

# Épületdiagnosztika és anyagvizsgálat a műemlékvédelemben

Pintér Farkas

Bundesdenkmalamt, Wien



BME Építéskivitelezési és Szervezési Tsz.

2019.11.19.

## A műemlékvédelemi kutatás és helyreállítás komplexitása

### KÖRNYEZET:

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

ÉPÍTŐANYAG: (történeti-modern)



TÖRTÉNET: (átépítések, restaurálások)

HASZNÁLAT: (privát, egyházi, turisztikai, nyilvános)

IGÉNYEK-SZÁNDÉKOK: (tulajdonos, kivitelező)

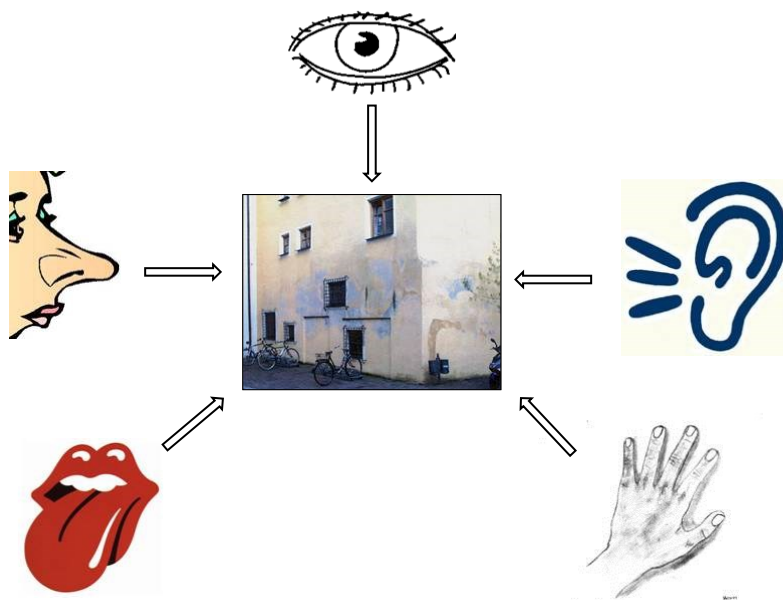
### ANYAGI LEHETŐSÉGEK



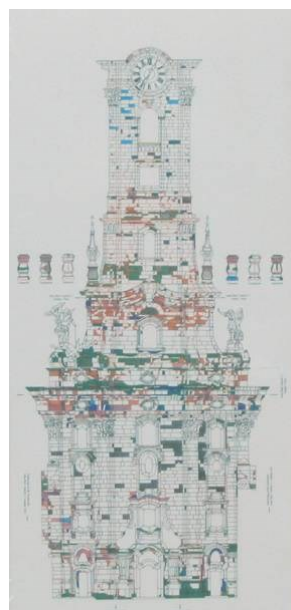
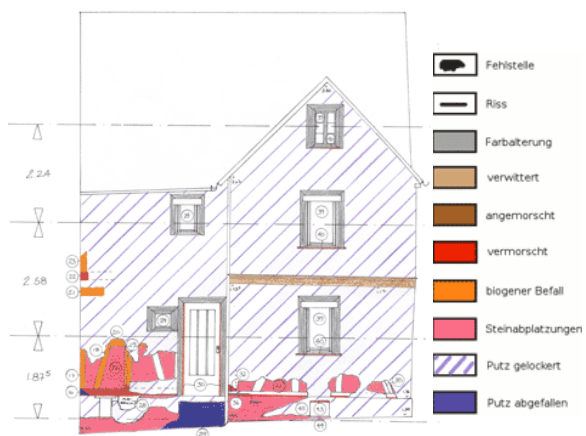
## Műemlék



