovedsagligt af ren mikrokrystallin kalk; dvs. uden eller med kun lavt indhold af urenheder som kisel og ler/jernforbindelser. Stedvis ses små, op til 0,05 mm store sandkorn (prøve /01) og små røde korn af jernforbindelser (prøve /02). Kalk uden urenheder forekommer desuden som områder i klumper af ren kalk. Klumperne udgør 3 vol% (prøve /01) og 7 vol% (prøve /02) af bindemidlet.

Klumper af uren kalk: Brunlige, for det meste irregulære kalkklumper på op til 1,5 mm. I klumperne kan, udover mikrokrystallin kalk, ses urenheder af brune ler/jernforbindelser samt amorfe til mikrokrystalline kiselforbindelser. Stedvis ses tegn på sedimentær lagdeling. Der ses stedvis faser med struktur og udseende som ferrit (C₄AF) og belit (C₂S) (prøve /02, *foto 10*). Enkelte klumper indeholder slagge-lignende faser. Klumperne forekommer stedvis med fortættet rand. Klumperne udgør 3 vol% (prøve /01) og 4 vol% (prøve /02) af bindemidlet.

Korn af underbrændt kalksten: Kantede op til 0,4 mm store rester af ubrændt eller delvist brændt kalksten (*foto 10*). Kornene forekommer spredt i bindemidlet. Stedvis indeholder kornene rødlige jernforbindelser og delvist smeltede sandkorn. Kornene udgør mindre end 1 vol% af bindemidlet.

Bindemidlet er fuldt carbonatiseret.

Luft: 7 vol% (prøve 01) – 2 vol% (prøve 02)

Mørtelen indeholder noget luft i form af let irregulære til kugleformede luftporer med tværmål op til 0,4 mm. I prøve /01 desuden enkelte større indeslutninger af indkapslet luft. Der ses kun få svindrevner.

Omdannelses- og nedbrydningstegn

Der er ikke observeret tegn på anormal omdannelse eller nedbrydning af mørtelen.

Prøve mærket: **230707/01: V-vegg, nordre tverrskip.**
Fugemørtel (Lab nr.: P070705-8)

Makroskopisk beskrivelse af prøven

Prøven består af et udskåret stykke hvid, bindemiddelrig mørtel af middel til høj styrke. Fugens oprindeligt eksponerede overflade fremstår forvitret, med synlige tilslagskorn og grålig, smudsagtig kulør med antydning af gult. Største kornstørrelse for tilslaget er 3 mm.

Mikroskopisk beskrivelse af prøven set i tyndslibet

Tyndslibet omfatter et snit vinkelret på fugens oprindeligt eksponerede overflade og udviser følgende lagvise opbygning:

	Betegnelse	Lagtykkelse	Beskrivelse
Yderst:	Farvelag	0,025 – 0,050 mm	Gråligt farvelag med gult pigment i bunden
Inderst:	Mørtel	max. 18 mm	Hvid mørtel

Beskrivelse af farvelag

Betegnelse	Lagtykkelse	Beskrivelse
Overflade		Forvitret, grålig med antydning af gult
Farvelag 2	0,025 - 0,05 mm	Mineralsk farve Kulør: Grå Bindemiddel: Kalk (lufthærdende) – fult omdannet til gips Fyldstof: - Pigment: Sort pigment som kønrøg (4 µm)
Farvelag 1	0,0 - 0,01 mm	Mineralsk farve Kulør: Gulbrun Bindemiddel: Kalk (lufthærdende) – fult omdannet til gips Fyldstof: - Pigment: Gult pigment som okker (5 µm)

Se endvidere foto 11 og 12 i afsnittet *fotodokumentation*.

Beskrivelse af mørtel

Mørtelen består af følgende delmaterialer:

Sand: 14 vol%

Sand bestående hovedsagligt af bjergartsfragmenter af granit/gneiss samt enkeltkorn af kvarts/feldspat. Derudover ses enkelte delvist hærdede klumper af ler/silt. Kornene forekommer stedvis med rødbrune skorper. Største kornstørrelse er 1,2 mm. Kornformen er kantrundet. Sandet kan karakteriseres som et finkornet, naturligt sand.

Bindemiddel: 85 vol%

Mikrokrystallin grundmasse af overvejende kalk med korn og klumper af følgende bindemiddeltyper:

Klumper af ren kalk: Hvide afrundede kalkklumper på op til 1 mm bestående hovedsagligt af ren mikrokrystallin kalk; dvs. uden eller med kun lavt indhold af urenheder som kisel og ler/jernforbindelser. Stedvis ses små, op til 0,05 mm store sandkorn. Kalk uden urenheder forekommer desuden som områder i klumper af uren kalk. Klumperne udgør 9 vol% af bindemidlet.

Klumper af uren kalk: Brunlige, for det meste irregulære klumper på op til 2 mm. I klumperne kan, udover mikrokrystallin kalk ses urenheder af orange, røde og brune ler/jernforbindelser samt amorfe til mikrokrystalline kiselforbindelser. I omkring halvdelen af klumpernes ses endvidere delvist omdannede rester af kalkholdig siltsten med delvist smeltede sandkorn. I nogle klumper ses tegn på sedimentær lagdeling. Der ses stedvis faser med struktur og udseende som ferrit (C_4AF), belit (C_2S) og alit (C_3S). Enkelte klumper indeholder slagge-lignende faser. Klumperne forekommer ofte med fortættet rand. Klumperne udgør 7 vol% af bindemidlet.

Korn af underbrændt kalksten: Kantede op til 0,2 mm store rester af ubrændt eller delvist brændt kalksten. Kornene forekommer spredt i bindemidlet. Stedvis indeholder kornene rødlige jernforbindelser og delvist smeltede sandkorn. Kornene udgør mindre end 1 vol% af bindemidlet.

Bindemidlet er fuldt carbonatiseret.

Luft: 1 vol%

Mørtelen indeholder kun lidt i form af let irregulære til kugleformede luftporer med tværmål op til 0,4 mm. Der ses kun få svindrevner.

Omdannelses- og nedbrydningstegn

I fugens oprindeligt eksponerede yderside er bindemidlet omdannet til gips til en dybde af 0,2 mm. Der ses endvidere overfladeparallele revner med revnevidde op til 0,05 mm i de yderste 1,5 mm. Der er ikke observeret tegn på anormal omdannelse eller nedbrydning af de indre dele af mørtelen.

Prøve mærket: **180707/01. Sakristi, gul farge** (Lab nr.: P070705-9)

Makroskopisk beskrivelse af prøven

Prøven består af mange små stykker hvid, bindemiddelrig mørtel (puds) med delvist afskallet, gråligt tilsmudset overflade med spredte rester af gulgråt farvelag. Der er analyseret tyndslib af det største brudstykke med farvelag.

Mikroskopisk beskrivelse af prøven set i tyndslibet

Prøven udviser følgende lagvise opbygning:

	Betegnelse	Lagtykkelse	Beskrivelse
Yderst:	Farvelag	max. 0,04 mm	Gulgråt farvelag
Inderst:	Puds	max. 6,6 mm	Hvid mørtel

Se endvidere foto 13 afsnittet *fotodokumentation*.

Beskrivelse af farvelag 1

Betegnelse	Lagtykkelse	Beskrivelse
Overflade		Gråligt tilsmudset med enkelte rester af underliggende gulgråt farvelag
Farvelag	0,00 - 0,04 mm	Mineralsk farve Kulør: Gulgrå Bindemiddel: Kalk (lufthærdende) Fyldstof: - Pigment: Gult pigment som okker (20 µm) ¹ Rødt pigment som jernoxid (20 µm) (kun lidt)

Beskrivelse af mørtel (puds)

Meget bindemiddelrig mørtel med spredte op til 0,4 mm store sandkorn. I bindemidlet ses mange klumper af ren kalk (størrelse op til 2,4 mm) og klumper af uren kalk (størrelse op til 0,2 mm). På grund af lagets ringe tykkelse er der ikke udført punktælling. Mørtelen ligner de beskrevne mørtler for prøve 060707/01, 180707/02 og 230707/01.

¹ Største kornstørrelse (1 µm = 0,001 mm)

Tidsmæssige relationer samt omdannelses- og nedbrydningstegn

Der ses ingen tegn på, at der er sket tilsmudsning eller omdannelsen af pudsens overflade før påføringen af farvelaget. Tilsmudsning og delvist afskalning af overfladen er sket efter påføringen af farvelaget.

I pudsen ses flere overfladeparallelle revner med revnevidde op til 0,04 mm. Revnerne indeholder udfældninger af kalk og skærer ikke det påførte farvelag. Revnerne vurderes at være opstået ved sen læskning af kalken i den urene kalkklump.

Prøve mærket: **180707/03. Sakristi, rød farge** (Lab nr.: P070705-10)

Makroskopisk beskrivelse af prøven

Prøven består af mange små stykker hvid, bindemiddelrig mørtel (puds), hvoraf mange har bevarede rester af et gråligt tilsmudset, mørkerødt farvelag. Der er analyseret tyndslib af det største brudstykke med farvelag.

Mikroskopisk beskrivelse af prøven set i tyndslibet

Prøven udviser følgende lagvise opbygning:

	Betegnelse	Lagtykkelse	Beskrivelse
Yderst:	Farvelag	0,005 – 0,02 mm	Mørkerødt farvelag
Inderst:	Puds	max. 3 mm	Hvid mørtel

Se endvidere foto 14 afsnittet *fotodokumentation*.

Beskrivelse af farvelag

Betegnelse	Lagtykkelse	Beskrivelse
Overflade		Gråligt tilsmudset med underliggende mørkerødt farvelag
Farvelag	0,005 - 0,02 mm	Mineralsk farve Kulør: Mørkerød Bindemiddel: Kalk (lufthærdende) – muligvis med organisk tilsats Fyldstof: - Pigment: Rødt pigment som jernoxid (3 µm) (meget)

Beskrivelse af mørtel (puds)

Meget bindemiddelrig mørtel med spredte, op til 1,6 mm store sandkorn. I bindemidlet ses mange klumper af ren kalk (størrelse op til 0,7 mm), klumper af uren kalk (størrelse op til 0,8 mm) samt enkelte korn af underbrændt kalksten (størrelse op til 0,15 mm). På grund af lagets ringe tykkelse er der ikke udført punktælling. Mørtelen ligner de beskrevne mørtler for prøve 060707/01, 180707/02 og 230707/01.

