



A CRH COMPANY

BETONIN OPTISET TUTKIMUSMENETELMÄT

BETONILABORANTTI JA –MYLLÄRIKURSSI 2026

JARKKO KLAMI

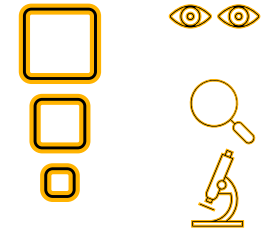
MENETELMÄT

- **Mitä** halutaan selvittää => **miten** voidaan tutkia => **millainen** näyte tarvitaan

- Yleisimmät laitteet ja menetelmät betonin optiseen tutkimukseen:

- 1) silmämääräinen tarkastelu
- 2) Stereomikroskooppi
- 3) Fluoresenssimikroskopointi (ohuthie ja pintahienäytteet)
- 4) Polarisaatiomikroskooppi => ohuthietutkimus

Näyte koko / tarkkuus

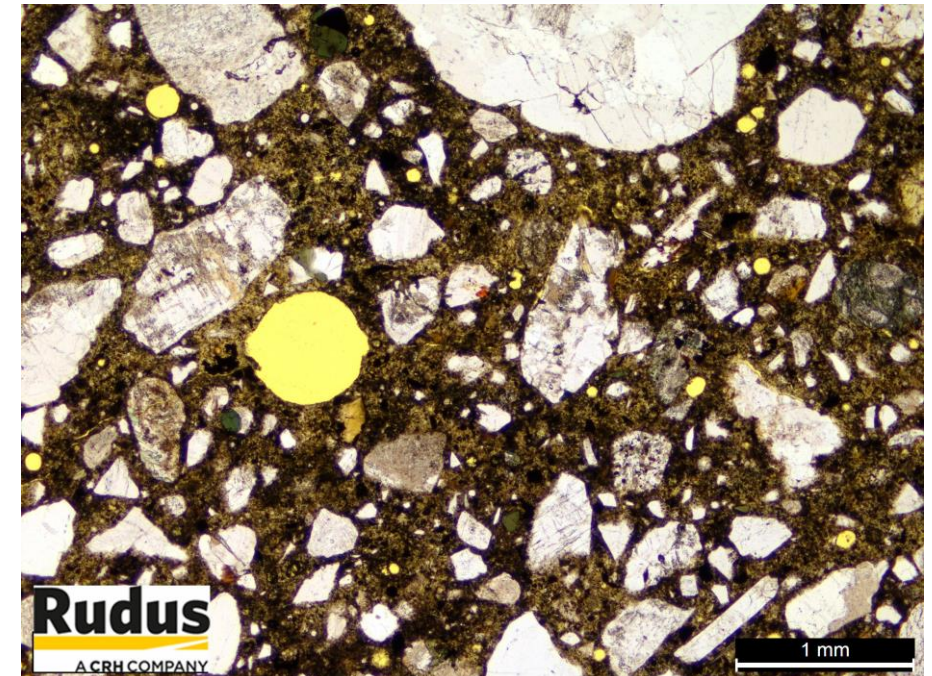


- 5) (elektronimikroskooppi – SEM, erittäin pienet näytteet, esim. yksittäiset sementtirakeet)

OPTISTEN MENETELMIEN KÄYTTÖKOHTEET

(1/2)

- Materiaaliselvitykset
 - betoninkoostumus
 - betonin mikrorakenne -> arvio suhteituksesta
 - kerrospaksuudet, kerrosten väliset tartunnat, työsaumat, jne.
- Betonirakenteiden kunto- ja vauriotutkimukset
 - betonin koostumus, mikrorakenne, yleinen kunto
 - kemialliset muutokset, korroosio, karbonatisoituminen
 - mahdolliset vauriot ja vaurioitumisen aste
 - korjaussuunnittelun lähtötiedoiksi
 - alkavan vaurioitumisen riskitekijät
 - vaurioon johtaneiden syiden selvittäminen?

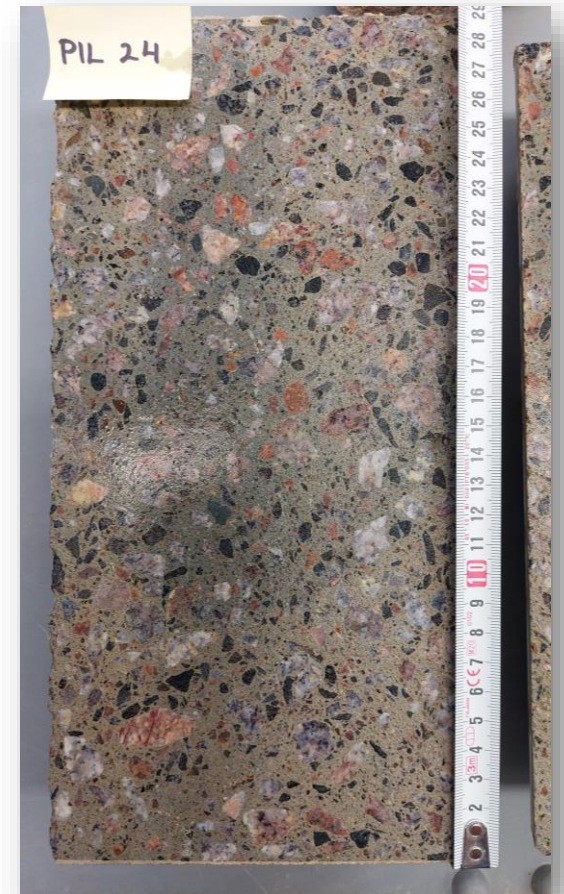


Case: Selvittää vanhan betonin koostumus

OPTISTEN MENETELMIEN KÄYTTÖKOHTEET

(1/2)

- Laadunvalvonta (betoninvalmistajat / työmaat / testauslaitokset)
 - betonin yleinen rakenne
 - tiivistyksen arviointi (tiivistysilman poistuminen vs. massan erottuminen)
 - suojahuokostuksen laatu
 - mikrosilikan sekoittuminen
 - pinnoiteaineiden tai esim. sirotteiden tunkeutumasyvyys ja tartunta
 - ...
- Betonin tutkimus ja tuotekehitys
 - Tutkitaan samoja ominaisuuksia kuin edellä ja lisäksi kohdennetut tutkimukset ja selvitykset



SILMÄMÄÄRÄINEN TARKASTELU

- Isot kokonaisuudet – koko rakenne
- Havainnot ympäristötekijöistä
- Silmän suuri erottelukyky



Case: Epäily erottuneesta, huonosti tiivistyneestä betonista?

SILMÄMÄÄRÄINEN TARKASTELU



Case: Puutteellinen / epätasainen jälkihoito



SILMÄMÄÄRÄINEN TARKASTELU

- Case: Betonilattia halkeillut, epäiltiin syytä betonin laadussa?
 - *”Työsuorituksissa ei havaittu mitään poikkeavaa, joten syy täytyy olla betonissa”*
- Kohteen katselmuksessa silmämääräisesti todettua:
 - Lattiassa säännöllinen halkeilukuvio ruutuihin = tavanomainen kuivumiskutistuma.
 - Liikuntasaumoilla tehty ruutujako oli noin 4-kertainen suunnitelman enimmäiskokoon nähden.
 - Reuna-alueilla puuttui osin eristeet.
 - Laakerikerroksen materiaali ja toiminta ?
 - Betonin jäätyminen varhaisvaiheessa
=> pahasti epäonnistunut olosuhdehallinta.



PINTAHIE (PH)

- Pintahieellä tarkoitetaan yleensä laboratoriossa valmistettua preparaattia, joka on hiottu ja kiillotettu tasopinta.
 - voidaan valmistaa monen kokoisista näytteistä
 - tutkimus stereo-, fluoresenssi- ja/tai pintavalomikroskoopilla
 - pintahieessä valo heijastuu näytteen pinnasta.
(vrt. ohuthieessä valo kulkee näytteen läpi)
- + preparaatti on nopea valmistaa
- + isohko tutkittava pinta-ala
- + rakenne- ja materiaalikerrosten tunnistus, kerrosten tartunnat, yms.
- pintahieen tarkkuus ja informaationsisältö materiaalista ohuthiettä pienemmät



PINTAHIE (PH) – MITÄ NÄKYY?



Case: kylpyhuoneen lattialaatoitukseen 10 x 10 cm, ilmaantui halkeamia valmistumisen jälkeen.

Lähtötietona: kylpyhuone-elementtirungot, joihin lisätty lattialämmityskaapelit työmaalla sekä pintamateriaalit.

Mitä: Hypoteesi materiaalien yhteensopimattomuudesta

Miten: Tarvitaan materiaali ja vaurioselvitys

Millainen näyte: poralieriöt ja niistä pintahieet.

