

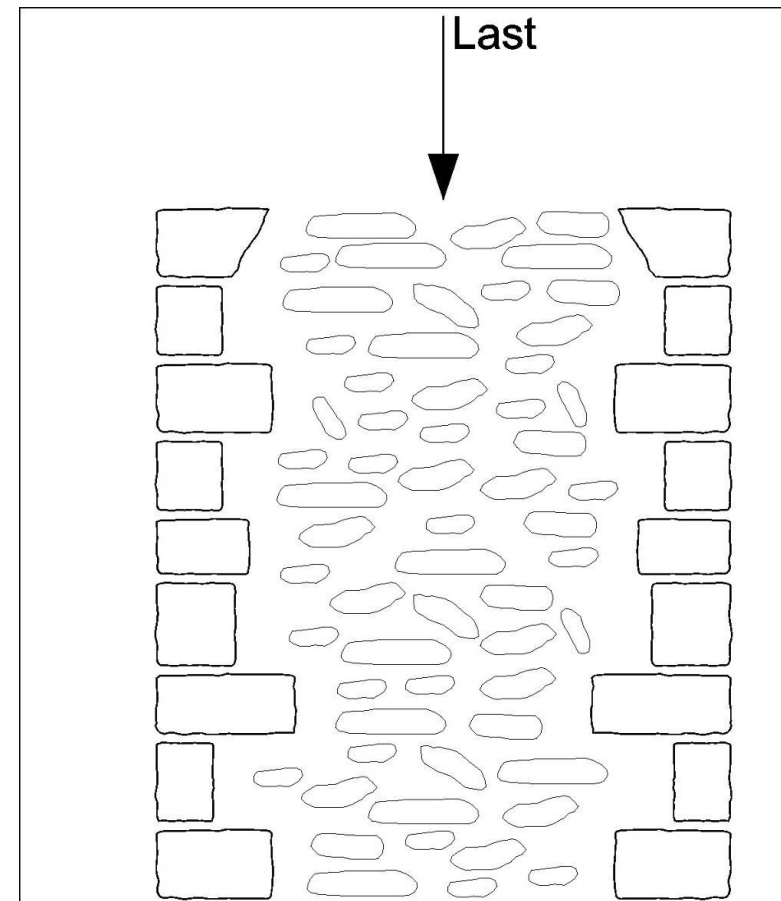
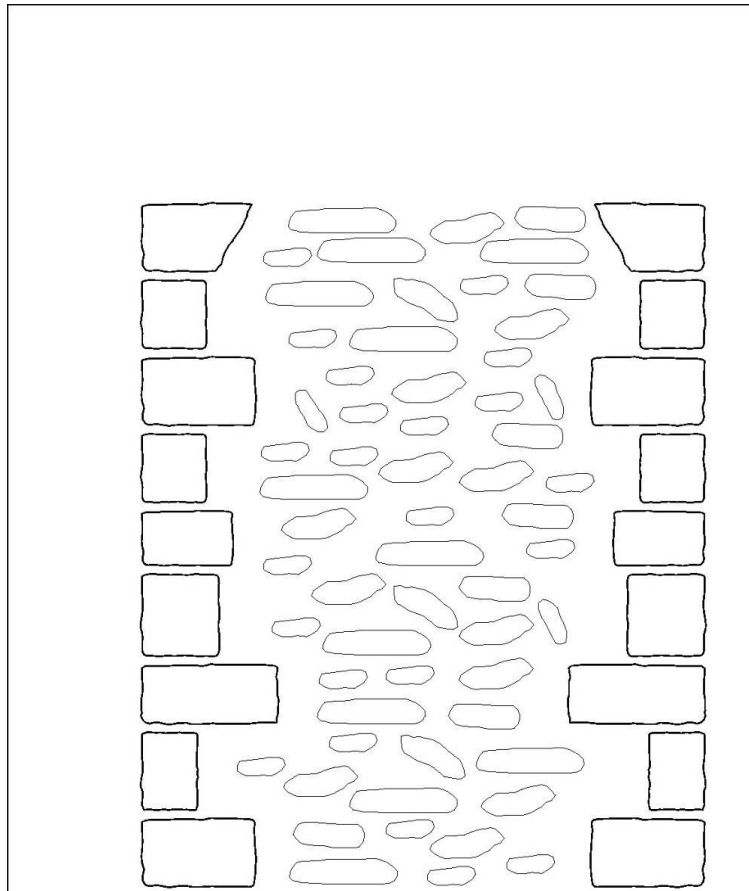
Groutinjectie als consolidatietechniek van historisch metselwerk

dr. ir.-arch. Wine Figeys
wine.figeys@bwk.kuleuven.be

Met dank aan
Prof. Dr. Ir. Dionys Van Gemert, Prof. Dr. Ir. Luc Schueremans
Dr. Ir. Kris Brosens, Ir. Sven Ignoul (Triconsult NV)