Tidsmæssige relationer samt omdannelses- og nedbrydningstegn

Der ses ingen tegn på, at der er sket tilsmudsning eller omdannelsen af pudsens overflade før påføringen af farvelaget. Tilsmudsning af overfladen er sket efter påføringen af farvelaget.

I pudsen ses flere overfladeparallele revner med revnevidde op til 0,05 mm. Revnerne indeholder udfældninger af kalk og skærer ikke det påførte farvelag. Revnerne er koncentreret om et stort korn af uren kalk og vurderes at være opstået ved sen læskning af den urene kalkklump.

Prøve mærket: **180707/04. Sakristi, hvid på gul** (Lab nr.: P070705-11)

Makroskopisk beskrivelse af prøven

Prøven består af mange små stykker hvid, bindemiddelrig mørtel (puds), hvoraf enkelte har bevarede rester af et gråligt tilsmudset, gulgråt farvelag efterfulgt af et hvidt farvelag på dele af overfladen. Der er analyseret tyndslib af det største brudstykke med farvelag.

Mikroskopisk beskrivelse af prøven set i tyndslibet

Prøven udviser følgende lagvise opbygning:

	Betegnelse	Lagtykkelse	Beskrivelse
Yderst:	Farvelag 2	max. 0,07 mm	Hvidt farvelag
	Farvelag 1	0,005 – 0,02 mm	Gulgråt farvelag
Inderst:	Puds	max. 1,1 mm	Hvid mørtel

Se endvidere foto 15 afsnittet *fotodokumentation*.

Beskrivelse af farvelag 1 og 2

Betegnelse	Lagtykkelse	Beskrivelse
Overflade		gråligt tilsmudset med rester af underliggende gulgråt farvelag
Farvelag 2	0,0 - 0,07 mm	Mineralsk farve Kulør: Hvid Bindemiddel: Kalk (lufthærdende) Fyldstof: - Pigment: -
Farvelag 1	0,005 - 0,02 mm	Mineralsk farve Kulør: Gulgrå Bindemiddel: Kalk (lufthærdende) Fyldstof: - Pigment: Gult pigment som okker (20 µm) Rødt pigment som jernoxid (10 µm) (kun lidt)

Beskrivelse af mørtel (puds)

Meget bindemiddelrig mørtel med spredte, op til 0,15 mm store sandkorn. I bindemidlet ses mange klumper af ren kalk (størrelse op til 0,5 mm), klumper af uren kalk (størrelse op til 0,1 mm) samt en-

kelte korn af underbrændt kalksten (størrelse op til 0,1 mm). På grund af lagets ringe tykkelse er der ikke udført punktælling. Mørtelen ligner de beskrevne mørtler for prøve 060707/01, 180707/02 og 230707/01.

Tidsmæssige relationer samt omdannelses- og nedbrydningstegn

Der ses ingen tegn på, at der er sket tilsmudsning eller omdannelsen af pudsens overflade før påføringen af farvelag 1. Der ses heller ikke tegn på tilsmudsning eller omdannelsen af farvelag 1 før påføringen af farvelag 2. Tilsmudsning og delvist afskalning af overfladen er sket efter påføringen af farvelag 2. Farvelag 1 svarer i udseende til farvelaget i prøve 180707/01.

Prøve mærket: **180707/05. Sakristi, gul farge med hvit** (Lab nr.: P070705-12)

Makroskopisk beskrivelse af prøven

Prøven består af mange små stykker hvid, bindemiddelrig mørtel (puds), hvoraf en del har bevarede rester af et gråligt tilsmudset, gulbrunt farvelag. Der er analyseret tyndslib af det største brudstykke med farvelag.

Mikroskopisk beskrivelse af prøven set i tyndslibet

Prøven udviser følgende lagvise opbygning:

	Betegnelse	Lagtykkelse	Beskrivelse
Yderst:	Farvelag	max. 0,025 mm	Gulbrunt farvelag
Inderst:	Puds	max. 2,5 mm	Hvid mørtel

Se endvidere foto 16 afsnittet *fotodokumentation*.

Beskrivelse af farvelag

Betegnelse	Lagtykkelse	Beskrivelse
Overflade		Gråligt tilsmudset med rester af underliggende gulbrunt farvelag
Farvelag 1	0,00 - 0,025 mm	Mineralsk farve Kulør: Gulbrun Bindemiddel: Kalk (lufthærdende) Fyldstof: - Pigment: gult pigment som okker (10 µm) Rødt pigment som jernoxid (10 µm) (kun lidt)

Beskrivelse af mørtel (puds)

Meget bindemiddelrig mørtel med spredte op til 0,2 mm store sandkorn. I bindemidlet ses mange klumper af ren kalk (størrelse op til 0,2 mm), klumper af uren kalk (størrelse op til 2 mm) samt enkelte korn af underbrændt kalksten (størrelse op til 0,15 mm). På grund af lagets ringe tykkelse er der ikke udført punktælling. Mørtelen ligner de beskrevne mørtler for prøve 060707/01, 180707/02 og 230707/01.

Tidsmæssige relationer samt omdannelses- og nedbrydningstegn

Der ses ingen tegn på, at der er sket tilsmudsning eller omdannelsen af pudsens overflade før påføringen af farvelag 1. Tilsmudsning og delvist afskalning af overfladen er sket efter påføringen af farvelaget.

I pudsen ses flere overfladeparallele revner med revnevidde op til 0,04 mm. Revnerne indeholder udfældninger af kalk og skærer ikke det påførte farvelag. Revnerne vurderes at være opstået ved sen læskning af kalken i en stor uren kalkklump internt i mørtelen.

Prøve mærket: **180707/06. Sakristi, rød farge** (Lab nr.: P070705-13)

Makroskopisk beskrivelse af prøven

Prøven består af mange små stykker hvid, bindemiddelrig mørtel (puds), hvoraf mange har bevarede rester af et gråligt tilsmudset, mørkerødt farvelag. Der er analyseret tyndslib af det største brudstykke med farvelag.

Mikroskopisk beskrivelse af prøven set i tyndslibet

Prøven udviser følgende lagvise opbygning:

	Betegnelse	Lagtykkelse	Beskrivelse
Yderst:	Farvelag	0,002 – 0,01 mm	Mørkerødt farvelag
Inderst:	Puds	max. 1,7 mm	Hvid mørtel

Beskrivelse af farvelag

Betegnelse	Lagtykkelse	Beskrivelse
Overflade		Gråligt tilsmudset med underliggende mørkerødt farvelag
Farvelag	0,002 - 0,01 mm	Mineralsk farve Kulør: Mørkerød Bindemiddel: Kalk (lufthærdende) – muligvis med organisk tilsats Fyldstof: - Pigment: Rødt pigment som jernoxid (3 µm) (meget)

Se endvidere foto 17 afsnittet *fotodokumentation*.

Beskrivelse af mørtel (puds)

Meget bindemiddelrig mørtel med spredte, op til 0,25 mm store sandkorn. I bindemidlet ses mange klumper af ren kalk (størrelse op til 0,3 mm) samt klumper af uren kalk (størrelse op til 0,2 mm). På grund af lagets ringe tykkelse er der ikke udført punktælling. Mørtelen ligner de beskrevne mørtler for prøve 060707/01, 180707/02 og 230707/01.

Tidsmæssige relationer samt omdannelses- og nedbrydningstegn

Der ses ingen tegn på, at der er sket tilsmudsning eller omdannelsen af pudsens overflade før påføringen af farvelaget. Tilsmudsning af overfladen er sket efter påføringen af farvelaget. Farvelaget svarer i udseende til farvelaget i prøve 180707/03.

Prøve mærket: **180707/07. Sakristi, rød med hvid** (Lab nr.: P070705-14)

Makroskopisk beskrivelse af prøven

Prøven består af et stort hjørnestykke samt mange små stykker af hvid, bindemiddelrig mørtel (puds), hvoraf en del har bevarede rester af et rødt farvelag efterfulgt af et tyndt hvidt, gråligt tilsmudset pudslag med synlige fibre i bindemidlet. Der er analyseret tyndslib af hjørnestykket i prøven.

Mikroskopisk beskrivelse af prøven set i tyndslibet

Prøven udviser følgende lagvise opbygning:

	Betegnelse	Lagtykkelse	Beskrivelse
Yderst:	Farvelag 2	max. 0,1 mm	Hvidt farvelag, kun enkelte rester
	Puds 2	2,0 – 2,5 mm	Hvid mørtel med fibre
	Farvelag 1	0,005 – 0,02 mm	Rødt farvelag
Inderst:	Puds 1	max. 3,5 mm	Hvid mørtel

Se endvidere foto 18 afsnittet *fotodokumentation*.

Beskrivelse af farvelag 2

Betegnelse	Lagtykkelse	Beskrivelse
Overflade		Gråligt tilsmudset med rester af underliggende hvidt farvelag
Farvelag 2	0,0 - 0,10 mm	Mineralsk farve Kulør: Hvid Bindemiddel: Kalk (lufthærdende) Fyldstof: - Pigment: -

Beskrivelse af puds 2

Meget bindemiddelrig mørtel med enkelte op til 0,25 mm store sandkorn. I bindemidlet ses mange klumper af ren kalk (størrelse op til 1,0 mm), klumper af uren kalk (størrelse op til 0,3 mm) samt enkelte korn af underbrændt kalksten (størrelse op til 0,2 mm). Derudover indeholder bindemidlet svagt brunlige fibre. Fibrene har cirkulært til ovalt omrids og er som oftest hule (*foto 19*). Fibrenes diameter varierer fra 0,03 til 0,08 mm. På grund af pudslagets ringe tykkelse er der ikke udført punktælling.

Beskrivelse af farvelag 1

Betegnelse	Lagtykkelse	Beskrivelse
Farvelag	0,001 - 0,01 mm	Mineralsk farve Kulør: Rød Bindemiddel: Kalk (lufthærdende) – muligvis med organisk tilsats Fyldstof: - Pigment: Rødt pigment som jernoxid (5 µm)

Beskrivelse af puds 1

Meget bindemiddelrig mørtel med spredte, op til 0,3 mm store sandkorn. I bindemidlet ses mange klumper af ren kalk (størrelse op til 0,5 mm), klumper af uren kalk (størrelse op til 0,4 mm) samt korn af underbrændt kalksten. På grund af lagets ringe tykkelse er der ikke udført punktælling. Mørtelen ligner de beskrevne mørtler for prøve 060707/01, 180707/02 og 230707/01.

