

Épületdiagnosztika és anyagvizsgálat a műemlékvédelemben

Pintér Farkas



farkas.pinter@bda.gv.at

BME Építéskivitelezési Tsz, 2015.10.27

A műemlékvédelem komplexitása

KÖRNYEZET:

T, csapadék, rH, sugárzás, károsító anyagok, fekvés

ÉPÍTŐANYAG: (történeti-
modern)

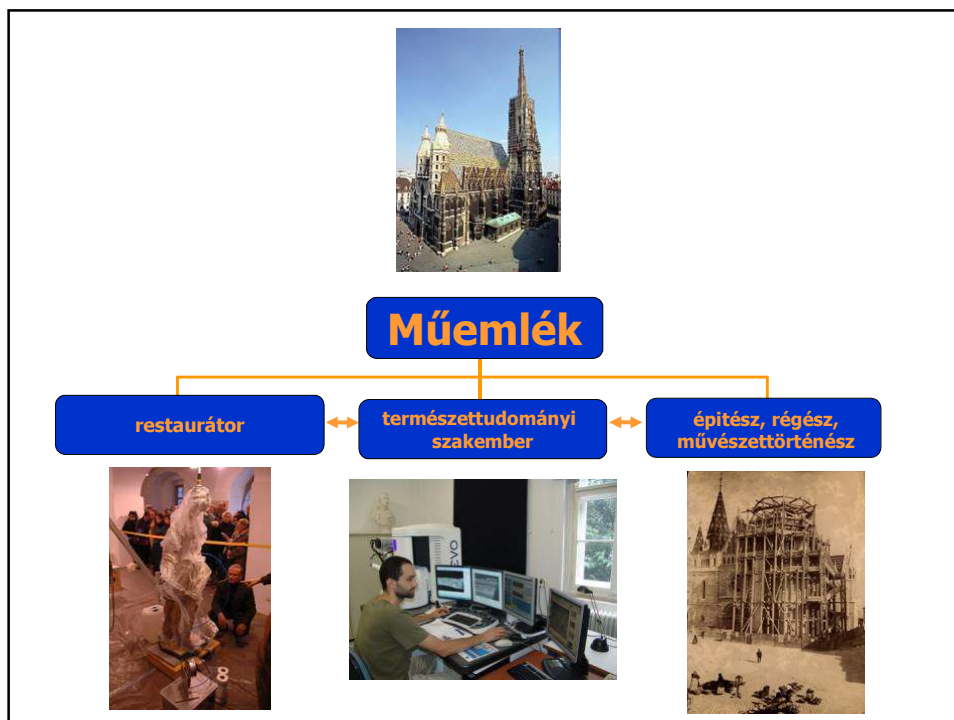


TÖRTÉNET: (átépítések,
restaurálások)

HASZNÁLAT: (privát, egyházi,
turisztikai, nyilvános)

IGÉNYEK-SZÁNDÉKOK:
(tulajdonos, kivitelező)

ANYAGI LEHETŐSÉGEK



Fontosabb diagnosztikai módszerek a műemlékvédelemben

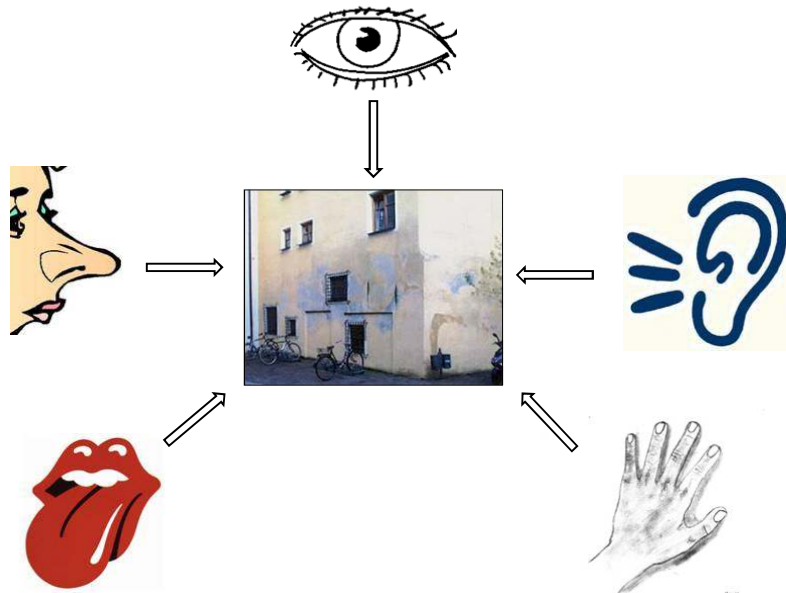
Helyszíni

- Érzékszerveink használata
- Fűrészar-ellenállás mérése
- Ultrahangterjedési sebesség
- Nedvességmérés
- Vízfelvétel mérése
- Klímamérés
- Termogáfia
- Georadar
- Helyszíni gyorsteszték
- ...

Labor

- Fény- és elektronmikroszkópia
- Kémiai analízis (SEM-EDX, RFA, AAS, ICP-MS)
- Ionkromatográfia
- Infravörös spektroszkópia (FTIR)
- Röntgendiffraktometria
- ¹⁴C-kormeghatározás
- Dendrokronológia
- ...

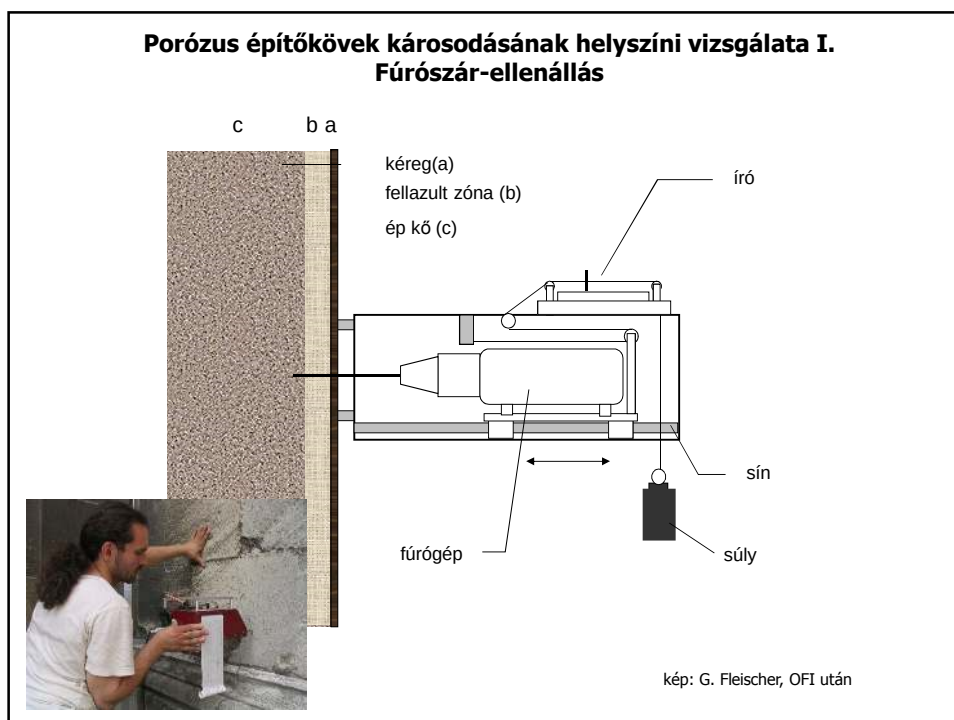
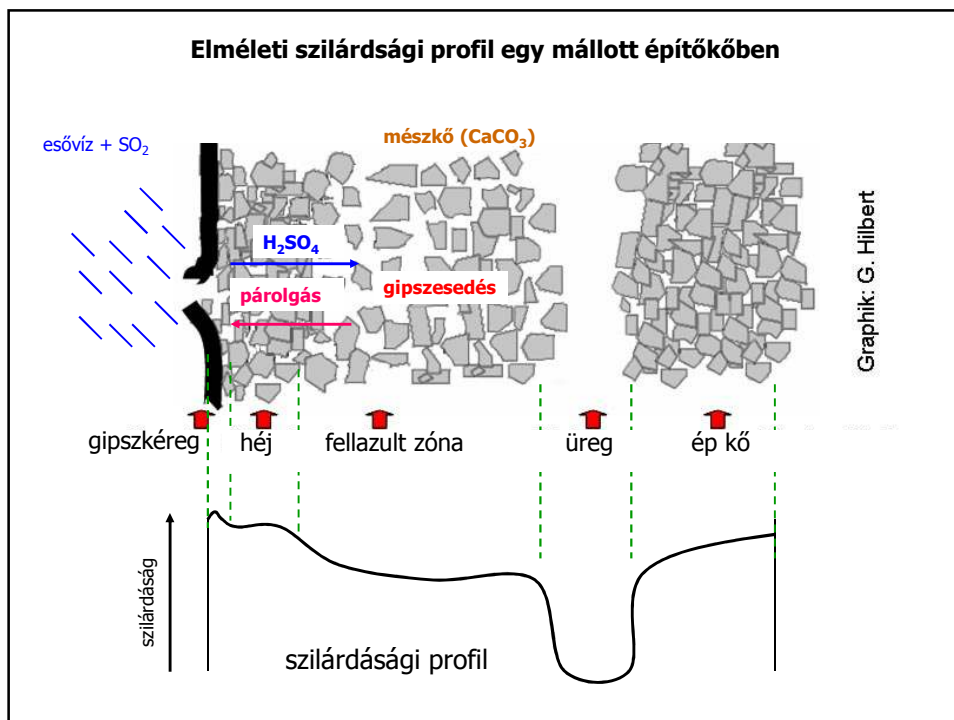
Az épületvizsgálat alapjai: látás – tapintás – hallás – szaglás – ízlelés

