

Rekvirent:

Bergen kommune
Etat for Bygg og eiendom
Allehelgensgate 2
Postboks 7700
NO-5020 Bergen

Sag: 150402

Dato: 11. juni 2015

Rapport nr.: R150402

Side 1 af 14

RAPPORT

Bygværk:

Halsenøy kloster


Prøve(r):

Mørtelprøver
(3 stk.)

Undersøgelse(r):

Tyndslibsanalyse:
■ Mørtelanalyse

Oplæg	side 2
Sammenfatning og vurdering af resultater	side 3
Tyndslibsanalyser	side 6
Fotodokumentation	side 11


Torben Seir
Geolog, Cand. Scient.

SEIR-materialeanalyse A/S

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

Tel: +45 53 58 93 11

E-mail: tsh@seir-analyse.dk

Oplæg

Rekvirent

Bergen kommune
Etat for Bygg og eiendom
Allehelgensgate 2
Postboks 7700
NO-5020 Bergen

Kontaktperson: Rune Nilsen

Tel.: +47 55 56 56 82

E-mail: rune.nilsen2@bergen.kommune.no

Prøvemateriale

Prøvematerialet består af følgende prøver modtaget på laboratoriet den 9. april 2015:

Prøve nr.	Mærket	Prøvetype/prøvebeskrivelse	Prøvetagningssted (oplyst af rekvirent)	Undersøgelser
P150402-1	Prøve 1	Flageformede brudstykker (4 stk.) af lysegrå, grovkornet mørtel Dimensioner: op til 20 x 25 mm Tykkelse: op til 5 mm	På siden mot huset. Stampecalc. (Frostskade?)	Tyndslibsanalyse
P150402-2	Prøve 2	Flageformet brudstykke af svagt brunlig, grovkornet mørtel Dimensioner: 50 x 65 mm Tykkelse: 10 – 30 mm	Webers mørtel i toppen og hoved inngangspartiet. (Svak?)	Tyndslibsanalyse
P150402-3	Prøve 3	Brudstykke og løst smulder af lysegrå, grovkornet mørtel Dimensioner: 25 x 25 x 35 mm	Stampecalc i dørpartiet. (Tør brenning?)	Tyndslibsanalyse

Skema 1: Beskrivelse og registrering af prøvematerialet

Undersøgelser

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

- Beskrivelse af mørtelens bestanddele
- Bestemmelse af mørtelens sammensætning; det vil sige bestemmelse af mængden af henholdsvis tilslag, bindemiddel og luft. Bestemmelsen er udført ved punkttælling
- Vurdering af bindemiddeltype (mørteltype)
- Vurdering af omdannelses- og nedbrydningstegn.

Resultater

Resultaterne af undersøgelsen fremgår af afsnittet: *Tyndslibsanalyser*. Resultaterne er endvidere sammenfattet og uddybende vurderet i afsnittet: *Sammenfatning og vurdering*. Fotos fra tyndslibsanalysen er bragt under afsnittet: *Fotodokumentation*.

Forbehold

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

Sammenfatning og vurdering af resultater

Der er undersøgt 3 stk. mørtelprøver fra Halsenøy kloster. Undersøgelsen er udført ved mikroskopisk analyse (tyndslibsanalyse) og resultaterne fremgår af efterfølgende afsnit i rapporten. På efterfølgende sider er sammenfattet de væsentligste resultater.

Der er endvidere udført en vurdering af blandingsforholdene for de anvendte mørtler. Vurderingen er baseret på resultaterne af udførte punkttællinger samt ud fra tyndslibsanalysen estimerede materialeparametre.

Prøve 1 (Lab nr.: P150402-1)

Prøven omfatter lysegrå, grovkornet mørtel med følgende sammensætning:

Mørtel	Kalkmørtel
Bindemiddel:	Kalk (lufthærdende)
Tilslag:	Naturligt sand med største kornstørrelse omkring 4 mm
Blandingsforhold:	Som K 100/750 (omtrent som 1 rummål kalk til 3 rummål sand)
Luftindhold:	11 vol%

Supplerende vurderinger

Mørtelen viser tegn på at have været udsat for høj fugtpåvirkning, som har ført til udfældning kalk i luftporer og i de revner, som udgør de undersøgte mørtelstykkers omgivende brudflader.