Tidsmæssige relationer samt omdannelses- og nedbrydningstegn

Der ses ingen tegn på, at der er sket tilsmudsning eller omdannelsen af overflade på puds 1 før påføringen af farvelag 1. På tidspunktet for påføringen af puds 2 har pudset været gennemsat af revner med nedbrudt og delvist afskallet overflade. Farvelag 1 svarer i udseende til farvelaget i prøve 180707/03.

Fotodokumentation

På efterfølgende side(r) bringes et eller flere mikrofotos optaget i polarisationsmikroskop, hvor følgende filtre og belysningsteknikker kan være anvendt:

Filtre:	- N	Parallelle polarisationsfiltre (svarende til alm. belysning)
	+ N	Krydsede polarisationsfiltre
	+ G	Krydsede polarisationsfiltre samt gipsblad indskudt i strålegangen
	F	Fluorescensmikroskopi
Belysning:	A	Gennemfaldende lys (refraktionsmikroskopi)
	P	Pålys (refleksionsmikroskopi)

Hvilken belysningsteknik og hvilket filter, der er anvendt, fremgår af hvert foto.

Det skal bemærkes, at farverne på billederne ikke er naturtro på grund af de anvendte filtre og belysningsteknikker.

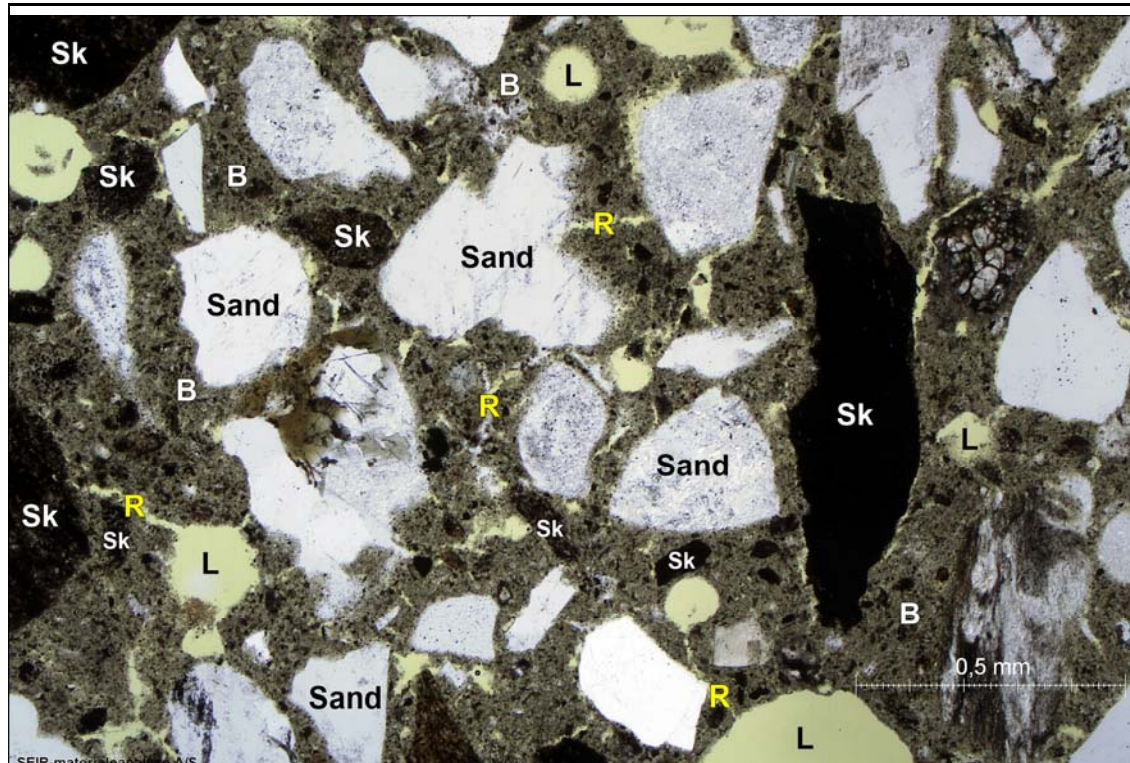


Foto: 1 (F620-1) **Type:** Mikrofoto **Prøve nr.:** P070705-1 **Belysning:** A **Filter:** -N

Prøve mærket: 200607/01: Tverrskip SV-hjørne. Sokkelpuss. Billedet viser et udsnit af den til pudsen anvendte mørtel set i tyndslibet. Mørtelen er tilsat knust brændt skifer (Sk). Luftporer = L. Bindemiddel = B. Svindrevner i bindemiddel = R

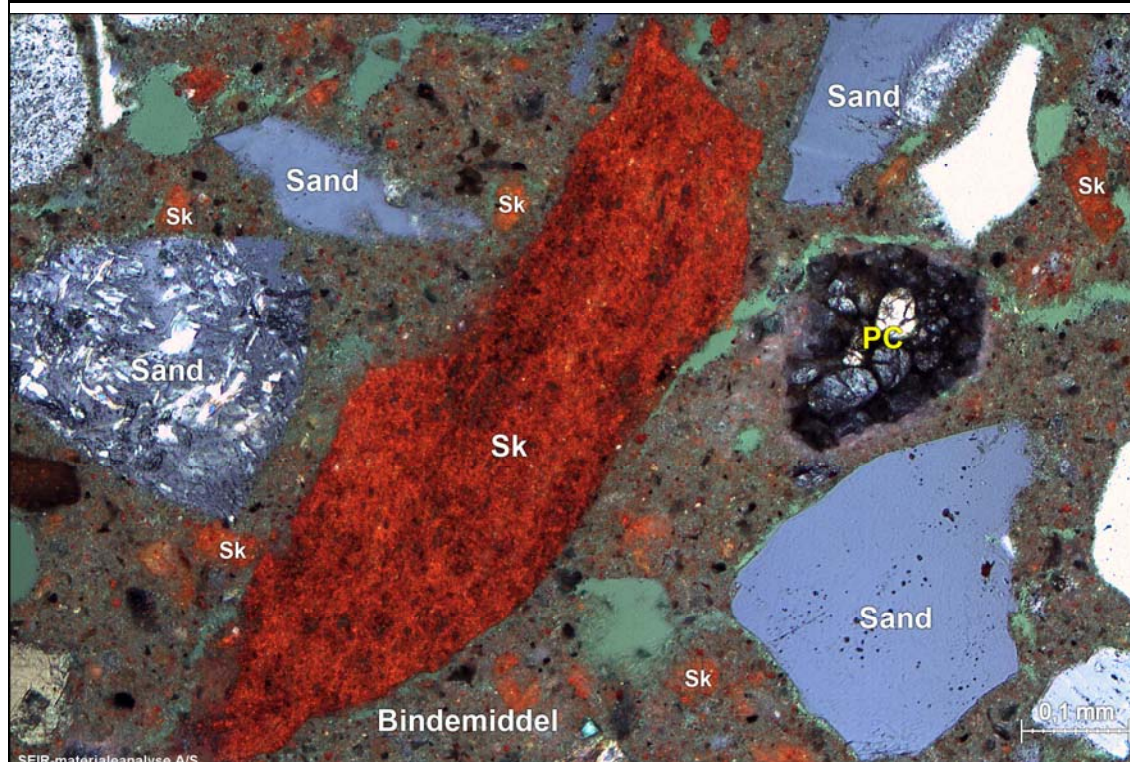


Foto: 2 (F620-2) **Type:** Mikrofoto **Prøve nr.:** P070705-1 **Belysning:** P **Filter:** +N

Prøve mærket: 1: 200607/01: Tverrskip SV-hjørne. Sokkelpuss. Billedet viser et udsnit af foto 1 ved øget forstørrelse. Billedet er endvidere taget ved en anden belysningsteknik, hvorved den knuste brændte skifer (Sk) fremstår med sin naturlige røde farve. Stort korn af portlandcement = PC

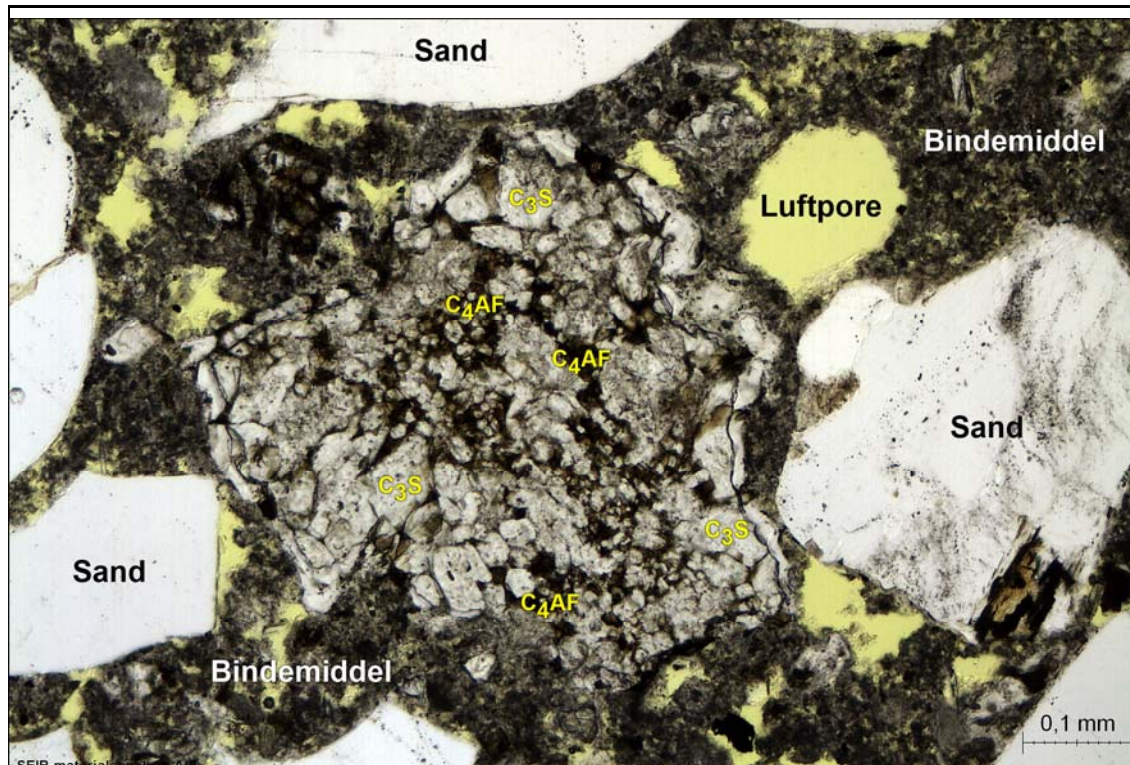


Foto: 3 (F620-5) **Type:** Mikrofoto **Prøve nr.:** P070705-3 **Belysning:** A **Filter:** -N

