



Metode analize i klasifikacije starog zida (prema Borriju i sur.)

Matej Horvat

Matej Horvat, mag.ing.aedif., Studio Arhing d.o.o., Zagreb

David Anđić, mag.ing.aedif., Studio Arhing d.o.o., Zagreb

Tamara Horvat, mag.ing.aedif., Studio Arhing d.o.o., Zagreb

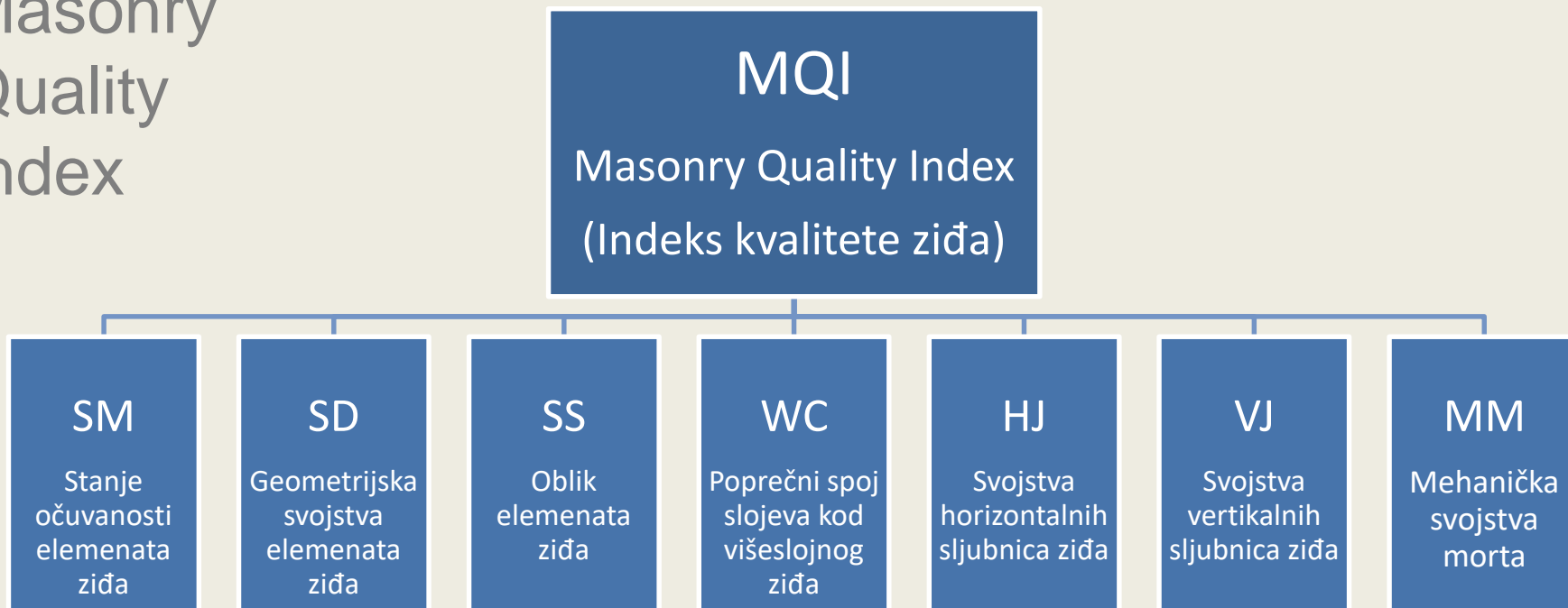
Juraj Pojatina, dipl.ing.građ., Studio Arhing d.o.o., Zagreb

Uvod

- izazovi u određivanju mehaničkih svojstava starog zida (nemogućnost korištenja razornih metoda, ograničen pristup i uvid u unutarnju strukturu zida, ograničena financijska sredstva)
- Masonry Quality Index - MQI (Borri, A., Corradi, M., Castori, G., De Maria, A., 2015.)



Masonry Quality Index



3 ocjene za svaki od uvjeta

NF – neispunjen uvjet (*not fulfilled*)

PF – djelomično ispunjen uvjet (*partially fulfilled*)

F – ispunjen uvjet (*fulfilled*)

$$MQI = SM (SD + SS + WC + HJ + VJ + MM)$$



SM

Stanje očuvanosti elemenata zida

NF

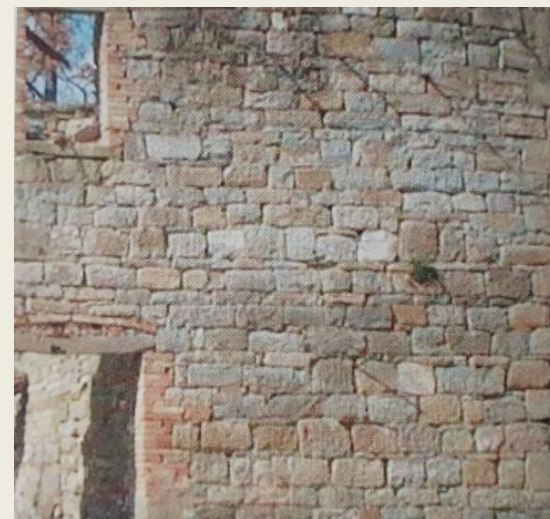
Oštećeni elementi (>50%)
Šuplji elementi (>70%)
Opeka od blata

PF

Prisutnost degradiranih/oštećenih
elemenata (>10%/<50%)
Šuplji elementi
Elementi od vapnenaca

F

Neoštećeni elementi
Puna pečena opeka
Betonski blokovi
Tvrđi kamen



SD

Geometrijske svojstva elemenata zida

NF

Više od polovice elemenata malih dimenzija (<20cm)

Spoj elemenata samo vertikalnim sljubnicama

PF

Više od polovice elemenata većih dimenzija (20-40cm)

Elementi različitih dimenzija

F

Više od polovice elemenata većih dimenzija (>40cm)