Bindemidlet (kalken) fremstår uensartet carboniseret med højest carboniseringsgrad¹⁾ op til svindrevner og omgivende brudflader, hvor luft har haft lettere ved at trænge ind i mørtelen. Ved carboniseringen sker der under indvirkning af luftens kuldioxid (CO₂) en omdannelse af bindemidlets calciumhydroxid (Ca(OH)₂), også kaldet kalkhydrat, til calciumcarbonat (CaCO₃).

Årsagen til bruddannelsen i prøven vurderes at være en kombination af højt fugtindhold, lav mørtelstyrke som følge af ufuldstændig hærdning (carbonisering) og frost.

¹⁾ Betegnelsen carboniseringsgrad er et mål for mængden af den ved carboniseringen dannede calciumcarbonat. Lav carboniseringsgrad kan opstå såfremt carboniseringen fra starten har været hæmmet – fx som følge af for højt eller for lavt fugtindhold i mørtlen

Prøve 2 (Lab nr.: P150402-2)

Prøven omfatter let brunlig, grovkornet mørtel med følgende sammensætning:

Mørtel	Kalkmørtel
Bindemiddel:	Kalk (hydraulisk kalk tilsat lidt lufthærdende kalk)
Tilslag:	Naturligt sand med største kornstørrelse omkring 3 mm Finkornet marmorknus med største kornstørrelse på 0,3 mm
Blandingsforhold:	Som Kh 100/650
Luftindhold:	13 vol%

Supplerende vurderinger

Den anvendte kalk er fremstillet ved brænding af kalksten af sedimentær oprindelse. Kalkstenen har indeholdt urenheder i form af flint-lignende kisel (siliciumoxid) og lidt ler/jern-forbindelser. Kalken har efter brændingen haft stærkt hydrauliske egenskaber, som hovedsageligt stammer fra de kiselholdige urenheder i kalkstenen. Brændingen vurderes at være sket ved en relativt høj temperatur og der er dannet relativt stærkt hydrauliske mineraler. På baggrund af mængden og arten af hydrauliske mineraler vurderes den hydrauliske kalk at have haft styrkemæssige egenskaber svarende til en hydraulisk kalk som NHL 5 efter EN 459-1¹⁾. Ved tilsætning af lufthærdende kalk og knust kalksten (kalkfiller) er bindemidlets styrke justeret, så det skønsomt svarer til en NHL 3.5 efter EN 459-1.

Mørtlen viser tegn på at have været udsat for vedvarende fugtpåvirkning, som har ført til udfældning kalk i luftporer.

Bindemidlet er kun carboniseret til en dybde af 2-4 mm målt fra den oprindeligt eksponerede overflade. Carboniseringen er, selv for hydrauliske kalkmørtler, en væsentlig parameter for udvikling af mørtlernes styrke.

¹ EN standard: Bygningskalk – Del 1: Definitioner, specifikationer og overensstemmelseskriterier

Prøve 3 (Lab nr.: P150402-3)

Prøven omfatter lysegrå, grovkornet mørtel med følgende sammensætning:

Mørtel	Kalkmørtel
Bindemiddel:	Kalk (lufthærdende)
Tilslag:	Naturligt sand med største kornstørrelse omkring 4 mm
Blandingsforhold:	Som K 100/1000 (omtrent som 1 rummål kalk til 4 rummål sand)
Luftindhold:	16 vol%

Supplerende vurderinger

Indholdet af bindemiddel (kalk) er for lavt til at udfylde hulrummene mellem sandkornene i tilslaget. Mørtelen har herved fået et højt indhold af indkapslede luftporer, som igen har ført til reduceret mørtelstyrke.

Bindemidlet (kalken) er kun carbonatiseret til en dybde af 2-5 mm målt fra den oprindeligt eksponerede overflade og de omgivende brudflader i det undersøgte mørtelstykke. Den mangelfulde carbonatisering har ført til en forøgelse i antal og størrelse af svindrevner, hvilket har ført til en yderligere reduktion af mørtlens styrke.

