

- Proefstation : B-1342 Limelette, avenue P. Holoffe, 21
- Kantoren : B-1932 Sint-Stevens-Woluwe, Lozenberg, 7
- Maatschappelijke zetel : B-1000 Brussel, Lombardstraat, 42

Tel : (32) 2 655 77 11

Fax : (32) 2 653 07 29

Tel : (32) 2 716 42 11

Fax : (32) 2 725 32 12

Tel : (32) 2 529 81 00

Fax : (32) 2 529 81 10

BTW nr. : BE 407.695.057

Blz. : 1/12

LABORATORIUM:

Mineralogie & Microstructuur

PROEFVERSLAG

Nr. DE, ATA, RE : DE 622 x 804

Nr. Labo : MIC 1339

Nr. Monster : 2012-19-019

AANVRAGER: ONROEREND ERFGOED
Koning Albertlaan 19 bus 5
B-1210 Brussel

Gecontacteerde personen:

- Aanvrager -
Mevr. J. Martens

- WTCB -
Mr. Y. Vanhellemont

Uitgevoerde proeven: petrografische analyse

Voor: 2 stalen asbeton

Referenties : volgens SP/MIC/6.03 en ASTM STP 106-1 – *Petrography applied to concrete and concrete aggregates (1990)*

Datum en referentie van de aanvraag : 13.06.2012

Ontvangstdatum van de proefstuk(ken) : 08.06.2012

Datum van de proef : 19.09.2012

Datum opstelling van het verslag : 25.09.2012

Dit proefverslag bevat 12 pagina's, genummerd van 1/12 tot en met 12/12 en mag slechts in zijn geheel verveelvoudigd worden.

Elk blad van het origineel verslag is afgestempeld met de laboratoriumstempel (in het rood) en geparafeerd door het laboratoriumhoofd.

De resultaten en waarnemingen zijn slechts geldig voor de beproefde monsters.

Geen monster

Monster(s) onderworpen aan destructieve proef

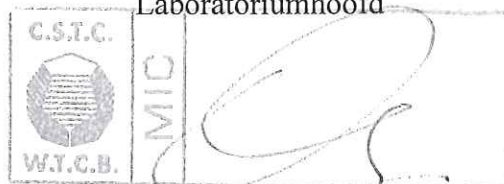
Monster(s) 60 kalenderdagen na het opsturen van het verslag uit onze laboratoria verwijderd, behalve bij andersluidende schriftelijke aanvraag

Verantwoordelijke der proeven



Lic. geol. Veerle Bams

Laboratoriumhoofd



dr. sc. Dominique Nicaise



1. MONSTER

Het ontvangen monster bestaat uit 2 stalen asbeton. De stalen werden genomen en genummerd door de aanvrager. De stalen "2B3" en "1C" werden ons bezorgd door het WTCB-laboratorium "Renovatie" op 8 juni 2012.

De verschillende betonkarakteristieken dienen geïdentificeerd te worden door een analyse aan de hand van slijpplaatjes.

2. BESCHRIJVING VAN DE PROEVEN

Een *petrografische analyse* bestaat uit een microscopisch onderzoek met een fluorescentie-polarisatie-microscop aan de hand van slijpplaatjes. De analyse laat toe de volgende karakteristieken van een beton te bepalen:

- Type en mineralogie van de granulaten
- Type van cement
- Hydratatiegraad
- Capillaire porositeit
- Homogeniteit van het beton
- Microstructuur, i.e. beschrijving van de poriën en scheuren
- Diepte van carbonatatie
- Aanwezigheid van secundaire afzettingen en aantasting