SS

Oblik elemenata zida

NF

Šljunak ili oblutci dominantni

PF

Prisutnost šljunka i oblutaka te rezanog kamenih/opečnih elemenata na slojevima zida

F

Pravilno rezani kameni elementi
Opečni zid

WC

Poprečni spoj slojeva kod višeslojnog zida

NF

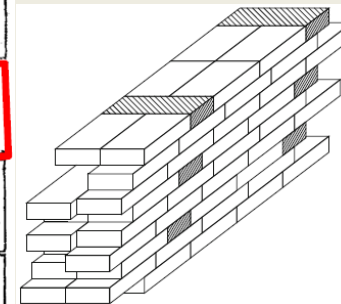
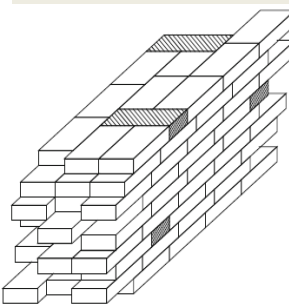
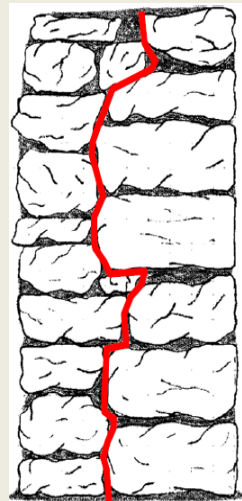
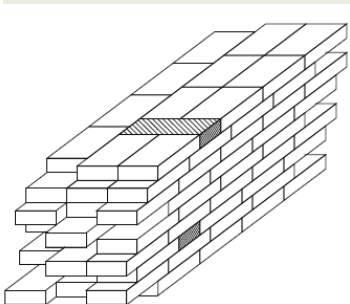
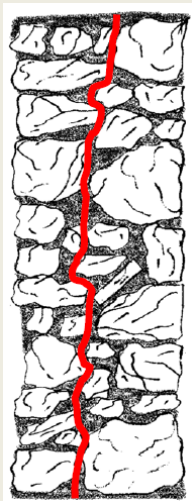
Male dimenzije elemenata u odnosu na debljinu zida
Bez poprečno postavljenih elemenata (vežnjaka)

PF

Dvoslojno zide
Prisutnost poprečno postavljenih elemenata (vežnjaka)
Debljina zida veća od nekih elemenata

F

Sistematična prisutnost poprečno postavljenih elemenata (vežnjaka)



HJ

Svojstva horizontalnih sljubnica zida

NF

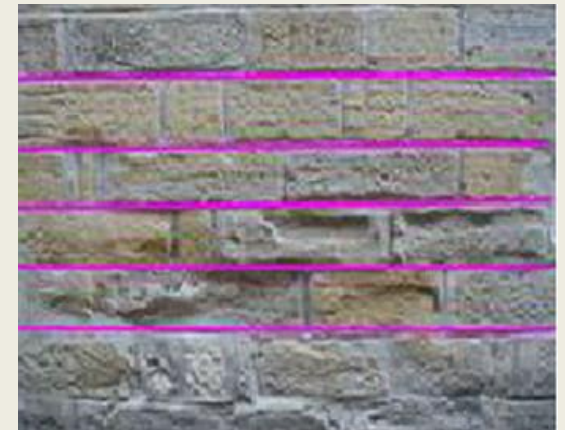
Sljubnice nisu kontinuirane

PF

Dvoslojno zide
Samo jedan sloj zida sa kontinuiranom sljubnicom

F

Kontinuirane sljubnice
Kameno zide sa opečnim licem



VJ

Svojstva vertikalnih sljubnica ziđa

NF

Vertikalne sljubnice u jednoj ravnini

PF

Opečni zid sastavljen od prihvatnica
Djelomično izmaknute vertikalne
sljubnice

F

Pravilan raspored vertikalnih sljubnica



MM

Mehanička svojstva morta

NF

Slab ili prašnjav mort

Nema morta

Velike horizontalne sljubnice slabe kvalitete morta

Porozni elementi



PF

Srednja kvaliteta morta

Ziđe sastavljeno od nepravilnog kamena i slabog morta, uz prisutnost manjeg kamenja za popunjavanje praznina



F

Dobra kvaliteta morta

Pravilna debljina morta

Ziđe napravljeno od velikih, pravilno oblikovanih elemenata bez ili sa vrlo tankim slojem morta



Ulazni podaci postupka

7 uvjeta:

SM	SD	SS	WC	HJ	VJ	MM
----	----	----	----	----	----	----

NF – neispunjen uvjet (*not fulfilled*)

PF – djelomično ispunjen uvjet (*partially fulfilled*)

F – ispunjen uvjet (*fulfilled*)

3 slučajeva opterećenja:

Vertikalno opterećenje	Horizontalno opterećenje u ravnini	Horizontalno opterećenje van ravnine
------------------------	------------------------------------	--------------------------------------

$$MQI=SM (SD+SS+WC+HJ+VJ+MM)$$



Ocjene prema ulaznim podacima postupka

	Vertikalno opterećenje			Horizontalno opterećenje u ravnini			Horizontalno opterećenje van ravnine		
	NF	PF	F	NF	PF	F	NF	PF	F
HJ	0	1	2	0	0.5	1	0	1	2
WC	0	1	1	0	1	2	0	1.5	3
SS	0	1.5	3	0	1	2	0	1	2
VJ	0	0.5	1	0	1	2	0	0.5	1
SD	0	0.5	1	0	0.5	1	0	0.5	1
MM	0	0.5	2	0	1	2	0	0.5	1
SM	0.3	0.7	1	0.3	0.7	1	0.3	0.7	1

$$MQI=SM (SD+SS+WC+HJ+VJ+MM)$$



Postupak određivanja

Slučaj opterećenja	Kategorija ziđa		
	A	B	C
Vertikalno	$5 \leq MQI \leq 10$	$2.5 \leq MQI \leq 5$	$0 \leq MQI \leq 2.5$
Van ravnine	$7 \leq MQI \leq 10$	$4 \leq MQI \leq 7$	$0 \leq MQI \leq 4$
U ravnini	$5 \leq MQI \leq 10$	$3 \leq MQI \leq 5$	$0 \leq MQI \leq 3$