Fraværet af kalkudfældninger internt i mørtlen indikerer, at fugtindholdet generelt har været lavt.

Tyndslibsanalyser

Prøve mærket: **Prøve 1** (Lab nr.: P150402-1)

Makroskopisk beskrivelse af prøven

Prøven består af små flageformede brudstykker (4 stk.) af lysegrå, grovkornet mørtel af lav styrke. Største kornstørrelse for tilslaget er omkring 4 mm. Brudstykkernes oprindeligt eksponerede overflader fremstår plane, let ujævne og med spor efter bearbejdning (kostning). Øvrige flader fremstår som brudflader.

Mikroskopisk beskrivelse af mørtelen set i tyndslibet

Der er fremstillet et tyndslib af de tre største brudstykker i prøven. Set i tyndslibet kan der udskilles følgende bestanddele i mørtelen:

Tilslag: 61 vol%¹⁾

Tilslaget består af bjergartskorn af granit, gneiss og glimmerskifer samt neddelte mineralkorn fra disse i form af overvejende kvarts, feldspat og glimmer. Kornformen er overvejende kantrundet. Største kornstørrelse i tyndslibet er 2,7 mm. Tilslaget kan karakteriseres som et grovkornet, naturligt sand.

Bindemiddel: 28 vol%

Bindemidlet består overvejende af en ensartet masse af mikrokrystallinsk kalk (calciumcarbonat) med følgende typer korn og klumper:

Klumper af ren kalk: Enkelte hvide, afrundede klumper af mikrokrystallinsk kalk uden indhold af urenheder. Klumperne er op til 0,1 mm store og udgør mindre end 1 vol% af bindemidlet.

Korn af underbrændt kalksten: Små brudstykker på op til 0,07 mm af finkornet, sedimentær kalksten uden urenheder. Kornene udgør omkring 1 vol% af bindemidlet.

Bindemidlet fremstår uensartet carboniseret med højest carboniseringsgrad op til omgivende overflader og svindrevner.

Luft: 11 vol%

Mørtelen indeholder en del luft i form af op til 0,5 mm store irregulære luftindeslutninger (luftporer). Der forekommer mange grove svindrevner med revnevidde op til 0,1 mm.

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

Omdannelses- og nedbrydningstegn

Mørtelen viser tegn på at have været udsat for høj fugtpåvirkning, som har ført til udfældning kalk i luftporer og på mørtelstykkernes omgivende brudflader. Der optræder ligeledes spredt udfældning af kalk på mørtelstykkernes oprindeligt eksponerede overflade.

Prøve mærket: **Prøve 2** (Lab nr.: P150402-2)

Makroskopisk beskrivelse af prøven

Prøven består af et flageformet brudstykke af let brunlig, grovkornet mørtel af middel styrke. Største kornstørrelse for tilslaget er omkring 3 mm. Brudstykkets oprindeligt eksponerede overflade fremstår svagt buet (konveks). Overfladen er svagt forvitret med synlige sandkorn. Brudstykkets bagside fremstår utilstrækkeligt komprimeret med højt indhold af indkapslet luft. Øvrige flader fremstår som brudflader.

Mikroskopisk beskrivelse af mørtelen set i tyndslibet

Der er fremstillet et tyndslib af mørtelstykket med orientering vinkelret på overfladen. Set i tyndslibet kan der udskilles følgende bestanddele i mørtelen:

Tilslag-1, naturligt sand: 47 vol%

Tilslag-1 består af bjergartskorn af granit, gneiss og metavulkanit (leptit/helleflint) samt neddelte mineralkorn fra disse i form af overvejende kvarts, feldspat, glimmer og amfibol. Kornformen er overvejende kantrundet. Største kornstørrelse i tyndslibet er 3,0 mm. Tilslag-1 kan karakteriseres som et grovkornet, naturligt sand.