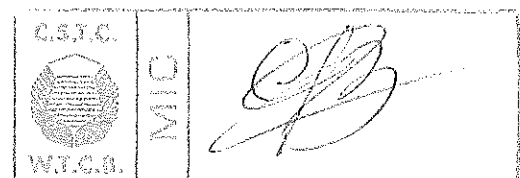
3. VOORBEREIDING

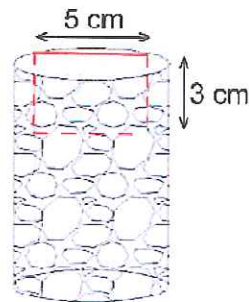
Voor de realisatie van een slijpplaatje werden de stalen eerst voorgeïmpregneerd met een epoxyhars. Na verharding van het hars werd hieruit loodrecht aan het oppervlak een proefstuk gezaagd (*Figuur 1*). Vervolgens werd dit proefstuk voor een tweede keer onder vacuüm geïmpregneerd met een fluorescerend epoxyhars. Na uitharding wordt het op een glasplaatje gekleefd en afgesleten tot een dikte van 0,025 - 0,030 mm. Nadien wordt het slijpplaatje afgedekt met een dekglasje. Het te onderzoeken proefstuk beslaat een oppervlakte van 3 x 5 cm.

Volgende tabel geeft een overzicht van de slijpplaatjes.

Tabel 1: overzicht slijpplaatjes

proefstuk	slijpplaatje
2B3	LM 3724
1C	LM 3725





Figuur 1: schema - staalname van het slijpplaatje (rood gekleurd)

4. RESULTATEN

4.1 Microscopisch analyse: algemeen

De resultaten van de analyse worden samengevat in tabellen weergegeven. Hieronder volgt meer uitleg betreffende de verschillende besproken karakteristieken.

Porositeit:

De porositeit van een beton omvat de holtes in de cementsteen die gevuld zijn met lucht. Hierin onderscheiden we de ronde poriën, die ontstaan zijn tengevolge van luchtbelvormers en in sommige gevallen door superplastificeerders, en de onregelmatige poriën die verdichtingsporiën zijn.

De hoeveelheid poriën wordt geschat en uitgedrukt in volumepercent. Hier wordt geen onderscheid gemaakt tussen de twee bovengenoemde poriën en is het resultaat een totaal van beiden. De schatting gebeurt subjectief aan de hand van "volume schattingsdiagrammen".

Foto 1
Foto 2

Hydratatiegraad:

De graad waarin het cement al gehydrateerd is, wordt bepaald aan de hand van de hoeveelheid aliet- of belietklinkers er nog herkend kunnen worden. Deze parameter is een schatting en wordt uitgedrukt in laag - normaal - hoog.

Foto 6

Capillaire porositeit:

De capillaire porositeit is de porositeit van de verharde cementpasta. Deze wordt beoordeeld onder fluorescerende belichting waardoor de graad van "groenheid" (bekomen door impregnatie van het beton met een hars dat een fluorescerend pigment bevat) een idee geeft van deze porositeit.





Deze porositeit is verbonden aan de verhouding water/cement (W/C-factor) van het beton. De porositeit is vergeleken met deze van een beton van 28 dagen, gemaakt in het laboratorium, met een gekende W/C-factor, en met granulaten en een CEM I (portland) cement die veelvuldig in België gebruikt worden, zonder additieven. Op deze manier kan de overeenkomende W/C-factor geschat worden.

Ook wordt gekeken naar de homogeniteit van de capillaire porositeit.

Scheurvorming:

De soorten scheuren die onder de optische microscoop waargenomen kunnen worden zijn de volgende:

Grote scheurtjes (> 0.1 mm): zichtbaar met parallelle belichting,

Fijne scheurtjes (0.01 – 0.1 mm): zichtbaar met parallelle belichting,

Microscheurtjes (< 0.01 mm): zichtbaar met fluorescerende belichting.

Onthechtingscheuren: scheuren die rond granulaten aanwezig zijn door een gebrek aan aanhechting met de cementsteen.

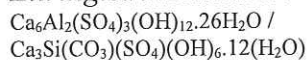
Foto 7

Krimpscheuren: dit zijn microscheuren, met een breedte < 0,01 mm, die voorkomen in een netwerkverband en ontstaan zijn door krimp van de cementsteen tijdens de uitharding.

Carbonatatie:

De carbonatatie van een cementsteen kan *homogeen* of *heterogeen* zijn. Deze is homogeen indien de carbonatatie progressief vanaf het betonoppervlak naar de diepte toe verspreid. Maar de cementsteen is heterogeen gecarbonateerd wanneer deze optreedt langsheen poriën en scheuren waardoor er geïsoleerde gecarbonateerde zones ontstaan.