Prøve mærket: Kjerne 1 av SV-vegg. Sokkel. Billedet viser et udsnit af mørtlen, som udgør det inderste pudslag (puds 1) i kernen. I bindemidlet ses et stort cementkorn bestående af klinkerminerale alit (C₃S) og ferrit (C₄AF). Den store størrelsen på cementkornet er typisk for ældre portlandcement

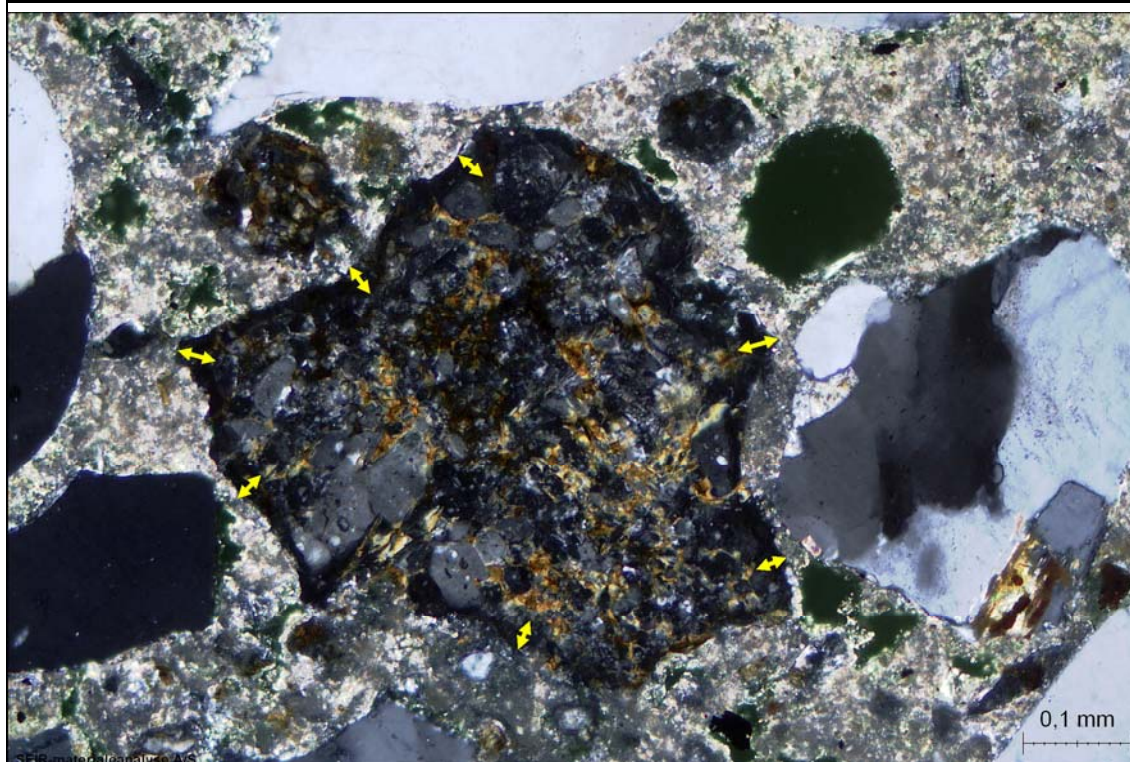


Foto: 4 (F620-6) **Type:** Mikrofoto **Prøve nr.:** P070705-3 **Belysning:** A **Filter:** +N

Prøve mærket: Kjerne 1 av SV-vegg. Sokkel. Billedet viser samme udsnit af pudsen som foto 3 ovenfor, men billedet er her taget med en anden belysningsteknik. Cementkornet er kun hydratiseret i de yderste ca. 0,02 mm af kornet (markeret med ↔). Ved hydratiseringen omdannes klinkerminerale til cement-geler som bidrager til bindemidlets hærkning

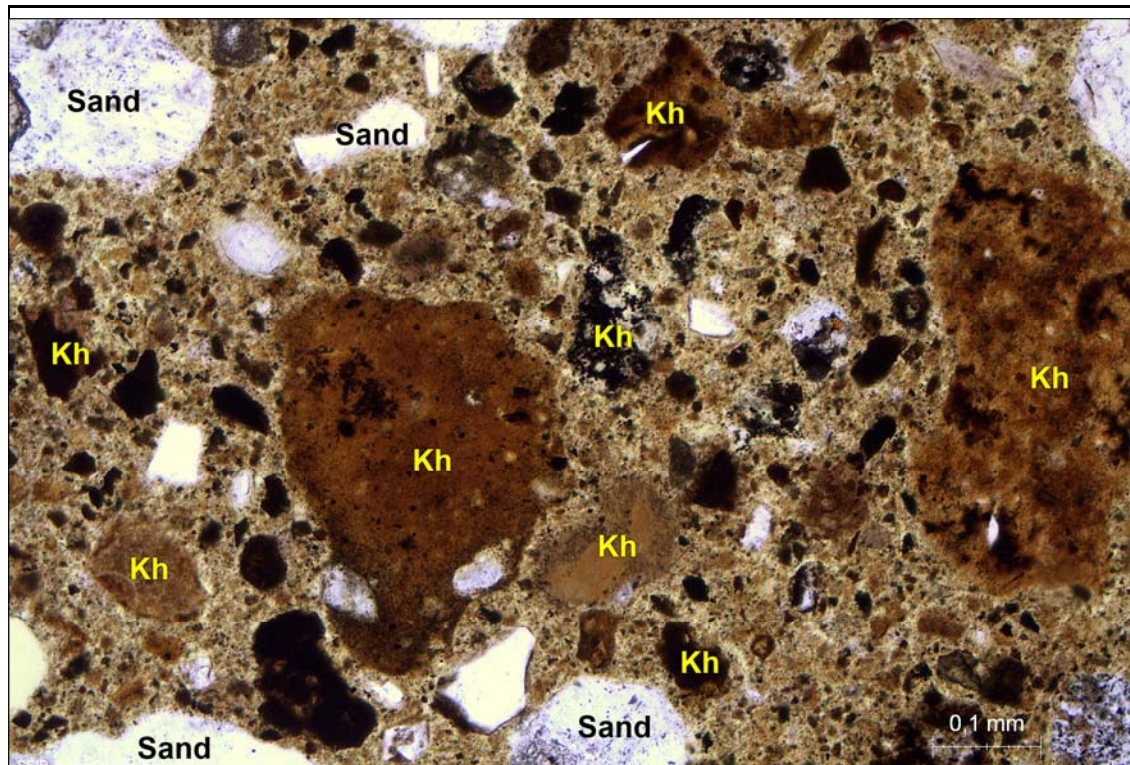


Foto: 5 (F620-9) **Type:** Mikrofoto **Prøve nr.:** P070705-4 **Belysning:** A **Filter:** -N

Prøve mærket: Kjerne 2 av SV-vegg. Sokkel. Billedet viser et udsnit af den brunfarvede mørtel, som udgør det inderste pudslag (puds 1) i kernen. I bindemidlet ses mange korn og klumper (Kh) af brændt kalk med urenheder i form af ler/jern-forbindelser

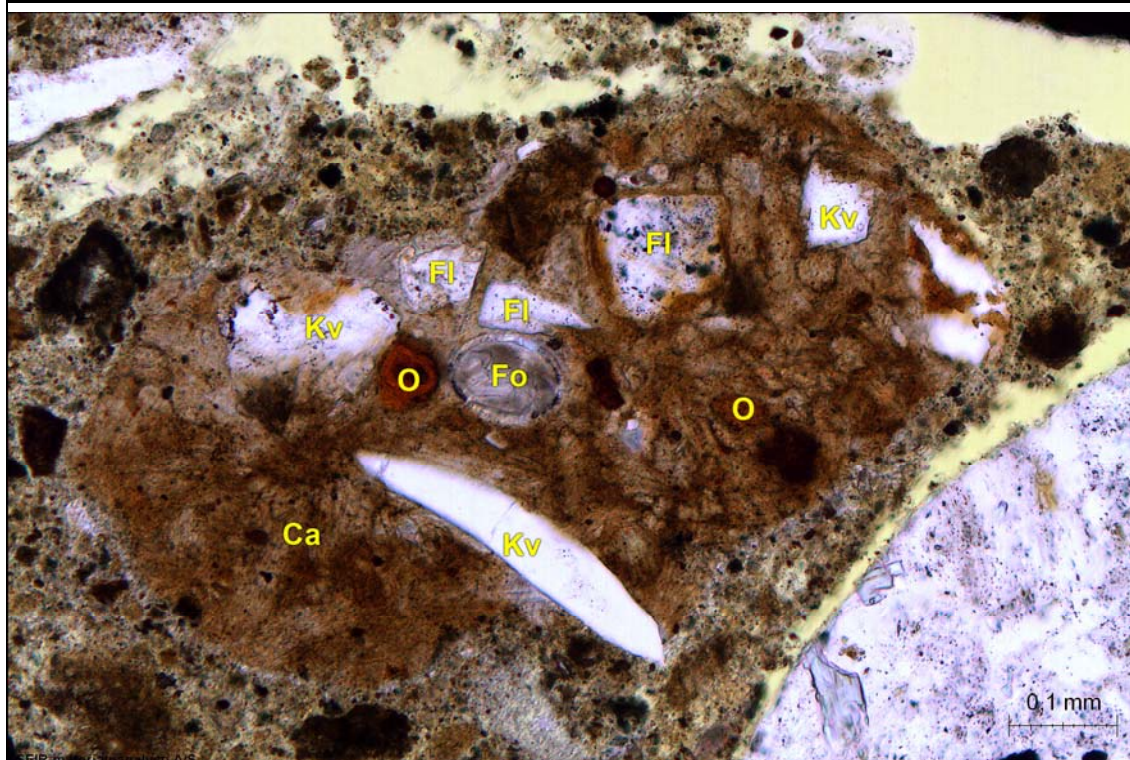


Foto: 6 (F620-7) **Type:** Mikrofoto **Prøve nr.:** P070705-4 **Belysning:** A **Filter:** -N