A –ponašanje ziđa dobre kvalitete

B –ponašanje ziđa prosječne kvalitete

C –ponašanje ziđa lošije kvalitete



Postupak određivanja

	Vertikalno	Hor. van ravnine	Hor. u ravnini
MQI	0.5 - 10	0.5 - 10	0.5 - 10
Kategorija ziđa	A – C	A - C	A - C
Mehanička svojstva (IMIT)	f_m (MPa)	E (MPa)	τ_0 (MPa)

f_m – srednja tlačna čvrstoća ziđa (IMIT), odgovara f_k , karakterističnoj tlačnoj čvrstoći ziđa (EN 1996-1-1)

E – srednja vrijednost modula elastičnosti ziđa (IMIT), odgovara E, kratkotrajnom sekantnom modulu elastičnosti ziđa (EN 1996-1-1)

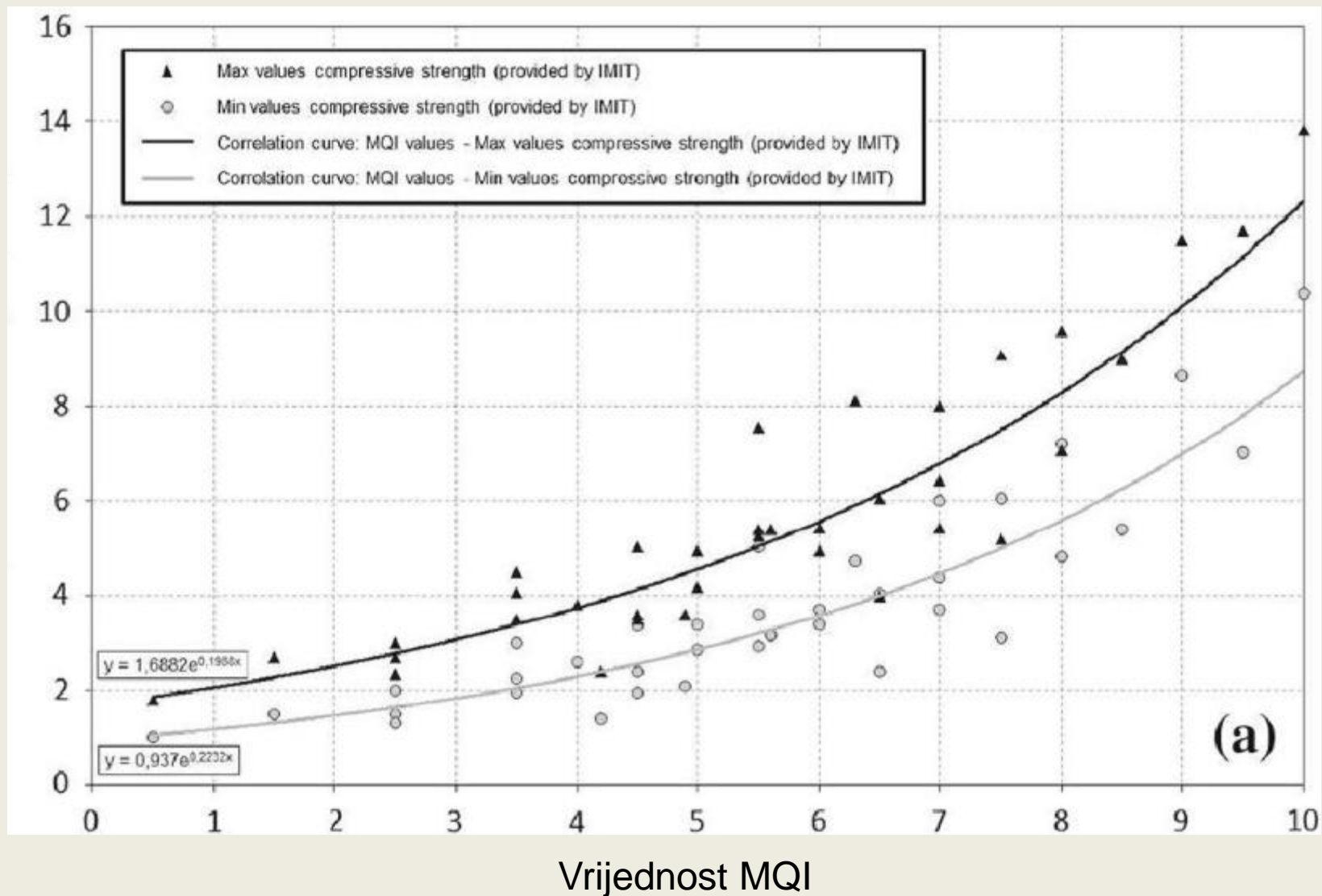
τ_0 – srednja posmična čvrstoća ziđa (IMIT), odgovara τ , prosječnom posmičnom naprezanju pri slomu, manja vrijednost od karakt. posmične čvrstoće ziđa f_{vk} (EN 1996-1-1)

Vrijednost MQI dobivenog vizualnom nerazornom metodom dovodi se u vezu sa vrijednostima mehaničkih svojstava koje je izdalo talijansko Ministarstvo za infrastrukturu i promet (IMIT) za različite vrste tipologija postojećeg ziđa.