Tilslag-2, marmorknus: 9 vol%

Tilslag-2 består af små kantede korn af marmor med største kornstørrelse i tyndslibet på 0,3 mm. Andelen af korn mindre end 0,1 mm er høj. Tilslag-2 kan karakteriseres som et finkornet marmorknus.

Bindemiddel: 31 vol%

Bindemidlet består overvejende af en amorf masse af ucarboniseret kalkhydrat, hvori der kan udskilles følgende typer korn og klumper:

Korn med hydrauliske komponenter: Hvide til svagt brunlige, typisk irregulære korn domineret af amorf til mikrokrySTALLINSK kalksilikat. I kornene ses endvidere lidt omdannede ler/jern-forbindelser, stedvis med overgang til krySTALLINSK ferrit (C_4AF). Derudover er der observeret enkelte korn med belit- (C_2S) og alit- (C_3S) lignende mineraler samt enkelte korn med struktur og udseende som portlandcement. Kornene er op til 0,15 mm store og udgør 4 vol% af bindemidlet.

Korn af findelt kalksten: Små kantede til irregulære korn bestående af finkornet kalksten. Fosile strukturer i form af bl.a. brudstykker af kalkskallede foraminiferer forekommer. En stor del af kornene indeholder små luftbobler, som er typisk for kalksten som har været udsat for opvarmning/brænding. Kornene indeholder stedvis mikrokrySTALLINSK kisel i form af flint. Kornene er op til 0,10 mm store. Indholdet af korn mindre end 0,05 mm er meget højt. De korn som kan erkendes udgør 4 vol% af bindemidlet.

Klumper af ren kalk: Enkelte hvide, afrundede klumper af amorf til mikrokrySTALLINSK kalk uden urenheder. Klumperne er op til 0,1 mm store og udgør mindre end 1 vol% af bindemidlet.

Bindemidlet er carbonatiseret til en dybde af 2-4 mm målt fra den oprindeligt eksponerede overflade. Carboniseret bindemiddel optræder endvidere op til brudstykkets bagside og op til de omgivende brudflader.

Luft: 13 vol%

Mørtelen indeholder en del luft i form af op til 2 mm store irregulære luftindeslutninger (luftporer). Der ses ingen svindrevner.

Omdannelses- og nedbrydningstegn

Mørtelen viser tegn på at have været udsat for vedvarende fugtpåvirkning, som har ført til udfældning kalk i luftporer. Der optræder ligeledes spredt udfældning af kalk på mørtelstykkets oprindeligt eksponerede overflade. Sidstnævnte overflade fremstår let forvitret med frilagte tilslagskorn.

Prøve mærket: **Prøve 3** (Lab nr.: P150402-3)

Makroskopisk beskrivelse af prøven

Prøven består af et brudstykke og løst smulder af lysegrå, grovkornet mørtel af lav styrke. Største kornstørrelse for tilslaget er omkring 8 mm. Brudstykkets oprindeligt eksponerede overflade fremstår plan, men let ujævn. Øvrige flader fremstår som let smuldrende brudflader.

Mikroskopisk beskrivelse af mørtelen set i tyndslibet

Der er fremstillet et tyndslib af mørtelstykket med orientering vinkelret på overfladen. Set i tyndslibet kan der udskilles følgende bestanddele i mørtelen:

Tilslag: 63 vol%

Tilslaget består af bjergarts-korn af granit, gneiss og glimmerskifer samt neddelte mineralkorn fra disse i form af overvejende kvarts, feldspat, amfibol og glimmer. Kornformen er kantrundet. Største kornstørrelse i tyndslibet er 4,0 mm. Tilslaget kan karakteriseres som et grovkornet, naturligt sand.

Bindemiddel: 21 vol%

Bindemidlet består overvejende af en let uensartet, amorf masse af ucarboniseret kalkhydrat. Der er ikke observeret korn og klumper i bindemidlet.

Bindemidlet er carboniseret til en dybde af 2-5 mm målt fra den oprindeligt eksponerede overflade og de omgivende brudflader.

Luft: 16 vol%

Mørtelen indeholder meget luft i form af op til 1,0 mm store irregulære luftindeslutninger (luftporer) med gradvis overgang til grove svindrevner med revnevidde op til 0,2 mm.