Historisch metselwerk

- **Meerschalgige opbouw:**
Stijver buitenparement en 'zachtere' opvulling

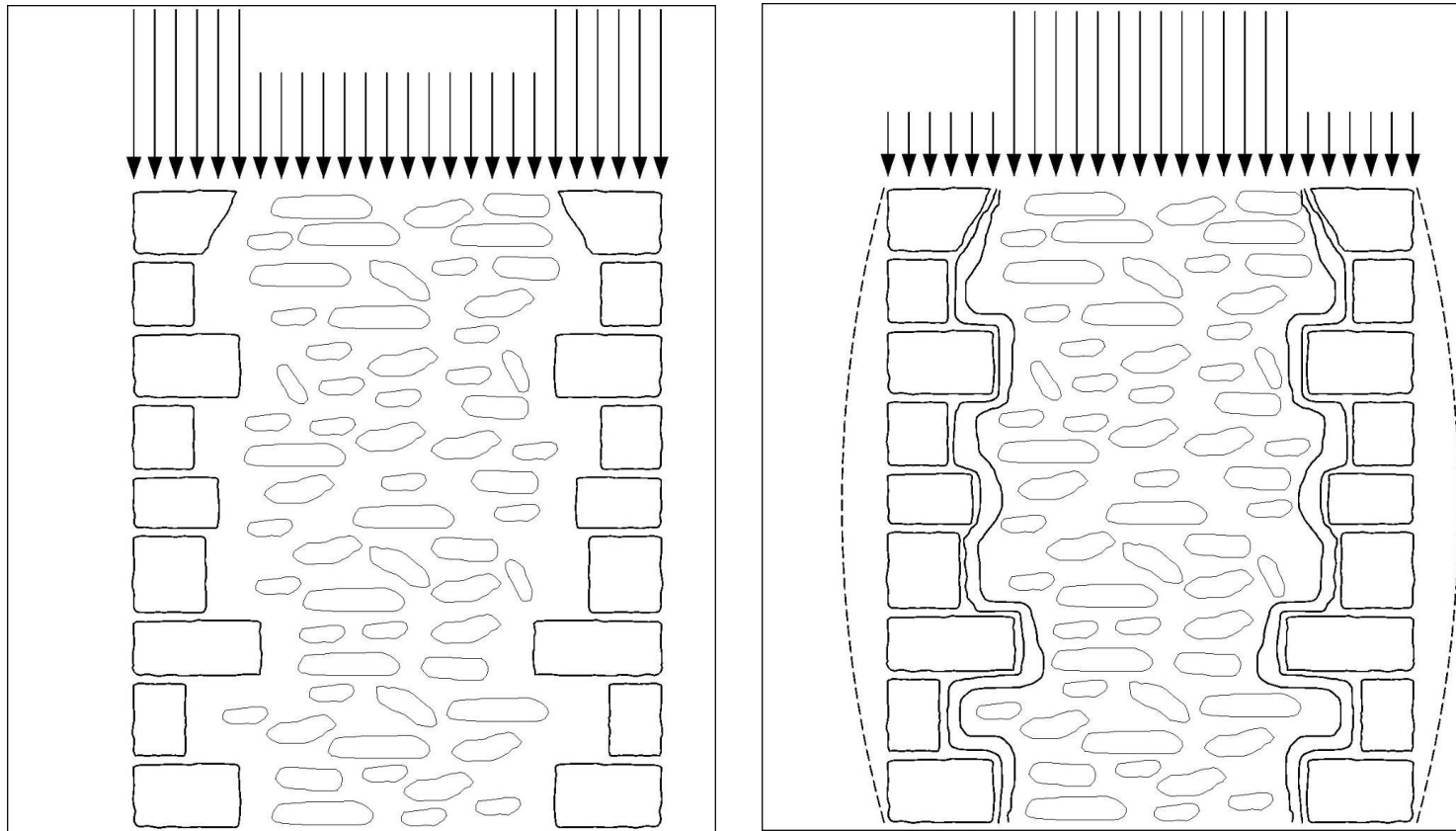


Historisch metselwerk

Problemen bij historisch metselwerk:

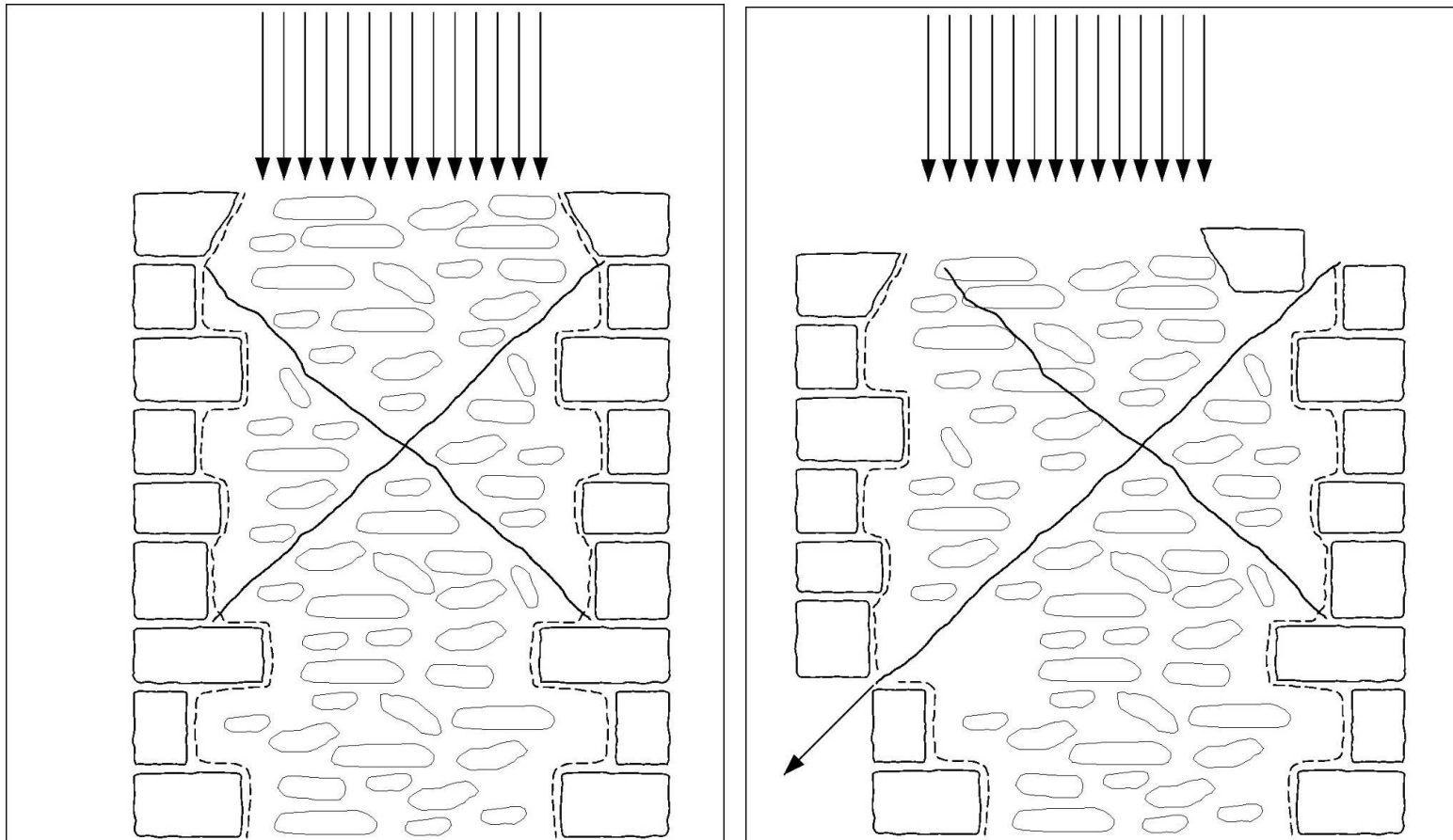
Ideale ↔ Werkelijke krachtsverdeling

➤ **Afscheuren van het buitenparement**



Historisch metselwerk

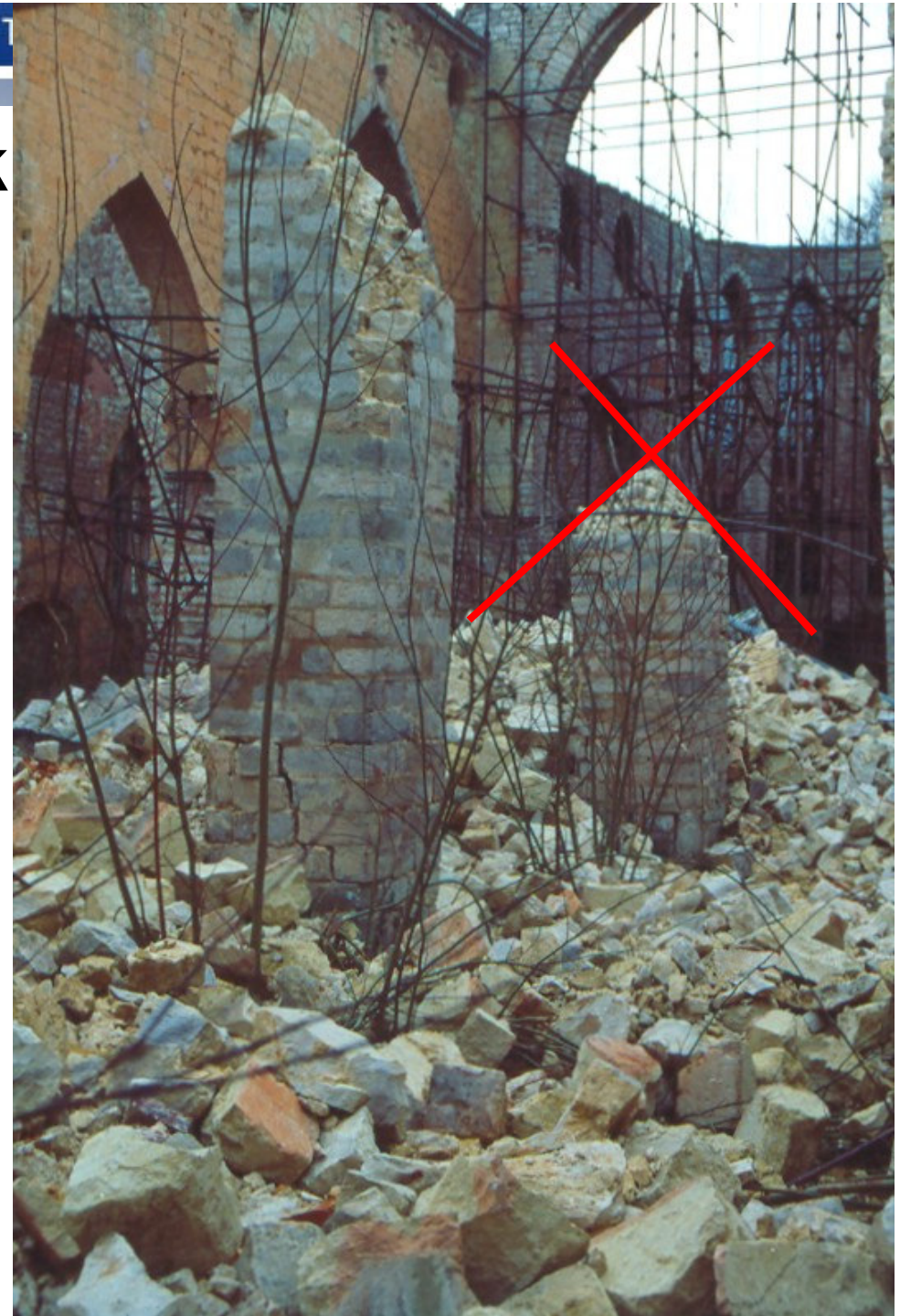
➤ Afschuiven van metselwerk





Case: Paterskerk

**Breukbeeld
kolommen
bij instorting
Paterskerk**



Case: Maagdentoren te Zichem

31 mei 2006



ijzerhoudend zandstenen
toren
26m hoog, 15m breed

- Gebouwd in **1380**
residentieel en militair
- Dringende
herstellingswerken
uitgevoerd in 1863 en
1905;
- ...degradatie
- **1995**: instorting van
een deel van het
buitenparament



Case: Maagdentoren te Zichem

1 juni 2006



Case: Maagdentoren te Zichem

➤ **Dikte metselwerkwand:**

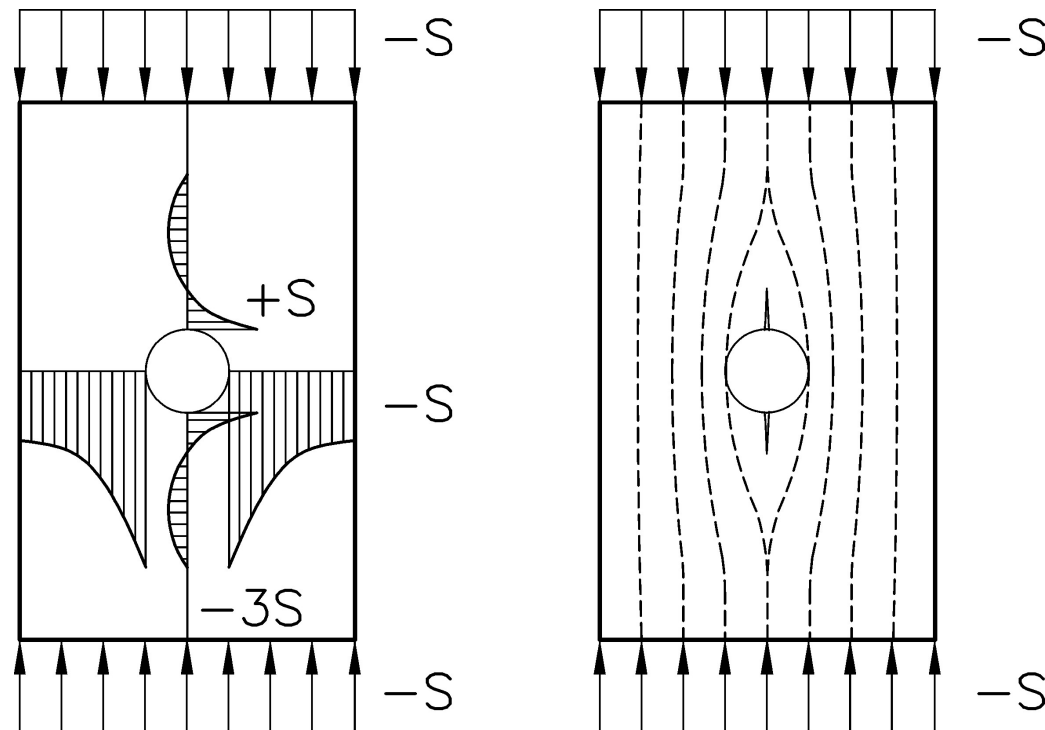
4.2m onderaan tot

1.8m aan de bovenzijde;