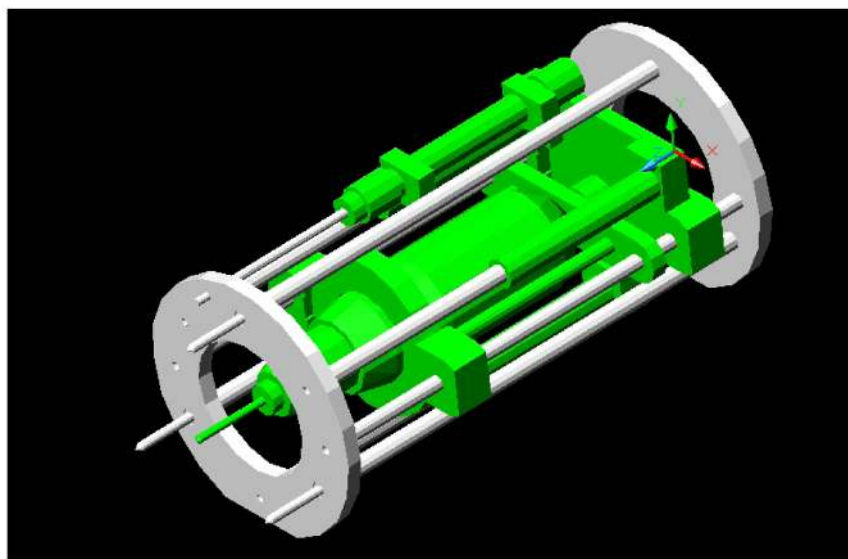


Dokumentáció, felmérés, térképezés



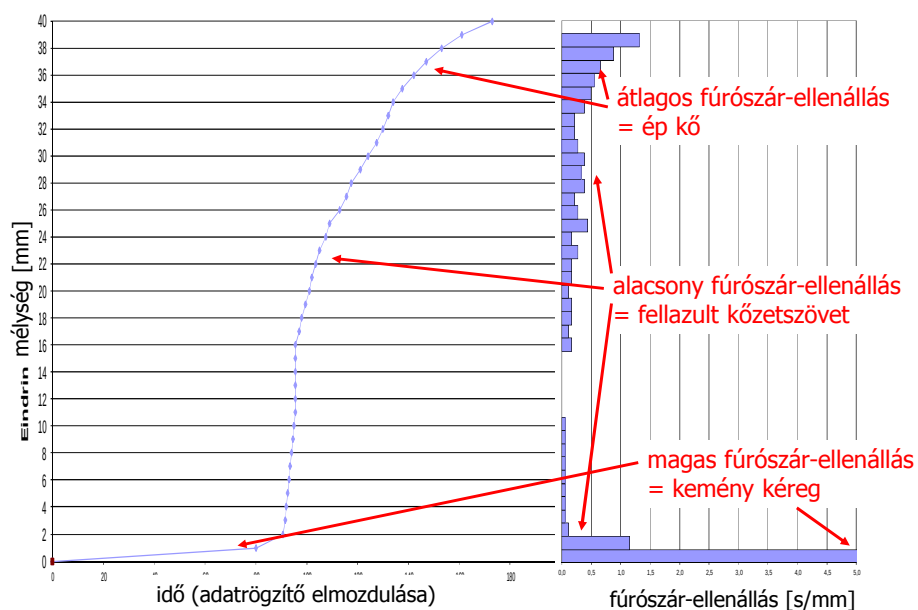




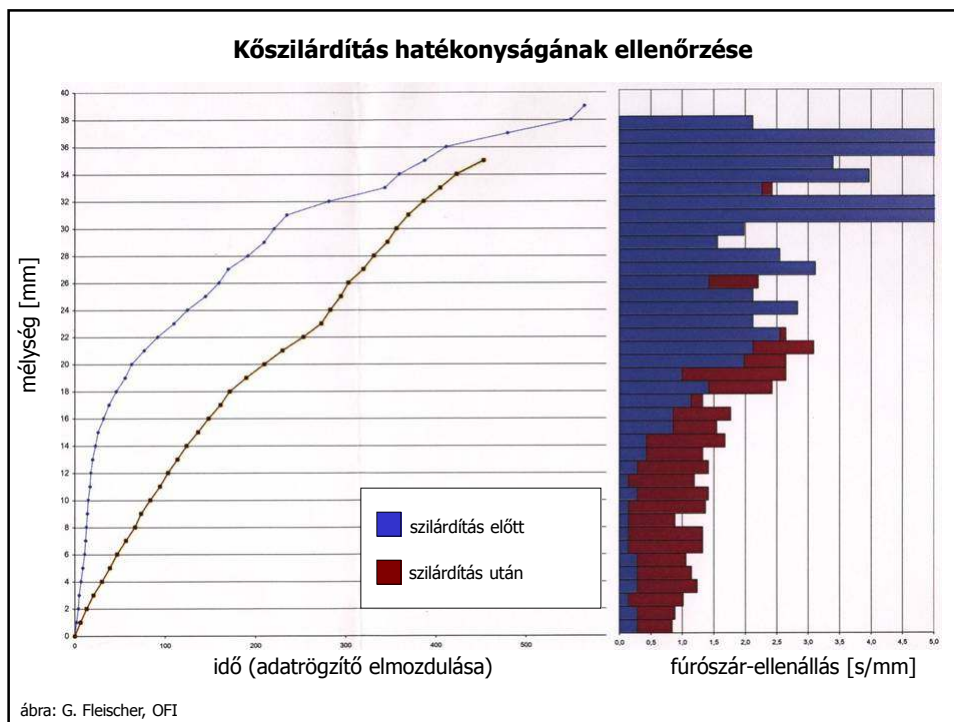


ofi www.ofi.co.at

Építőköben létrejött kéregképződés és szöveti degradáció gipszesedés következtében



ábra: G. Fleischer, OFI



Porózus építőkövek károsodásának helyszíni vizsgálata II. Ultraszhang-terjedési sebesség mérése

Roncsolásmentes módszer

Ultraszhang impulzusok (500 kHz - 75 MHz)
küldése → futási idő detektálása →
ultraszhang terjedési sebessége
kiszámolható

$$v = s/t \text{ [km/s]; } s \text{ [mm], } t \text{ [ms]}$$

→ anyagjellemzők (dinamikus e-modulus)

→ szilárdság



beton: 4,0...5,0 km/s

márvány (ép): 5,4...6,7 km/s,

márvány (mállott): 1,0...3,0 km/s.

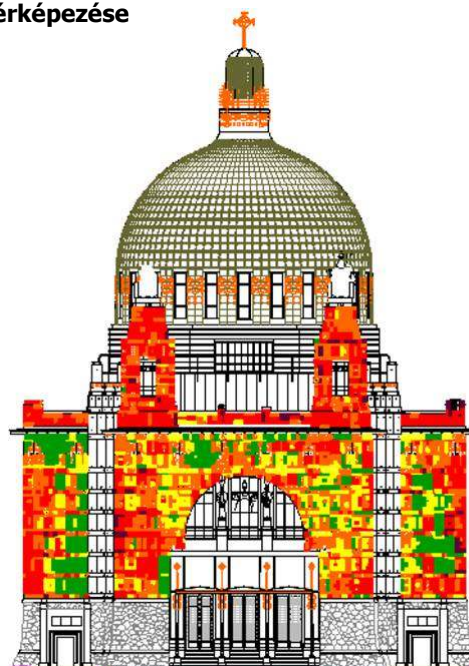
homokkő: 2,0...4,3 km/s



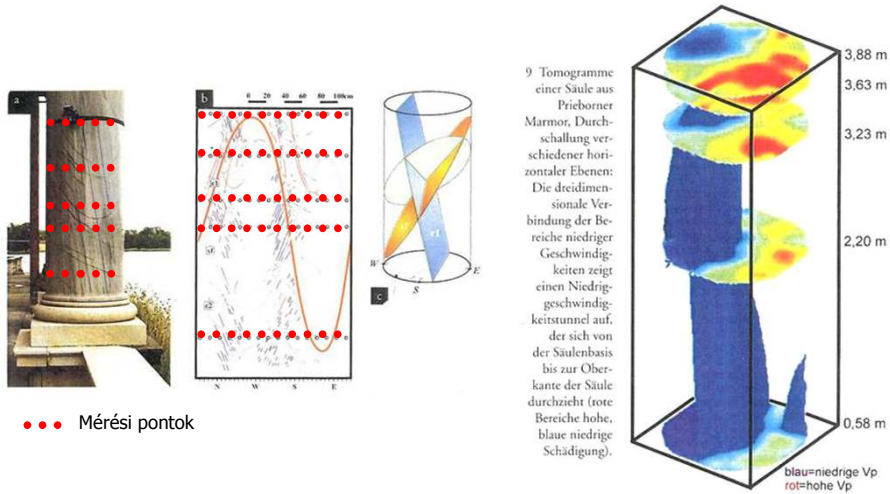
Márványlapok UHT-sebességének térképezése Kirche am Steinhof, Bécs