Klinkkerilaatta

Kiinnityslaasti

Vedeneriste

Tasoite

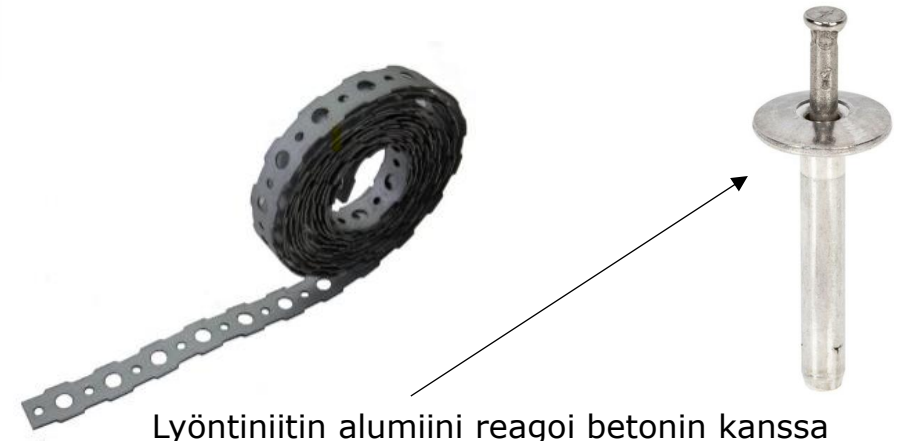
Lattiabetoni/laasti

Lattialämmityskaapeli

Reikänauha

Lyöntiniitti ns. "pöllönsilmä"

Kylpyhuone-elementti, kevytbetonia



Lyöntiniitin alumiini reagoi betonin kanssa muodostaen paisuvia reaktiotuotteita

OHUTHIE (OH)

= **Leike betonista, laastista, kivistä tai muusta vastaavasta kiinteästä ja kiteisestä materiaalista.**

- **Paksuus noin 25 – 30 μm . Tarkoitus on, että valo kulkee tutkittavan näytteen läpi.**

- Betoniohuthieen pinta-ala on pieni (esim. 35 x 55 mm)

- Ohuthiepreparaatin valmistus

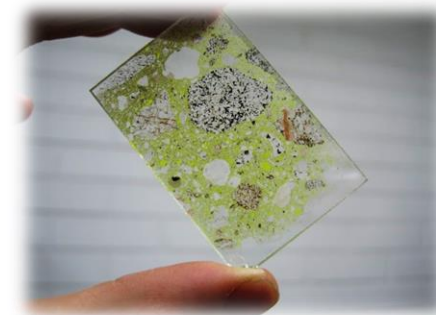
- parikymmentä erilaista työvaihetta.
 - preparaatin valmistuksen kesto noin 1 – 2 vk.

+ paljon tietoa koostumuksesta, mikrorakenteesta, laadusta, hydrataatiosta, kunnosta...

+ hyvä tarkkuus ja mahdollista havaita hyvin pieniä partikkeleita, mikrosäröjä, ...

- näytepreparaatin valmistus hidasta, työlästä ja vaatii erityisosaamista

- pieni näytteen pinta-ala (näytteen edustavuus huomioitava)

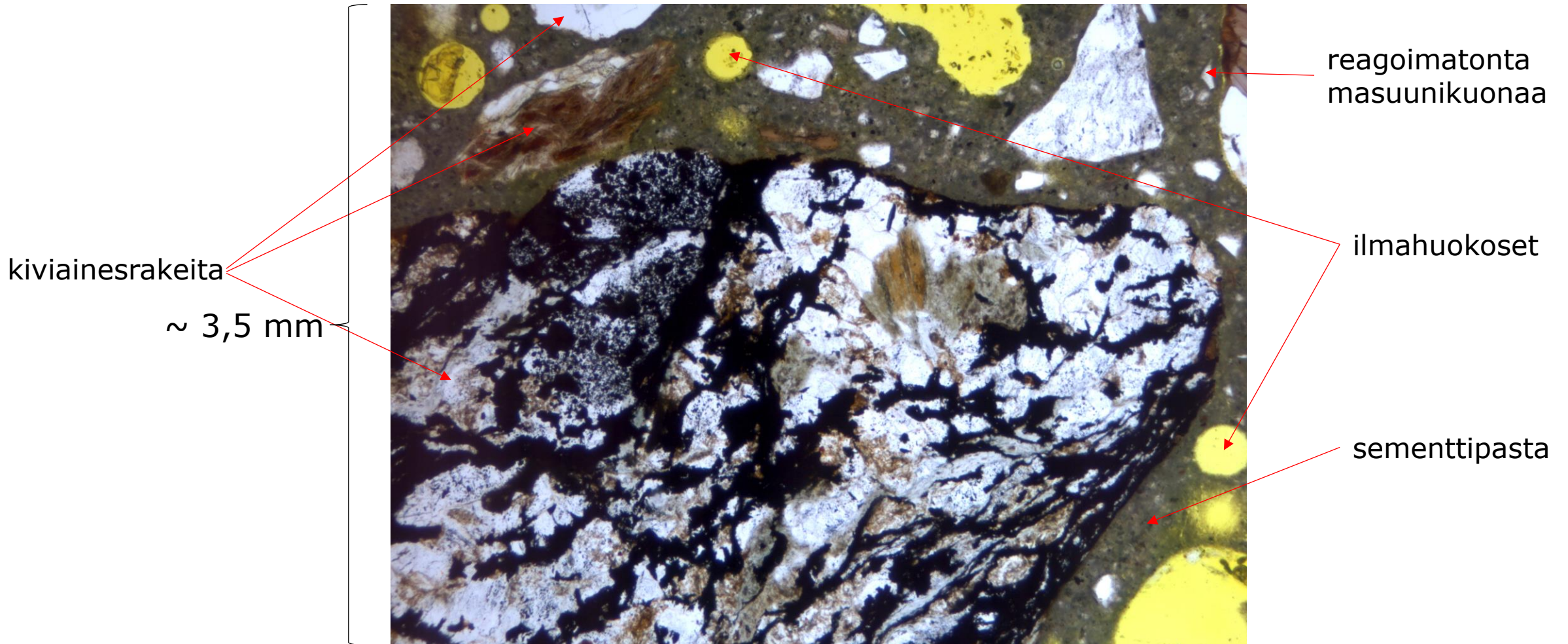


BETONIN PETROGRAFINEN OHUTHIETUTKIMUS

- **Tutkimus tehdään polarisaatiomikroskoopilla**
 - Manipuloimalla näytteen läpi kulkevaa valoa erilaisilla mikroskoopin polarisaattoreiden, linssien ja himmentimien avulla saadaan tietoa tutkittavan materiaalin rakenteesta ja koostumuksesta.
- **Tutkimuksen asettelu!**
 - Tarkoitus ja soveltuvuus on aina määriteltävä ennakkoon!
 - Mitä voidaan saada OH-tutkimuksella selvitettyä ja mitä ei
 - Tulkinta subjektiivista = tulos täysin riippuvainen analysoijan kokemuksesta ja taidoista tunnistaa näkemänsä! Erityisesti materiaalituntemus keskeistä.
 - Mahdollisimman tarkat lähtötiedot betoninäytteestä lisäävät tutkimuksen tuloksen laatua.



MIKROSKOOPPIKUVA BETONIN OHUTHIEESTÄ – MITÄ NÄKYY?



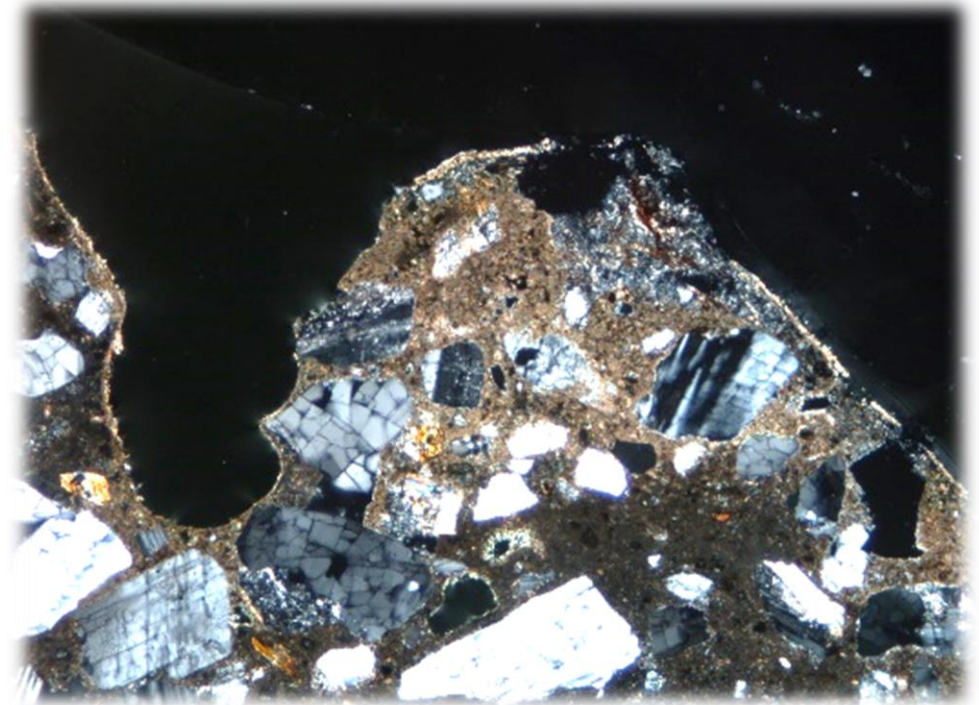
Polarisaatiomikroskoopin ohuthiekuva. Suojahuokostettu säänkestävä rakennebetoni.