Historisch metselwerk

➤ Instortingsmechanisme



**Theorie van het ontstaan van scheuren door
drukkrachten in massief metselwerk**

Holtenpercentage 20 tot 40%

(Historische) herstelmethodes

- **Heropbouw en/of vervangen van beschadigde delen**

(Historische) herstelmethodes

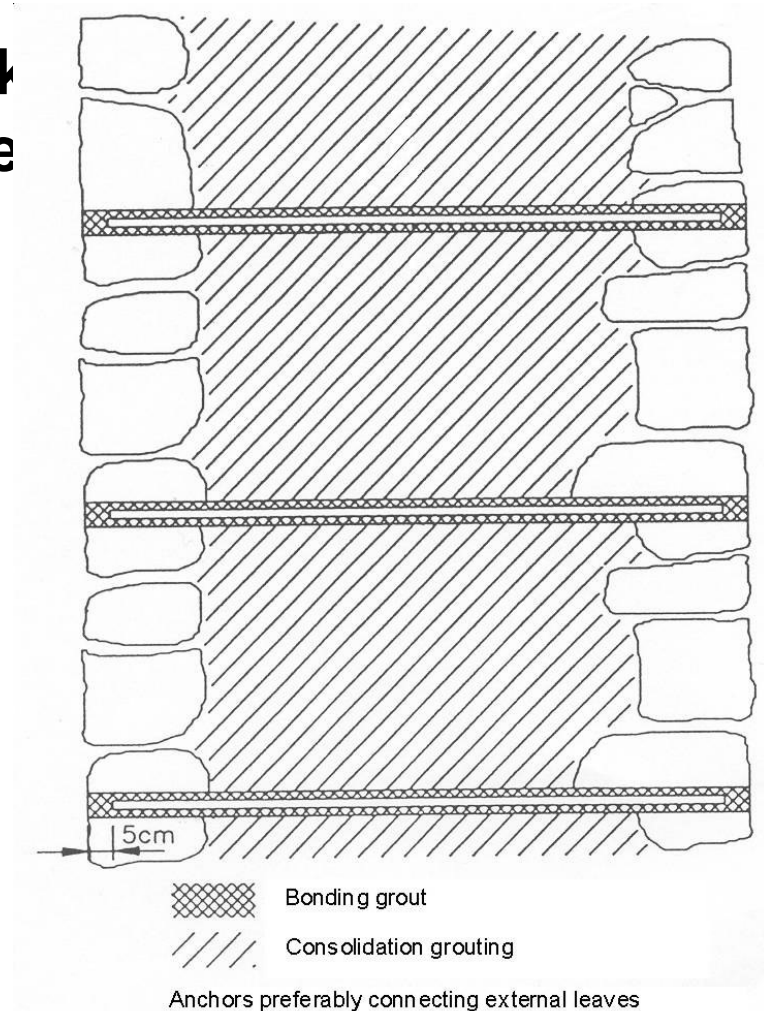
- Heropbouw en/of vervangen van beschadigde delen
- Omgorden van metselwerkkolommen



Sint-Jacobskerk te Leuven -
Versterking dd. 1802

(Historische) herstelmethodes

- Heropbouw en/of vervangen van beschadigde delen
- Omgorden van metselwerk
- Versterking met ingeboorde en/of ingelijmde ankers
- 'Nieten' van metselwerk



Structurele injectie

Groutinjectie = holtes in het metselwerk opvullen

Consoliderende werking:

- **Verhogen van de interne cohesie**
- **Krachten gelijkmatig verdelen**
- **Verhogen van de draagkracht**

Voordelen:

+ authenticiteit van het metselwerk blijft bewaard

Nadelen:

- irreversibel

Structurele injectie

Voorwaarden voor een goede injectie:

- **Mechanische (sterkte)eigenschappen van de grout na uitharding**
- **Volledige en gelijkmatige vulling**

Parameters die een goede injectie beïnvloeden

- **Aard van het metselwerk**
 - **Oorspronkelijke staat**
 - **Kwaliteit van de uitvoering**
 - **Gebruikte grout**
 - Penetratievermogen bepaald door**
 - viscositeit,
 - grootte partikels,
 - vermogen water vast te houden
-
- **Versterkingsfactoren van 1,3 tot 4**

Ontwikkeling van groutinjecties

Techniek ontwikkeld sinds **1975** mede aan KULeuven

➤ **Kunststofharsen op epoxybasis**

Onze-Lieve-Vrouw kathedraal, Antwerpen (1965-1983)



Ontwikkeling van groutinjecties

Techniek ontwikkeld sinds **1975** mede aan KULeuven

➤ **Kunststofharsen op epoxybasis**

Voordelen:

- + **stabiel, hoge vloeibaarheid,**
- + **groot penetratievermogen, goede hechting**
- + **goede vulling van kleine holtes**
- + **hoge mechanische sterkte**

Nadelen:

- **duur**
- **incompatibel met metselwerkmassief**
(**vochttransport, temperatuurhuishouding en**
vervormingsgedrag)

Ontwikkeling van groutinjecties

Techniek ontwikkeld sinds **1975** mede aan KULeuven

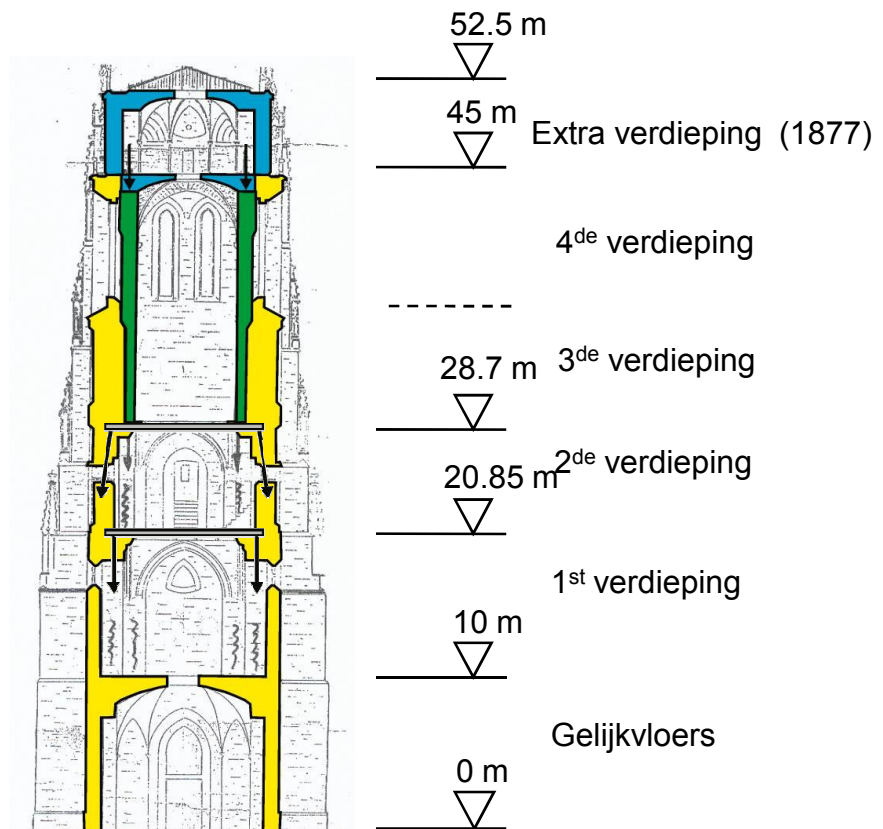
➤ **Kunststofharsen op epoxybasis**

Epoxy – materiaaleigenschappen (bij 20°C):