Ettringiet/thaumasiet:



Het voorkomen van deze secundaire, naaldvormige mineralen (ettringiet, thaumasiet of een vaste oplossing van de twee) kan in vier types onderverdeeld worden, namelijk:

“Lange”naalden: deze individuele, fijne naalden komen voornamelijk aan de rand van de poriën voor met een lengte van ongeveer de helft van de poriediameter. Dit type is niet scheurvormend





“Korte” naalden: dit type komt voor als fijne, individuele naalden aan de rand van een porie of in een scheur en met lengte $< 50 \mu\text{m}$. Wanneer de korte naalden loodrecht op de rand van scheuren voorkomen, kunnen ze scheurvormend zijn.

Foto 8

Foto 9

Naalden in netwerk: deze fijne naalden komen kriskras door elkaar voor in poriën of scheuren. Dit type naalden is meestal niet scheurvormend.

Massief: bij dit type van afzettingen lijkt het alsof het gaat om een massieve afzettingen van ettringiet (E)/thaumasiet (T) maar dit effect wordt bekomen doordat de naalden zeer fijn zijn en moeilijk individueel onderscheiden kunnen worden van elkaar onder de optische microscoop.

Foto 9

Wanneer de naalden in deze vorm voorkomen, kan de mineralogische aard bepaald worden aangezien de “massieve” thaumasiet onder gepolariseerd licht een licht gele kleur vertoont en ettringiet witgekleurd blijft. Wanneer dit type mineraal voorkomt in de cementsteen, bestaat er de mogelijkheid dat het gaat om primair ettringiet.

In theorie zou deze soort naaldafzettingen kunnen leiden tot scheurvorming van het beton.

Secundaire mineralen: *Calciet* (CaCO_3): calcium -en carbonaationen komen door uitloging van de cementsteen in poriënwater terecht en zetten zich opnieuw af als calciet in scheuren.

Uitloging: wanneer er een grote hoeveelheid water doorheen de verharde cementsteen percoleert, lossen de cement-componenten op waardoor de cementsteen een donkerdere kleur krijgt (onder microscoop met gepolariseerd licht) en worden er portlandietkristallen (Ca(OH)_2) afgezet.

Foto 9

Foto 11





4.2 *Microscopisch analyse: samenstelling*

Na analyse van de twee slijpplaatjes blijkt dat de aard van de granulaten en het gebruikte cementtype voor de twee betonstalen gelijkaardig is. Bijgevolg wordt hiervoor één beschrijving voor de twee slijpplaatjes gegeven.

AARD VAN DE GRANULATEN

Grindfractie: De grindfractie bestaat uit slakken met een onregelmatige vorm en een grootte die varieert van 10 μm tot 1,5 cm. De slakken komen voor in twee verschillende soorten samenstellingen, soms ook een mengeling van de twee. De eerste soort zijn metallische slakken die waarschijnlijk ijzeroxiden bevatten door hun rode kleur. De tweede soort heeft een glasachtig voorkomen en vertonen melilietkristallen. Soms worden er gebrande kwartskorrels en mangaandendrieten in teruggevonden.

Foto 3

Zandfractie: Aangezien de grootte van de slakken zo breed varieert (10 μm - 1,5 cm) is er ook een fractie aanwezig als zand. Verder worden er afgeronde tot ronde kwartskorrels teruggevonden met een grootte die varieert van 50 μm tot 200 μm .

Foto 7

Asbestvezels: In de slijpplaatjes konden geen asbestvezels teruggevonden worden.

De granulometrie tussen de grind- en zandfractie is continu en de verschillende fracties zijn homogeen verdeeld.

AARD VAN HET CEMENT

Cementtype: Als cement is waarschijnlijk een portlandcement met een grove korrel gebruikt. Ook kunnen er kleine en grote hoogovenslakken waargenomen worden. Sommige hoogovenslakken vertonen een ijzerhoudende reactierand. Aangezien het gaat om een oud beton, kan in België dit type cement niet met zekerheid gelijkgesteld worden met een cementtype CEM III volgens de norm NBN EN 197-1.