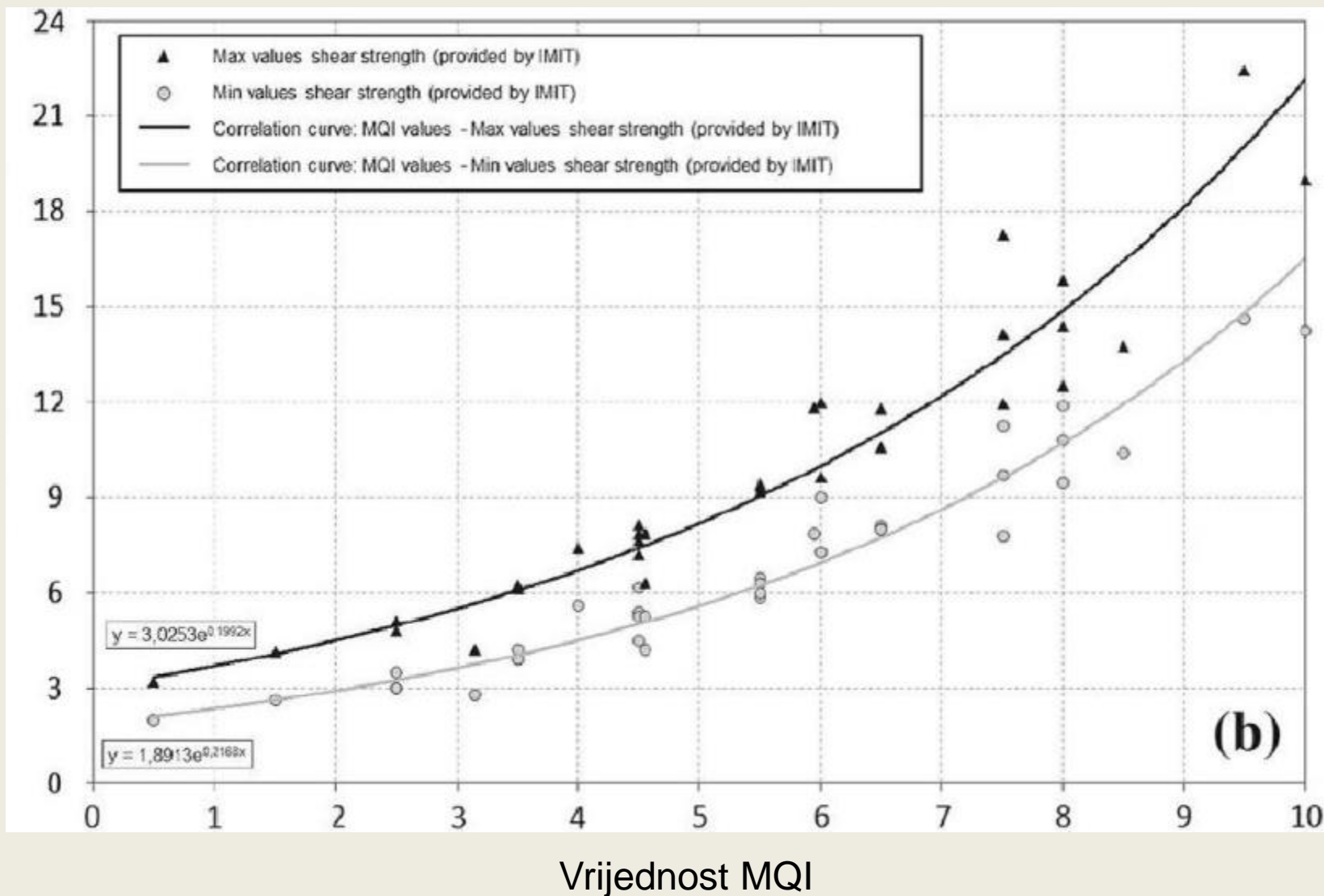
Postupak određivanja

Tlačna čvrstoća $\times 10^{-2}$ [MPa]