- **Viskositeit [mPa.s]:** 300-450
- **Druksterkte [MPa]:** 40-70
- **Treksterkte [MPa]:** 20-30
- **Elasticiteitsmodulus [MPa]:** 2300-3000
- **Breukrek [%]:** 1.5-3.5
- **Verwerkingstijd [min]:** 60-90

Ontwikkeling van groutinjecties

- Ontwikkeling van **hydraulische grouts**
 - **Samengesteld uit cement en water**
- Onze-Lieve-Vrouw basiliek, Tongeren (Fase I: 1999-2001)



Ontwikkeling van groutinjecties

➤ Ontwikkeling van **hydraulische grouts**

➤ **Samengesteld uit cement en water**

Onze-Lieve-Vrouw basiliek, Tongeren (Fase I:1999-2001)

- hoogovencement CEM III A 42.5,
- stabilisator (bentoniet),
- superplastificeerder (gesulfoneerde naftaleen)
- water

Voordelen:

+ compatibeler met metselwerkmassief,

Nadelen:

- moeilijk injecteerbaar
- vloeibaarheid te laag, water wordt opgenomen door metselwerk, weinig stabiel: turbulente menging aan hoge snelheid nodig

Stabiliteit: bleeding en segregatie



Ontwikkeling van groutinjecties

- **Ontwikkeling van binaire grouts**
 - **Samengesteld uit cement + kalk**
Onze-Lieve-Vrouw basiliek, Tongeren (Fase II en III)
- **Ontwikkeling van ternaire grouts**
 - **Samengesteld uit cement + kalk + puzzolanen**
St. Catharinakerk te Duisburg, abdijtoren Sint-Truiden

Toevoeging van kalk:

- **betere stabiliteit**
- **vloeibaarheid in de tijd: 'indikken'**

Toevoeging van puzzolanen:

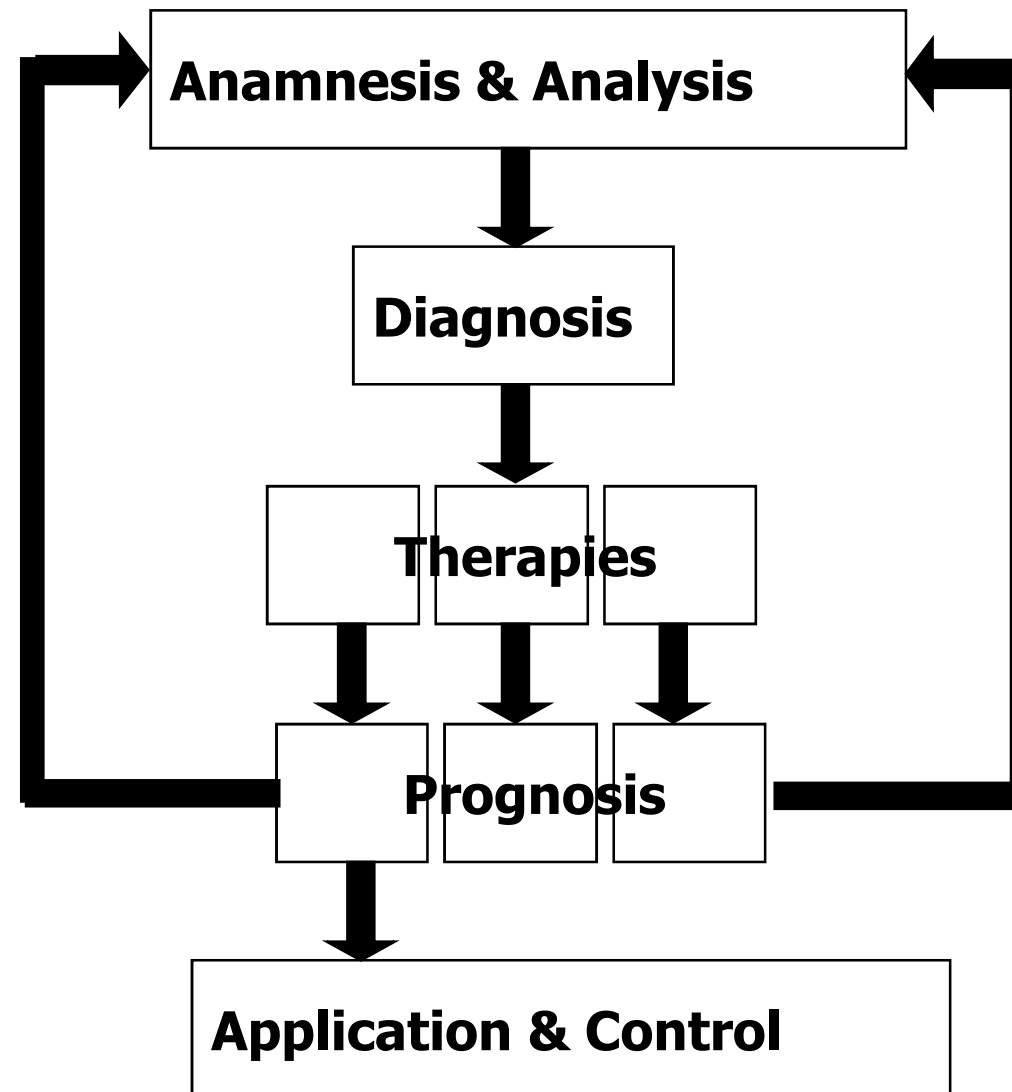
- **invloed op finale sterkte en stijfheid**

→ **Verhoogde compatibiliteit**

Overzicht van de parameters

- **De vloeibaarheid** **W/B-factor**
 mengprocedure
- **De stabiliteit** **W/B-factor**
 mengprocedure
 kalkgehalte
- **De vloeibaarheid in de tijd** **kalkgehalte**
- **De sterkte** **cementgehalte**
- **De sterkte-evolutie / finale sterkte**
 cement- en puzzolaangehalte
- **De compatibiliteit** **kalk- en puzzolaangehalte**