G. Fleischer, 2002



3D-térképezés – „UH-tomográfia”



• • • Mérés pontok

Sigismund et al, RESTAURO 2004/2

Nedvességmérés I. – Vezetőképesség mérése

Szilárd testek elektromos ellenállása (vezetőképessége) nedvesedés hatására megváltozik:

alacsony anyagnedvesség → magasabb elektromos ellenállás

Hátrány:

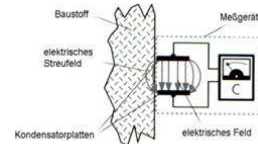
- ellenállást egyéb tényezők is befolyásolják (T, sűrűség, sótartalom, összetétel, stb.)
→ pontatlanságok
- leginkább fanedvesség mérésre alkalmas



Nedvességmérés II. – Kapacitív módszer

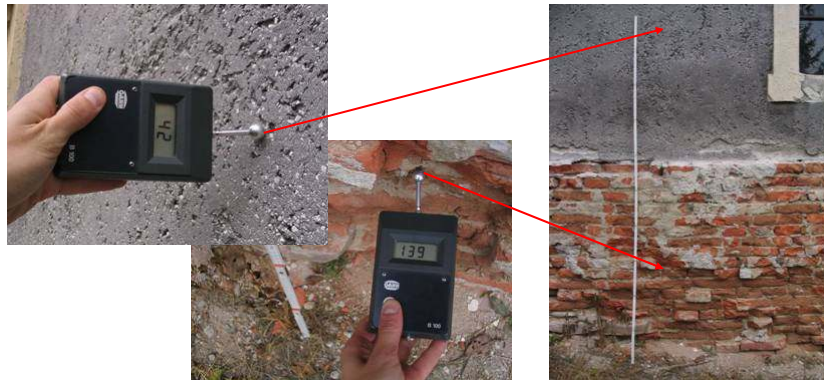
A mérés során a műszer és a mérendő anyagtömeg közötti létrejövő elektromos mezőnek a nedvesség hatására történő változásait detektálja a műszer (relatív értékek!).

A mérés mélysége nagyban függ az anyag sűrűségétől pl. 2-3 cm-től (beton) 10-12 cm-ig (porózus anyagok).



Aus FTA-Trocknung Aktuell 1/96

Károsító sók jelenléte itt is befolyásolja a mérési eredményt!



Nedvességmérés III. – CM módszer

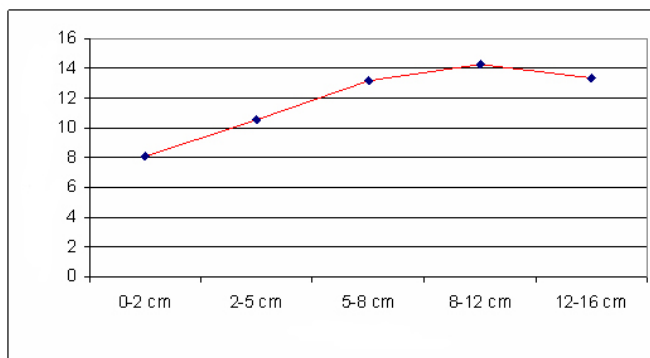
- anyagminta porítása
- tömeg mérése
- légmentesen záródó edénybe töltése karbid (CaC_2) kapszulával
- rázás hatására a karbid az anyag nedvességével acetilén gázt (C_2H_2) és plusznyomást képez, ami a palackhoz erősített légnyomásmérőn leolvasható
- anyagmennyiség + nyomás ismeretében a nedvességtartalom kiszámolható
- abszolút értékek!



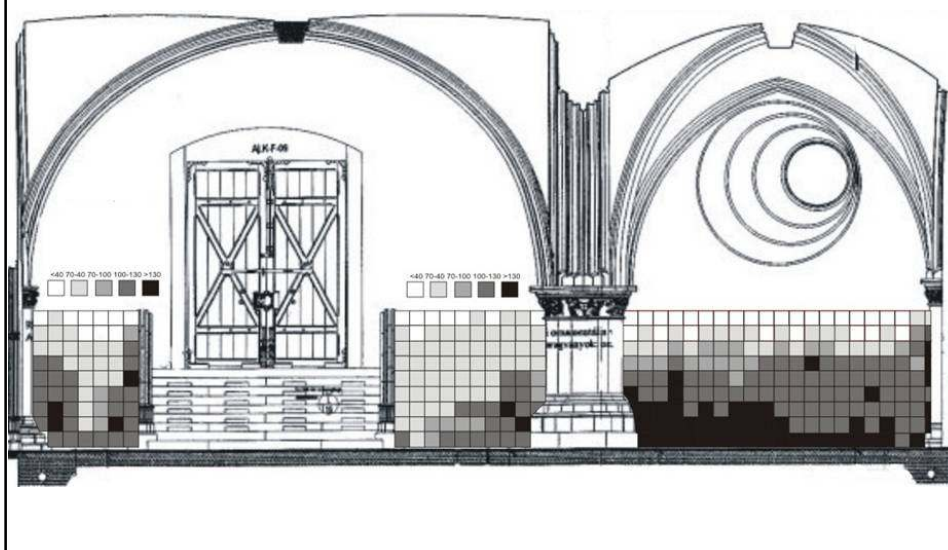
Nedvességmérés IV. – Gravimetrikus (Darr) módszer

minta szárítása 40 °C-on → elpárolgó nedvesség → tömegvesztés

$$\frac{(\text{nedves tömeg} - \text{száraz tömeg}) \times 100}{\text{száraz tömeg}} = \text{nedvesség [m/m \%]}$$



Nedvességeloszlás térképezése a Mátyás templom nyugati falán



Vízfelvő-képesség mérése

Karsten pipa

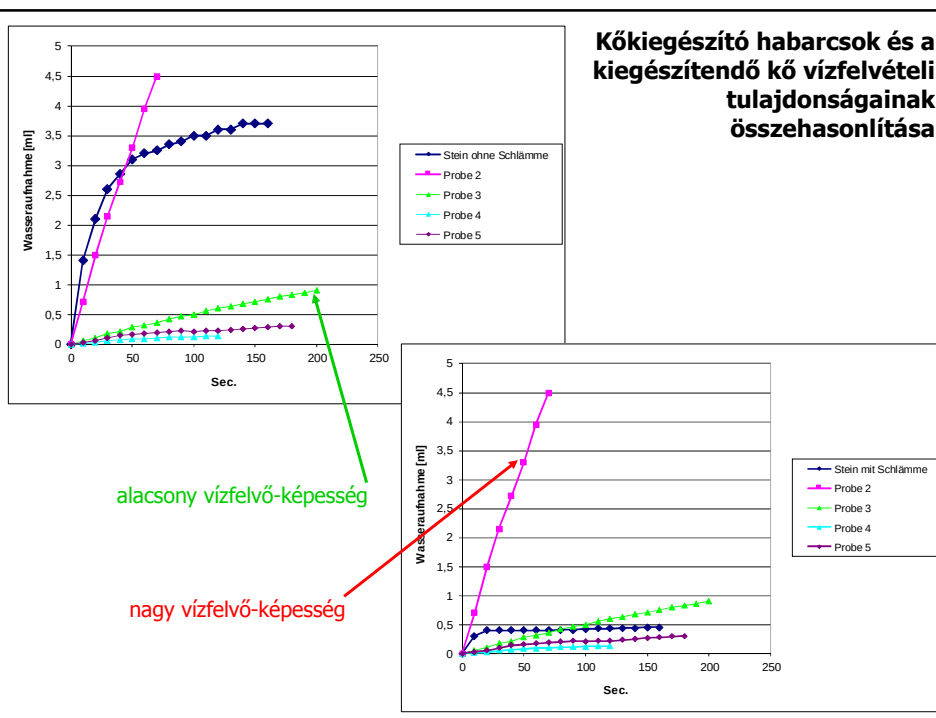
Víz behatolásának, felvételének meghatározására szolgáló egyszerű műszer.

w-érték (vízfelvételi együttható) is becsülhető-átszámítható

$$w = \frac{m}{A \cdot \sqrt{t}}$$

Alkalmazási területek:

- építőanyagok vízfelvő-képessége
- hidrofób hatás ellenőrzése
- felületi bevonatok ellenőrzése, összehasonlítása



Kémiai gyorsesztek

pH és a főbb károsító sók anionjainak (SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^-) minőségi és „félmennyiségi” meghatározására. Desztillált víz használata a méréshez!



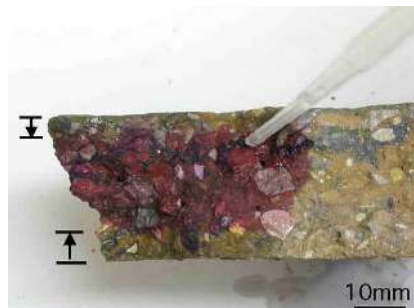
Karbonátosodás mélységének meghatározása

Fenolftalein 0,1-1%-os, alkoholos vagy vizes oldata → pH változásának detektálása pl. mészhabarcokban, betonban.