Prøve mærket: Kjerne 2 av SV-vegg. Sokkel. Billedet viser et udsnit af puds 1 ved øget forstørrelse i forhold til foto 5. Den brændte kalk består udover af kalk (Ca) af små kantede korn af kvarts (Kv) og flint (Fl). I kalken ses stedvis bevarede rester af typen foraminiferer (Fo). Den brunlige farve stammer fra jernforbindelser som okker og jernoxid (O)

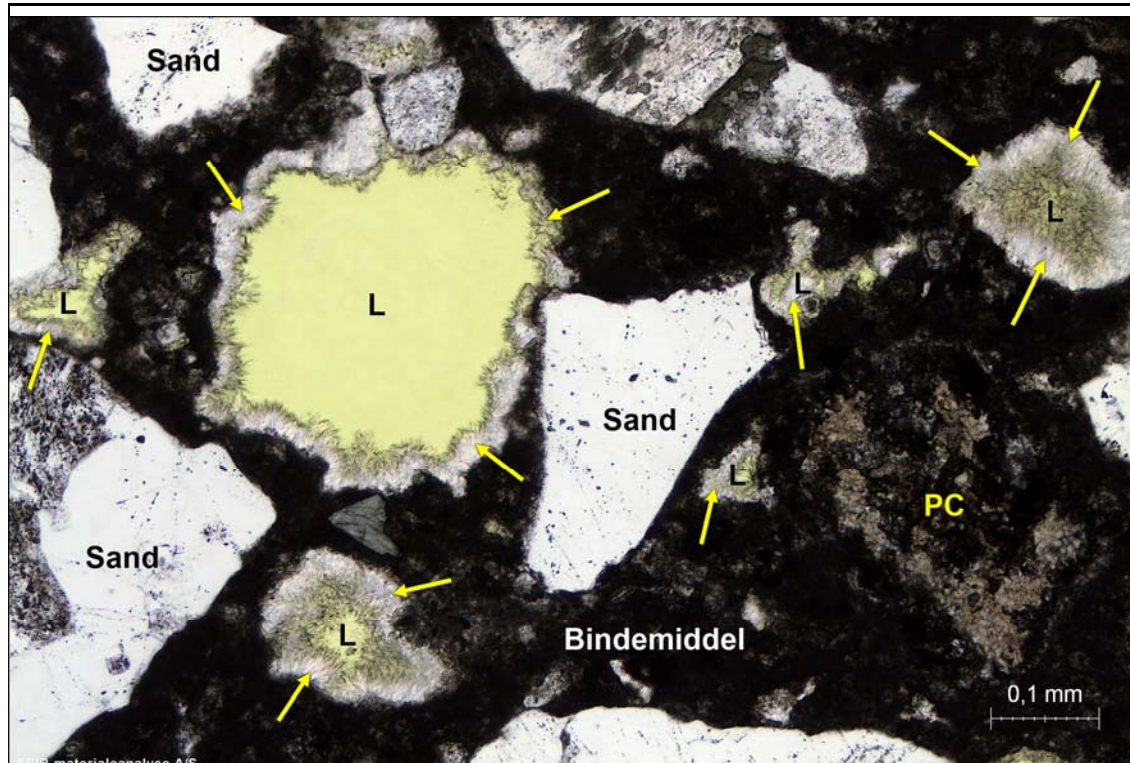


Foto: 7 (F620-12) **Type:** Mikrofoto **Prøve nr.:** P070705-5 **Belysning:** A **Filter:** -N

Prøve mærket: Kjerne 3 av SV-hjørne. Sokkel. Billedet viser et udsnit af mørtlen, som udgør det inderste pudslag (puds 1) i kernen. I bindemidlet ses et stort cementkorn (PC). I luftporer (L) ses udfældninger af små nåleformede krystaller (→)

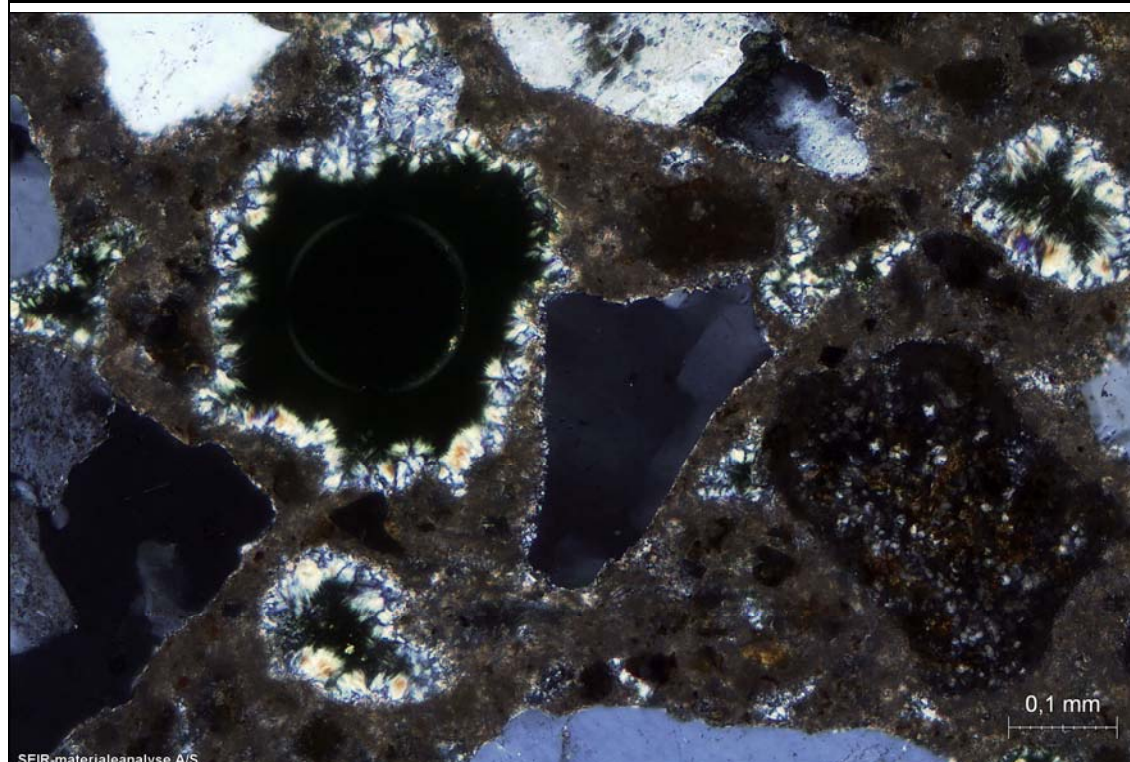


Foto: 8 (F620-13) **Type:** Mikrofoto **Prøve nr.:** P070705-5 **Belysning:** A **Filter:** +N

Prøve mærket: Kjerne 3 av SV-hjørne. Sokkel. Billedet viser samme udsnit af pudsen som foto 7 ovenfor, men billedet er her taget med en anden belysningsteknik. Ud fra farven på krystallerne i luftporerne vurderes det, at udfældningerne består af thaumasit-lignende mineraler

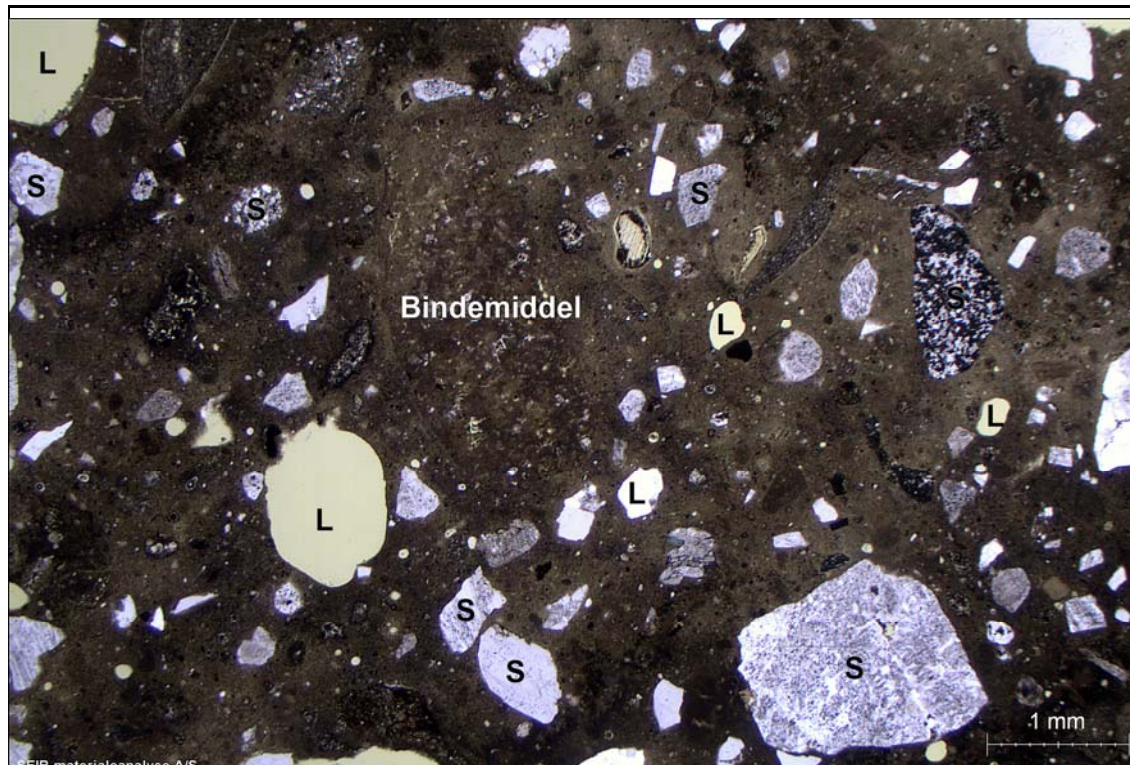


Foto: 9 (F620-16) Type: Mikrofoto Prøve nr.: P070705-6 Belysning: A Filter: -N

Prøve mærket: 060707/01 Ø-vegg, nordre tverrskip. Muremørtel. Billedet viser et udsnit af den meget bindemiddelrige mørtel. Bindemidlet fremstår på billedet med en mørk farve på grund af den valgte belysningsteknik. Tilslag (sand) = S. Luftpore = L