Foto 5

Foto 9





4.3 Microscopisch analyse: microstructuur en secundaire afzettingen

Tabel 2: samenvatting van de onderzochte karakteristieken

karakteristiek	Staal 2B3	Staal 1C
	LM 3724	LM 3725
porositeit [vol%]	± 30	± 20
ronde poriën	-	-
grootte [µm]	-	-
onregelmatige poriën	+++	+++
grootte [mm]	< 5	
hydratatiegraad	+++	+++
capillaire porositeit		
homogeniteit	+++	+++
W/C-factor	> 0,65	> 0,65
scheurvorming		
grote scheuren	-	-
fijne scheuren	-	-
microscheuren	+	-
onthechtingscheuren	++	+
krimpscheuren	-	-
andere	++ ¹	+
carbonatatie		
homogeniteit	+++	+++
diepte [µm]	volledig	volledig
ettringiet/thaumasiet		
“lange” naalden	-	-
“korte” naalden	++	+
naalden in netwerk	-	-
massief	+	+
andere sec. mineralen		
calciet	+	+
portlandiet (uitloging)	++ ²	+++

+++ veelvuldig aanwezig / hoog
++ matig aanwezig / matig / normaal

+ weinig aanwezig / laag
- niet van toepassing / geen



¹ Fijne scheuren in de aggregaten, waarschijnlijk ten gevolge van verhitting.

² Portlandietkristallen komen niet enkel in de cementsteen voor maar ook als naalden in poriën.

LIJST VAN TABELLEN

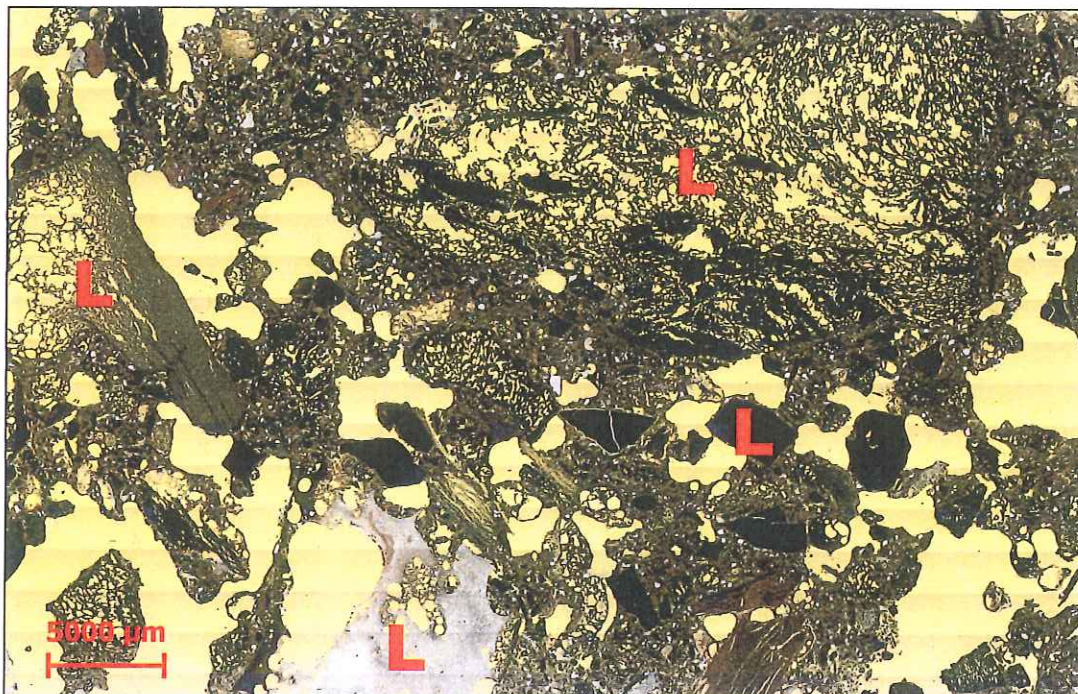
Tabel 1: overzicht slijpplaatjes.....	2
Tabel 2: samenvatting van de onderzochte karakteristieken	7