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

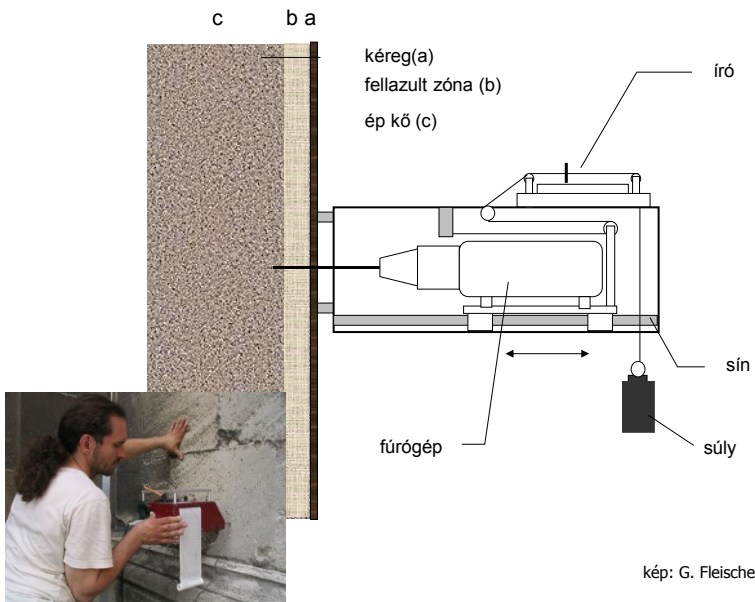


## Dokumentáció, felmérés, térképezés



## HELYSZÍNI VIZSGÁLATOK

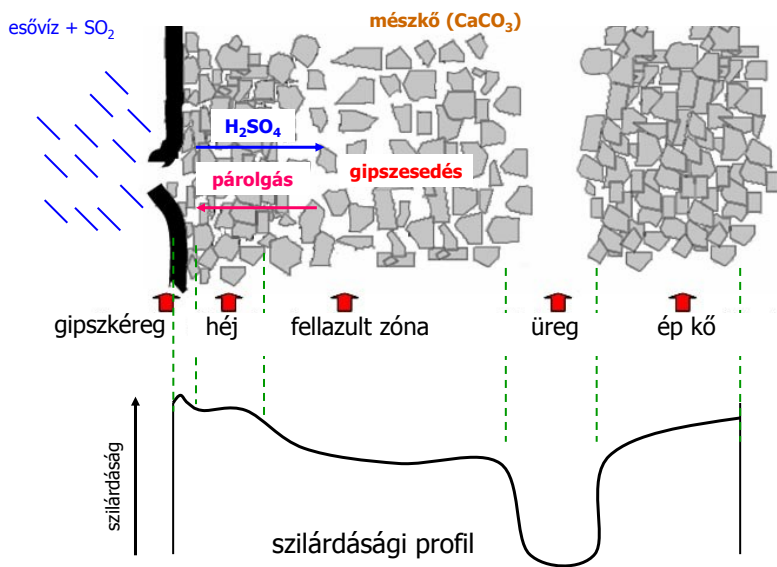
## Építőkövek károsodásának helyszíni vizsgálata I. Fúrósár-ellenállás mérése





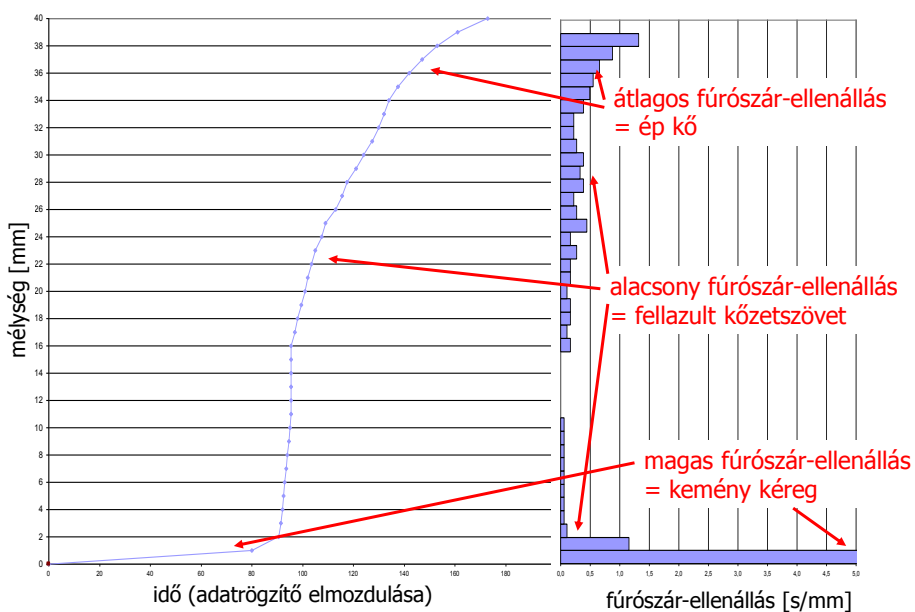


**Elméleti szilárdági profil egy mállott, porózus építőkőben**



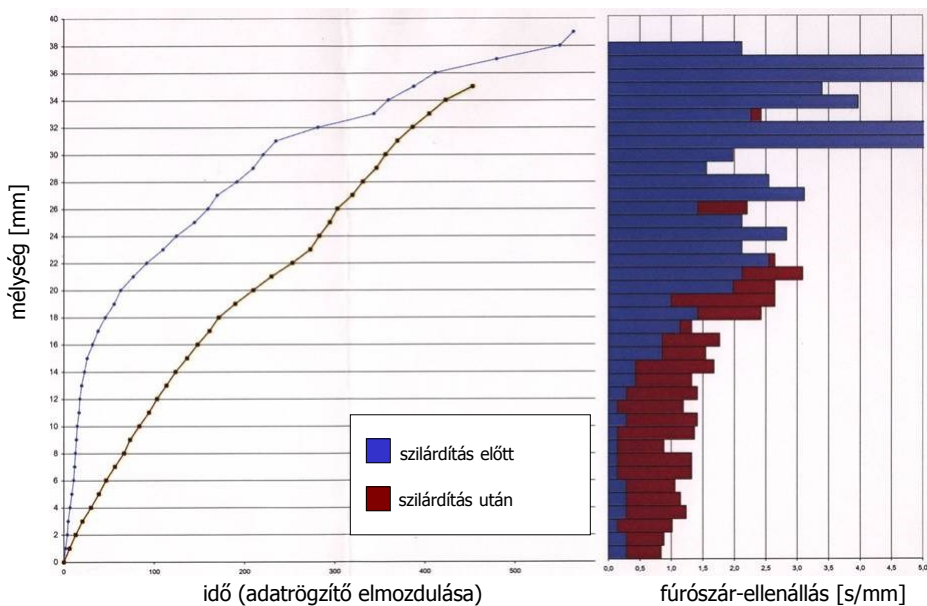
Graphik: G. Hilbert

### Építőköben létrejött kéregképződés és szöveti degradáció gipszesedés hatására



ábra: G. Fleischer, OFI

### Kőszilárdítás hatékonyságának ellenőrzése



ábra: G. Fleischer, OFI

## Építőkövek károsodásának helyszíni vizsgálata II. Ultraszhang-terjedési sebesség mérése

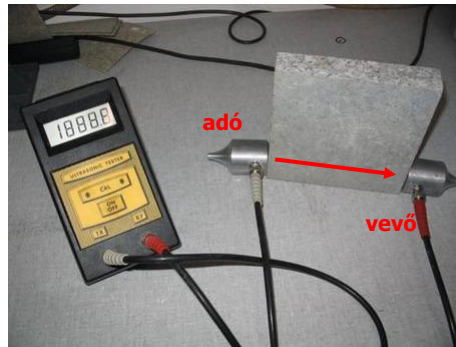
Roncsolásmentes módszer

Ultraszhang impulzusok (20 kHz -250 MHz)  
küldése → futási idő detektálása →  
ultraszhang terjedési sebessége  
kiszámolható