TUTKITTAVIA OMINAISUUKSIA (OH)

- **Betonin yleinen rakenne ja koostumus**
 - huokosrakenne
 - Kiviaineksen määrä ja sen pakkautuminen
 - veden erottuminen
 - mahdolliset vauriot ja vaurioitumisen aste
 - säröily ja sen syy (kuivumiskutistuminen, pakkasrapautuminen, valutekniikasta johtuvat säröilyt, jälkihoito, autogeeninen säröily, tulipalo, liiallinen kuormitus, alkali-kiviainesreaktio...)
 - tuoreen betonin jäätyminen
 - teräkset ja niiden korroosio
 - betoniin kuulumattomat ainekset?

TUTKITTAVIA OMINAISUUKSIA (OH)

- **Betonin sideaine**
 - raaka-aineiden koostumus ja mahdolliset seosaineet (portlandsementti, masuunikuona, lentotuhka, silika)
 - hydrataatioaste (sitoutumisen olosuhteet ja jälkihoito)
 - arvio vesi-sideainesuhteesta
 - huokoisuus (vaikuttaa mm. lujuuteen ja säilyvyyteen)
 - karbonatisoitumissyvyys (vaikuttaa mm. teräskorroosioon)
 - kemialliset vauriot -> sideaineen liukeneminen
 - Kemiallinen muuttuminen (esim. reaktiotuotteet, korkea lämpötila, kemiallinen rasitus, karbonatisoituminen)



Case: Polarisaatiomikroskoopin ohuthiekuva, vanhan betonirakenteen koostumuksen selvittäminen korjausta varten.

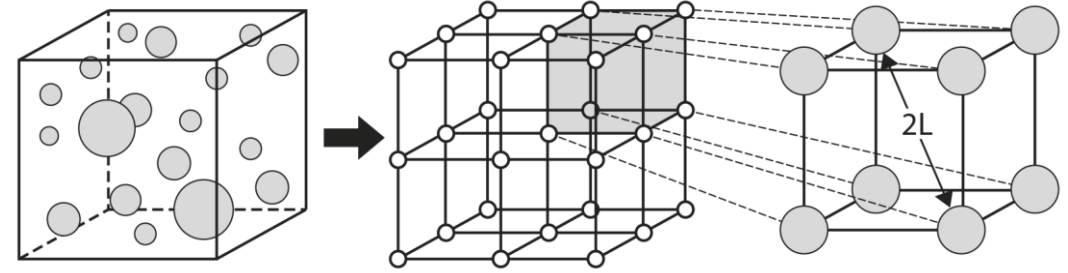
TUTKITTAVIA OMINAISUUKSIA (OH)

- **Betonin kiviaines**

- kiviaineksen määrä ja laatu
- mineraalien ja kivilajien tunnistus. Rapautuminen ja esim. mahdolliset mineralogiset muuttumistulokset (vaikuttaa mm. betonin lujuuteen, kulutuskestävyyteen, rapautumiseen, väriin...)
- rakeiden koko ja muoto (vaikuttaa mm. tuoreen betonin työstettävyyteen, vedentarpeeseen ja huokostukseen)
- pakkautuvuus ja orientaatio (vaikuttaa mm. betonin työstettävyyteen, pumppaukseen, lujuuteen)
- huokoisuus ja säröt (vaikuttaa mm. betonin lujuuteen ja säilyvyyteen)
- tartunta sideaineen kanssa (vaikuttaa mm. betonin lujuuteen)
- huokosten kerääntyminen kivirakeiden pinnoille (kiillemineraalit voivat kerätä suojahuokosia)
- haitalliset mineraalit (mm. alkali-kiviainespotentiaali, liukenevat mineraalit)

BETONIN PAKKASENKESTÄVYYS - HUOKOSANALYYSI

- Betonin pakkasenkestävyys perustuu mm. betoniin muodostettavaan ilmahuokosrakenteeseen.
- Huokosrakenteen laatua voidaan tutkia mm. optisin menetelmin



Kuva: by 72 Betonin laadunvarmistus Osa 1

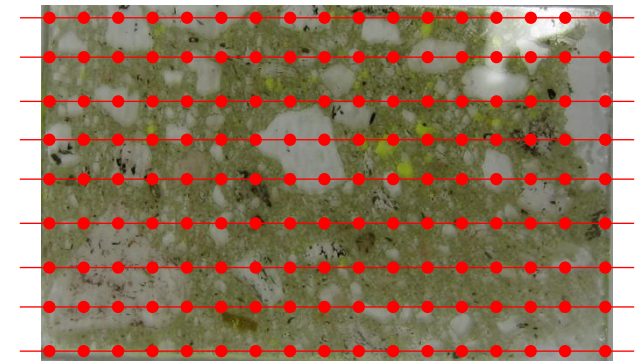
- **by 72 Betonin laadunvarmistus Osa 1**

Betonin ilmahuokosparametrien määrittäminen ohuthieistä

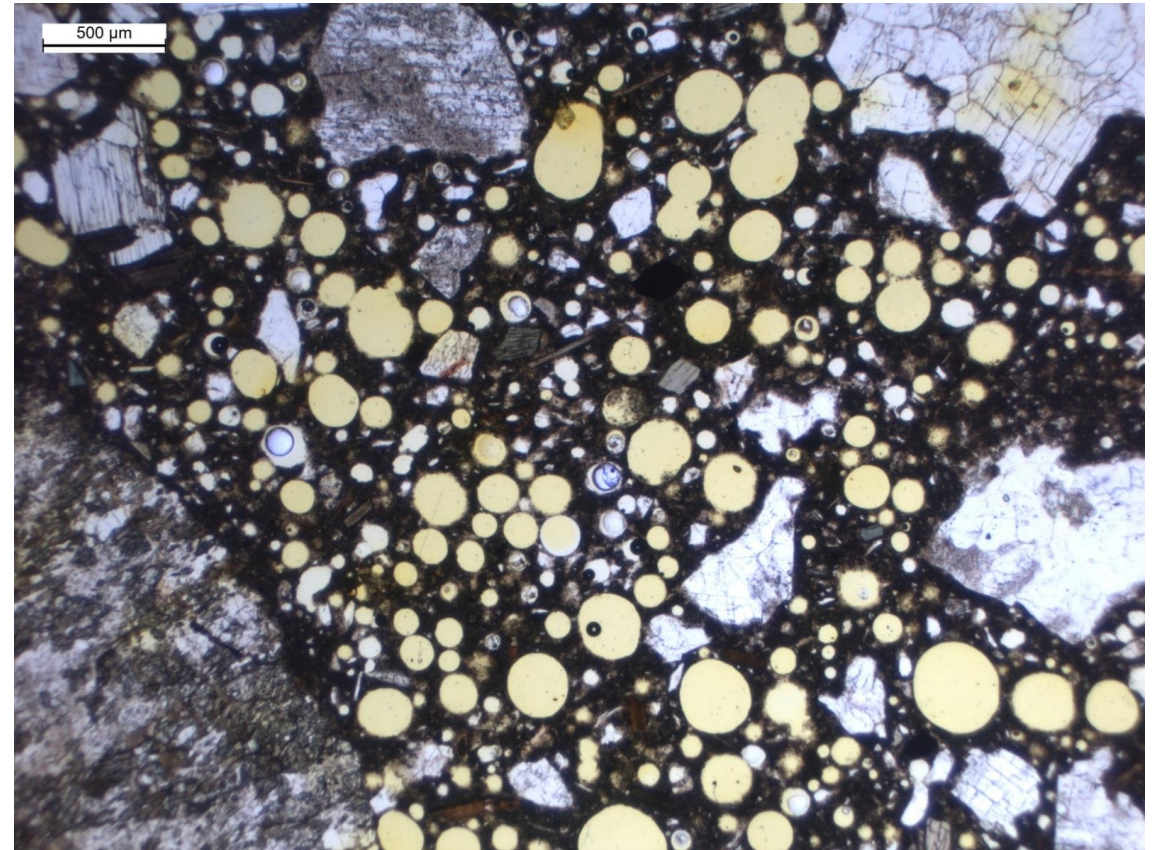
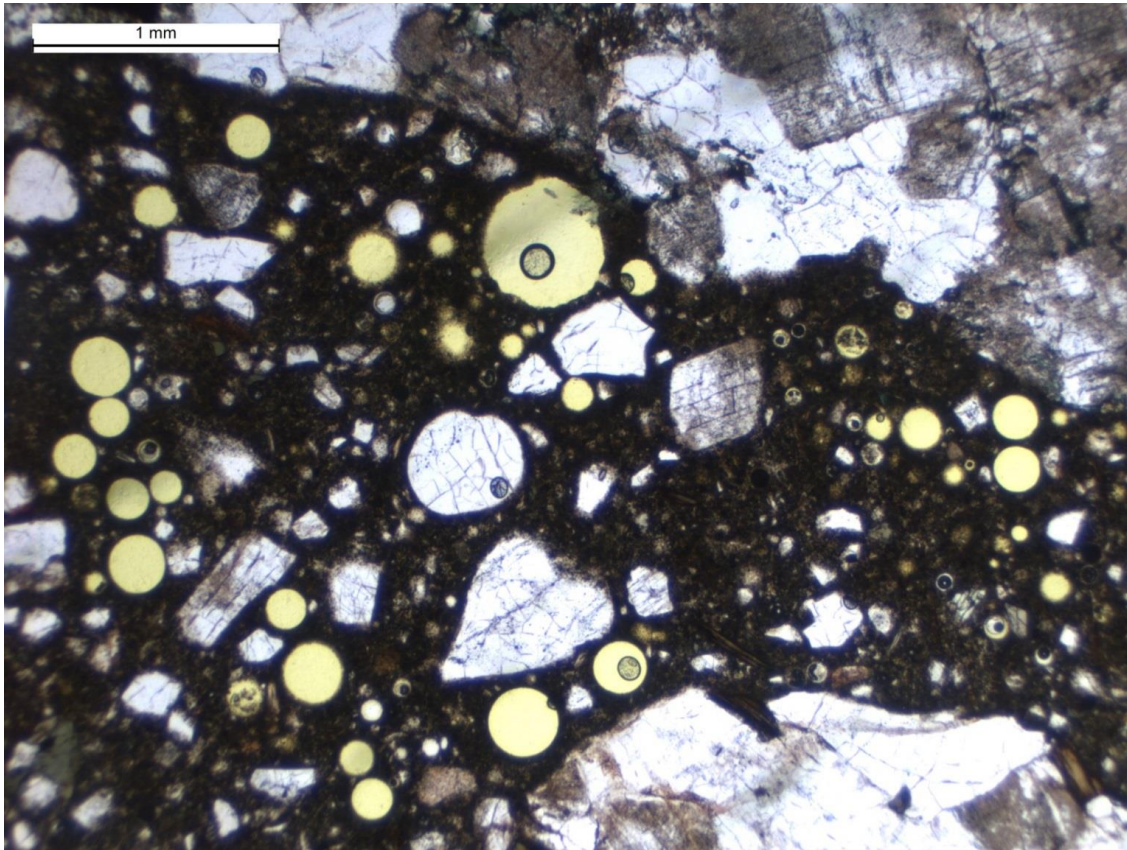
- Betonin suuntaa-antava kokonaisilmamäärä
 - Suojahuokosten ($\emptyset = 0,025 \dots 0,8$ mm) määrä
 - Betonin suojahuokosten ominaispinta-ala
 - **Suojahuokosten huokosjako - L, mm**
-
- Huokosjalla voidaan todeta betonin pakkasenkestävyys rasitusluokissa XF1 tai XF3
standardi SFS 7022:2025, taulukko A.1-FI, s. 19.
(=by 65 Betoninormit 2025)