Verloop van een injectie



Verloop van een injectie

Anamnesis & Analysis

➤ Niet-destructieve testen

Visuele inspectie

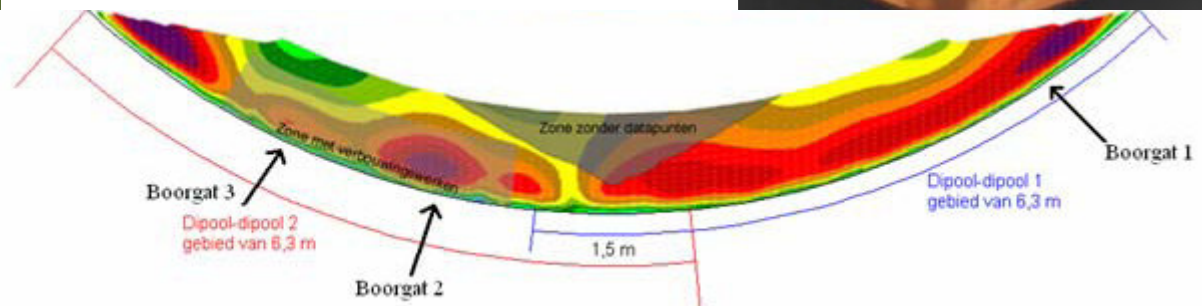
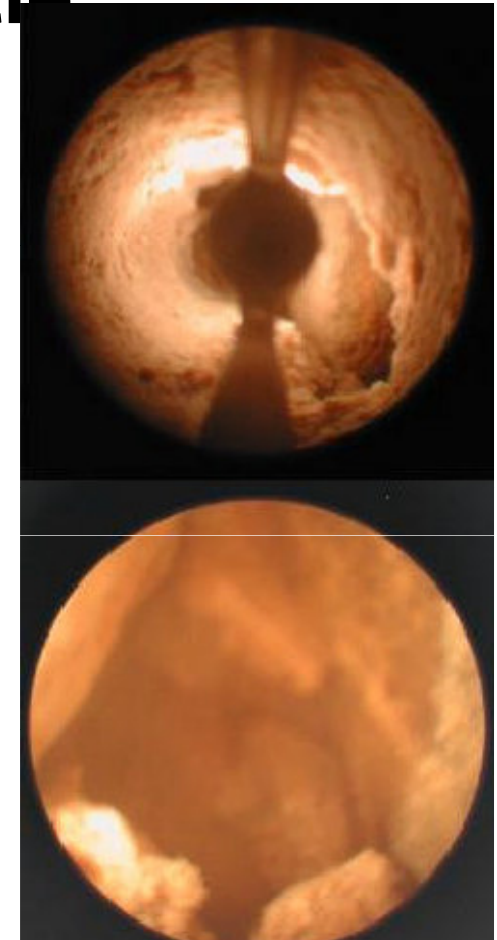
Endoscopie

Geo-electrische metingen

Chemische analyse van mortel

➤ Destructieve testen

Kernboringen



Verloop van een injectie

Controle

➤ Niet-destructieve testen

Visuele inspectie

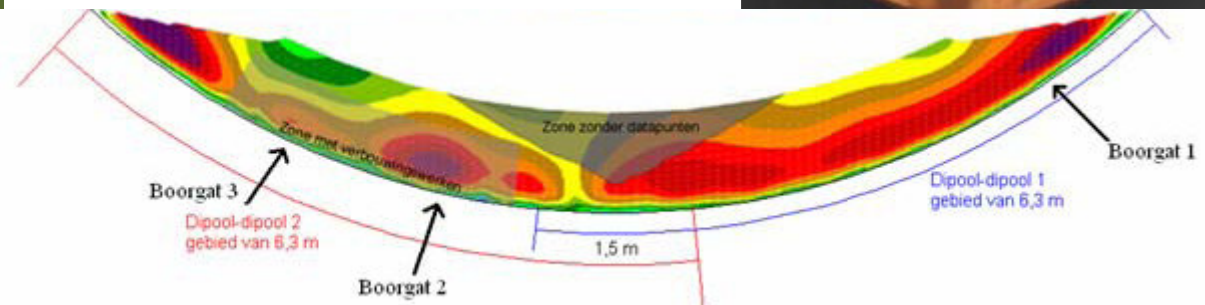
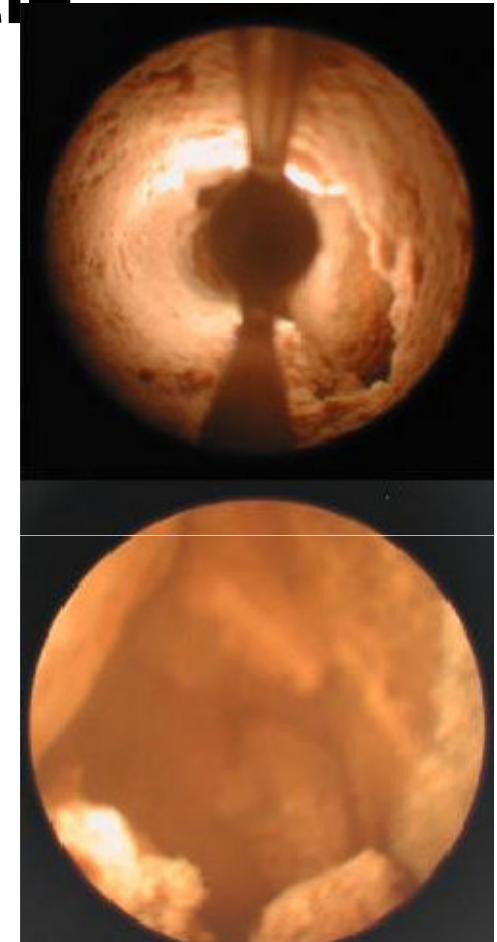
Endoscopie

Geo-elektrische metingen

Chemische analyse van mortel

➤ Destructieve testen

Kernboringen



Verloop van een injectie

Injecteren

- Voorbereiding van metselwerk
injectiegaten aanbrengen
afdichten lekken
- Injecteren