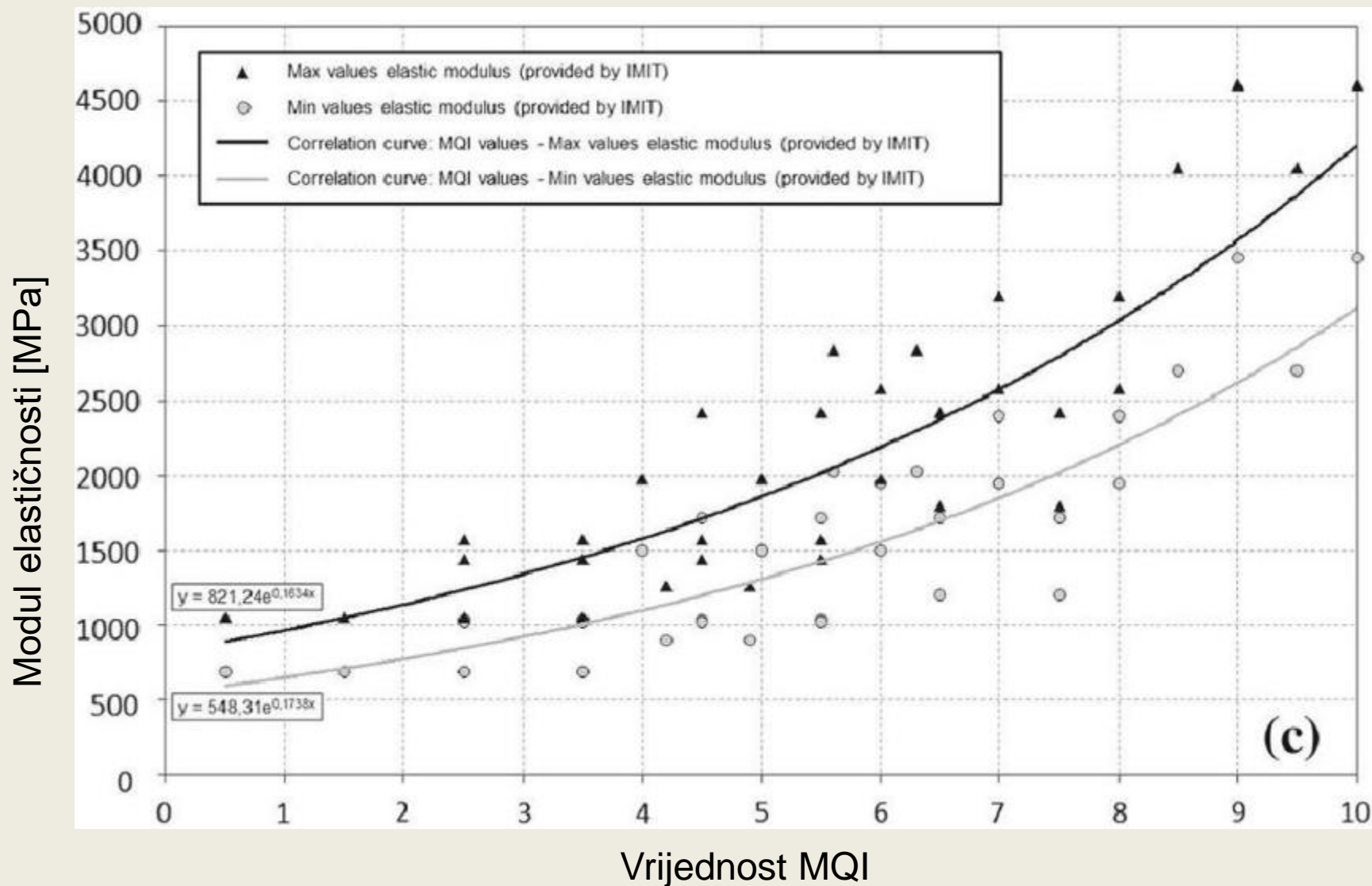


Postupak određivanja

Posmična čvrstoća $\times 10^{-2}$ [MPa]



Postupak određivanja



FOTOGRAFIJE



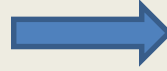
POGLED/PRESJEK



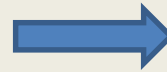
OPIS



MATERIJALI





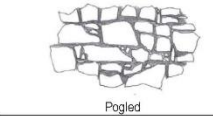
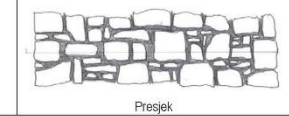


GEOMETRIJA



ANALIZA



Istražna bušotina 1 – vanjski zid južno pročelje






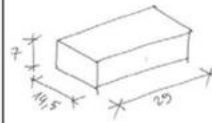
				FOTOGRAFIJE						
 <p>Pogled</p>		 <p>Presjek</p>		PRESJEK POGLED						
<p>Nepravilan kameni zid Zid se sastoji od kamenih elemenata različitih dimenzija te mjestimice umetnute opeke. Elementi manjih dimenzija koristili su se za popunjavanje praznina između većih elemenata. Uzorak spajanja, vertikalni i horizontalni je samo djelomično pravilan ili većim dijelom nepravilan.</p>						OPIS				
<p>Kamen – prirodni kamen Opeka – komadi pune opeke Mort – vapneni mort</p>						MATERIJALI				
		<p>Dimenzije elemenata: a=25 - 30 cm b=20 - 55 cm h=20 - 35 cm opeka – samo segmenti</p>				GEOMETRIJA				
WC	MM	SS	VJ	SM	HJ	SD		Vertical	Out-of-plane	In-plane
NF	PF	PF	NF	PF	NF	PF		C	C	C
								ANALIZA		
								M		
								MQI	1,4	1,05
Mech. Properties (min-max)								f _{td} (MPa)	E (MPa)	ε _{td} (MPa)
								2,0-3,0	1020-1440	0,027-0,041



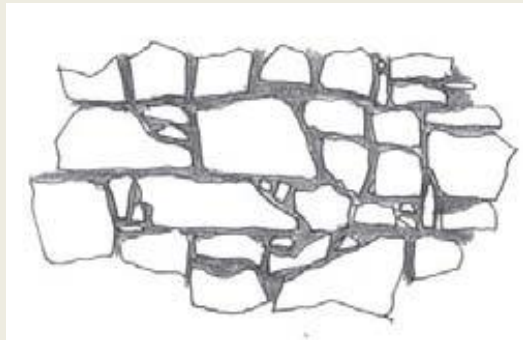
Dvorac Cernik



Istražna bušotina 1 – vanjski zid južno pročelje

				FOTOGRAFIJE									
 <p>Pogled</p>		 <p>Presjek</p>		PRESJEK POGLEDI									
<p>Nepravilan kameni zid Zide se sastoji od kamenih elemenata različitih dimenzija te mjestimice umetnute opeke. Elementi manjih dimenzija koristili su se za popunjavanje praznina između većih elemenata. Uzorak spajanja, vertikalni i horizontalni je samo djelomično pravilan ili većim dijelom nepravilan.</p>							OPIS						
<p>Kamen – prirodni kamen Opeka – komadi pune opeke Mort – vapneni mort</p>							MATERIJALI						
		<p>Dimenzije elemenata: s=25 - 30 cm l=20 - 55 cm h=20 - 35 cm</p> <p>opeka – samo segmenti</p>					GEOMETRIJA						
WC	MM	SS	VJ	SM	HJ	SD		Vertical	Out-of-plane	In-plane	ANALIZA		
NF	PF	PF	NF	PF	NF	PF	Category	C	C	C			
							M						
							MCI	1,4	1,05	1,4			
							Mech. Properties (min-max)	f _m (MPa) 2,0-3,0	E (MPa) 1020-1440	τ ₉₀ (MPa) 0,027-0,041			

Dvorac Cernik



Pogled



Presjek

Dvorac Cernik

uvjet	WC	MM	SS	VJ	SM	HJ	SD
ocjena	NF	PF	PF	NF	PF	NF	PF





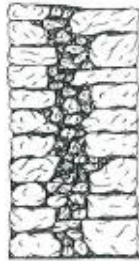
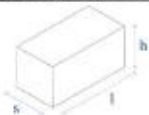

opterećenje	vertikalno	van ravnine	horizontalno
kategorija zida	C	C	C
M_i			
MQI	1.4	1.05	1.4
Mehanička svojstva (min – max)	f_m (MPa)	E (MPa)	τ_0 (MPa)
	2.0 - 3.0	1020 – 1440	0,027 – 0,041