LIJST VAN FOTO'S

Foto 1: <i>betonstaal 2B3</i> - algemeen overzicht van de samenstelling en microstructuur	8
Foto 2: <i>betonstaal 1C</i> - algemeen overzicht van de samenstelling en microstructuur	9
Foto 3 & 4: <i>betonstaal 1C</i> - slak met mellilietkristallen.....	9
Foto 5: <i>Betonstaal 2B3</i> - hoogovenslak met een reactierand.....	10
Foto 6: <i>Betonstaal 2B3</i> - grofkorrelig C_2S -klinker in de cementsteen.....	10
Foto 7: <i>betonstaal 1C</i> - metallisch slak met interne scheuren & onthechtingscheuren.....	11
Foto 8: <i>Betonstaal 2B3</i> - korte ettringietnaalden in een porie.....	11
Foto 9 & 10: <i>betonstaal 1C</i> - porie opgevuld met ettringietnaalden en portlandietkristallen.....	12
Foto 11 & 12: <i>betonstaal 2B3</i> - portlandietnaaldjes in een porie.....	12

LIJST VAN FIGUREN

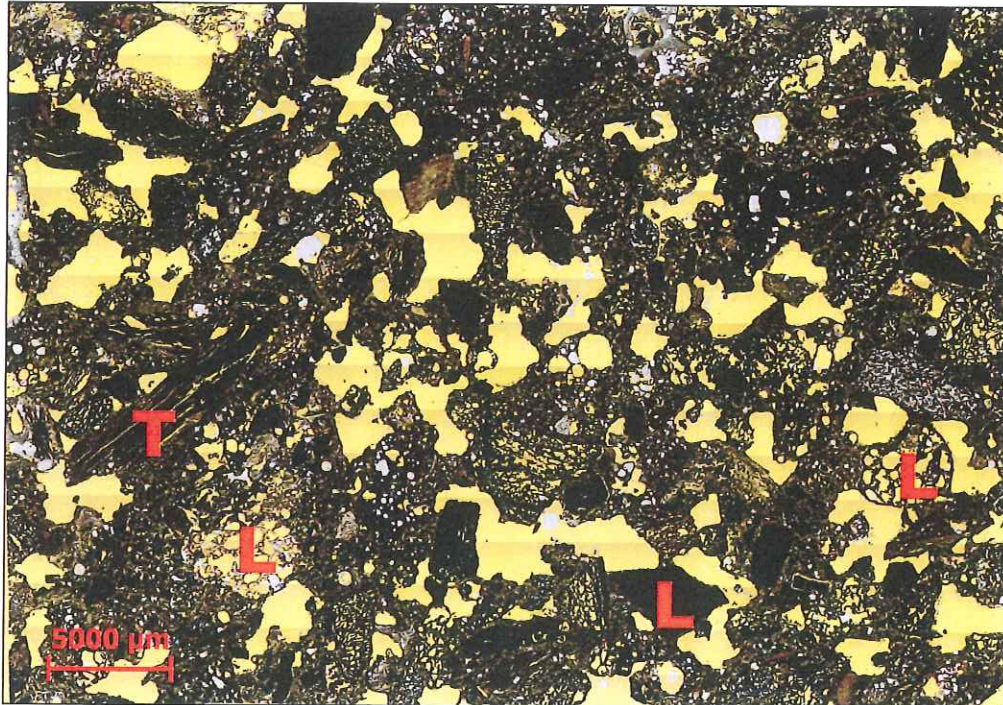
Figuur 1: schema - staalname van het slijpplaatje (rood gekleurd)	3
---	---



Microscopische analyse met doorvallend licht, parallelle polars (LM 3724).

L = slakken (de poriën zijn geel gekleurd)

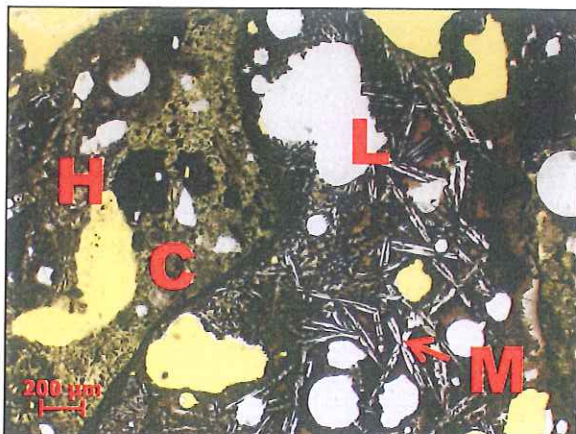
Foto 1: *betonstaal 2B3* - algemeen overzicht van de samenstelling en microstructuur



Microscopische analyse met doorvallend licht, parallelle polars (LM 3725).