Verloop van een injectie

Controle

➤ Niet-destructieve testen

Visuele inspectie

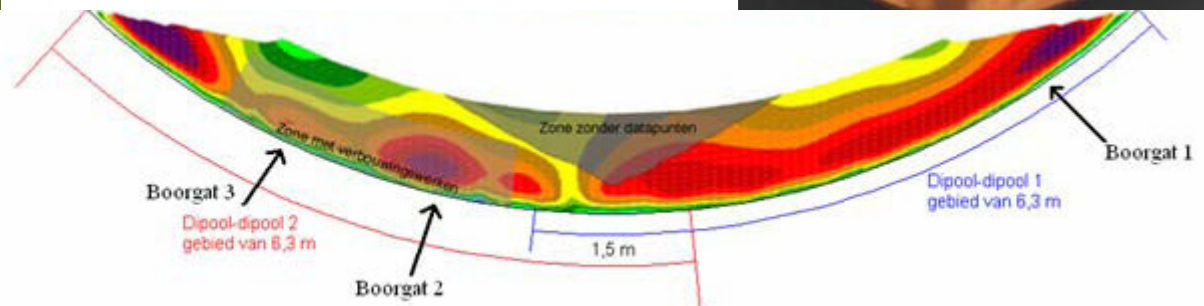
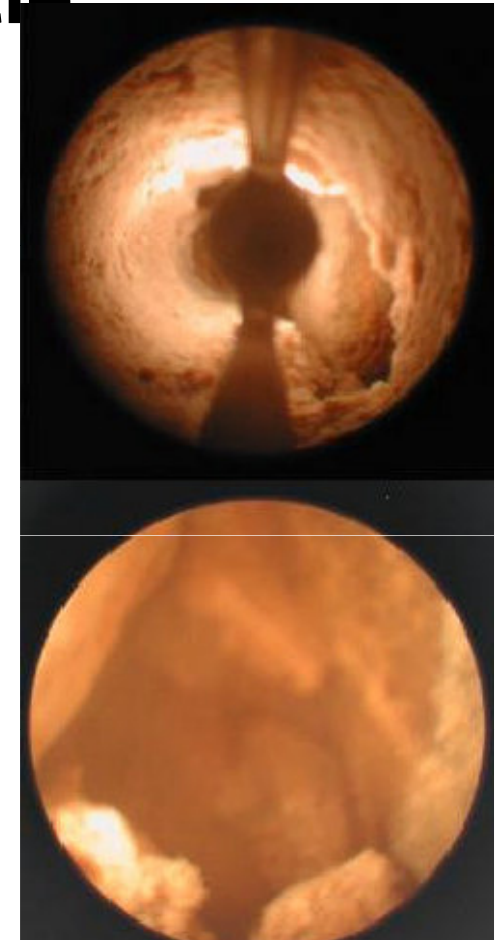
Endoscopie

Geo-elektrische metingen

Chemische analyse van mortel

➤ Destructieve testen

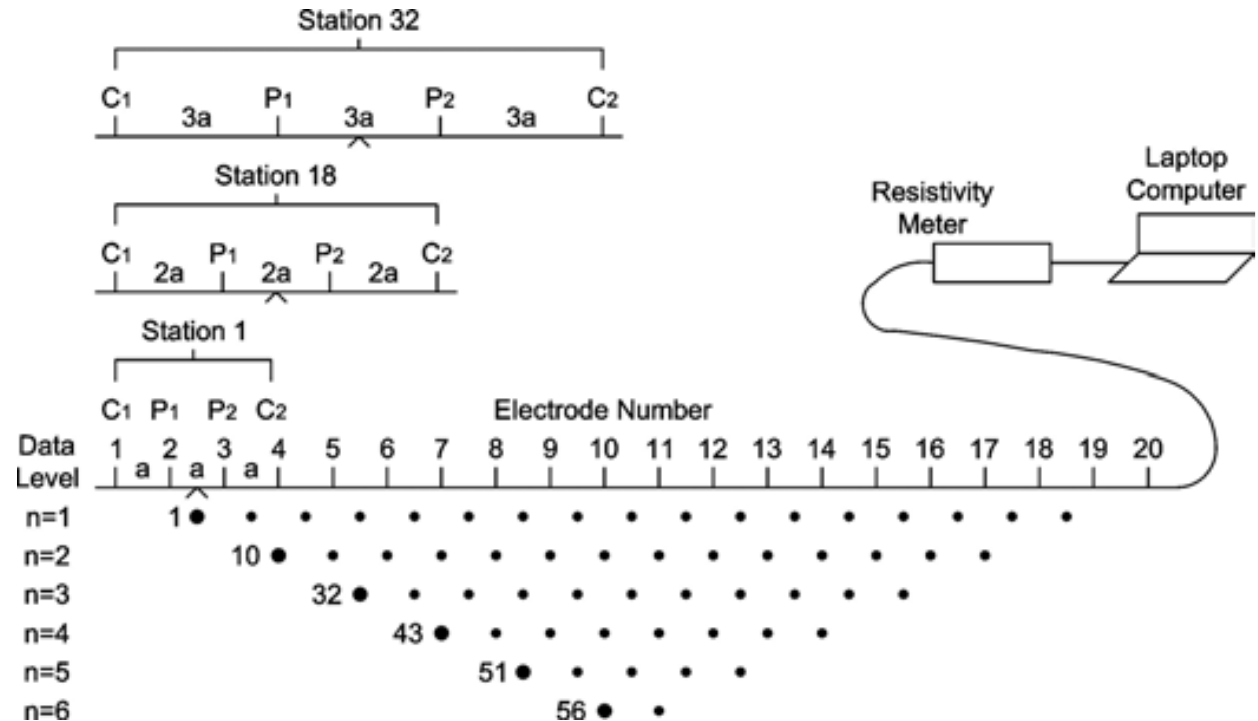
Kernboringen



Geo-elektrische metingen

Principe:

- stroominjectie d.m.v. elektroden in de ondergrond
- meting potentiaalverschil d.m.v. potentiaalelektroden
- bepaling resistiviteitswaarden m.b.v. wet van Ohm
- schijnbare resistiviteit ~ werkelijke resistiviteit (software)
- elektrodenconfiguraties en meetprocedure
- pseudo sectie







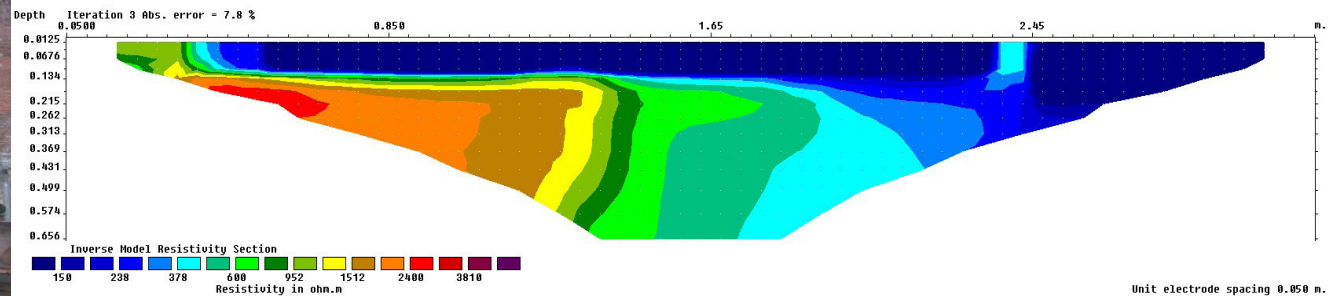
SECTOR 52 SECTOR 51
KASTEEL VAN DEERSEL
MUSEUMSTRAAT 1
3011 DRECHT