$v = s/t$  [km/s]; s [mm], t [ms]

→ anyagjellemzők (dinamikus e-modulus)

→ károsodások, repedések, stb.



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

márvány (ép): 5,4...6,7 km/s,

márvány (mállott): 1,0...3,0 km/s.

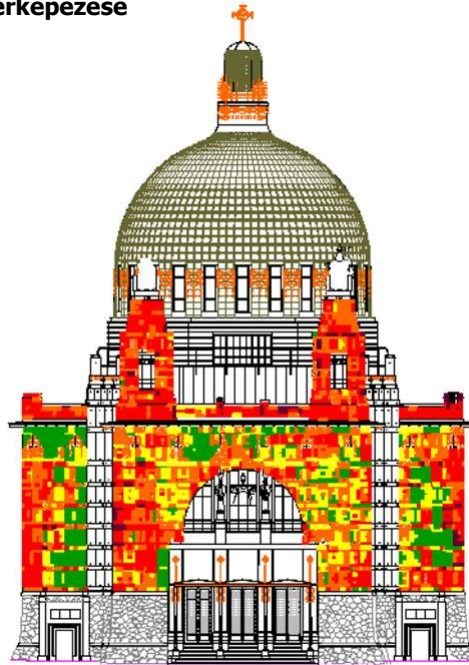
homokkő: 2,0...4,3 km/s



## Márványlapok UHT-sebességének térképezése Kirche am Steinhof, Bécs



G. Fleischer, 2002



## Nedvességmérés

### Vezetőképesség (ellenállás) mérése

Szilárd testek elektromos ellenállása nedvesedés hatására megváltozik:

alacsony anyagnedvesség →  
magasabb elektromos ellenállás

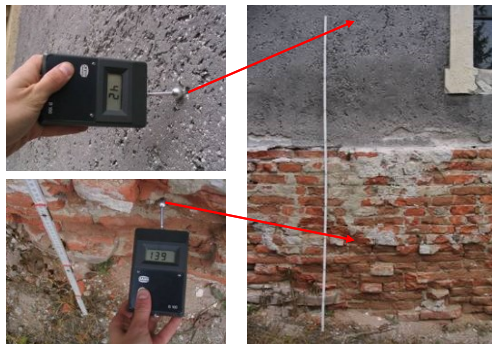
De! az ellenállást egyéb tényezők is befolyásolják (T, sűrűség, sótartalom, összetétel, stb.)



### Kapacitív mérés

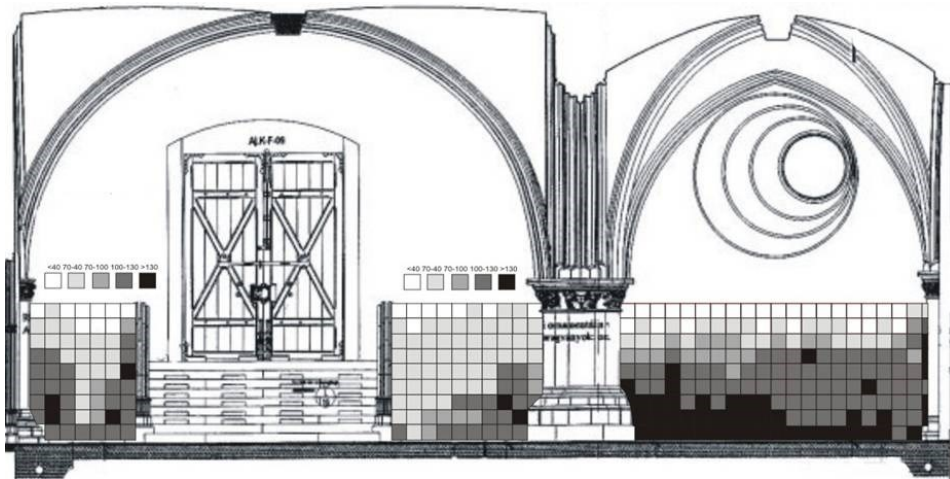
A műszer és a mérendő anyag között létrejövő elektromos mezőnek a nedvesség hatására történő változásait detektálja a műszer (relatív értékek!).

Károsító sók jelenléte itt is befolyásolja a mérési eredményt!





## Nedvességeloszlás térképezése a Mátyás templom nyugati falán



## Vízfelvő-képesség mérése

### Karsten pipa

Víz behatolásának, felvételének meghatározására szolgáló egyszerű műszer.