$\text{Ca}(\text{OH})_2$ (pH ~12) + CO_2 → CaCO_3 (pH < 8,5-9) magenta színű oldat elszíntelenedik



Kép: Matea Ban, 2012



www.understanding-cement.com

Egyszerű helyszíni tesztek festékrendszerek meghatározásához

- festékréteg hajlítható → műanyag (műgyanta, diszperziós) festék
- öngyújtópróba: festékréteg elfeketedik → műgyanta, diszperziós festék
- festékréteg acetona (körömlakk lemosó) mártott vattapálcikával oldódik → műgyanta, diszperziós festék
- vízcsepp teszt: felületre csepegtetett víz nem szívódik be → szilikongyanta-festék (hidrofóbizált diszperzió)



- festékréteg vízbe mártott vattapálcikával oldódik → enyvésték
- híg (5-10%-os) sósav: festékréteg heves pezsgéssel oldódik → mészfesték (Vigyázat! Nem meszes festékrendszerek is gyakran tartalmaznak meszes töltőanyagot, ami szintén oldódik HCl-ben! → egyéb vizsgálatok, pl. oldhatóság acetona)
- pontos meghatározáshoz: laborvizsgálat, pl. FTIR

Klímamérés

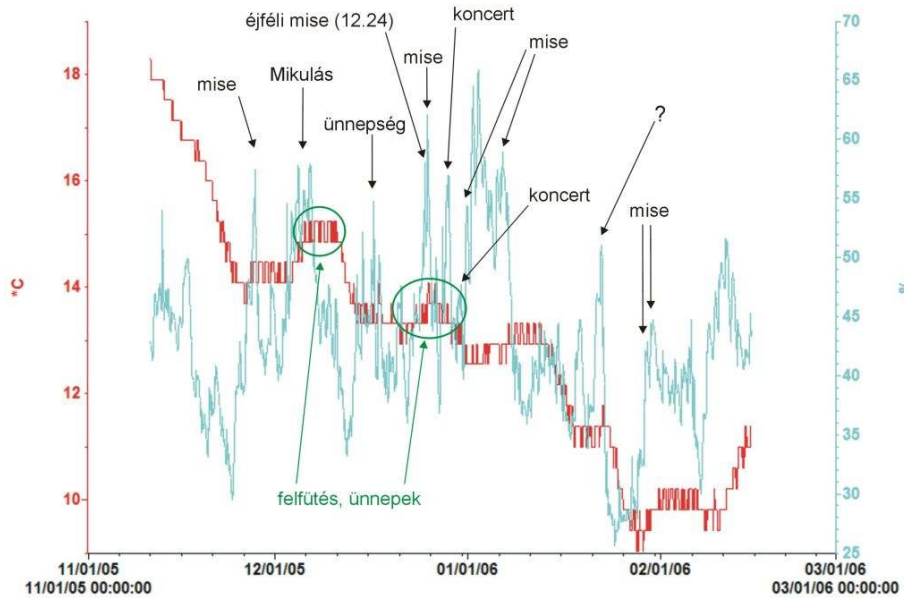
Folyamatos adatregisztrálás kisméretű eszközökkel (logger).

Kül- és beltéri klíma változásainak a mérése (lég-/felületi hőmérséklet, rH, fényerő, stb.)

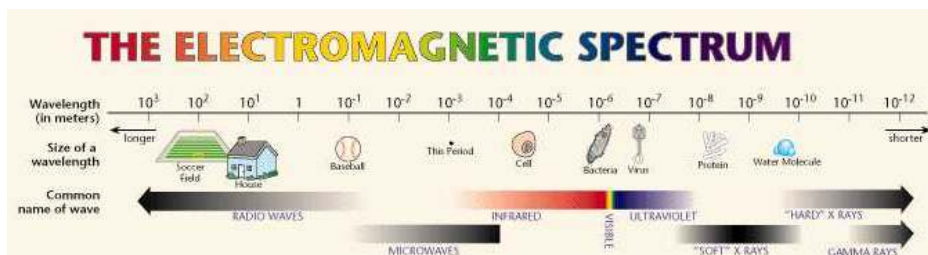


T és rH értékek mérése a Mátyás templomban (2005.11.10-2006.02.15.)

MT-11 Szent Kereszt kápolna



Termográfia

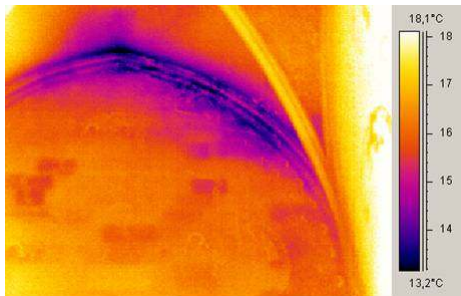


-273 °C felett minden test kibocsát, az emberi szem számára láthatatlan, hősugárzást.

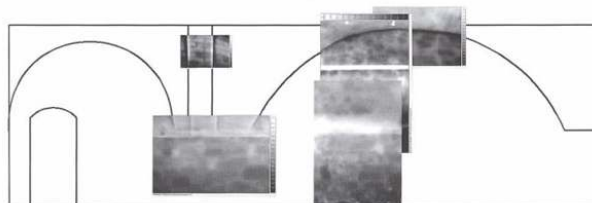
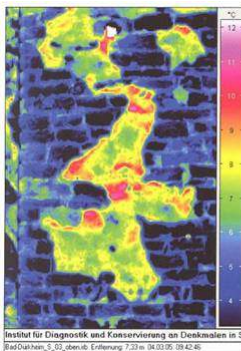
A termográfia a tárgyak felületi hőmérsékletének meghatározására alkalmas leképező eljárás, ahol az egy pontból kiinduló infravörös sugárzás intenzitása szolgáltatja az alapot a hőmérséklet meghatározásához.

Mérési tartomány általában a 8-14 μm hullámhossz tartományban.

Passzív termográfia



Aktív termográfia



Franzen et al, 2011

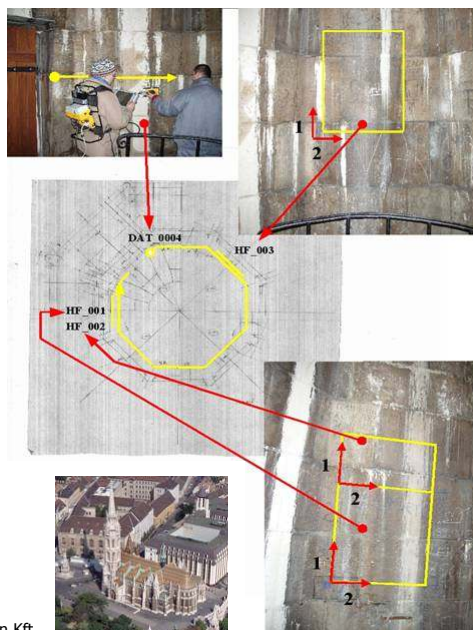
GPR (Ground Penetrating Radar) - Georadar

Egy adó nagyfrekvenciás (1,6 GHz) impulzusokat küld a vizsgálandó médiumba, amelyek részben elnyelődnek, részben visszaverődnek. A visszavert szignált detektálják és időfüggvényként jelenítik meg.

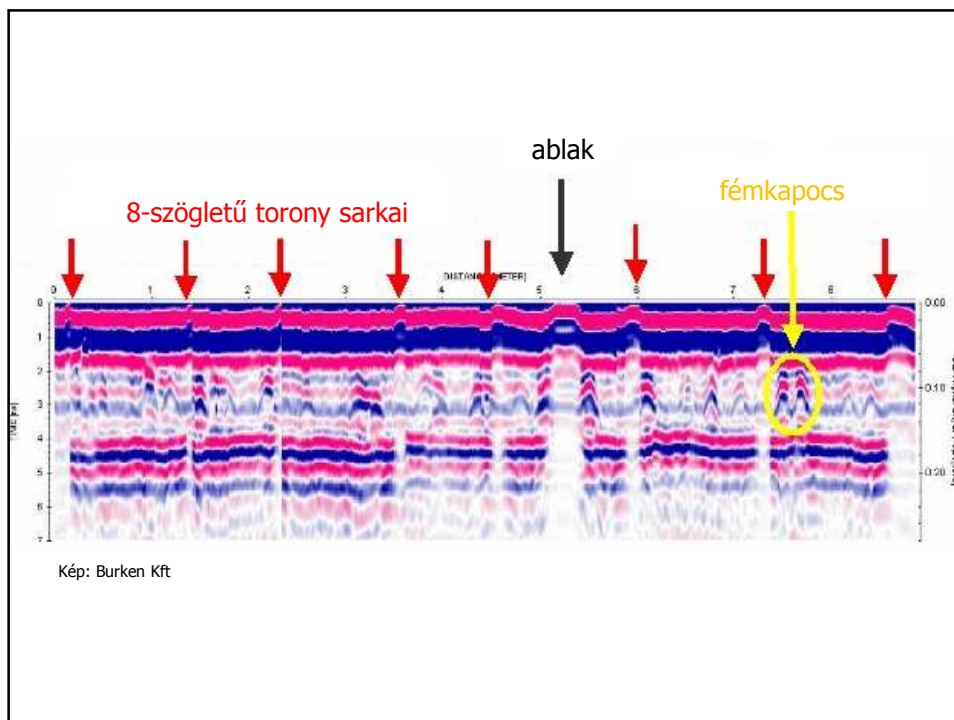
Az intenzitás az anyagok, rétegek, stb. dielektromos tulajdonságainak és vezetőképesség különbségeinek a függvénye.