Mediterranski tip građevine

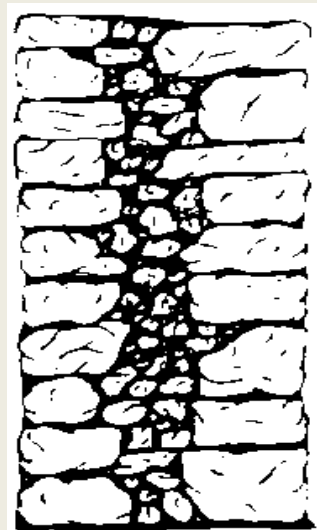
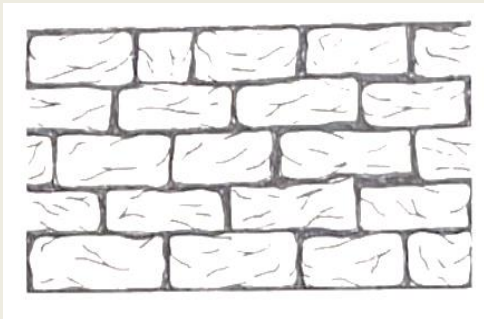
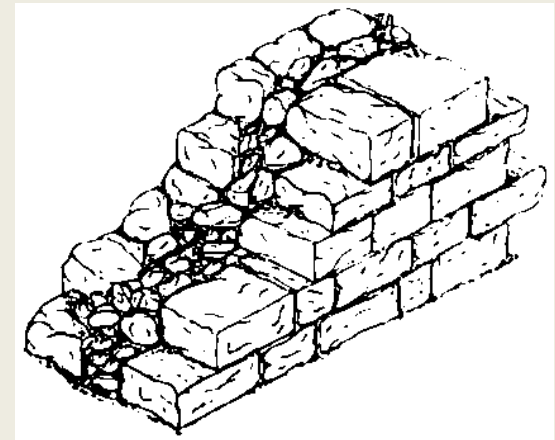


Mediteranski tip građevine

										FOTO	
											SCHEMI
<p>Muratura composta da due paramenti realizzati con blocchi squadrati di pietra scaglia rosa, con interposto riempimento con scaglie e detriti della stessa roccia. Paramento esterno più curato nei dettagli costruttivi e realizzato con elementi di dimensioni maggiori e più regolari rispetto al paramento interno. Tessitura muraria con rispetto dei filari orizzontali, sfalsamento parziale dei giunti verticali e assenza di diatoni.</p>											DESCRIZIONE
<p>Calcare bianco e rosato di Gubbio: compatto a frattura concoide. Scaglia rossa dell'Umbria: calcare compatto a frattura concoide, colore variabile. Calcarei del Subasio: calcari bianchi e rossi, duri e compatti. Malta di graniglia e polvere di cava di qualità scadente.</p>											MATER.
			<p>Dimensioni e forme ricorrenti dei blocchi:</p> <p>s = 12 ÷ 30 cm h = 8 ÷ 18 cm l = 15 ÷ 40 cm</p>								GEOMETRIA
P.D.	MA.	F. EL.	S. G.	R. EL.	OR.	D. EL.	Categoria	Verticali	Fuori piano	Nel piano	ANALISI IQM
NR	NR	PR	PR	R	R	PR	Metodo punteggi	B	C	B	
<p>N.B. Per tener conto del riempimento interno i giudizi su alcuni parametri sono mediati fra la configurazione dei due paramenti esterni e quella del riempimento interno. Il parametro OR non è stato mediato in quanto l'efficacia dei filari orizzontali si esplica principalmente attraverso i paramenti esterni della parete (capacità di oscillare attorno a cerniere orizzontali e capacità di distribuire carichi).</p>							LMT (sezione)		<125	188	
							IQM	4,5	4	3,5	
							Parametri meccanici: valori MIN-MAX	f_m (N/cm ²)	E (N/mm ²)	τ_0 (N/cm ²)	
								256-413	1199-1713	4,0-6,1	



Mediteranski tip građevine



Pogled

Presjek

Aksonometrija

Mediteranski tip građevine

uvjet	WC	MM	SS	VJ	SM	HJ	SD
ocjena	NF	NF	PF	PF	F	F	PF


opterećenje	vertikalno	van ravnine	horizontalno
kategorija zida	B	C	B
M_l			
MQI	4.0	3.5	1.4
Mehanička svojstva (min – max)	f_m (MPa)	E (MPa)	τ_0 (MPa)
	2.56 – 4.13	1199 – 1713	0,040 – 0,061



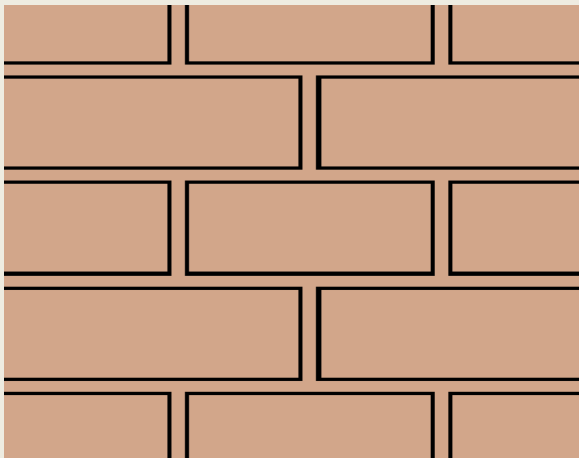
Stambena zgrada u centru Zagreba (1914.)



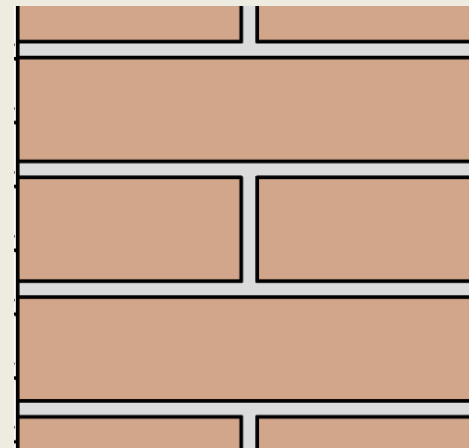
Stambena zgrada u centru Zagreba (1914.)