Omdannelses- og nedbrydningstegn

Mørtelens overflade viser tegn på at have været udsat for svag fugtpåvirkning, som har ført til spredt udfældning af kalk på overfladen. Der er ikke observeret kalkudfældninger i mørtelens indre.

Fotodokumentation

På efterfølgende side(r) bringes et eller flere mikrofotos optaget ved brug af digital skanner og/eller optaget i polarisationsmikroskop. Følgende filtre og belysningsteknikker kan være anvendt:

Filtre:	- N	Parallele 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)
	S	Gennemfaldende lys (skannet)

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.

Ved fremstillingen af tyndslibet er mørtelstykkerne omstøbt og imprægneret under vakuum med epoxy tilsat farvestoffet fluorescein. Epoxyen har på billederne en gul farve.



Foto: 1 (F1316-1) **Type:** Mikrofoto **Prøve nr.:** P150402-1 **Belysning:** A **Filter:** -N

Prøve 1: Billedet viser et udsnit af mørtlen set i tyndslibet. Som bindemiddel er der anvendt ren lufthærdende kalk. Bindemidlet (Bi) indeholder mange svindrevner (»svinnriss«) (R). Luftpore = Lu



Foto: 2 (F1316-2) **Type:** Mikrofoto **Prøve nr.:** P150402-1 **Belysning:** A **Filter:** +N

Prøve 1: Billedet viser samme udsnit af mørtlen som foto 1, men en anden type filter er anvendt. Bindemidlet er i områder ufuldstændigt carboniseret med lavt indhold af calciumcarbonat. Et eksempel herpå er markeret med røde prikker. De ufuldstændigt carboniserede områder har højere indhold af svindrevner (R), end de omgivne fuldt carboniserede områder. Svindrevnerne er opstået ved udtørring af bindemidlet før hærdningen (carbonatiseringen). I luftporer ses kalkudfældninger