L = slakken & T = gebrande schist (de poriën zijn geel gekleurd)

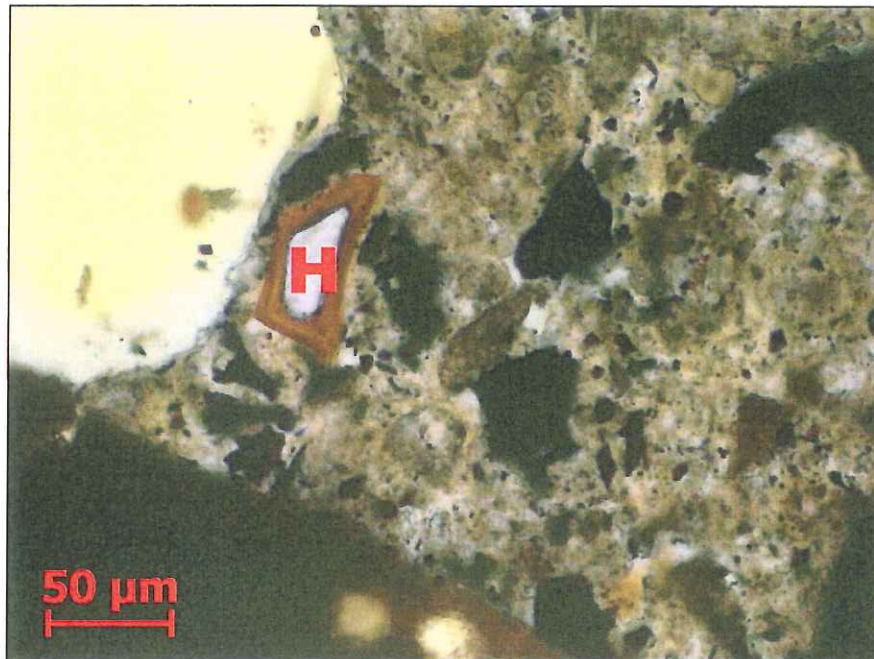
Foto 2: betonstaal 1C - algemeen overzicht van de samenstelling en microstructuur



Microscopische analyse met doorvallend licht, parallelle (links) en gekruiste (rechts) polars (LM 3725).

L = slak, M = melliliet & C = cementsteen

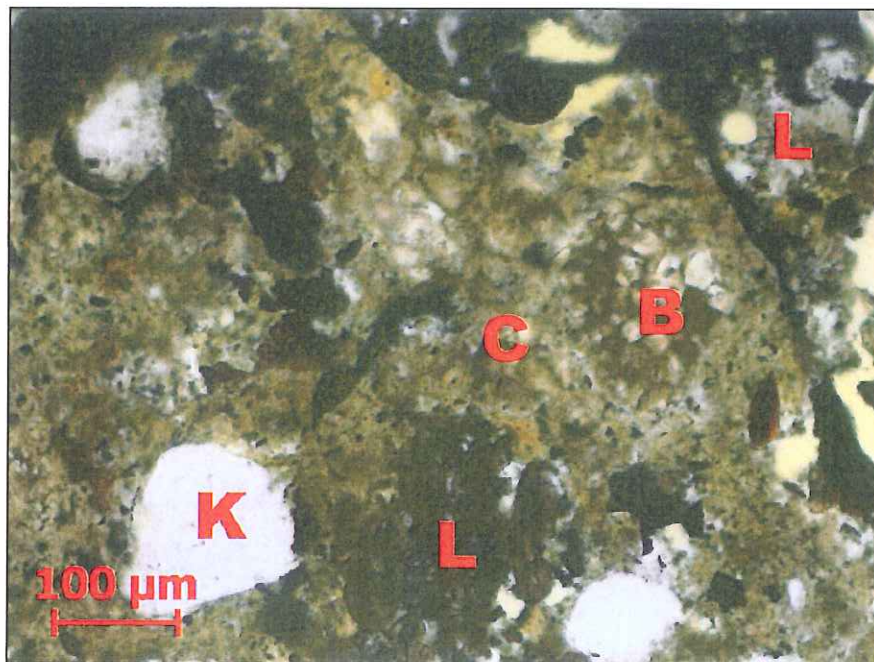
Foto 3 & 4: betonstaal 1C - slak met mellilietkristallen



Microscopische analyse met doorvallend licht, parallelle polars (LM 3724).