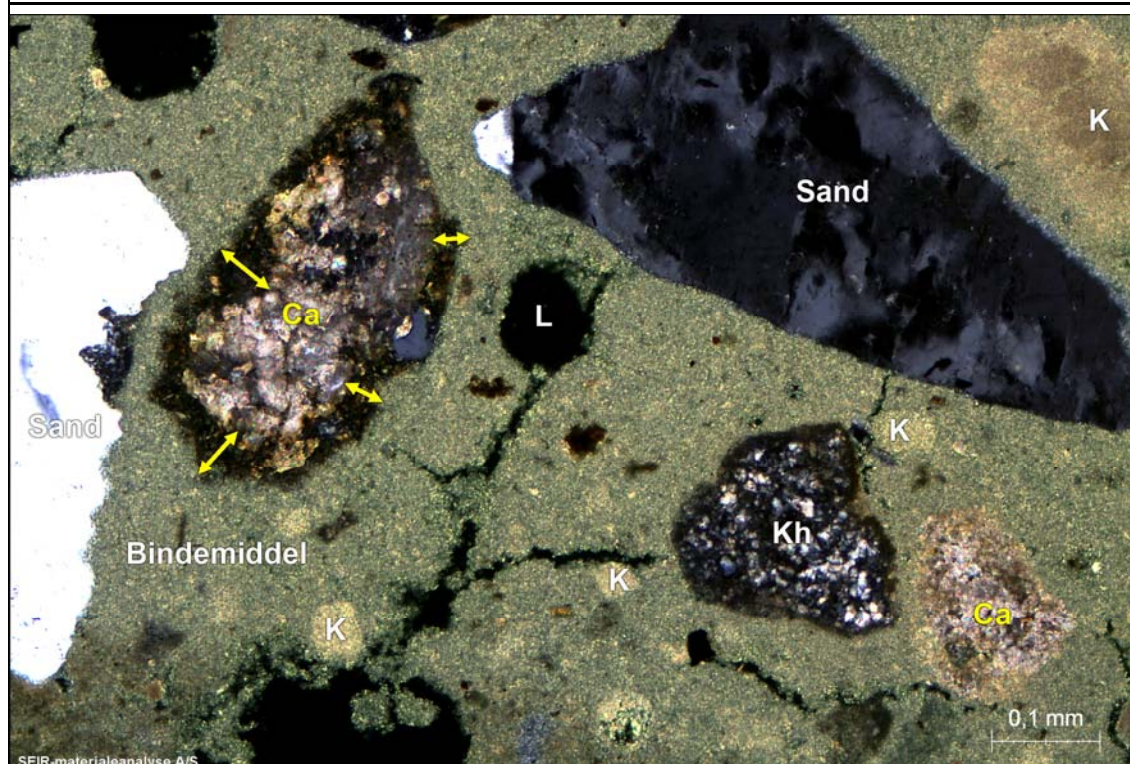


Foto: 10 (F620-18) Type: Mikrofoto Prøve nr.: P070705-7 Belysning: A Filter: +N

Prøve mærket: 180707/02 Ø-vegg, nordre tverrskip. Muremørtel. Mørtelen i denne prøve svarer i sammensætning til mørtelen i prøve 180707/02 (vist ovenfor). I bindemidlet ses rester af underbrændt kalksten (Ca) med indslag af siltsten (↔). Klumper af udispergeret ren kalk (K) optræder udbredt. På billedet ses endvidere et korn (Kh) bestående af cementklinker-mineralet belit (C_2S). Sidstnævnte opstår ved brænding af uren, silikatholdig kalksten

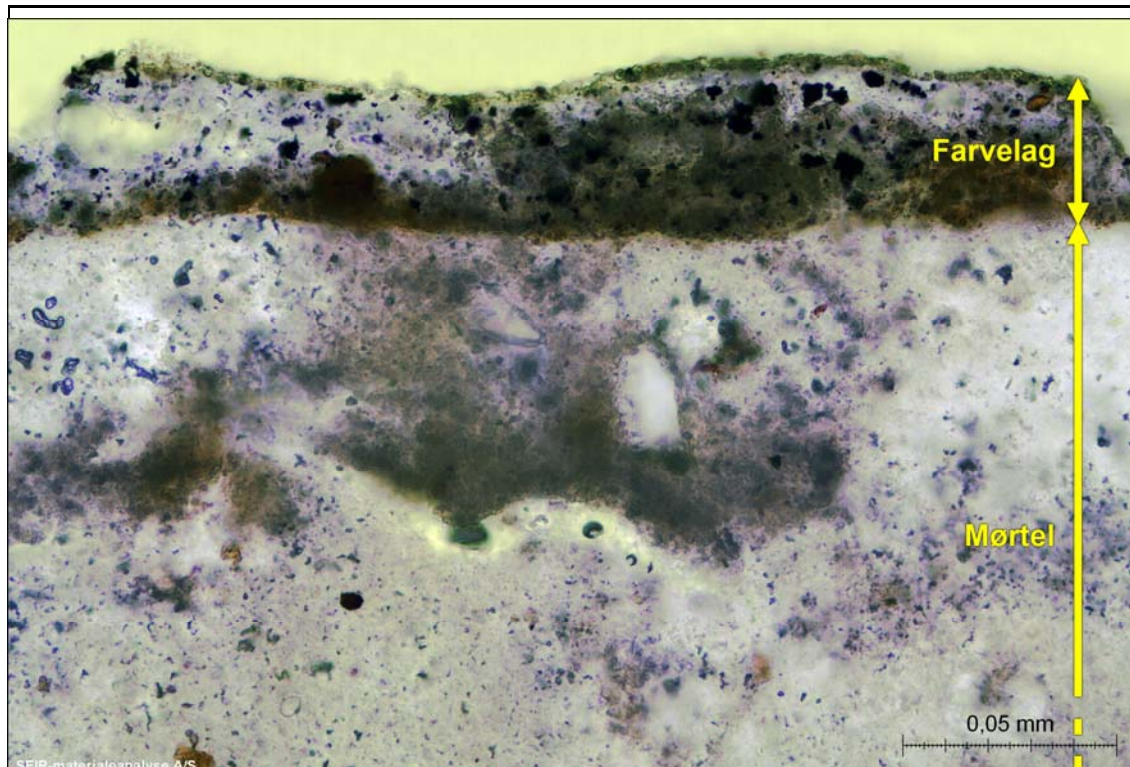


Foto: 11 (F620-31) **Type:** Mikrofoto **Prøve nr.:** P070705-8 **Belysning:** A **Filter:** -N

Prøve mærket: 230707/01: V-vegg, nordre tværrskip. Fugemørtel. Billedet viser et udsnit af fugemørtelens oprindelige, eksponerede overflade. Yderst ses en enkelte rest af et ca. 0,025 – 0,05 mm tykt farvelag. Bin- demidlet i både farvelag og underliggende mørtel er omdannet til gips, formentligt som følge af indvirkning fra "sur" svovlholdig nedbør

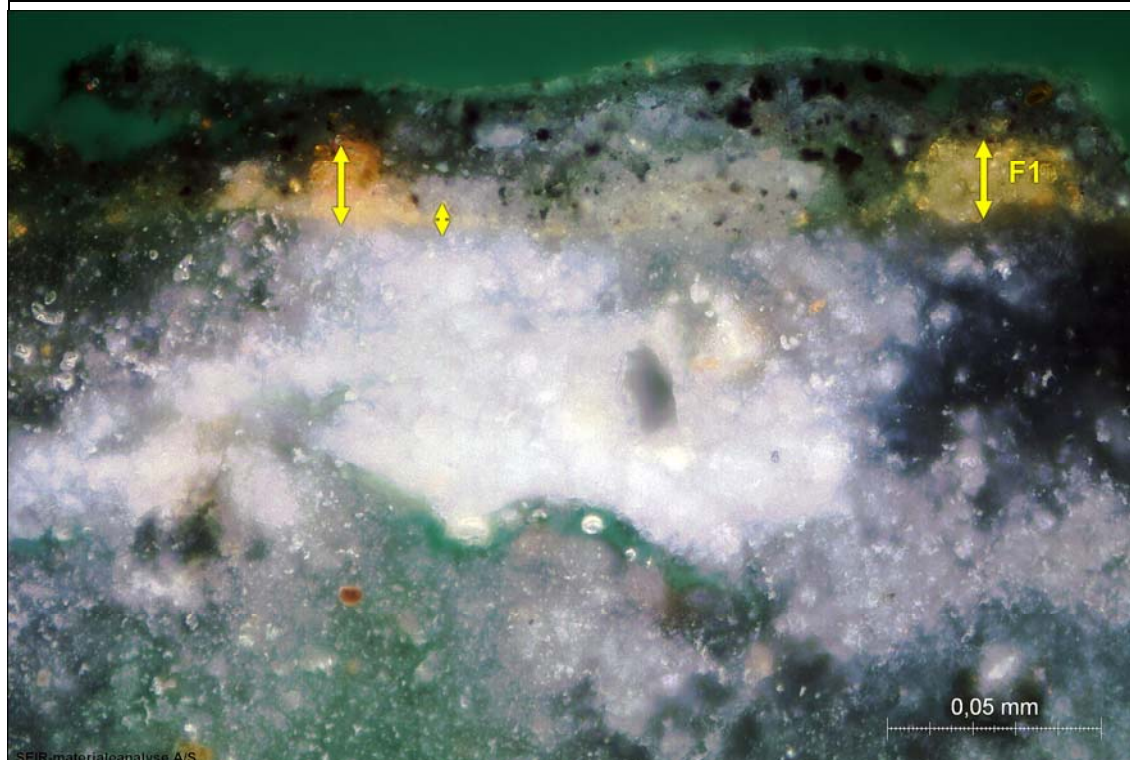


Foto: 12 (F620-32) **Type:** Mikrofoto **Prøve nr.:** P070705-8 **Belysning:** P **Filter:** +N

Prøve mærket: 230707/01: V-vegg, nordre tværrskip. Fugemørtel. Billedet viser samme udsnit af prøven som foto 11 ovenfor, men anden belysningsteknik er anvendt. Inderst i farvelaget optræder enkelte områder med gulbrun okker. Disse tolkes som rester af et ældre farvelag