BETONIN PAKKASENKESTÄVYYS - HUOKOSANALYYSI

- **Huokosanalyysi tehdään betonin ohuthiepreparaateista (2 - 3 kpl/näyte) polarisaatiomikroskoopilla**
- Analyysilaitteistolla luodaan "kuvitteellinen pisteverkko" sekä analyysiviiva.
 - Tuloksena tilastomatematiikkaan perustuva suure => huokosjako
- Huokosjako (L) ilmaisee laskennallisen arvon suurimmalle etäisyydelle sementtipastan mistä tahansa pisteestä lähimmän suojahuokosen pinnalle, yksikkönä mm.
- Kaupallisesti tarjolla myös "vastaavia" huokosanalyysijä => vastaavuus aina syytä selvittää! Eri menetelmillä saadut tulokset eivät ole välttämättä keskenään vertailukelpoisia ja korrelaatio on tunnettava.



BETONIN HUOKOSRAKENNE

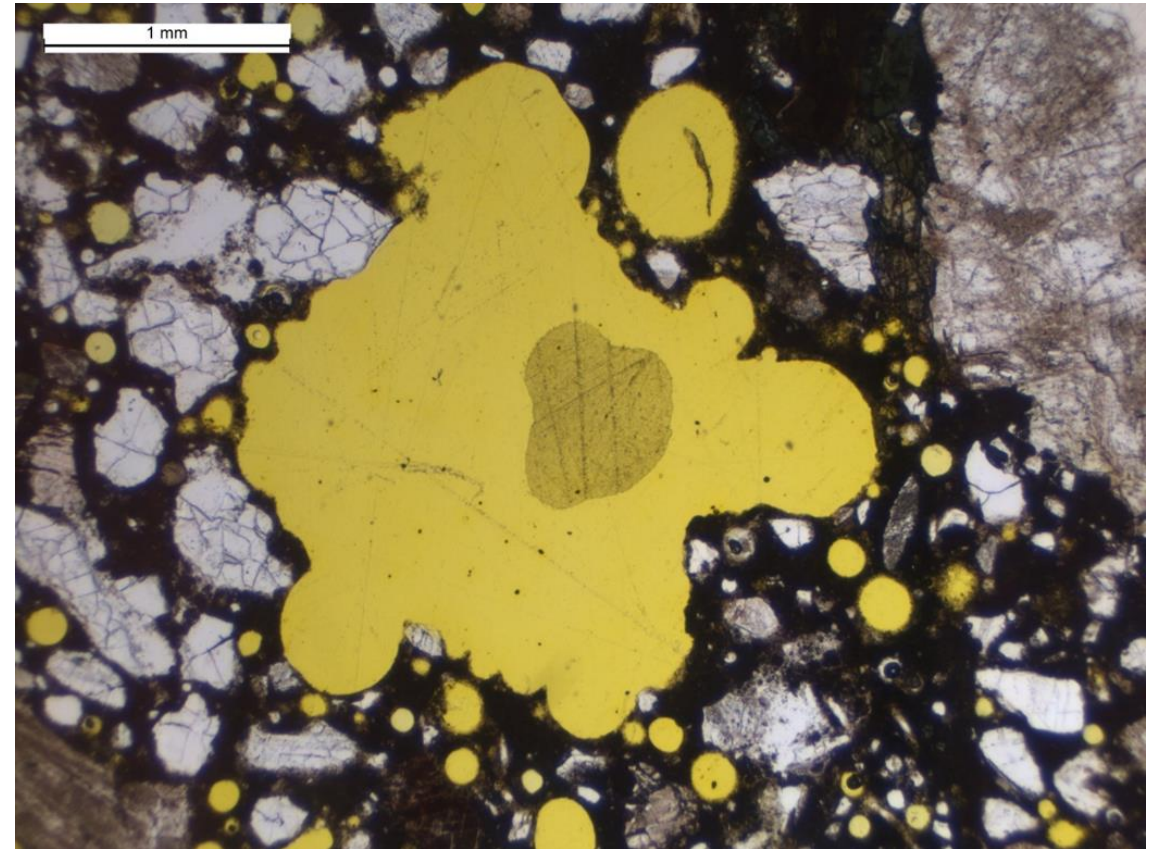


- Hyvä huokosrakenne
 - huokosjako $L \approx 0,20$ mm
 - suojahuokosia n. 2,5 til-%
 - Kokonaisilma n. 3 til-%