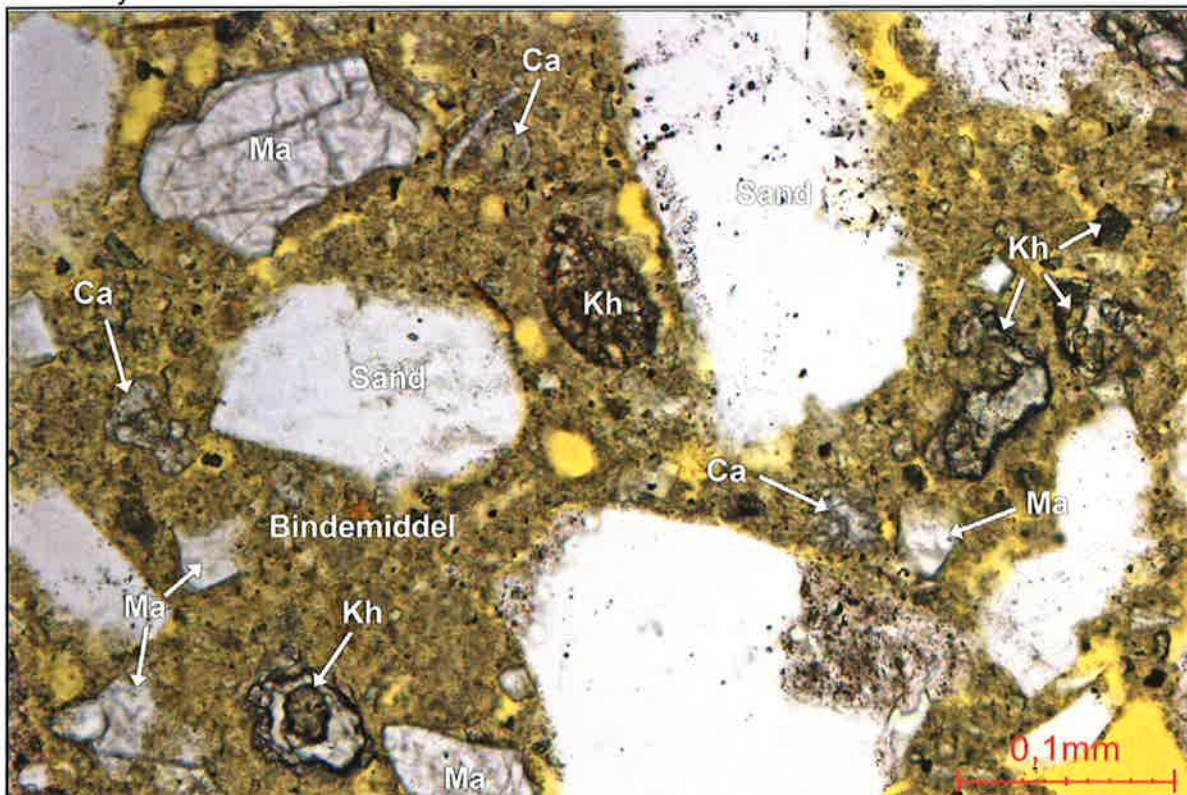


Foto: 3 (F1316-3) **Type: Mikrofoto** **Prøve nr.: P150402-2** **Belysning: A** **Filter: -N**

Prøve 2: Billedet viser et udsnit af mørtlen set i tyndslibet. Som bindemiddel er der i denne prøve anvendt hydraulisk kalk. Som tilslag er der anvendt en blanding af naturligt sand og marmorknus (Ma). Korn af hydraulisk kalk = Kh. Korn af underbrændt kalksten = Ca