		FOTOGRAFIJE									
<p>Nepravilan zidani zid Zide se sastoji od opečnih elemenata dimenzija klasične opeke starog formata. Uzorak spajanja, vertikalni i horizontalni je pravilan.</p>		OPIS									
<p>Opeka – komadi pune opeke Mort – vapnени mort</p>		MATERIJALI									
<p>Dimenzije elemenata: s=14 cm l=29 cm h=6,5 cm</p>		GEOMETRIJA									
WC	MM	SS	VJ	SM	HJ	SD		Vertikalno	Van ravnine	U ravnini	A
F	NF	F	F	PF	F	PF	Kategorija	A	B	A	
							MI				
							MQI	5,25	5,25	5,95	
							Mehaničke karakteristike (min-max)	f _m (MPa)	E (MPa)	τ ₀ (MPa)	
								2,7-4,3	1300-2750	0,070-0,090	

Stambena zgrada u centru Zagreba (1914.)



Pogled



Presjek

Stambena zgrada u centru Zagreba (1914.)

uvjet	WC	MM	SS	VJ	SM	HJ	SD
ocjena	F	NF	F	F	PF	F	PF

opterećenje	vertikalno	van ravnine	horizontalno
kategorija zida	A	B	A
M_l			
MQI	5.25	5.25	5.95
Mehanička svojstva (min – max)	f_m (MPa)	E (MPa)	τ_0 (MPa)
	2.7 – 4.3	1300 – 2750	0.070 – 0.090



Edukacijsko-rehabilitacijski fakultet (1968.)



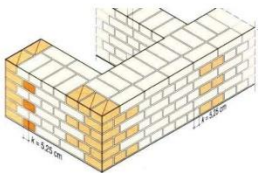
Edukacijsko-rehabilitacijski fakultet (1968.)


STUDIO ARHING

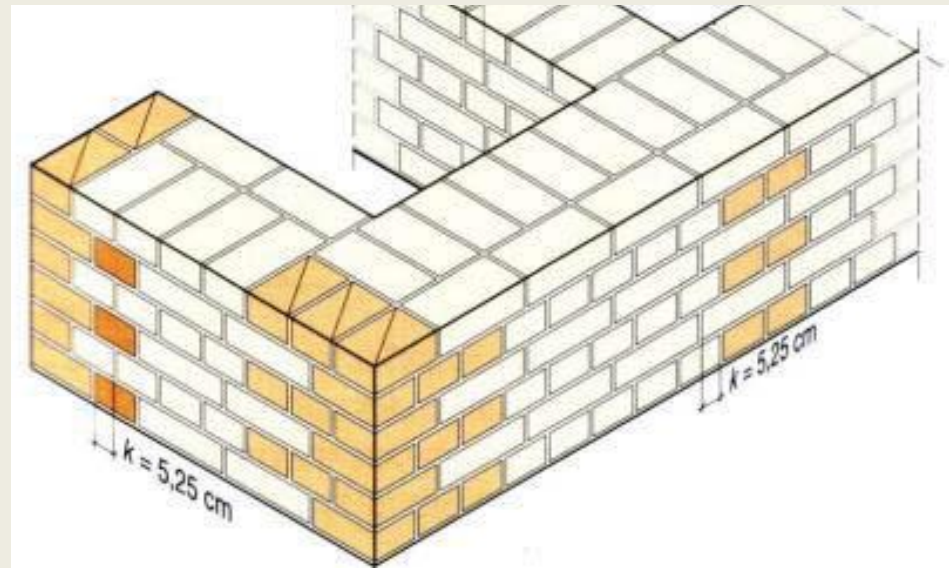
Sveučilište u Zagrebu, Edukacijsko-rehabilitacijski fakultet
ADAPTACIJA I REKONSTRUKCIJA POTREBUJALA ZIDARICE, ESTRA
ZUK. Borongji, Borongajala cesta 85 f
GLAVNI PROJEKT KONSTRUKCIJE

Corina projekt 11R
24

Nosivi opečni zid



POGLEDI		PRESJEK																																							
Zid se sastoji od pune opeke slagane naizmjenično u 2 reda. Uzorak spajanja, vertikalni i horizontalni je pravilan. Slojevi zidova u poprečnom smjeru su u potpunosti povezani.		OPIS																																							
Opeka NF 25x12x6,5 Mort - (M5)		MATERIJALI																																							
		GEOMETRIJA																																							
<table border="1"> <tr> <td>WC</td><td>MM</td><td>SS</td><td>VJ</td><td>SM</td><td>HJ</td><td>SD</td> </tr> <tr> <td>PV</td><td>PF</td><td>F</td><td>F</td><td>F</td><td>F</td><td>PV</td> </tr> </table>		WC	MM	SS	VJ	SM	HJ	SD	PV	PF	F	F	F	F	PV	<table border="1"> <tr> <td>Vertical</td><td>Out-of-plane</td><td>In-plane</td> </tr> <tr> <td>A</td><td>A</td><td>A</td> </tr> <tr> <td>Category</td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>M</td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>MC</td><td>S3</td><td>7.5</td><td>7.5</td> </tr> <tr> <td>Mech</td><td>f_m (MPa)</td><td>E (N/m²)</td><td>f_t (MPa)</td> </tr> <tr> <td>Properties (min-max)</td><td>2.4-4.0</td><td>1300-1800</td><td>0.06-0.38</td> </tr> </table>		Vertical	Out-of-plane	In-plane	A	A	A	Category			M			MC	S3	7.5	7.5	Mech	f _m (MPa)	E (N/m ²)	f _t (MPa)	Properties (min-max)	2.4-4.0	1300-1800	0.06-0.38
WC	MM	SS	VJ	SM	HJ	SD																																			
PV	PF	F	F	F	F	PV																																			
Vertical	Out-of-plane	In-plane																																							
A	A	A																																							
Category																																									
M																																									
MC	S3	7.5	7.5																																						
Mech	f _m (MPa)	E (N/m ²)	f _t (MPa)																																						
Properties (min-max)	2.4-4.0	1300-1800	0.06-0.38																																						
		ANALIZA																																							