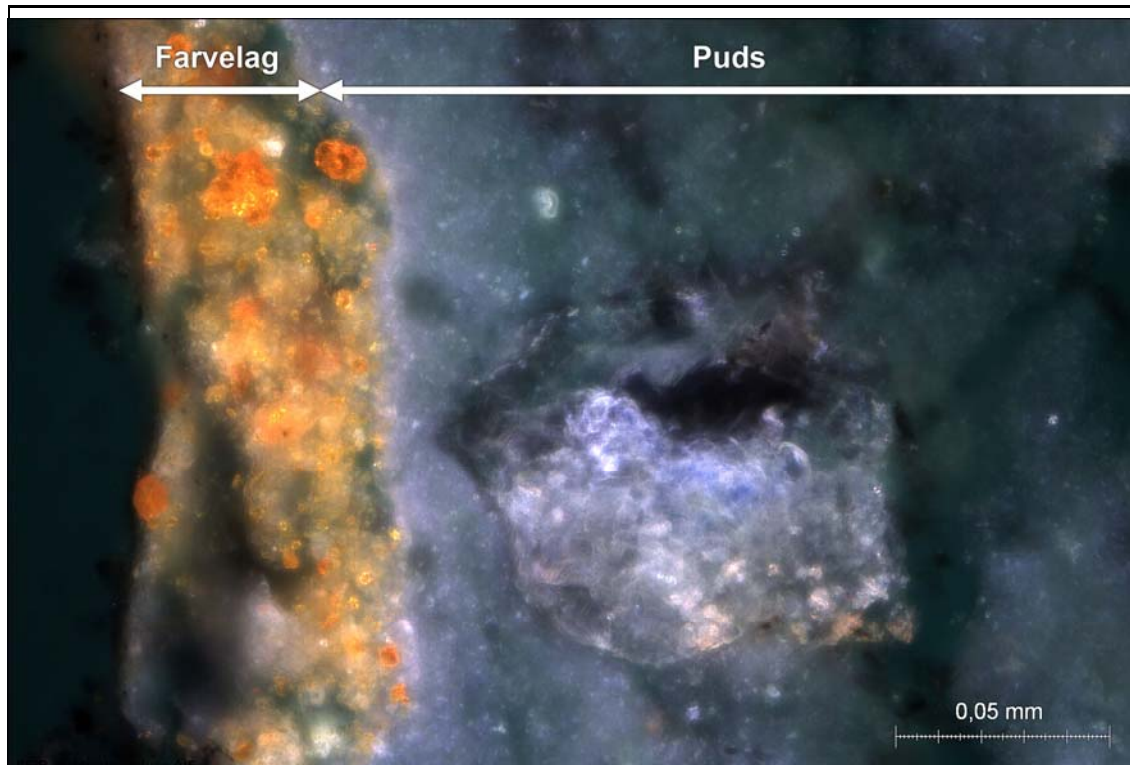


Foto: 13 (F620-23) **Type:** Mikrofoto **Prøve nr.:** P070705-9 **Belysning:** P **Filter:** +N

Prøve mærket: 180707/01: Sakristi, gul farge. Billedet viser et udsnit af prøvens overflade med resterne af det påførte gule farvelag. Farvelaget vurderes at være en kalkfarve tilsat pigment af gul okker og lidt rød jern-oxid

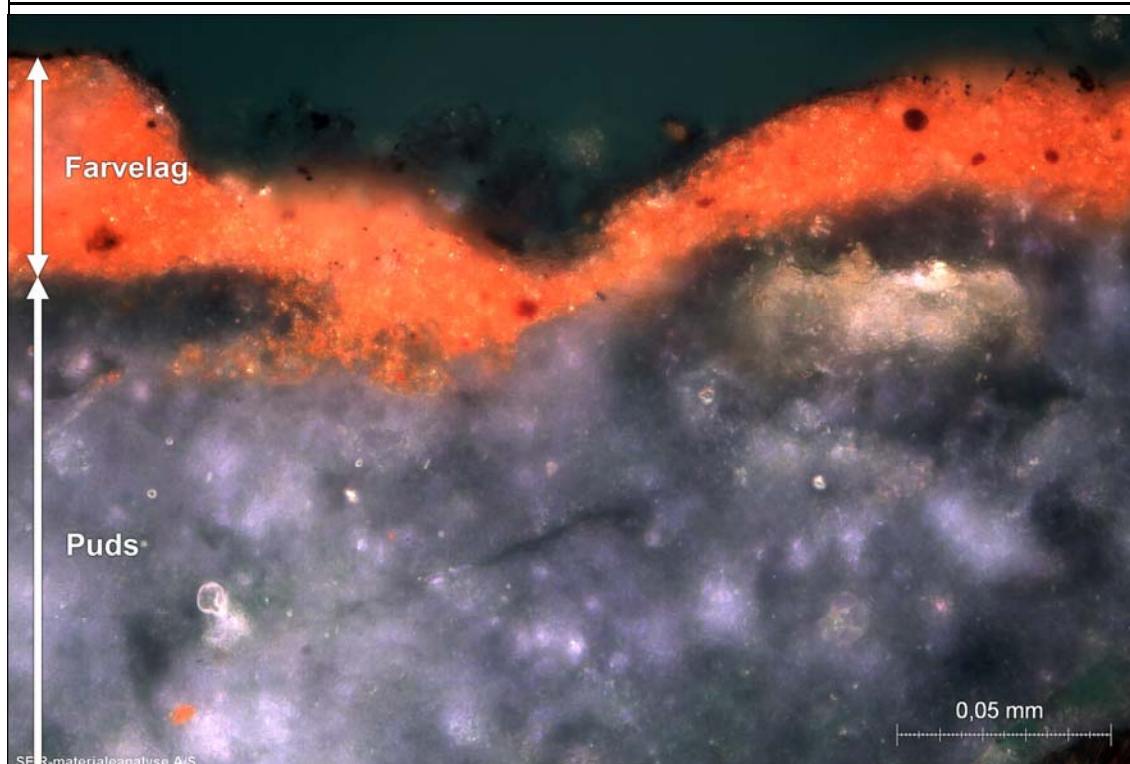


Foto: 14 (F620-24) **Type:** Mikrofoto **Prøve nr.:** P070705-10 **Belysning:** P **Filter:** +N

Prøve mærket: 180707/03: Sakristi, rød farge. Billedet viser et udsnit af prøvens overflade med resterne af det påførte røde farvelag. Farvelaget vurderes at være en kalkfarve tilsat meget finkornet pigment af rød okker. Jern fra pigmentet er stedvis trængt ned i pudsens og har rødfarvet dette. Det kan ikke afvises at organisk materiale (lim) er tilsat

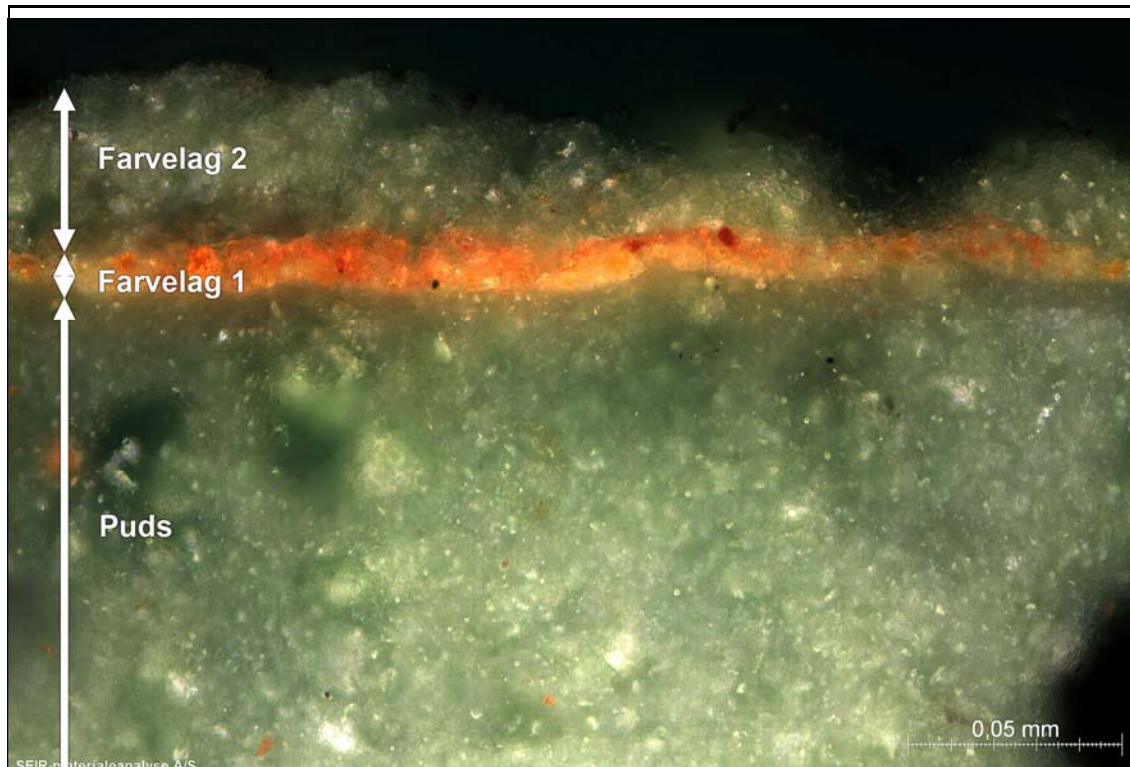


Foto: 15 (F620-25) **Type:** Mikrofoto **Prøve nr.:** P070705-11 **Belysning:** P **Filter:** +N

Prøve mærket: 180707/04: Sakristi, hvid på gul. Billedet viser et udsnit af prøvens overflade med resterne af det påførte gule (Farvelag 1) og hvide farvelag (Farvelag 2). Det gule farvelag svarer i sammensætning til det gule farvelag i prøve 180707/01. Det hvide farvelag er en ren kalkfarve