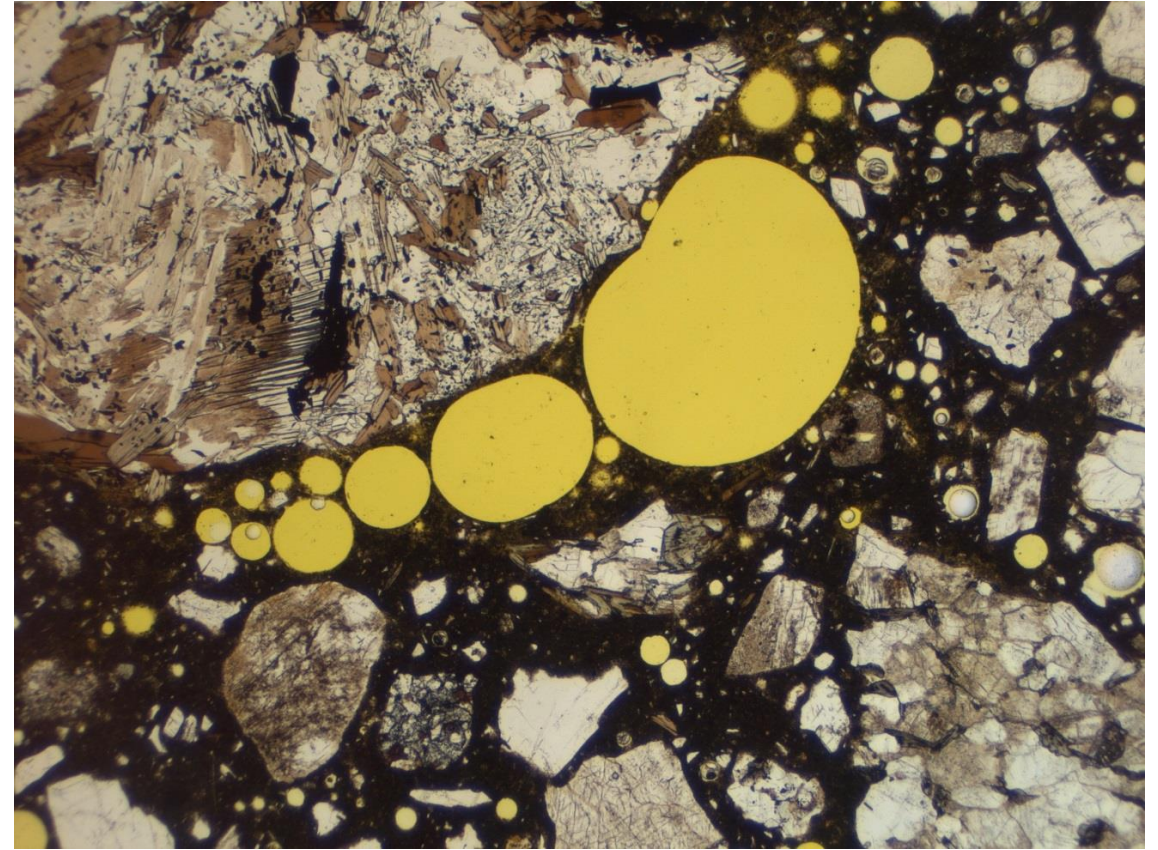
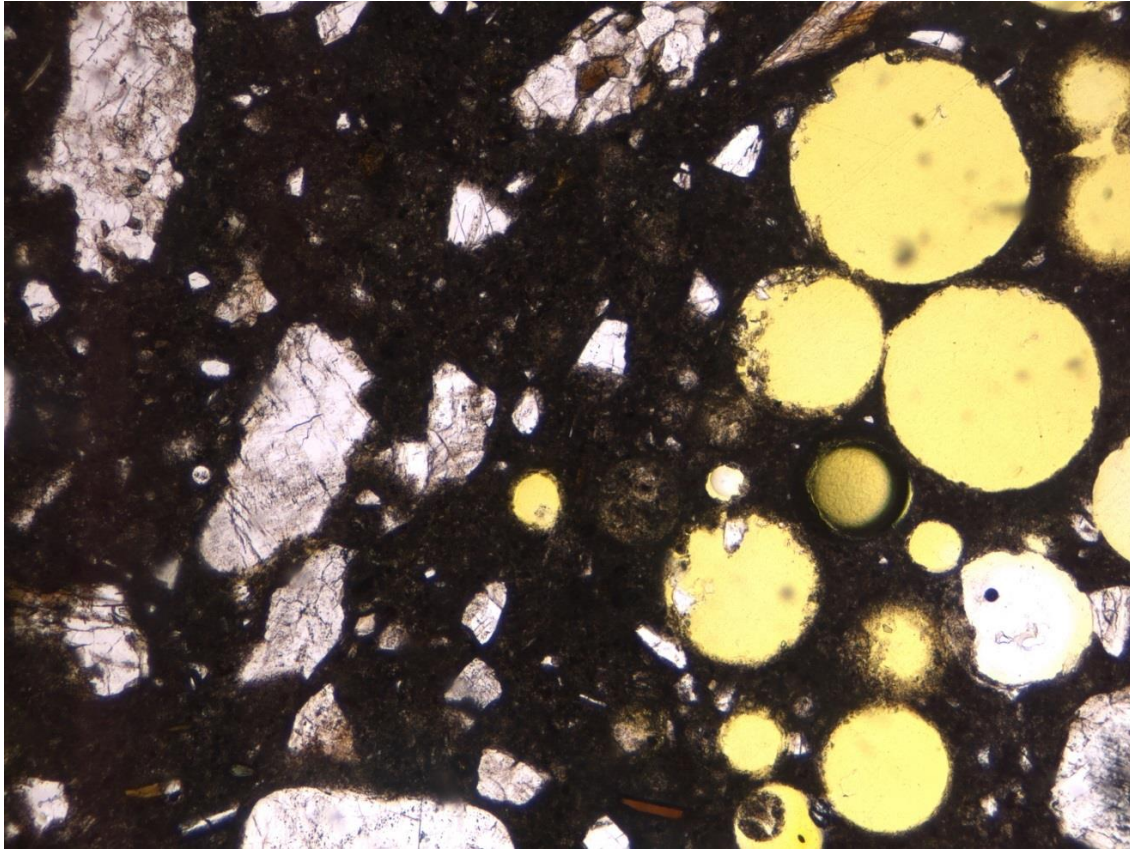
- "Ylihuokostunut" betoni
 - huokosjako $L \approx 0,10$ mm
 - suojahuokosia n. 8-10 til-%
 - kokonaisilma n. 11-12 til-%
 - betonin tiheys < 2000 kg/m³

BETONIN HUOKOSRAKENNE

- Useiden huokosten muodostama "rypäs"
 - puutteellinen tiivistys
 - huokosjaon ja ilmamäärän hallinta haastavaa
 - lisäaineiden toimivuus



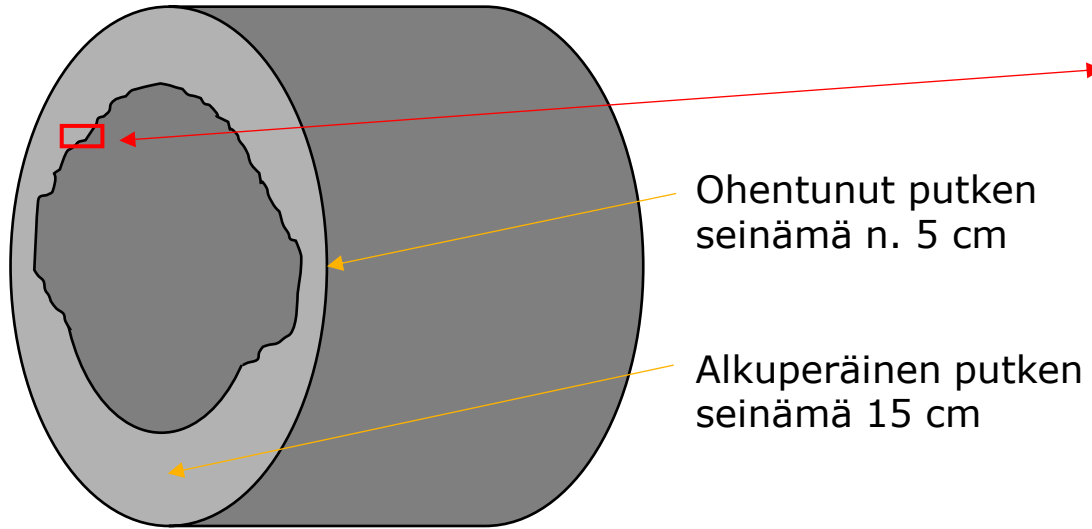
BETONIN HUOKOSRAKENNE



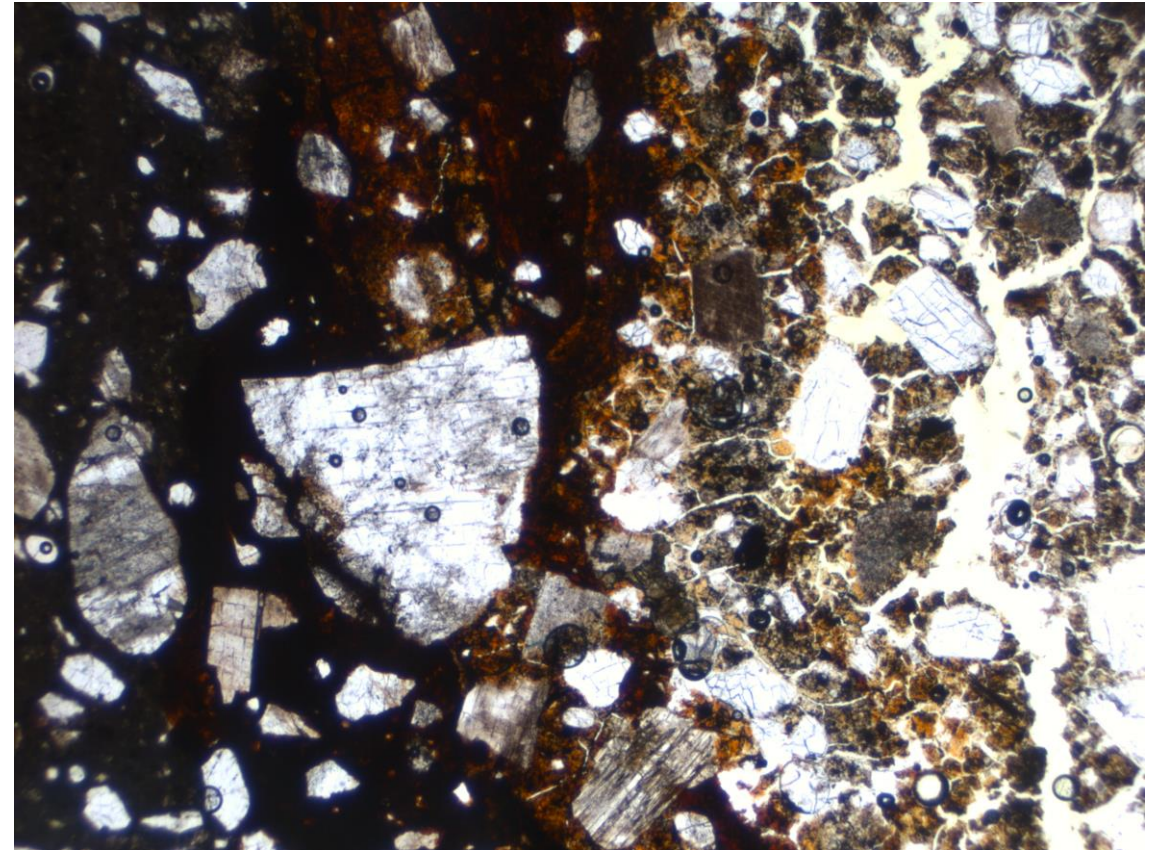
- Suojahuokoset jakautuneet epätasaisesti = huono huokosrakenne
 - huono sekoitus?
 - Huono betonin rakenne (kiviaines, suhteitus)