**w-érték** (vízfelvételi együttható) is becslhető-átszámítható

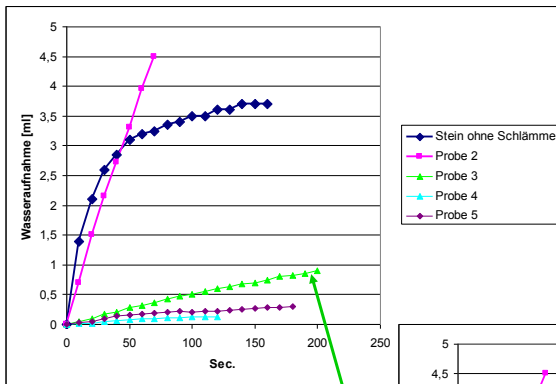
$$w = \frac{m}{A \cdot \sqrt{t}}$$

Alkalmazási területek:

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

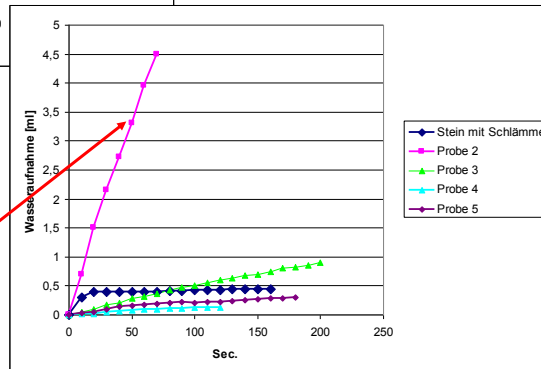


## Kőkiegészítő habarcok és a kiegészítendő kő vízfelvételi tulajdonságainak összehasonlítása



alacsony vízfelvő-képesség

magas vízfelvő-képesség



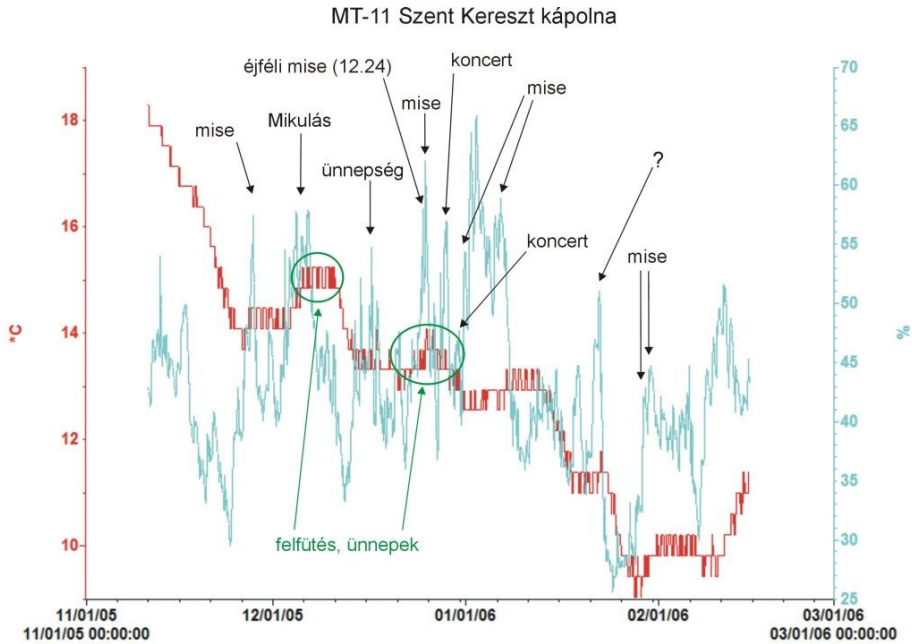
## Klíamérés

Folyamatos adatrögzítés kisméretű eszközökkel (logger).

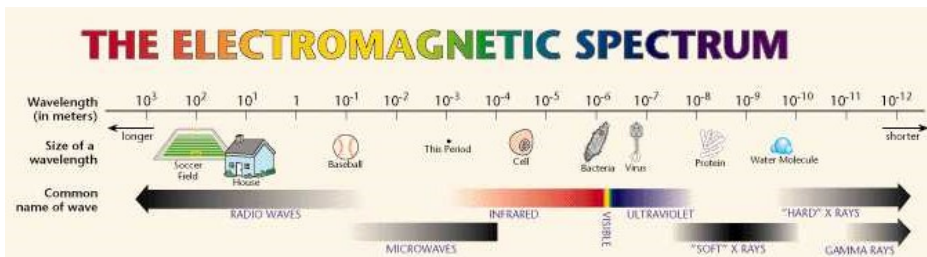
Kül- és beltéri klíma változásainak a mérése (lég-/felületi hőmérséklet, rH, fényerő, stb.)



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



## Termográfia

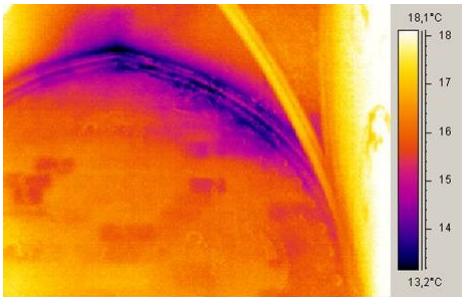


-273 °C felett minden test kibocsát az emberi szem számára láthatatlan hőszugárzást.

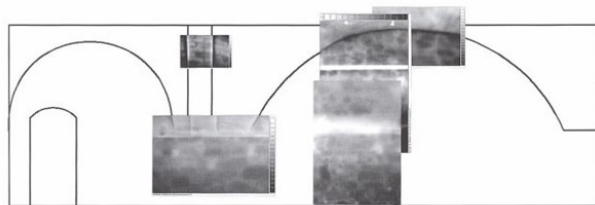
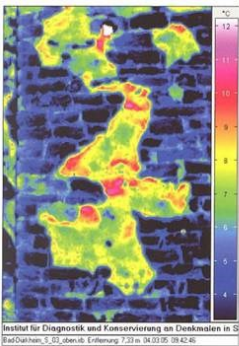
A termográfia a tárgyak felületi hőmérsékletének meghatározására alkalmas leképező eljárás, ahol az egy pontból kiinduló infravörös sugárzás intenzitása szolgáltatja az alapot a hőmérséklet meghatározásához.