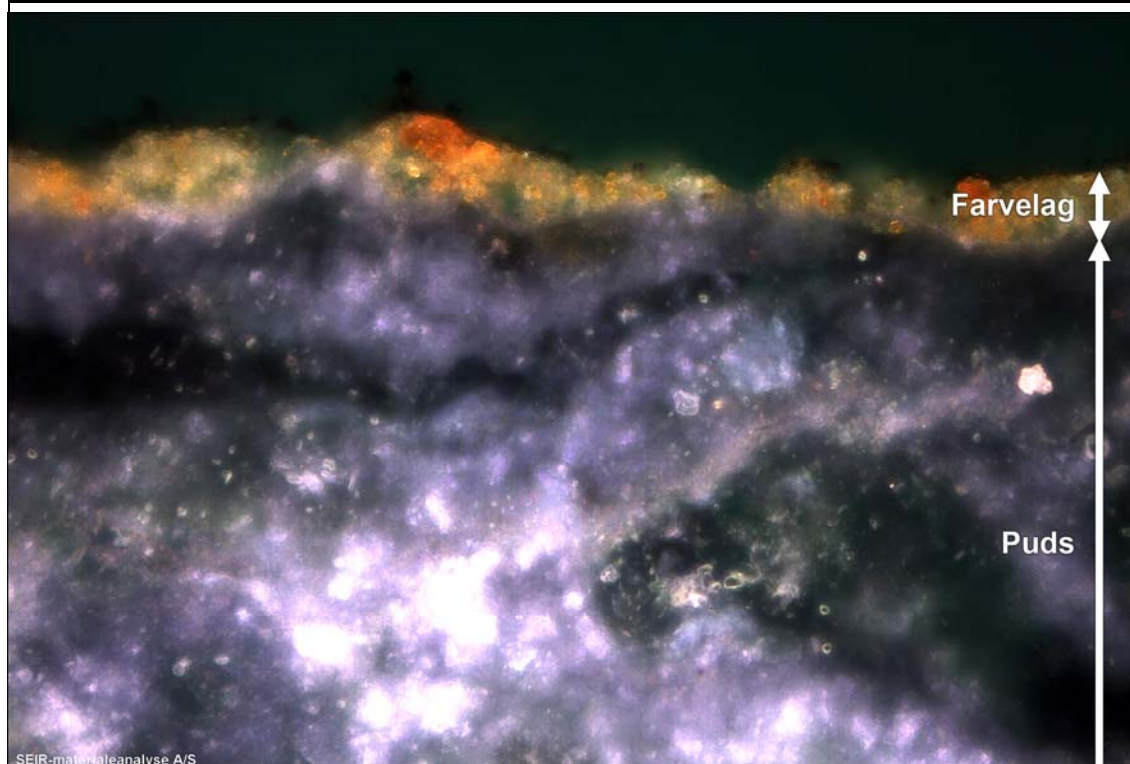


Foto: 16 (F620-26) **Type:** Mikrofoto **Prøve nr.:** P070705-12 **Belysning:** P **Filter:** +N

Prøve mærket: 180707/05: Sakristi, gul farge med hvid. Billedet viser et udsnit af prøvens overflade med resterne af det påførte gule farvelag, som svarer i sammensætning til det gule farvelag i prøve 180707/01. Der ses ingen spor efter et hvidt farvelag. Det hvide kan muligvis være udfældet kalk på overfladen, som stammer fra et sent læsket hydraulisk kalkkorn i internt i pudsen (ses ikke på billedet)

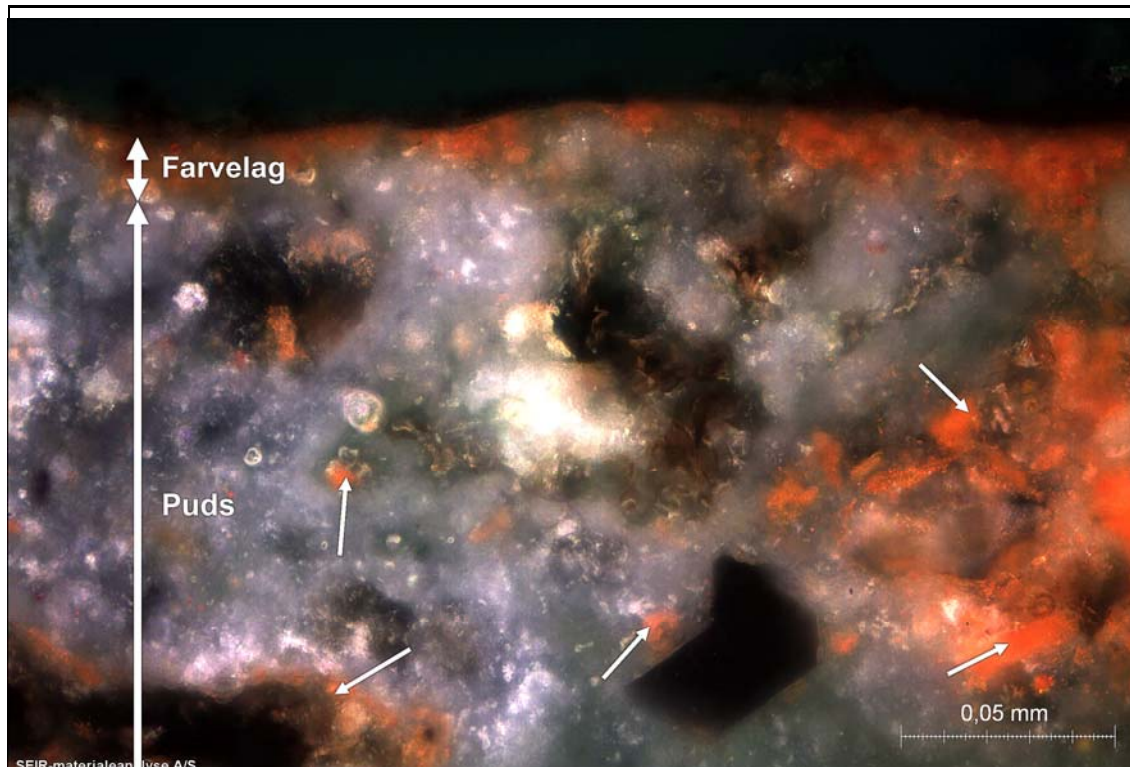


Foto: 17 (F620-28) **Type:** Mikrofoto **Prøve nr.:** P070705-13 **Belysning:** P **Filter:** +N

Prøve mærket: 180707/06: Sakristi, rød farge. Billedet viser et udsnit af prøvens overlade med svage rester af et rødt farvelag, som vurderes at svare i sammensætning til det røde farvelag i prøve 180707/03. Længere inde i pudsens ses områder med brændt uren kalk, som indeholder orange jernholdige, okkerlignende korn (→)

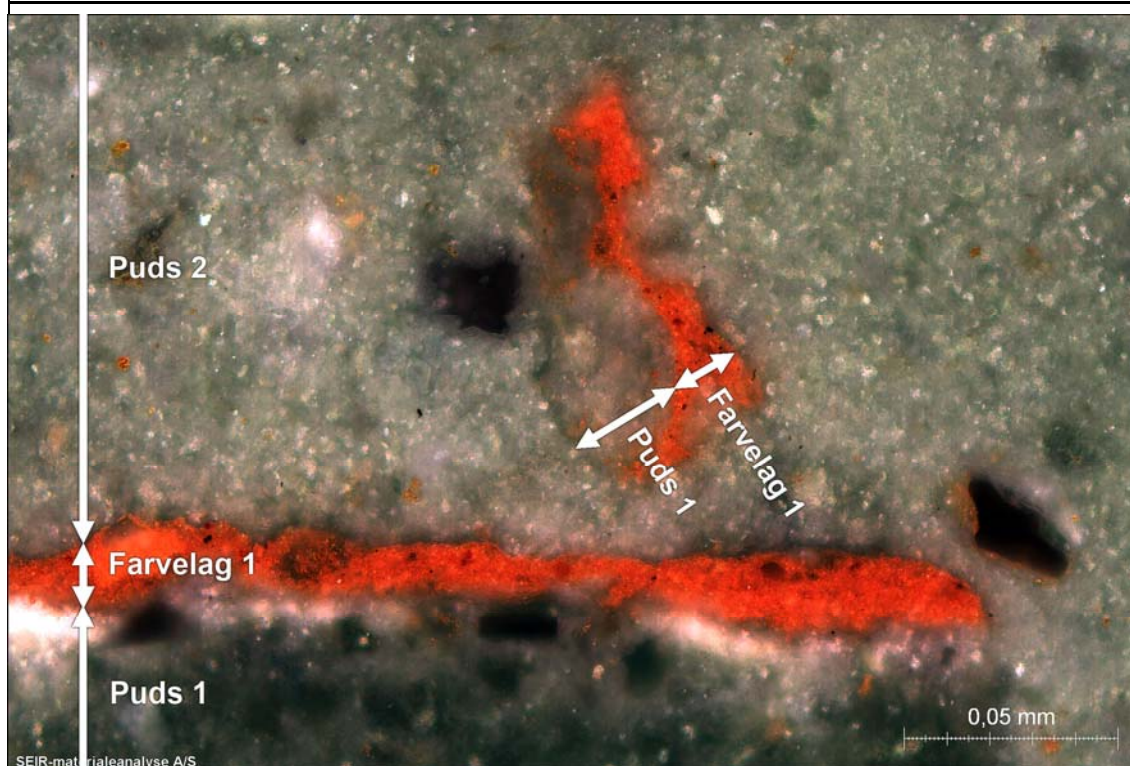


Foto: 18 (F620-29) **Type:** Mikrofoto **Prøve nr.:** P070705-14 **Belysning:** P **Filter:** +N

Prøve mærket: 180707/07: Sakristi, rød med hvit. Billedet viser et udsnit af prøvens overflade med det påførte røde (Farvelag 1) under den senere påført puds (Puds 2). Det røde farvelag svarer i sammensætning til det røde farvelag i prøve 180707/03. Farvelaget har på tidspunktet for påføringen af puds 2 været nedbrudt med løse farveflager, som efterfølgende er indlejret i puds 2



SEIR-materialanalyse A/S

Foto: 19 (F620-30) **Type:** Mikrofoto **Prøve nr.:** P070705-14 **Belysning:** P **Filter:** +N

Prøve mærket: 180707/07: Sakristi, rød med hvid. Billedet viser et udsnit af det yderste pudslag (puds 2) i prøven. Laget indeholder kun meget lidt tilslag, men er tilsat organiske, formentligt dyrehår. På billedet ses tre snit gennem sådanne fibre: 1) skråsnit, 2) længdesnit og 3) tværsnit. De to førstnævnte fibre er tydeligt hule