Minél nagyobb a különbség, annál erősebb reflexió lesz detektálható.

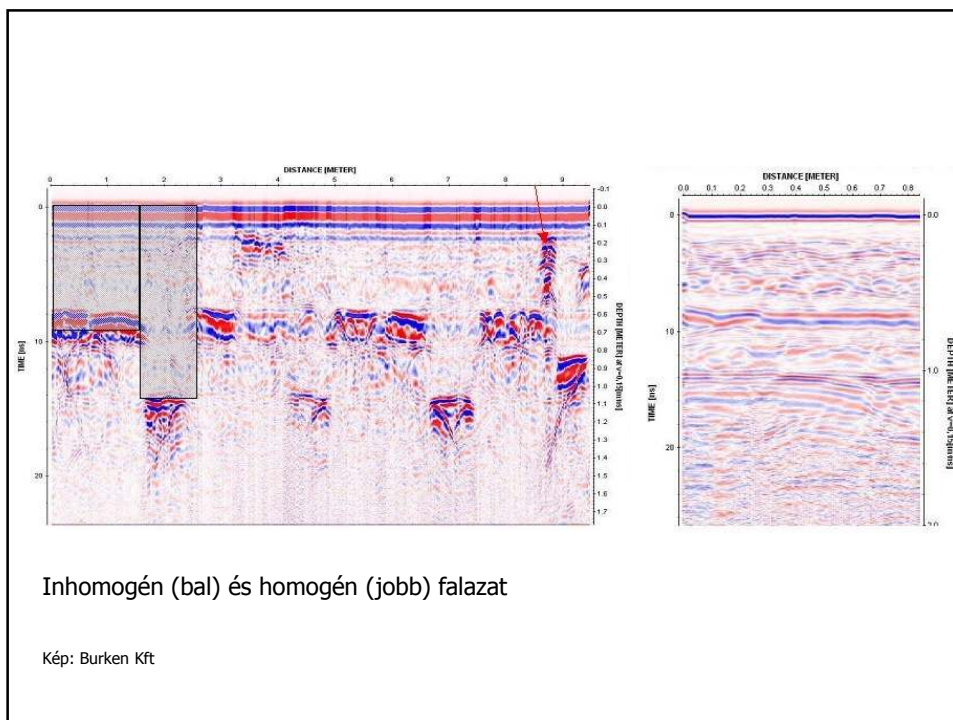
pl. kő-vasalás, kő-üreg, stb.



Képek: Burken Kft



Kép: Burken Kft



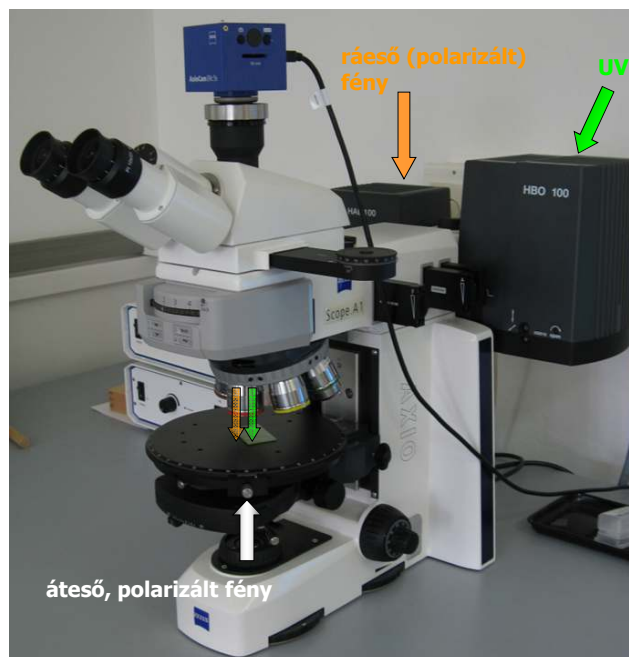
Mintavételezés



- pontos dokumentáció (leírás, fotó, rajz)
- mintavételezés megfelelő helyről
- megfelelő minőségű és mennyiségű minta
- mit szeretnénk megtudni?
(lehetőségek, korlátok, pl. „anyagtani tulajdonságok” vs „hány éves a kapitány?”)



Fénymikroszkópia



I. Polarizációs mikroszkópia - vékonycsiszolat



Vékonycsiszolat: átlátszó, 20 – 30µm vastag preparátum

Vizsgálatok áteső polarizált fényben. Az egyes alkotófázisok egyértelműen meghatározhatók!

Miért éppen polarizációs mikroszkópia?

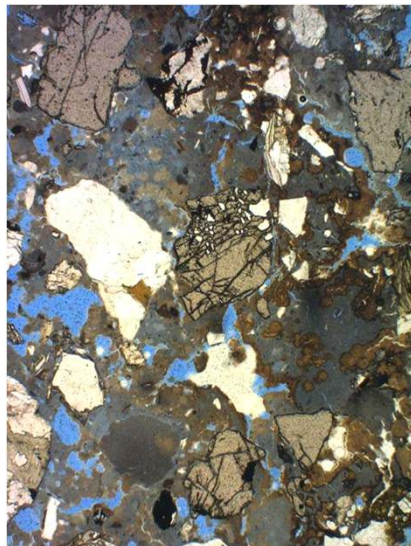
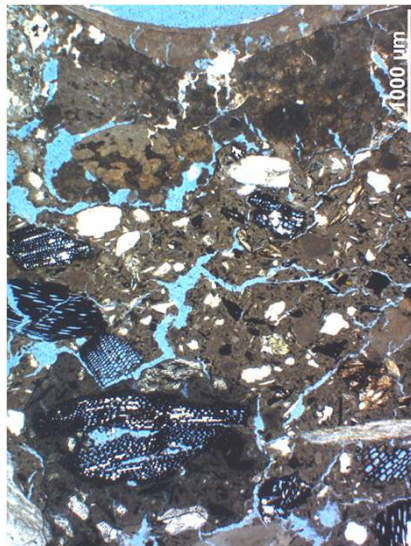


A szöveti-szerkezeti és összetételbeli tulajdonságok egyidejű vizsgálati lehetősége

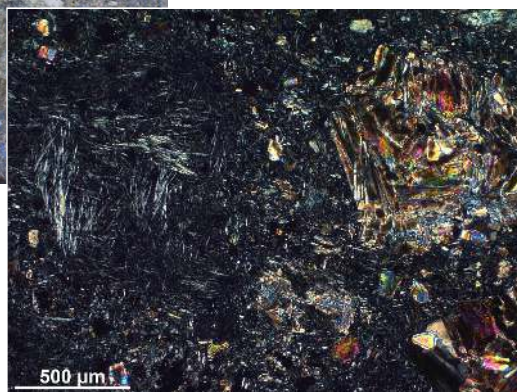
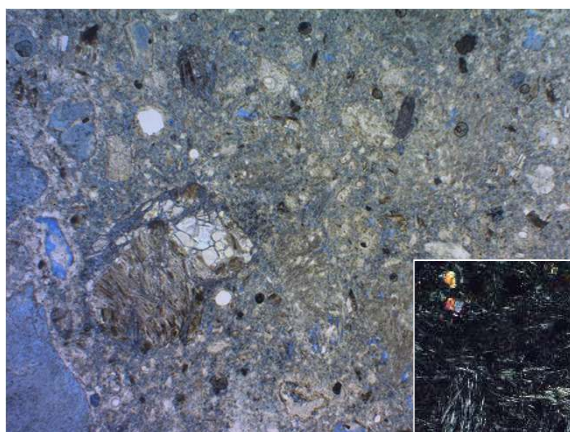


- ásványi fázisok meghatározása (adalékanyag, adalékok, klinker, stb.)
- kötőanyag meghatározása (mész, gipsz, hidraulikus, stb.)
- b/a arány (képanalízis)
- porozitás
- v/c-tényező (POL-UV-mikroszkópia)
- rétegrend, festékrétegek meghatározása
- gyártási technológia
- mállás/szöveti-szerkezeti változások/tartósság (karbonátosodás, gipszesedés, ASR, DEF, stb.)
- „relatív kormeghatározás”
- további nagyműszeres vizsgálatok előkészítése
- költséghatékony