Mérési tartomány általában a 8-14  $\mu\text{m}$  hullámhossz tartományban.

## Passzív termográfia



## Aktív termográfia



Franzen et al, 2011



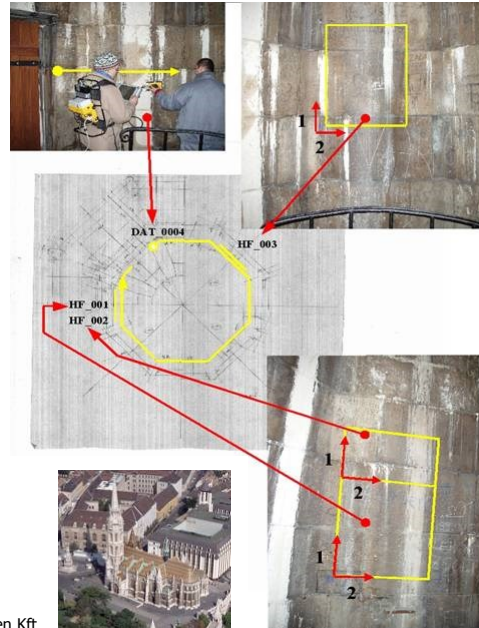
## GPR (Ground Penetrating Radar) - Georadar

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

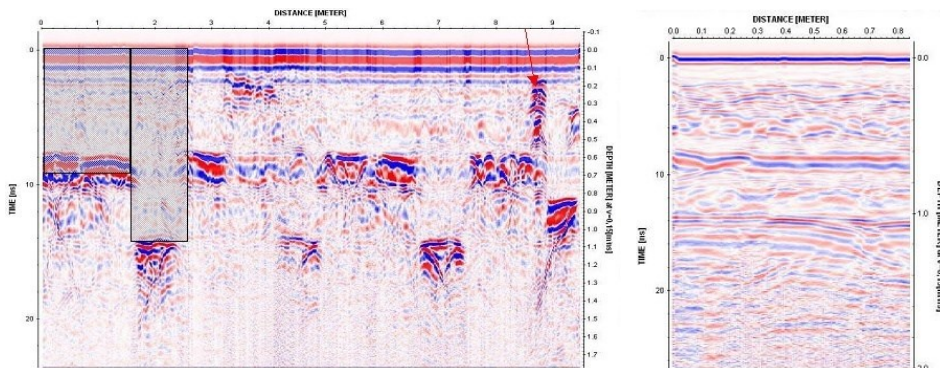
Az intenzitás az anyagok, rétegek, stb. dielektromos tulajdonságainak és vezetőképesség különbségeinek a függvénye.

Minél nagyobb a különbség, annál erősebb reflexió lesz detektálható.

pl. kő-vasalás, kő-üreg, stb.



Képek: Burken Kft

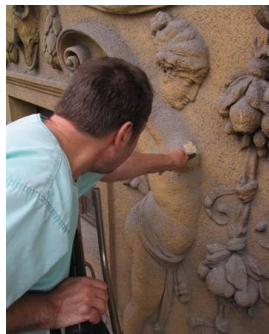


Inhomogén (bal) és homogén (jobb) falazat

Kép: Burken Kft



### Mintavételezés



- pontos dokumentáció (leírás, fotó, rajz)
- mintavétel megfelelő helyről
- megfelelő mennyiségű és minőségű minta
- mit szeretnénk megtudni?  
(lehetőségek vs. korlátok)



## Fénymikroszkópia – polarizációs mikroszkópia



Vékonycsiszolat: átlátszó, 20 – 30 $\mu$ m vastag preparátum

Vizsgálatok áteső polarizált fényben. Az egyes ásványi alkotófázisok egyértelműen meghatározhatók optikai tulajdonságuk alapján!

## Miért (polarizációs) mikroszkópia?



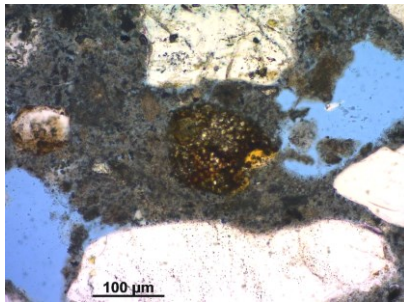
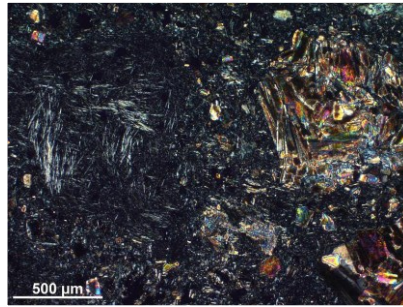
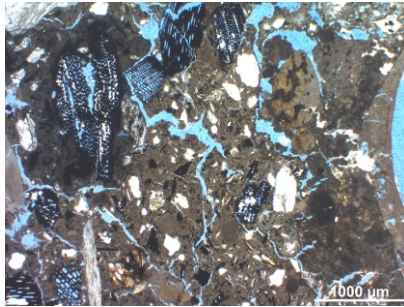
*A szöveti-szerkezeti és összetételbeli tulajdonságok egyidejű vizsgálati lehetősége*