Geo-elektrische metingen

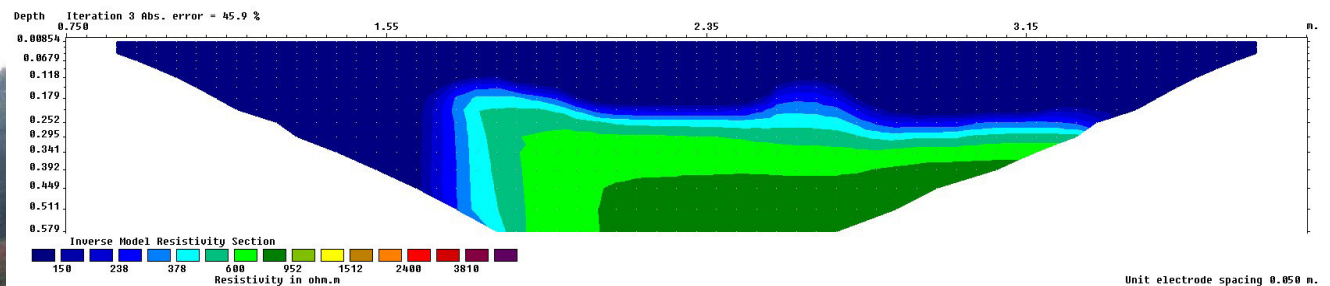
Case: Kasteel van Beersel



Zone 1 – level 18 pseudo-section before injection



Zone 1 – level 18 pseudo-section after injection

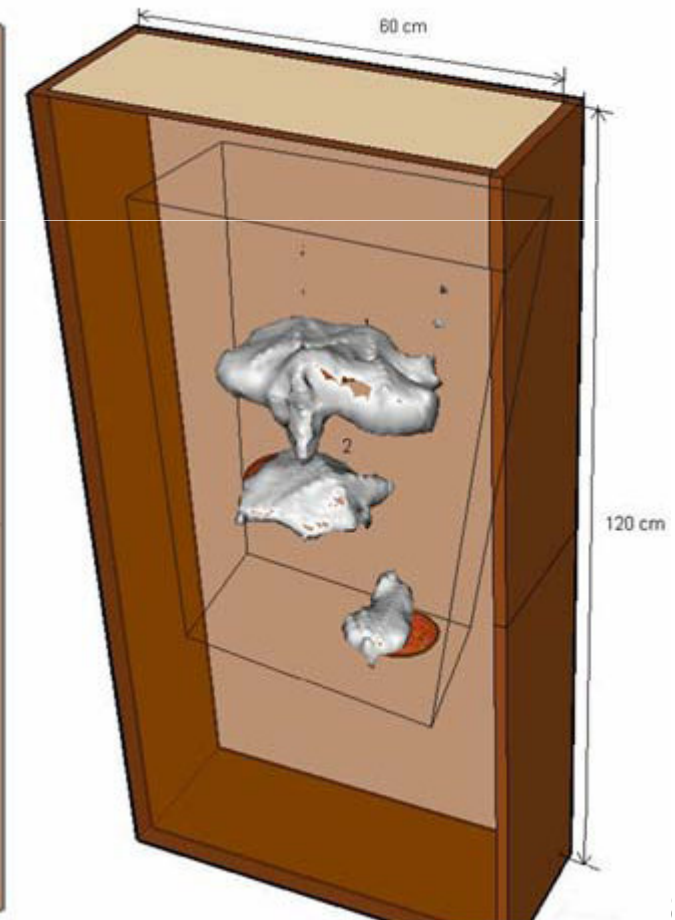
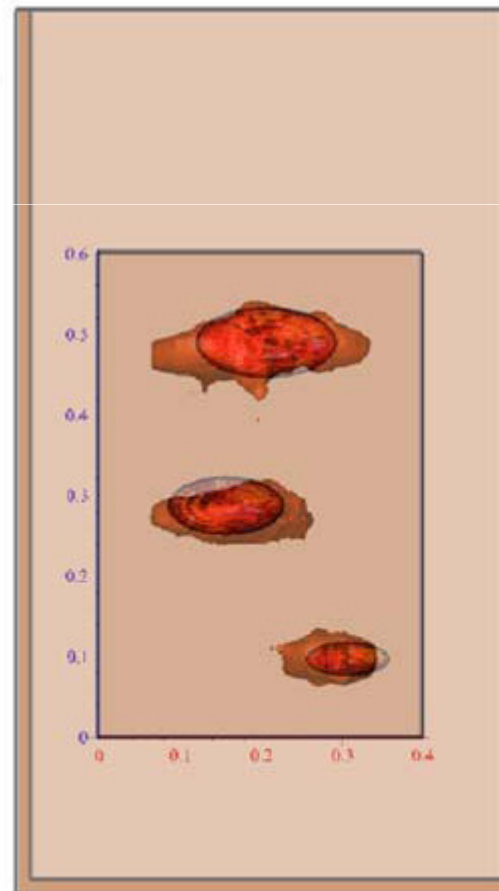
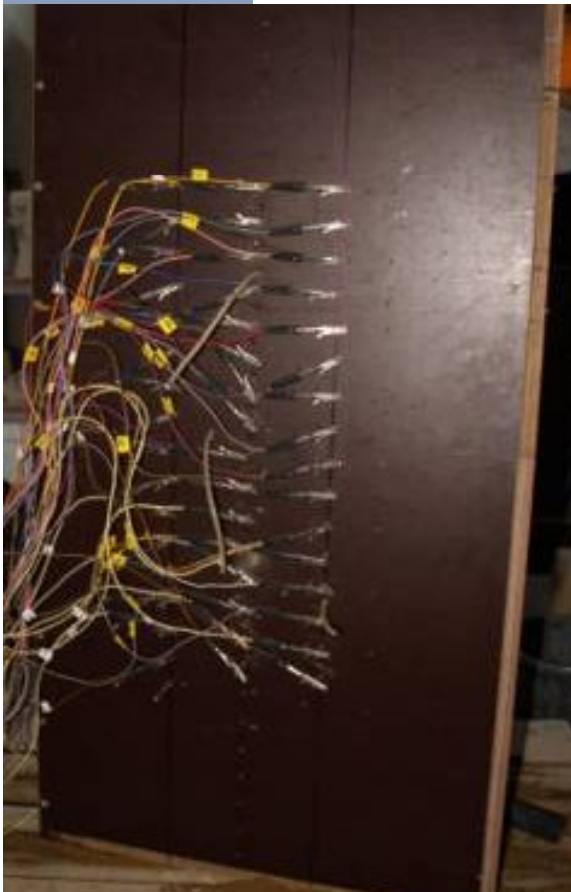


- kwalitatieve beoordeling
- vochtgehalte van het metselwerk,
- vocht door injectie

Geo-elektrische metingen

Huidig onderzoek: real-time opvolgen van een injectie

- 'Cross-borehole' metingen
- labo-omstandigheden



Dank u voor uw aandacht

wine.figeys@bwk.kuleuven.be