- Huokoset kerääntyneet kivirakeiden alle

BETONIN VAURIOITA

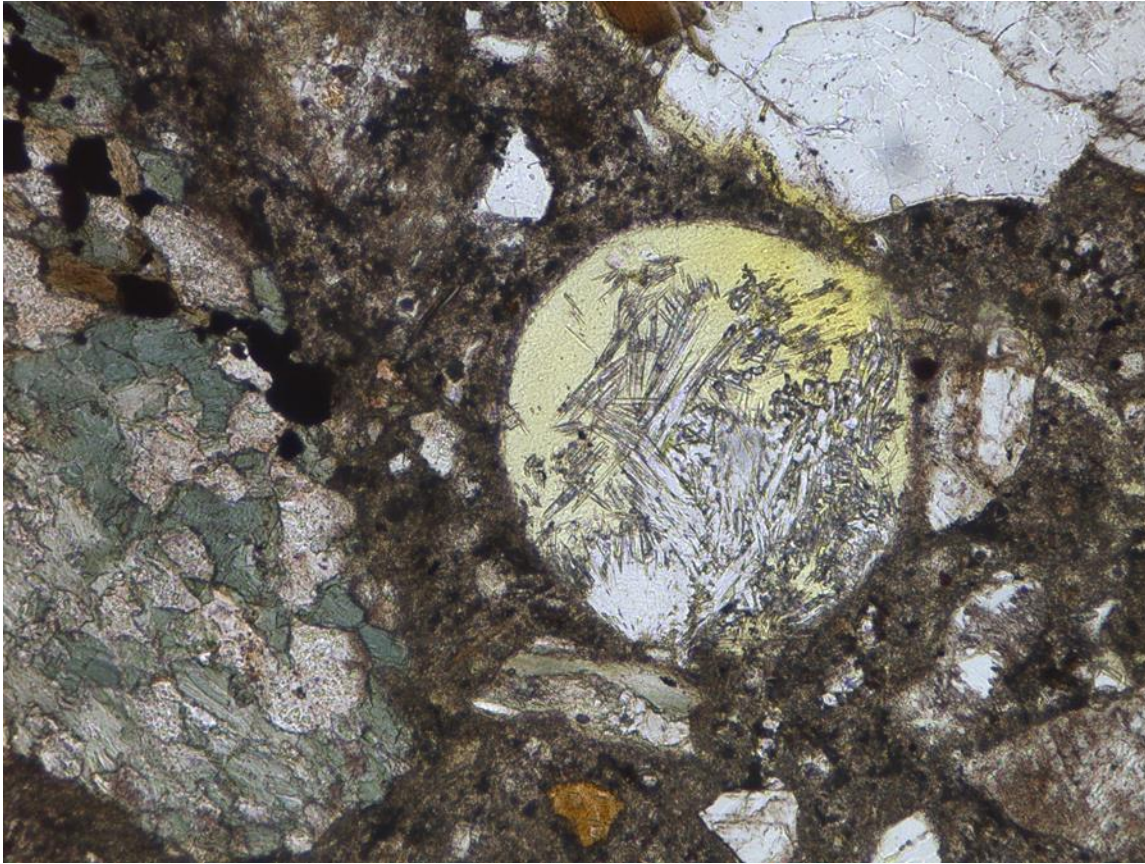


Case: Voimakasta rapautumaa betonisen viemäriputken sisäpinnalla, miksi ?

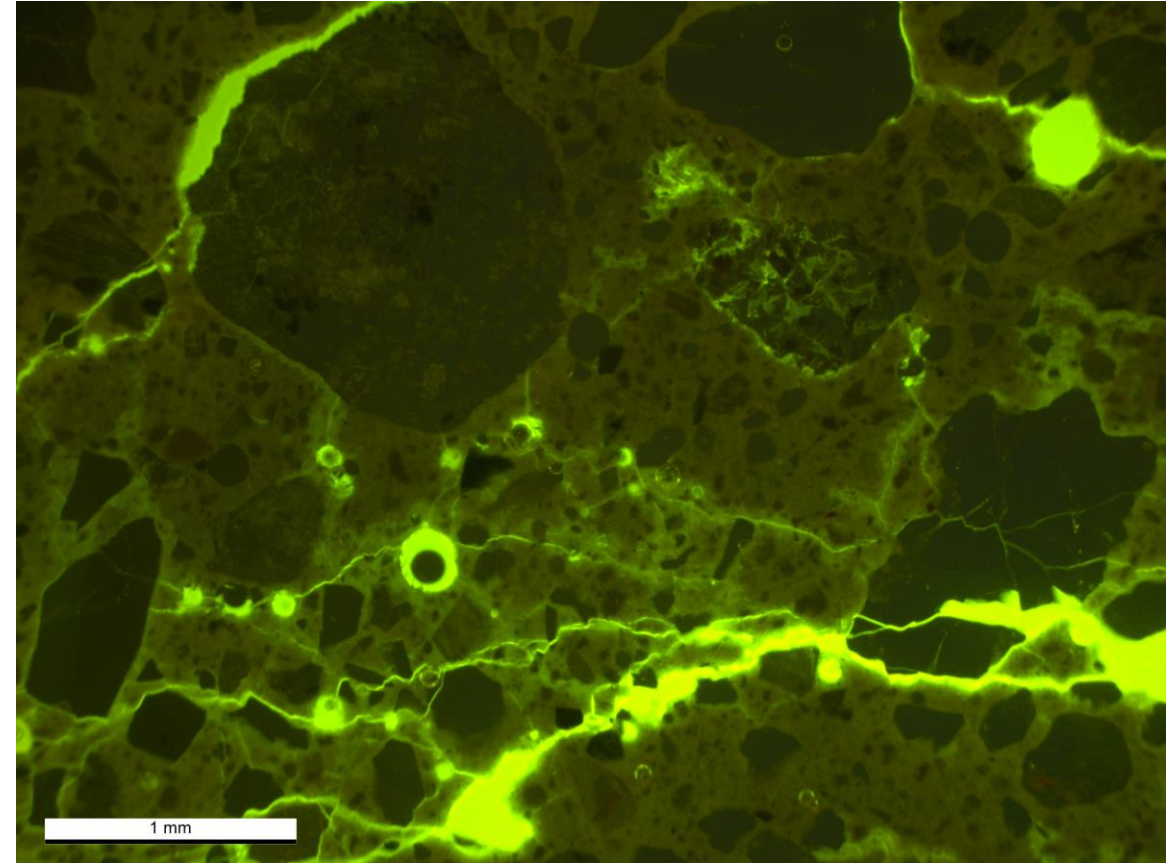


Ohuthietutkimus varmisti sulfaatin aiheuttaman sideaineen liukenemisen = sulfaattirasitus