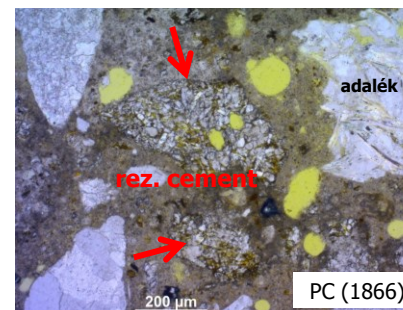
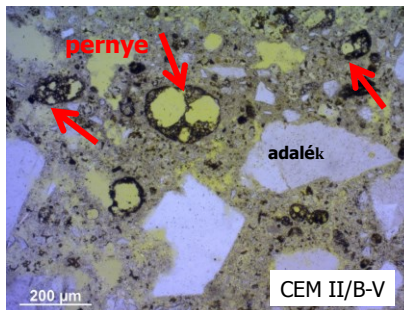
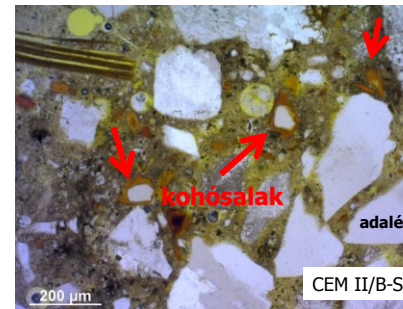
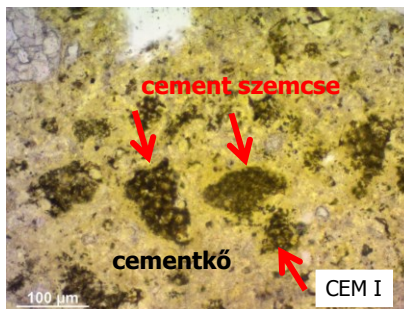
- ásványi fázisok meghatározása (adalékanyag, adalékok, klinker, stb.)
- kötőanyag meghatározása (mész, gipsz, hidraulikus, stb.)
- b/a arány (képanalízis)
- porozitás
- v/c-tényező (POL-UV-mikroszkópia)
- rétegrend, festékrétegek meghatározása
- gyártási technológia
- mállás/szöveti-szerkezeti változások/tartósság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



**Kötőanyagok polarizációs mikroszkópban: mész, gipsz, NHL, románcement**

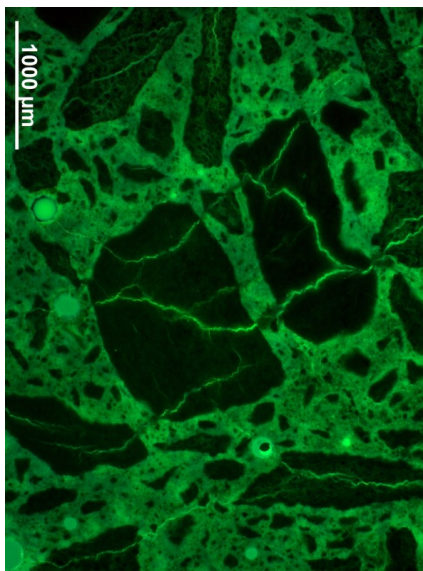
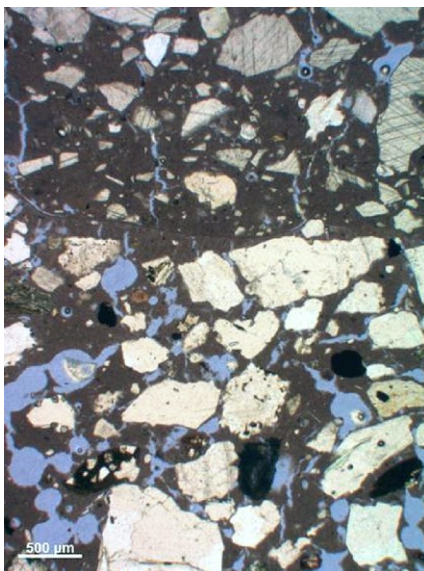


**Kötőanyagok polarizációs mikroszkópban: portlandcement**



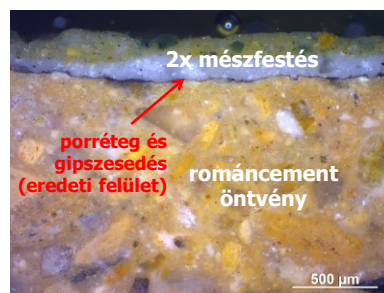
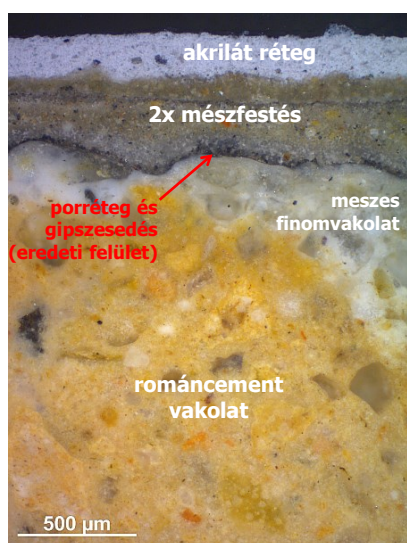