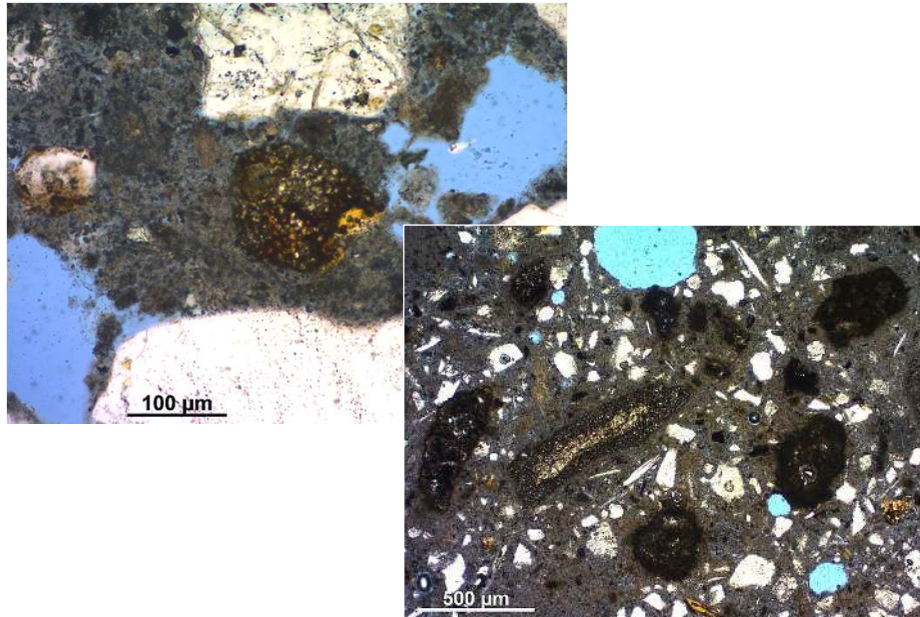
Kötőanyagok polarizációs mikroszkópban: mész, dolomit mész



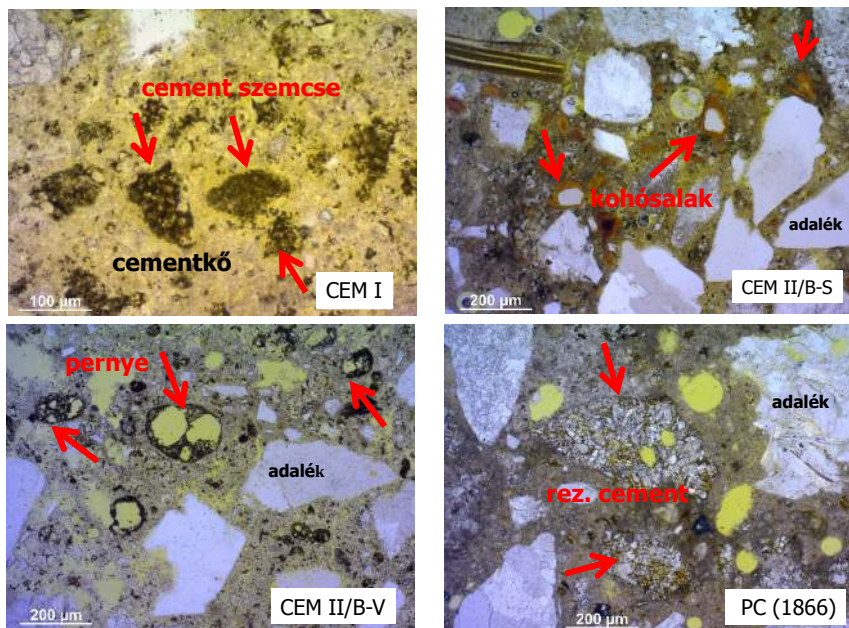
Kötőanyagok polarizációs mikroszkópban: gipsz-anhidrit



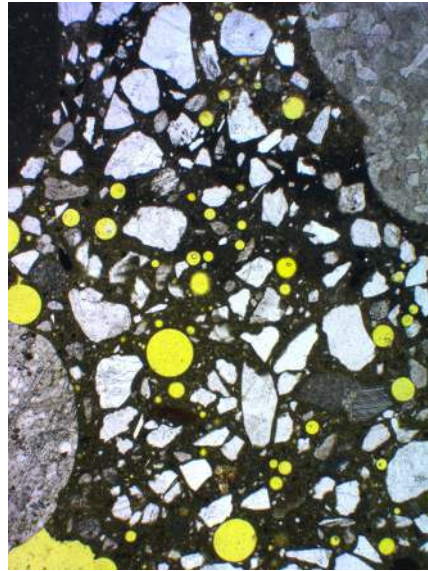
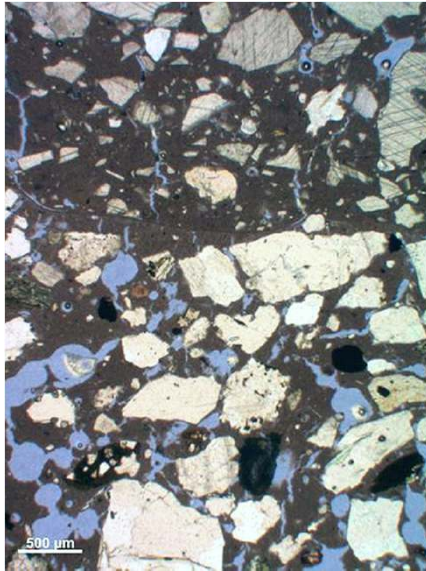
Kötőanyagok polarizációs mikroszkópban: NHL, románcement



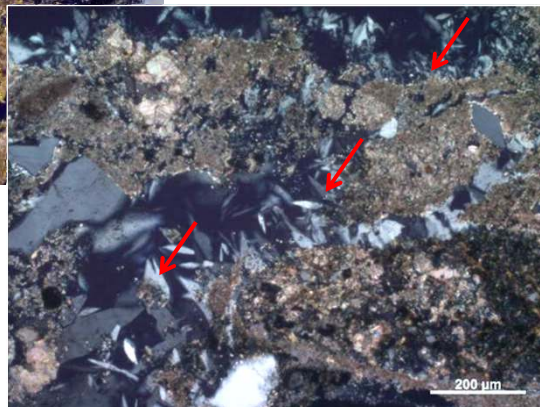
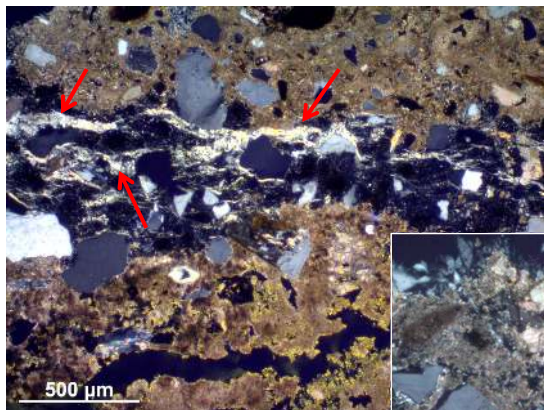
Kötőanyagok polarizációs mikroszkópban: portlandcementek



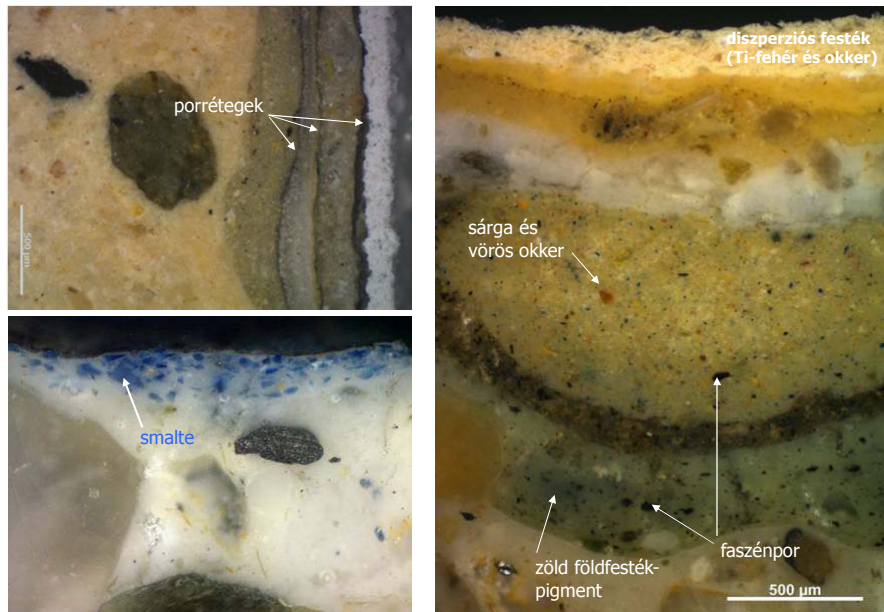
Porozitás, repedések



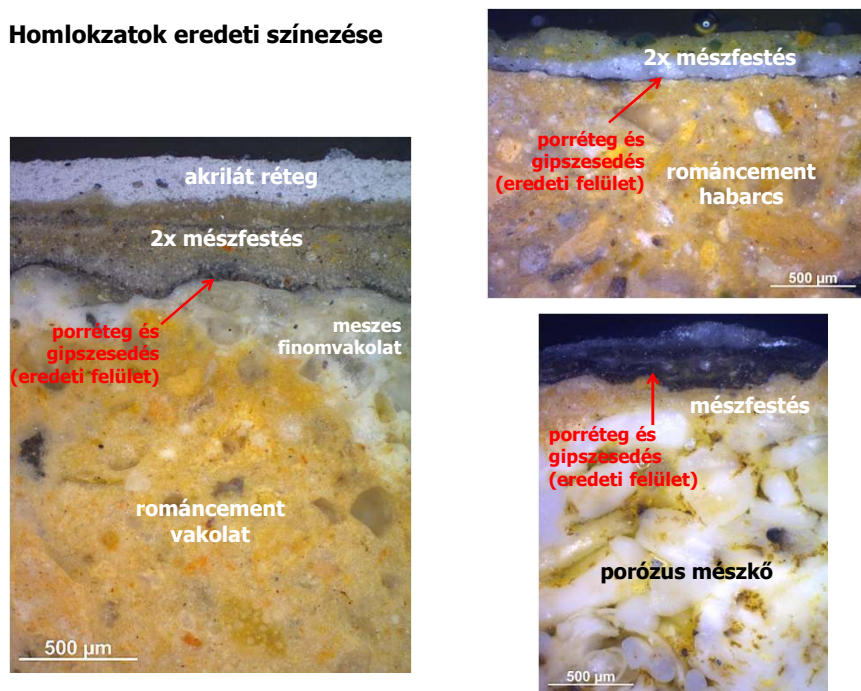
Károsító sók habarcsban-betonban (ettringit, thaumazit, gipsz)