BETONIN VAURIOITA

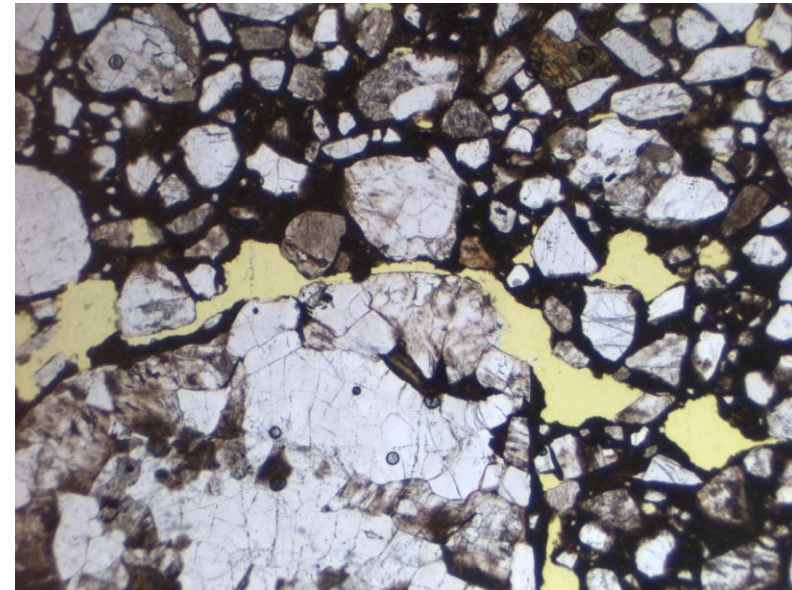
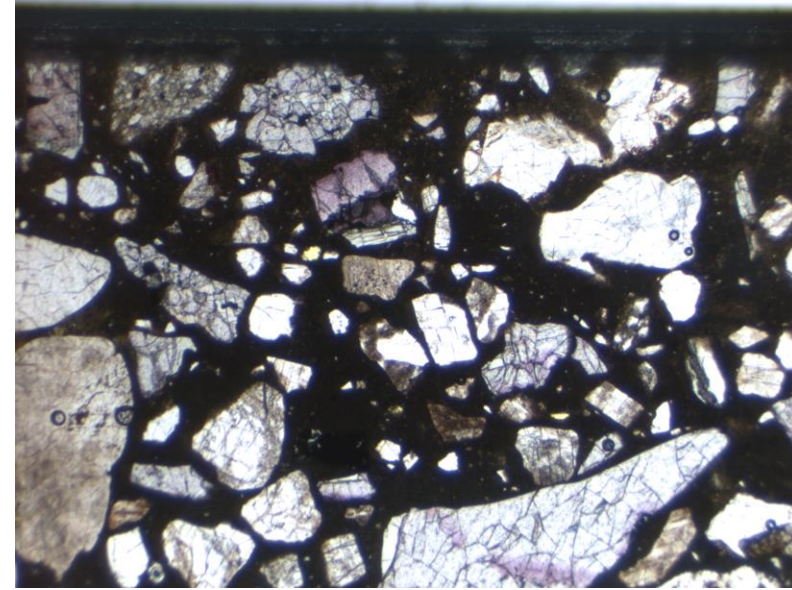
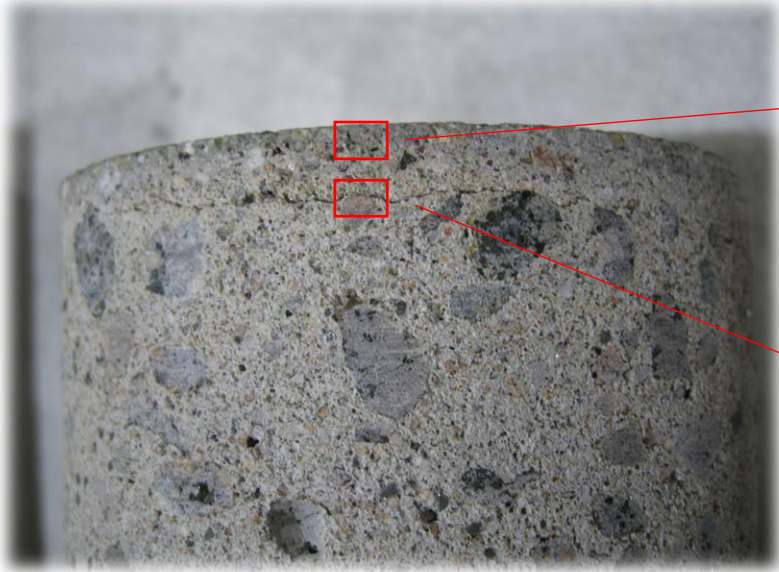


- Ettringiittikiteytymän lähes kokonaan täyttämä ilmahuokonen



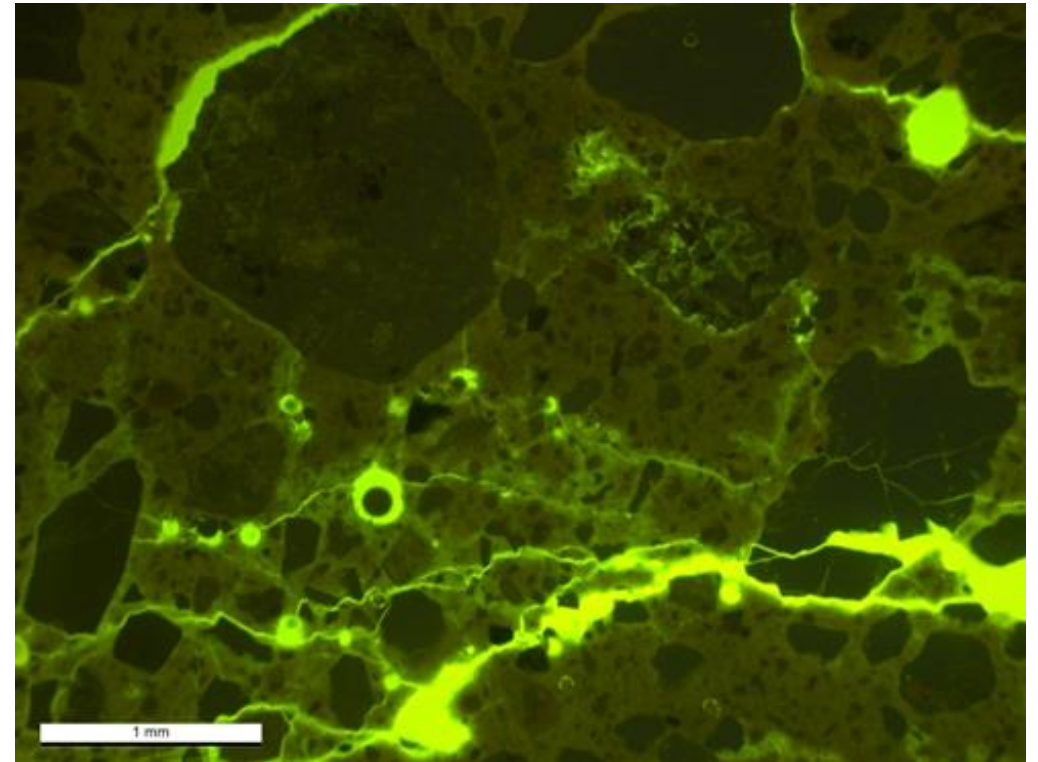
- Voimakasta pakkashalkeilua (+ AKR ?)
- Pinnansuuntaista ja jatkuvaa

BETONIN VAURIOITA

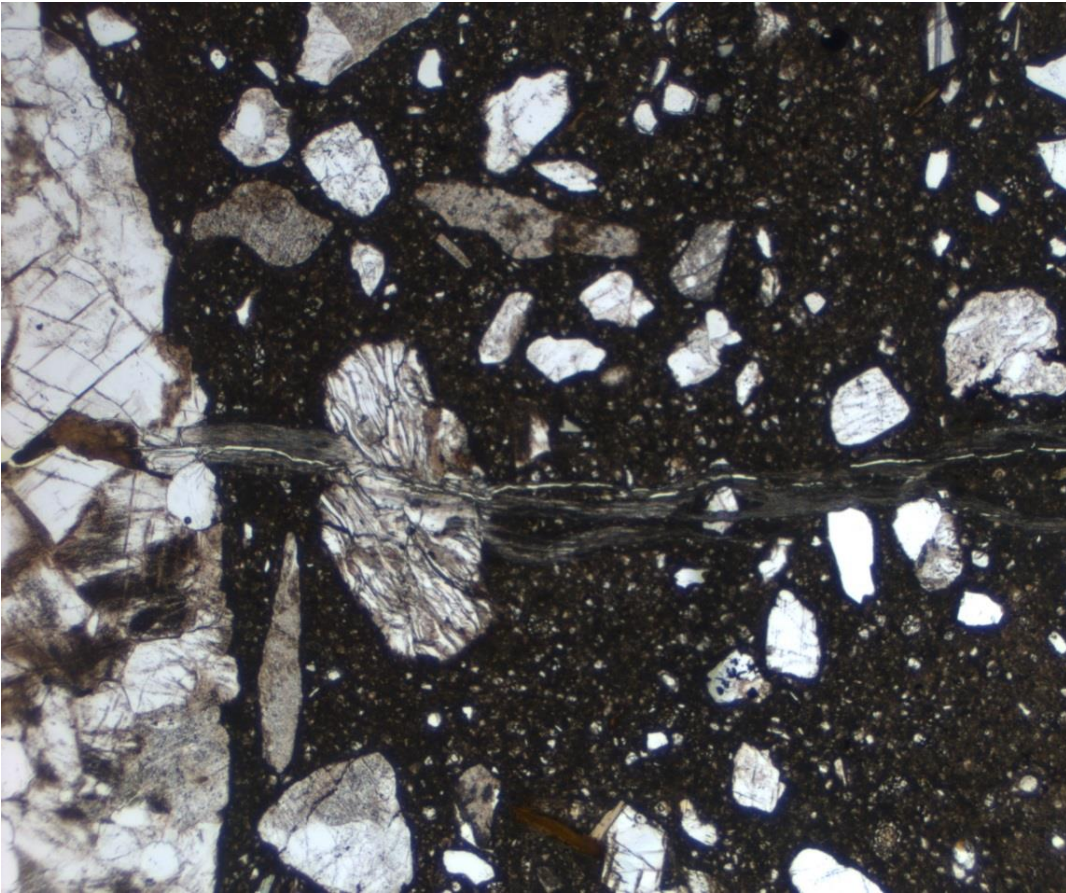


- Case: Betonilattian pinnan irtoaminen laminaarisesti noin 10 mm syvyydeltä.
- Lattian pintaan lisätty valmistusvaiheessa kuivasirote ja hierretty parantamaan kulutuskestävyyttä.
- Sirottemateriaalin koostumus ja tartunta?