H = hoogovenslak

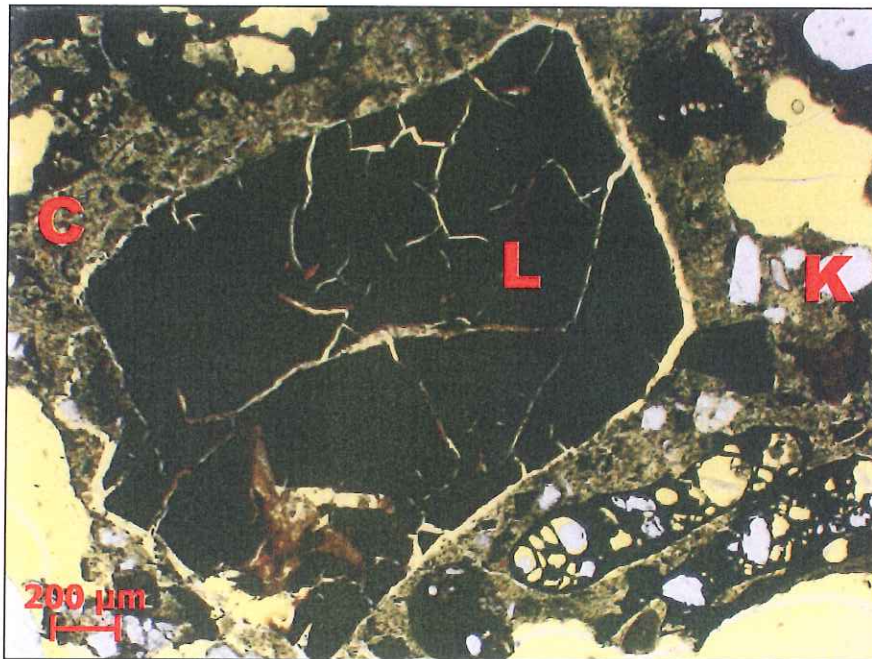
Foto 5: Betonstaal 2B3 - hoogovenslak met een reactierand



Microscopische analyse met doorvallend licht, parallelle polars (LM 3724).

B = C₂S-klinker (beliet), K = kwarts, L = slak & C = cementsteen

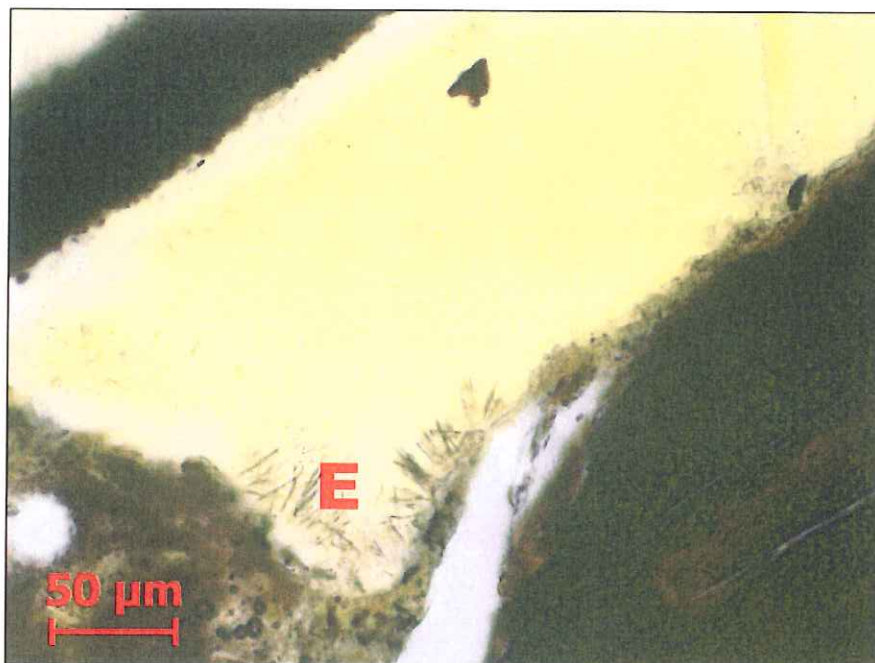
Foto 6: Betonstaal 2B3 - grofkorrelig C₂S-klinker in de cementsteen