## Porozitás, repedések vizsgálata normál és UV-fényben

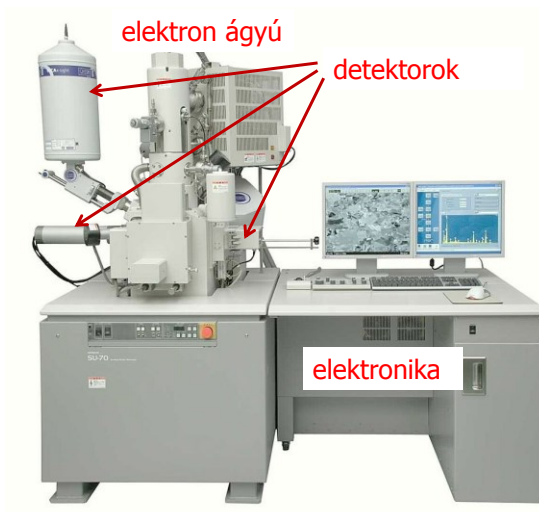


UV-fényben

## Homlokzatok eredeti színezése



## Pásztázó-elektronmikroszkópia (SEM) energiádiszperzív röntgenanalízissel



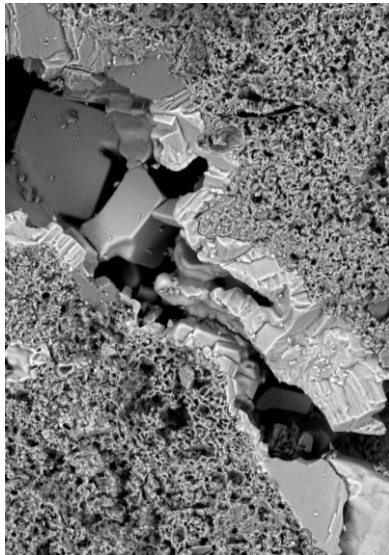
SEM: olyan mikroszkóp, amely elektronok (elektronnyaláb) segítségével alkot képet.

### Alkalmazások:

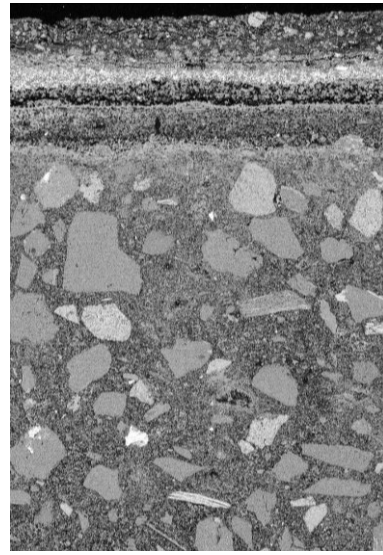
- topográfia
- morfológia
- kémiai összetétel

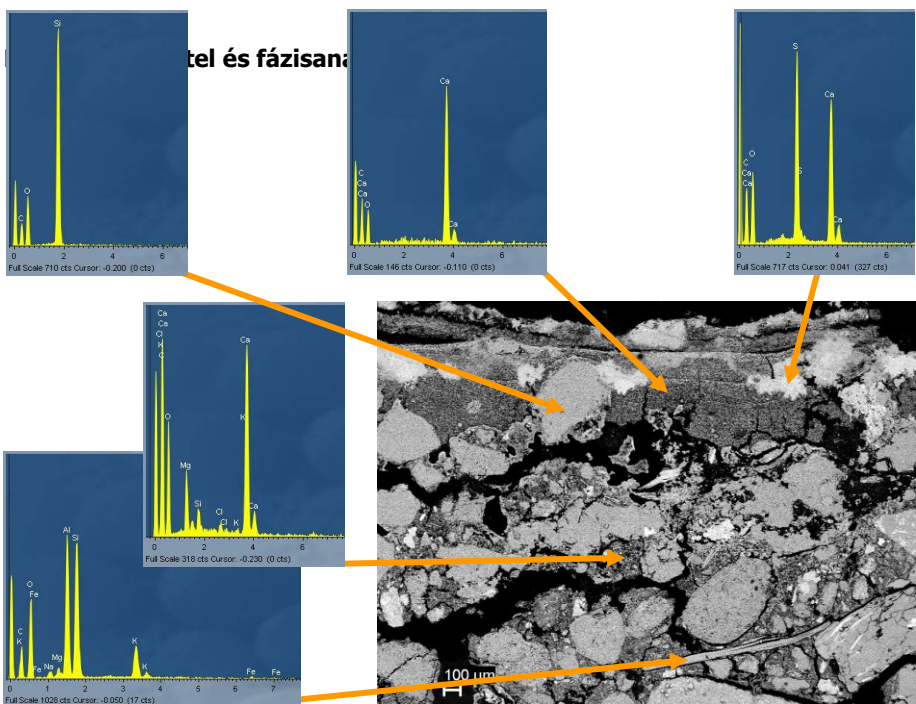
Nagyítás: 50x – 1000000x  
Mélységélesség: 4mm – 0,4 $\mu$ m  
Felbontás: 1-10nm