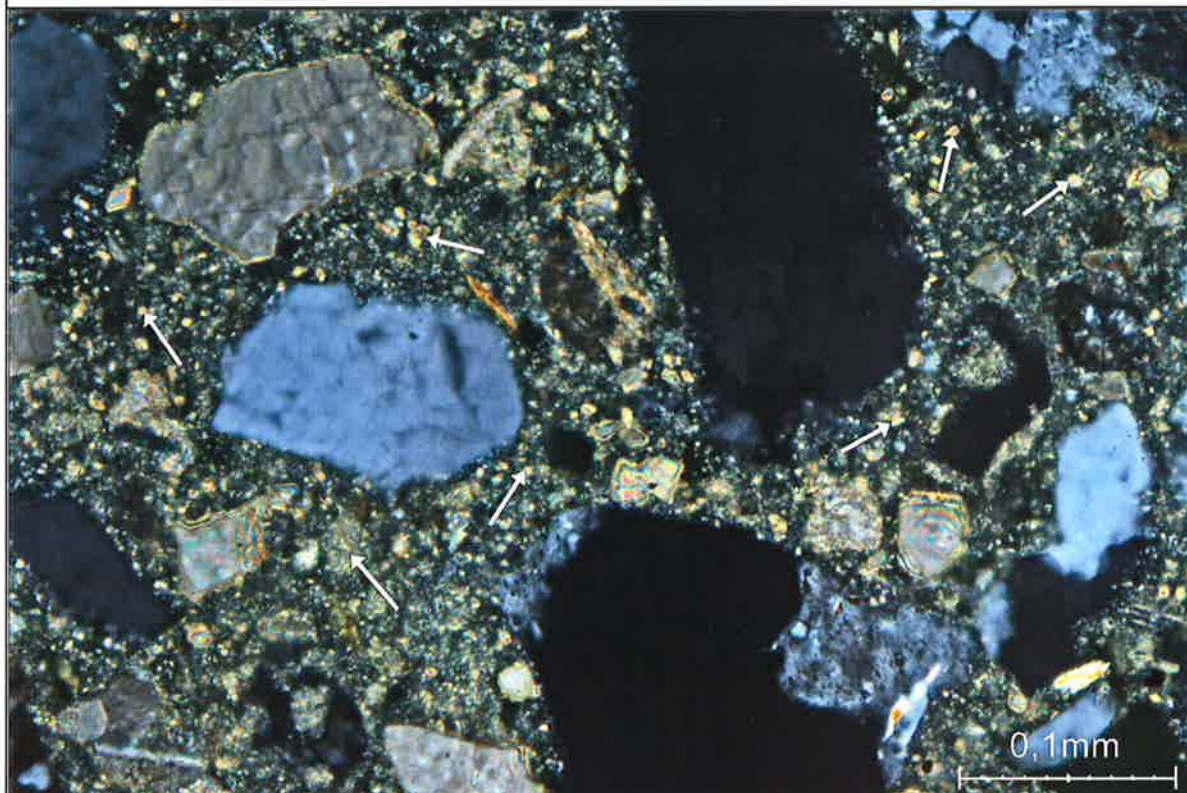


Foto: 4 (F1316-4) **Type: Mikrofoto** **Prøve nr.: P150402-2** **Belysning: A** **Filter: +N**

Prøve 2: Billedet viser samme udsnit af mørtlen som foto 3, men en anden type filter er anvendt. Bindemidlet er ikke carbonatiseret i det viste område. Bindemidlet har et højt indhold af meget små korn af kalksten (→) af samme type som den underbrændte kalksten

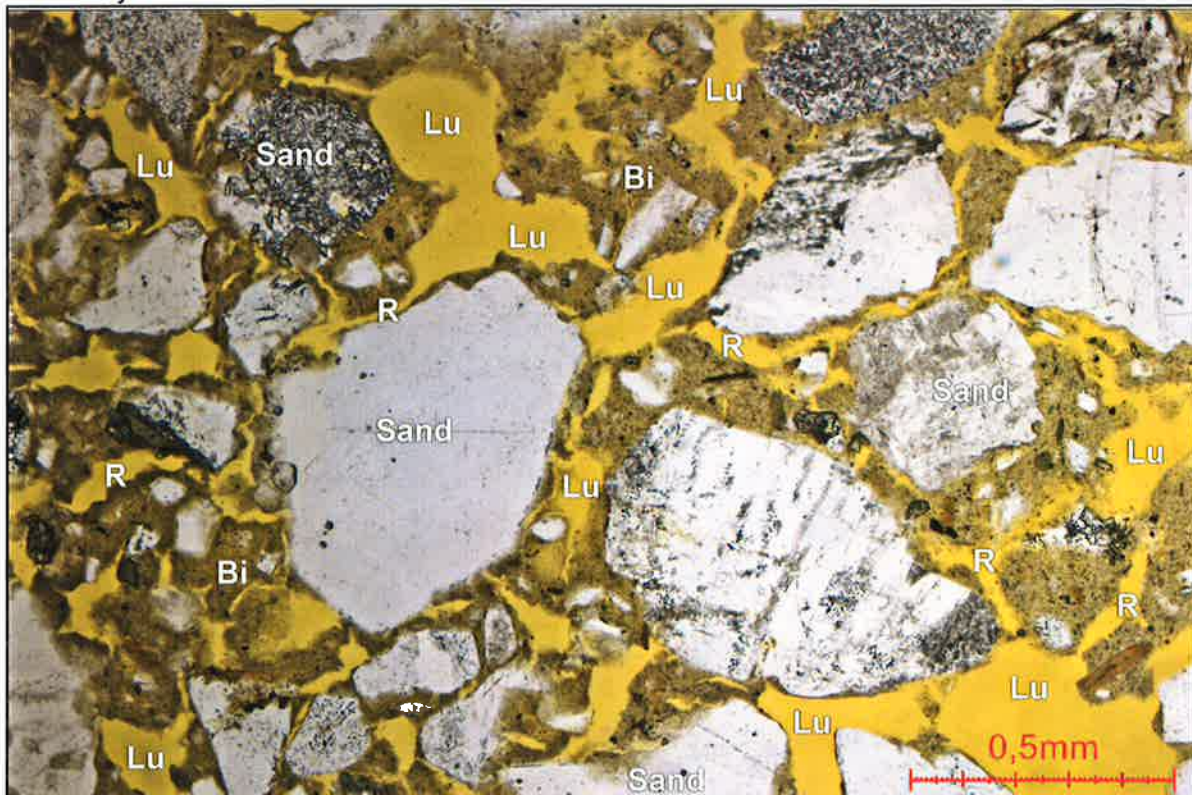


Foto: 5 (F1316-5) Type: Mikrofoto Prøve nr.: P150402-3 Belysning: A Filter: -N

Prøve 3: Billedet viser et udsnit af mørtlen set i tyndslibet. Som bindemiddel er der anvendt ren lufthærdende kalk. Indholdet af bindemiddel (Bi) er så lavt, at det ikke kan udfylde hulrummene mellem sandkornene i tilslaget. Dette har ført til dannelsen af et højt indhold af indkapslede luftporer (Lu). Senere udtørring har ført til dannelsen af svindrevner (R)