Microscopische analyse met doorvallend licht, parallelle polars (LM 3725).

L = slak, C = cementsteen & K = kwartskorrel

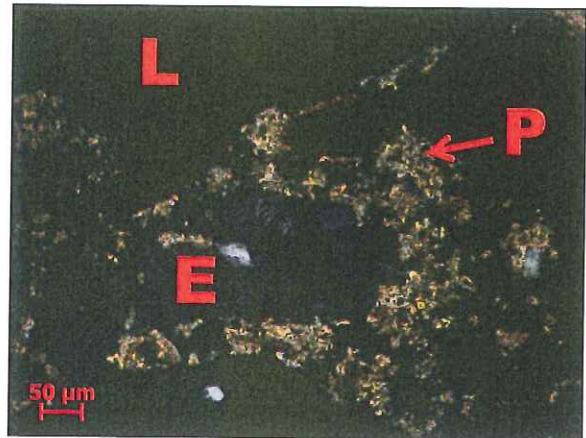
Foto 7: betonstaal 1C - metallisch slak met interne scheuren & onthechtingscheuren



Microscopische analyse met doorvallend licht, parallelle polars (LM 3724).

E = ettringiet

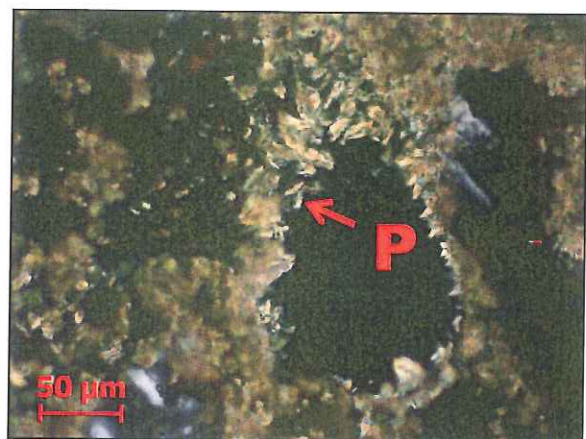
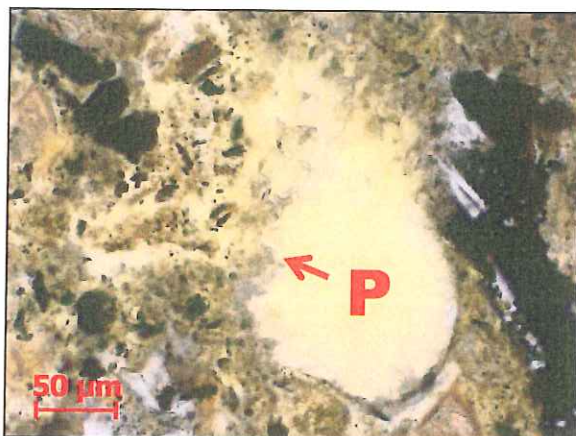
Foto 8: Betonstaal 2B3 - korte ettringietnaalden in een porie



Microscopische analyse met doorgvallend licht, parallelle (links) en gekruiste (rechts) polars (LM 3725).

E = ettringiet, H = hoogovenslak met reactierand, L = slak, P = portlandiet & C = cementsteen

Foto 9 & 10: betonstaal 1C - porie opgevuld met ettringietnaalden en portlandietkristallen in de cementsteen



Microscopische analyse met doorgvallend licht, parallelle (links) en gekruiste (rechts) polars (LM 3724).

P = portlandiet

Foto 11 & 12: betonstaal 2B3 - portlandietnaaldjes in een porie