II. Vizsgálatok ráeső fényben – Rétegrend, pigmentek

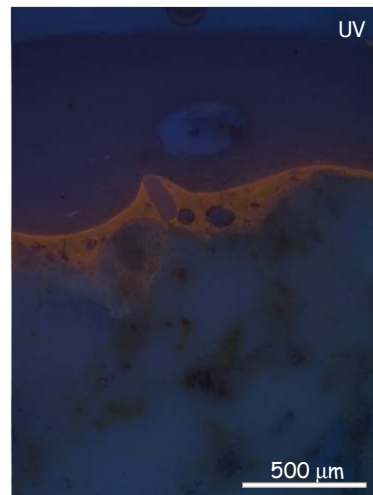
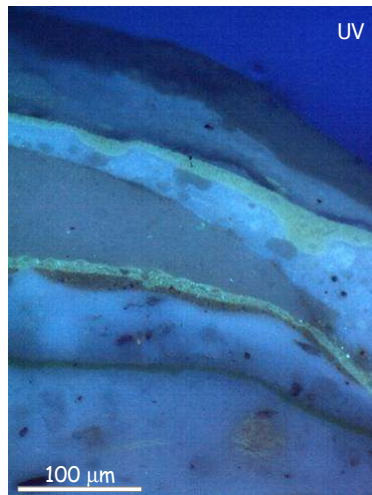


Homlokzatok eredeti színezése

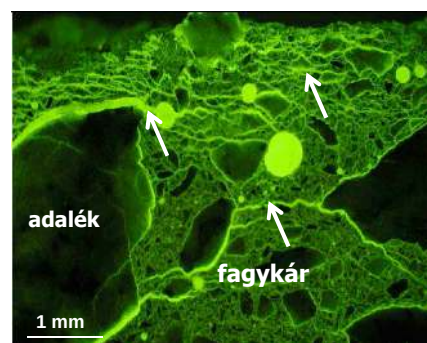
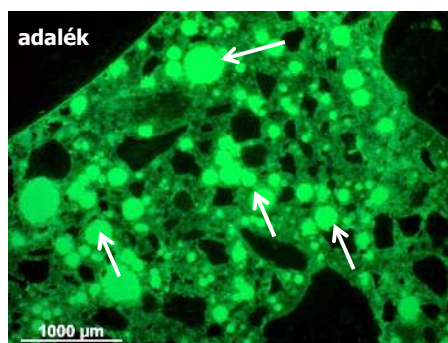


III. Vizsgálatok UV fényben

Olajfesték-rétegek, sellak, speciális pigmentek



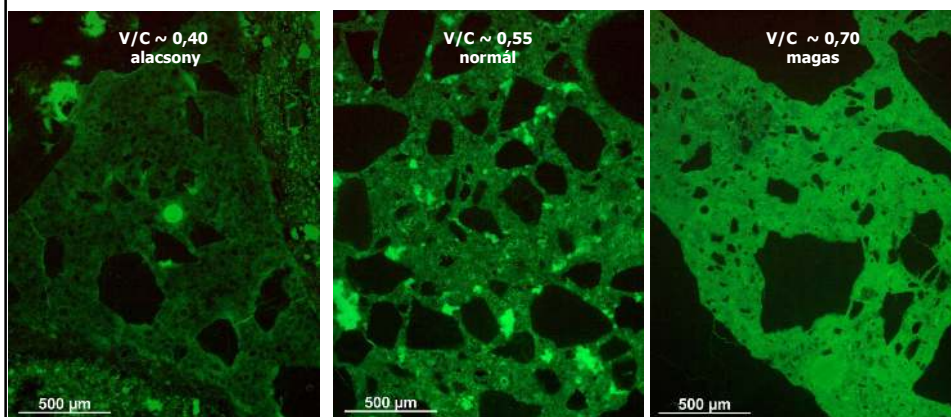
Porozitás vizsgálatok, repedések



Kép: Ch. Merz



Betonok v/c-tényezője



Pásztázó-elektronmikroszkópia (SEM) energiadisperzív röntgenanalízissel

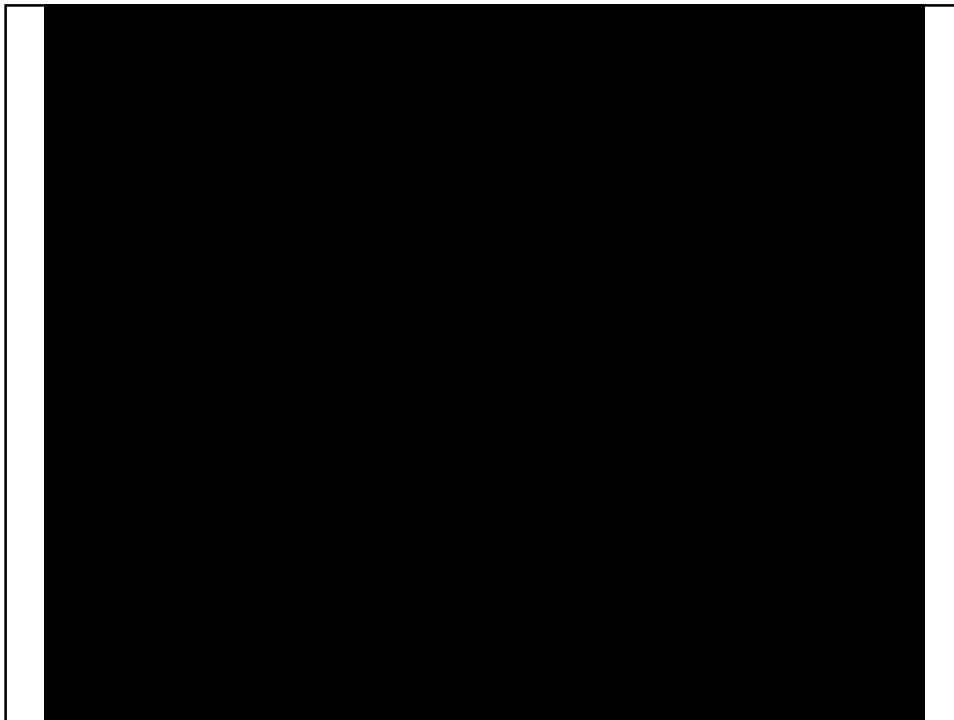


SEM: olyan mikroszkóp, amely elektronok (elektronnyaláb) segítségével alkot képet.

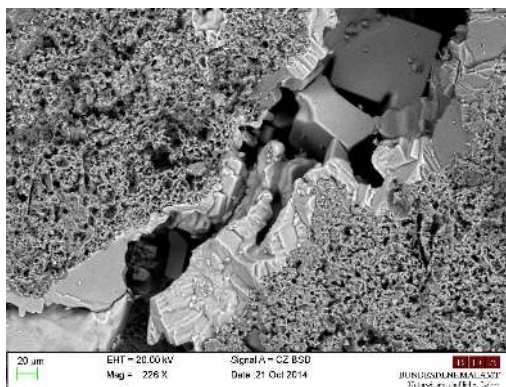
Alkalmazások:

- topográfia
- morfológia
- kémiai összetétel

Nagyítás: 50x – 1000000x
Mélységélesség: 4mm – 0,4µm
Felbontás: 1-10nm

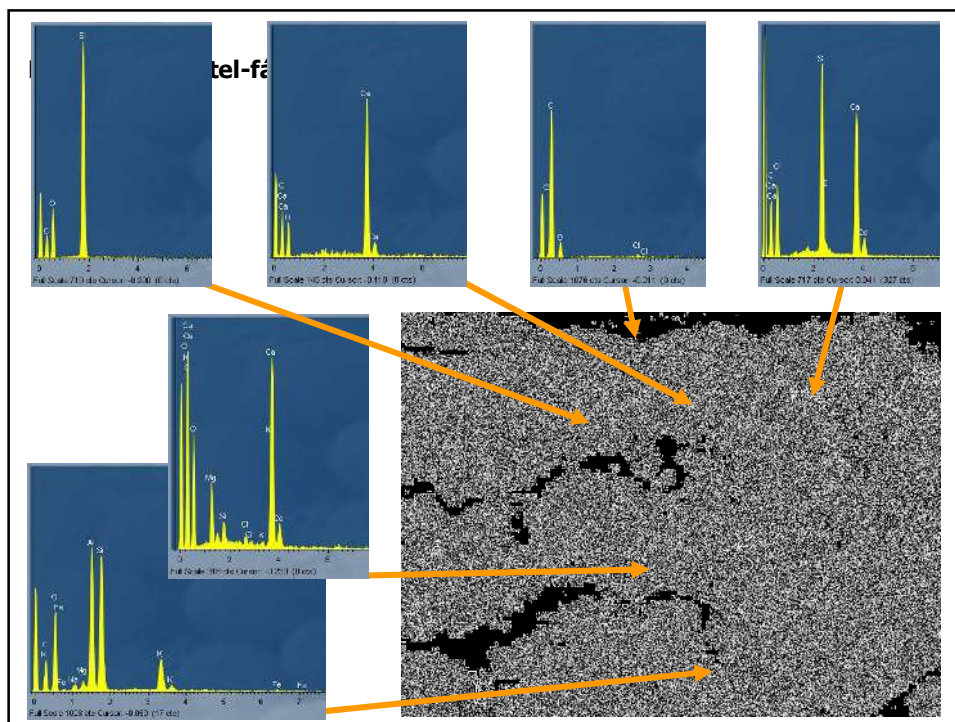


Törött mintafelület: topográfia (3D)



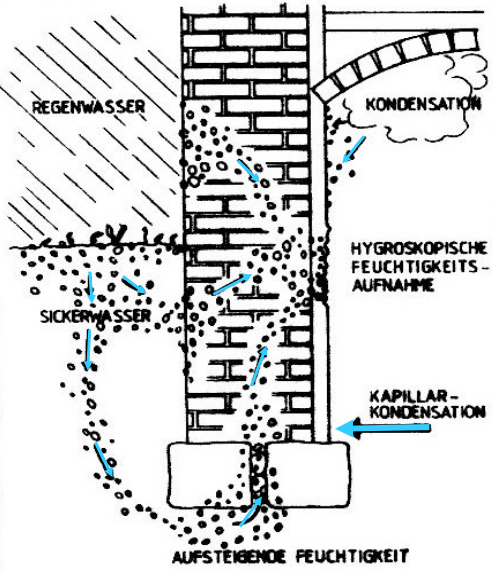
**Polírozott felület: szerkezet-
szöveti kép, komponensek (2D)**

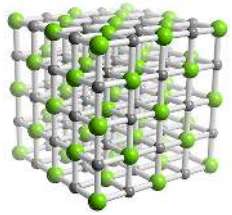




Károsító sók vizsgálata







A sók olyan ionos kötésű vegyületek, amelyek kristályszerkezetében legalább egy **kation** és egy **anion** vesz részt.
pl. $\text{Na}^+ + \text{Cl}^- = \text{NaCl}$ (halit, kősó)

<u>kationok</u>	<u>anionok</u>
Ca^{2+} Mg^{2+} K^+ Na^+	klorid Cl^- nitrát NO_3^- szulfát SO_4^{2-} karbonát CO_3^{2-}



Rahn & Müller, 2006

Falazatokban előforduló leggyakoribb sófajták

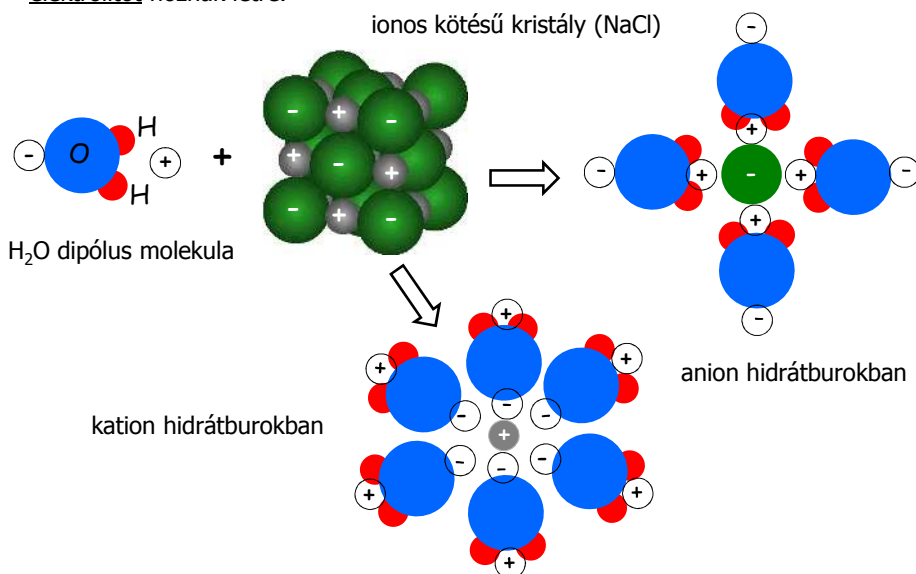
Anionok Kationok	Karbonátok CO_3^{2-}	Szulfátok SO_4^{2-}	Kloridok Cl^-	Nitrátok NO_3^-
Nátrium Na^+	$\text{Na}_2\text{CO}_3 (x \cdot \text{H}_2\text{O})$ termonátrit (H_2O) szóda ($10 \cdot \text{H}_2\text{O}$)	$\text{Na}_2\text{SO}_4 10 \cdot \text{H}_2\text{O}$ tenardit mirabilit (glaubersó)	NaCl halit (konyhasó)	NaNO_3 Nitratin (nátronsalétrom)
Kálium K^+	K_2CO_3 hamuzsír	K_2SO_4 arcanit	KCl szilvin	KNO_3 kálisalétrom
Magnézium Mg^{2+}	MgCO_3 magnezit hidromagnezit ($4\text{H}_2\text{O}$)	MgSO_4 kieserit (H_2O) hexahidrit ($6 \cdot \text{H}_2\text{O}$) epsomit ($7 \cdot \text{H}_2\text{O}$)	MgCl_2 bischofit	$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ nitromagnezit
Kalcium Ca^{2+}	CaCO_3 kalcit aragonit vaterit	CaSO_4 gipsz ($2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) anhidrit	CaCl_2 antarticit	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ mészsalétrom

Károsító sók eredete, gyakorisága

	Felszálló talajnedvesség (kapilláris víz)				Légköri hatások			
	szulfát	nitrát	klorid	karbonát	szulfát	nitrát	klorid	karbonát
Ca ²⁺	mindenféle talajból; építőanyag, cementes kiegészítések	mezőgazdasági talajok; temetők		másodlagos mészbevonatok szinter; erősen nedves zónákban	SO ₂ reakcióterméke kalcittal ill. dolomittal építőanyagból		nagyon ritka! nagyon oldékony és higroszkópos!	másodlagos mészbevonatok szinter; erősen nedves zónákban
Mg ²⁺	nagyon gyakori; pl. dolomitos építőanyag, habarcsok	sókivirágzásként ritka (higroszkópos)	sókivirágzásként ritka (higroszkópos)	dolomitos habarcsokból		nagyon ritka! de NO _x reakciótermékeként ill. bakteriális tevékenységből előfordulhat		nagyon ritka! alig kimutatható
K ⁺	gyakori só; gyakran alkálianyagok reakciótermékeként	Leggyakoribb nitrát só; mezőgazdaság, alkáli anyagokból	viszonylag gyakori só; alkálianyagok reakciótermékeként	alkáli anyagokból, más reaktív sók hiánya esetén	SO ₂ reakcióterméke alkáli anyagokkal		speciális ipari anyagokból; tengervíz permet	SO ₂ hatására szulfátosodik
Na ⁺	gyakori só; főleg alkálianyagok reakciótermékeként		téli sószórás, sódepók					

Sók oldódása vízben

Vízben való oldódáskor a sók anionokra és kationokra disszociálnak, miközben elektrolitot hoznak létre.



Sóanalitika – ionkromatográfia (IC)

Az oldatban lévő kationokat és anionokat egy-egy speciális ioncserélő-gyantával bélelt oszlopon áramoltatják át, ahol az egyes komponensek az idő függvényében szétválasztásra kerülnek ->

minőségi és mennyiségi analízis



Mérési eredmények interpretálása I. – Oldhatósági sor alapján

Egyes komponensek koncentrációja a mintában ([mg/l] vagy [ppm]):

Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻
34,1	4,8	10,8	149,7	73,4	46,8	349,8

Az oldatban lévő kationok és anionok koncentrációjának mérése és több lépcsőben történő tömegszázalékra való átszámolása után az oldhatóság és a komponensek függvényében a mintában lévő vízdoldható sók kiszámolásra kerülnek.



	só/só _{TOTAL} [m/m%]	só/minta [m/m%]
gipsz	72,4	2,8
NaCl	14,9	0,6
Mg-nitrát	6,4	0,25
Mg-klorid	2,5	0,1
Ca-klorid	2,5	0,1
K-nitrát	1,2	0,05