### **Törött mintafelület, topográfia (3D)**



### **Polírozott felület, szöveti kép (2D)**

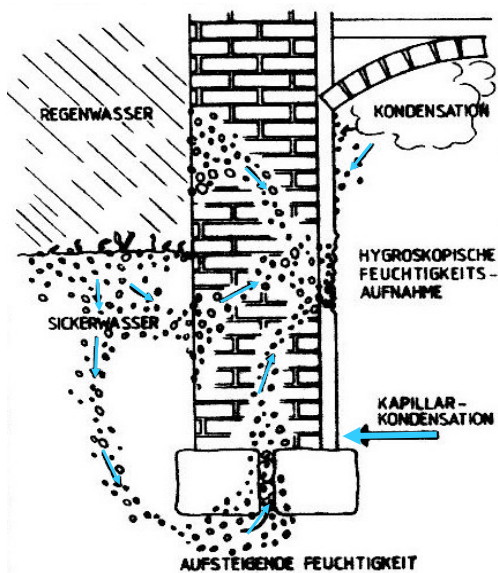




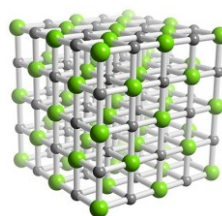
### Károsító sók vizsgálata







Rahn & Müller, 2006



A sók olyan ionos kötésű vegyületek, amelyek kristályrácsának felépítésében legalább egy **kation** és egy **anion** vesz részt.

pl.  $\text{Na}^+ + \text{Cl}^- = \text{NaCl}$  (halit, kősó)

<u>kationok</u>	<u>anionok</u>
$\text{Ca}^{2+}$ $\text{Mg}^{2+}$ $\text{K}^+$ $\text{Na}^+$	klorid $\text{Cl}^-$ nitrát $\text{NO}_3^-$ szulfát $\text{SO}_4^{2-}$ karbonát $\text{CO}_3^{2-}$



### Falazatokban előforduló leggyakoribb sófajták

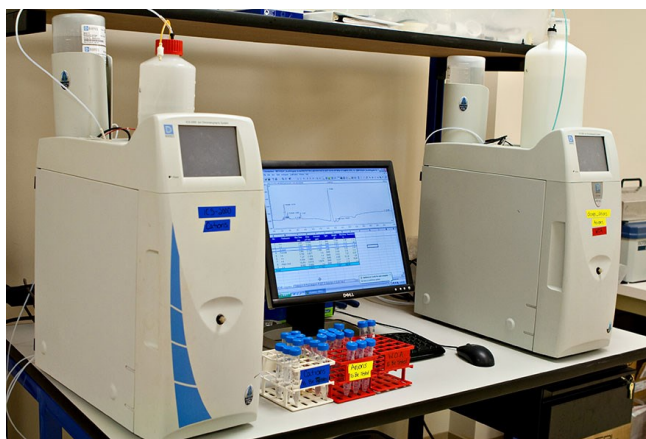
Anionok \ Kationok	<b>Karbonát</b> $\text{CO}_3^{2-}$	<b>Szulfát</b> $\text{SO}_4^{2-}$	<b>Klorid</b> $\text{Cl}^-$	<b>Nitrát</b> $\text{NO}_3^-$
<b>Nátrium</b> $\text{Na}^+$	$\text{Na}_2\text{CO}_3 (x \cdot \text{H}_2\text{O})$ termonátrit ( $\text{H}_2\text{O}$ ) szóda ( $10 \cdot \text{H}_2\text{O}$ )	$\text{Na}_2\text{SO}_4 10 \cdot \text{H}_2\text{O}$ tenardit mirabilit (glaubersó)	$\text{NaCl}$ halit (konyhasó)	$\text{NaNO}_3$ Nitratin (nátronsalétrom)
<b>Kálium</b> $\text{K}^+$	$\text{K}_2\text{CO}_3$ hamuzsír	$\text{K}_2\text{SO}_4$ arcanit	$\text{KCl}$ szilvin	$\text{KNO}_3$ kálisalétrom
<b>Magnézium</b> $\text{Mg}^{2+}$	$\text{MgCO}_3$ magnezit hidromagnezit ( $4\text{H}_2\text{O}$ )	$\text{MgSO}_4$ kieserit ( $\text{H}_2\text{O}$ ) hexahidrit ( $6 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) epsomit ( $7 \cdot \text{H}_2\text{O}$ )	$\text{MgCl}_2$ bischofit	$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ nitromagnezit
<b>Kalcium</b> $\text{Ca}^{2+}$	$\text{CaCO}_3$ kalcit aragonit vaterit	$\text{CaSO}_4$ gipsz ( $2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) anhidrit	$\text{CaCl}_2$ antarticit	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ mészsalétrom



## Sóanalitika – ionkromatográfia (IC)

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

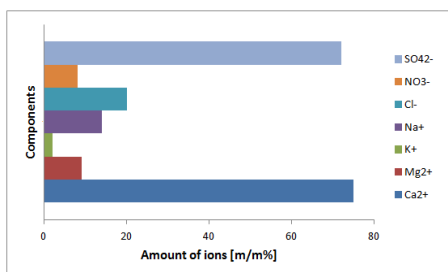
### minőségi és mennyiségi analízis



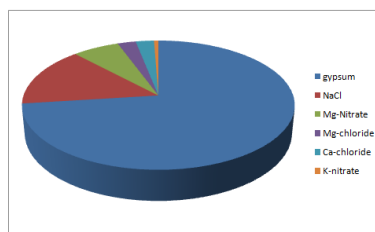
### Mérési eredmények interpretálása I. – Oldhatósági sor alapján

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

Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
34,1	4,8	10,8	149,7	73,4	46,8	349,8



	só/só <sub>TOTAL</sub> [m/m%]	só/minta [m/m%]
<b>Gipsz</b>	72,4	2,8
<b>NaCl</b>	14,9	0,6
<b>Mg-nitrát</b>	6,4	0,25
<b>Mg-klorid</b>	2,5	0,1
<b>Ca-klorid</b>	2,5	0,1
<b>K-nitrát</b>	1,2	0,05



## Mérési eredmények interpretálása II. – Termodinamikai modell