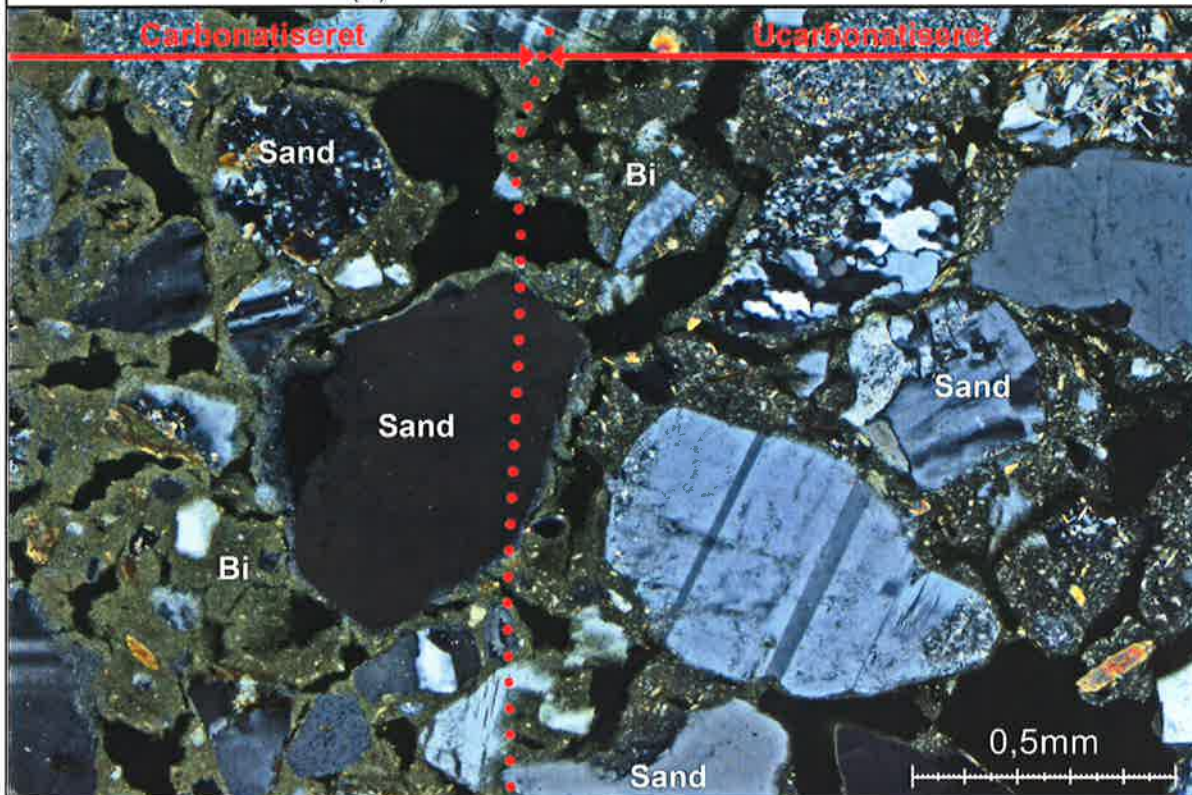


Foto: 6 (F1316-6) Type: Mikrofoto Prøve nr.: P150402-3 Belysning: A Filter: +N

Prøve 3: Billedet viser samme udsnit af mørtlen som foto 5, men en anden type filter er anvendt. Bindemidlet er i det viste udsnit carbonatiseret i den venstre side af billedet og ucarbonatiseret i den højre side af billedet