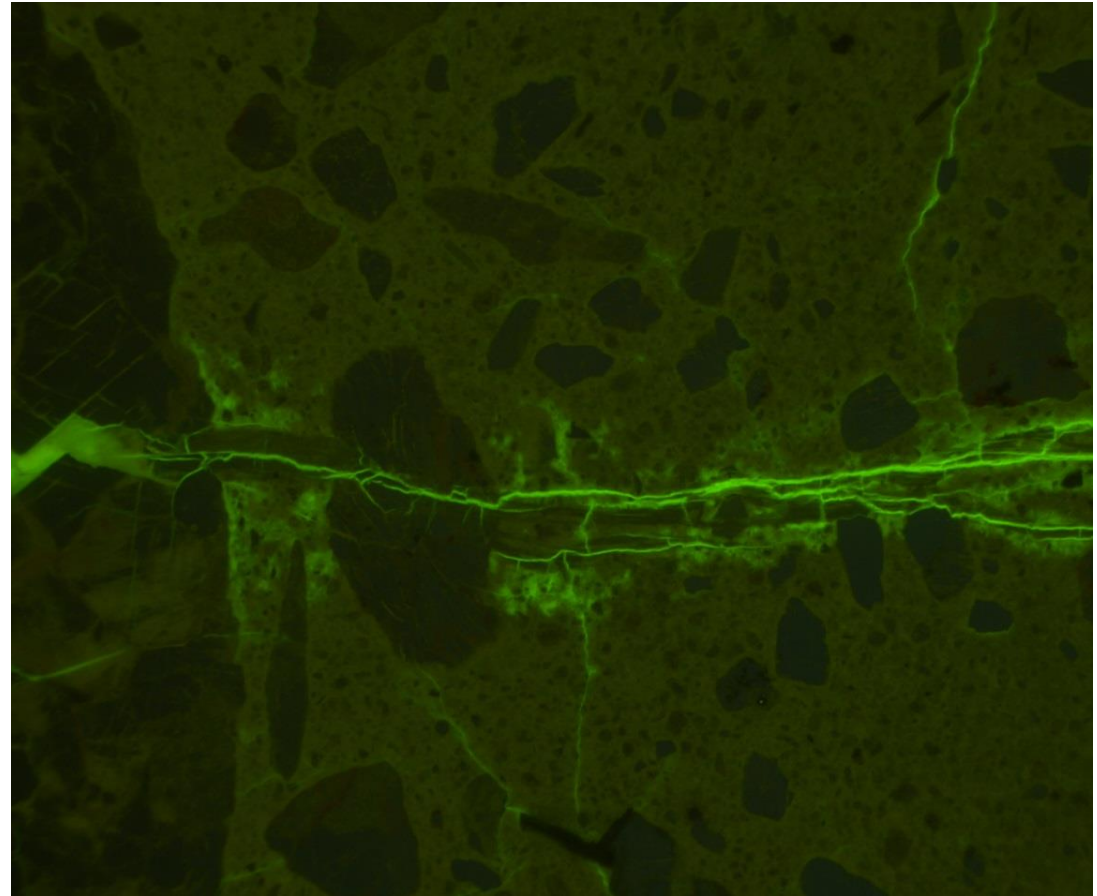
ALKALI-KIVIAINESREAKTIO + PAKKASRAPAUTUMINEN



ALKALI-KIVIAINESREAKTIO

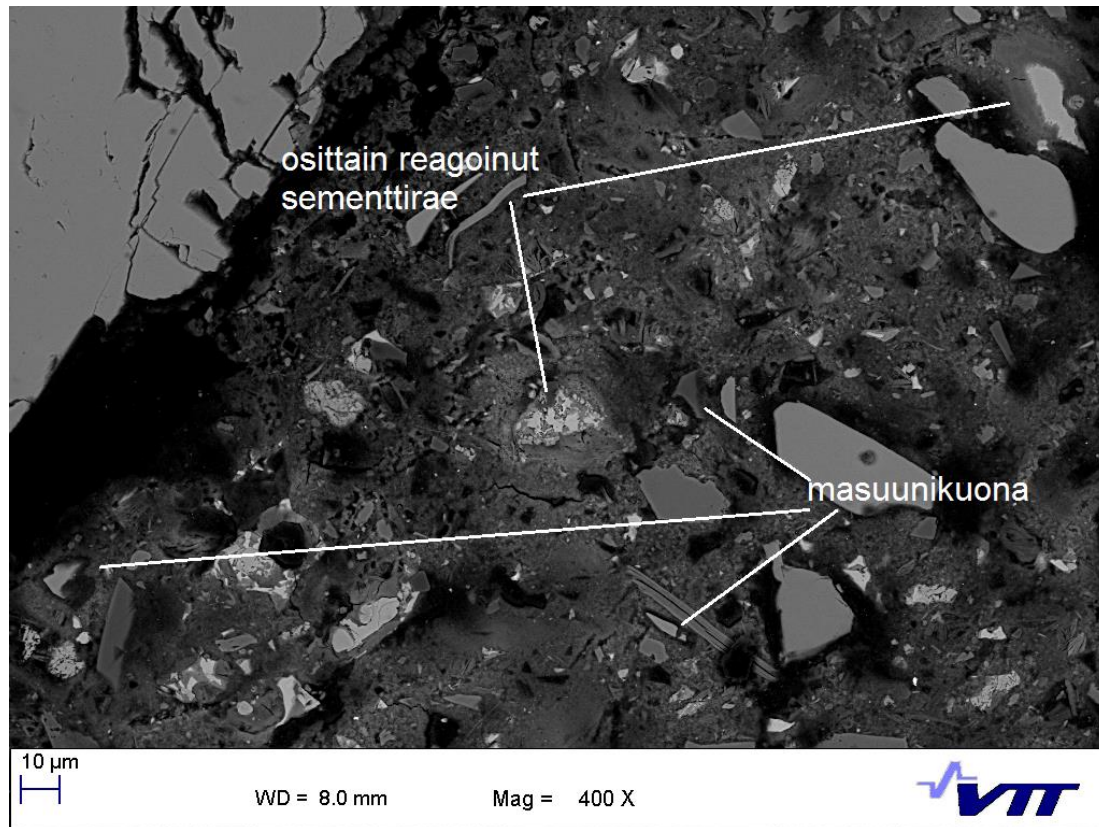


Ohuthiekuva tasopolarisoidussa valossa

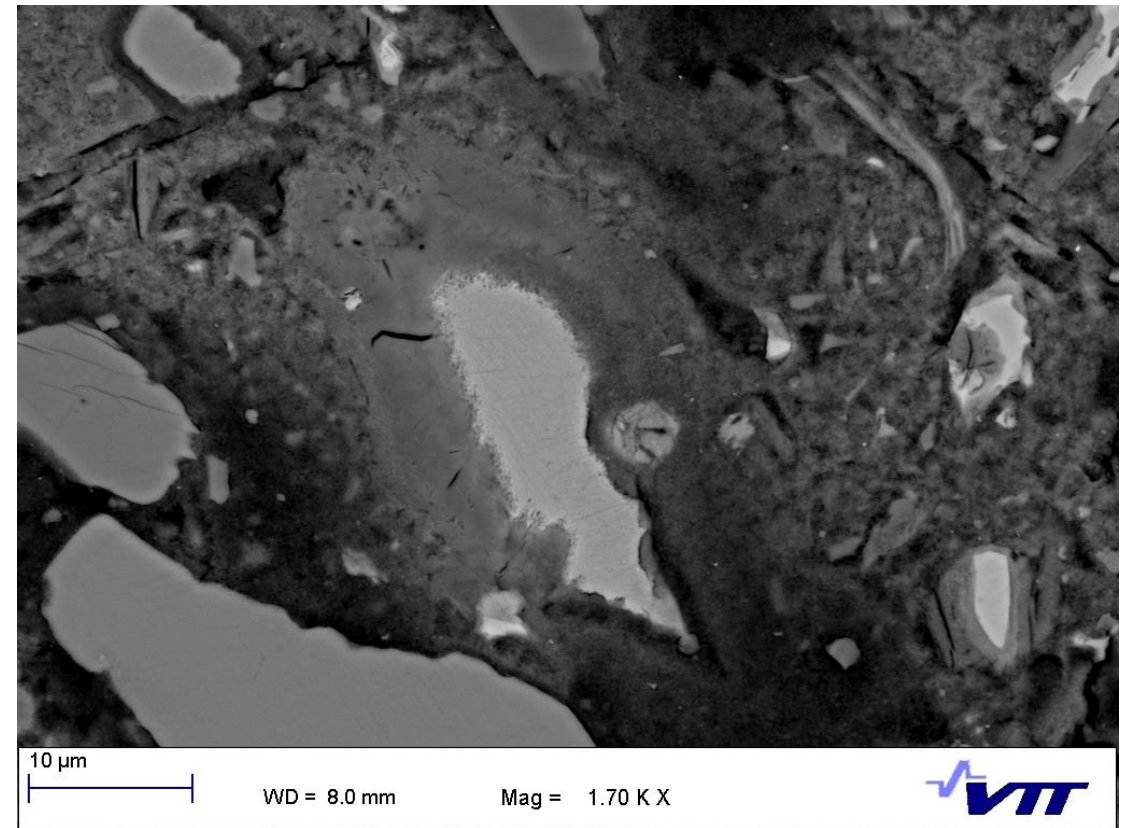


Ohuthiekuva fluoresoivassa valossa

ALKALI-KIVIAINESREAKTIO



Pyyhkäisyelektronimikroskooppikuva (SEM) betonista. Case: betonin hydrataatioasteen määrittäminen



Osittain reagoanut masuunikuonarae

KYSYMYKSIÄ?

Jarkko Klami

Laatupäällikkö

P. +358 44 024 0285

Jarkko.klami@rudus.fi

www.rudus.fi