Edukacijsko-rehabilitacijski fakultet (1968.)

uvjet	WC	MM	SS	VJ	SM	HJ	SD
ocjena	PF	PF	F	F	F	F	PF

opterećenje	vertikalno	van ravnine	horizontalno
kategorija zida	A	A	A
M_l			
MQI	8.0	7.50	7.50
Mehanička svojstva (min – max)	f_m (MPa)	E (MPa)	τ_0 (MPa)
	2.4 – 4.0	1200 – 1800	0,06 – 0,09



Zaključak

- jednostavna i sistematična metoda klasifikacije ziđa
- rezultati dobiveni MQI metodom provjereni su sa rezultatima dobivenim eksperimentima i vrijednostima danim u talijanskim normama
- tipologija ziđa odgovara prostoru Mediterana i južne Europe
- za upotrebu metode na širem području, potrebno ju je uskladiti sa ispitivanjima drugačije tipologije ziđa



Direttore scientifico **Antonio Borri**

A. Baila, L. Binda, A. Borri, G. Cangi, G. Cardani, G. Castori, M. Corradi,
A. De Maria, E. Del Monte, C. Donà, L. Galano, A. Giannantoni, B. Ortolani,
A. Pagliuzzi, A. Saisi, D. Sperandio, E. Speranzini, C. Tedeschi, A. Vignoli

MANUALE DELLE MURATURE STORICHE

a cura di Chiara Donà
con la collaborazione di Alessandro De Maria

nel **DOWNLOAD**
Esempi e metodi
di calcolo

MEVIS

Volume I

Analisi e valutazione del comportamento strutturale



Adet
TIPOGRAFIA DEL GENIO CIVILE

Collana Centro Studi
**SISTO
MASTRODICASA**



Direttore scientifico **Antonio Borri**

A. Baila, L. Binda, A. Borri, G. Cangi, G. Cardani, G. Castori, M. Corradi,
A. De Maria, E. Del Monte, C. Donà, L. Galano, A. Giannantoni, B. Ortolani,
A. Pagliuzzi, A. Saisi, D. Sperandio, E. Speranzini, C. Tedeschi, A. Vignoli

MANUALE DELLE MURATURE STORICHE

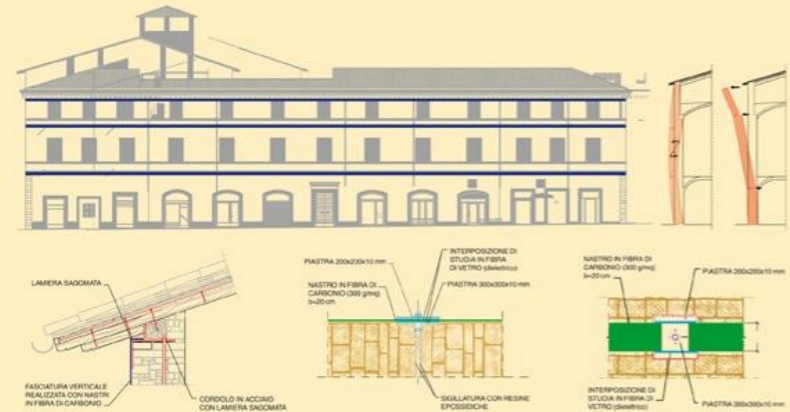
a cura di Chiara Donà
con la collaborazione di Alessandro De Maria

nel **DOWNLOAD**
Esempi e metodi
di calcolo

MEVIS

Volume II

Schede operative per gli interventi di restauro strutturale



Adet
TIPOGRAFIA DEL GENIO CIVILE

Collana Centro Studi
**SISTO
MASTRODICASA**



- [1] Talijansko Ministarstvo infrastrukture i prometa (IMIT), 2009., *Circ. 02.02.2009, n. 617: Istruzioni per l'applicazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008.*, talijansko Ministarstvo infrastrukture i prometa, Rim
- [2] Borri, A., Corradi, M., Castori, G., De Maria, A., 2015. 'A method for the analysis and classification of historic masonry', *Bulletin of Earthquake Engineering*, vol. 13, br. 9, 2647–2665
- [3] Baila, A., Binda, L., Borri, A., Cangi C., Cardani G., Castori G., Corradi, M., De Maria, A., Del Monte, E., Donà, C., Galano, L., Giannantoni, A., Ortolani, B., Pagliuzzi, A., Saisi, A., Sperandio, D., Speranzini, E., Tedeschi C., Vignoli A, 2011., *Manuale delle Murature storiche, Analisi e valutazione del comportamento strutturale*, Vol 1, Dei Tipografia del Genio Civile, Rim
- [4] Baila, A., Binda, L., Borri, A., Cangi C., Cardani G., Castori G., Corradi, M., De Maria, A., Del Monte, E., Donà, C., Galano, L., Giannantoni, A., Ortolani, B., Pagliuzzi, A., Saisi, A., Sperandio, D., Speranzini, E., Tedeschi C., Vignoli A, 2011., *Manuale delle Murature storiche, Schede operative per gli interventi di restauro strutturale*, Vol 2, Dei Tipografia del Genio Civile, Rim

Primjeri projekata Studija Arhing d.o.o.:

- Pojatina J., 2017., Dvorac Marković – Kulmer, Elaborat istražnih radova na postojećoj konstrukciji, Studio Arhing d.o.o., Zagreb
- Anđić D., 2019. Adaptacija i rekonstrukcija potkrovlja zgrade Edukacijsko rehabilitacijskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Studio Arhing d.o.o., Zagreb
- Pojatina J., 2020. Stambena zgrada, Elaborat postojećeg stanja građevinske konstrukcije i idejno rješenje pojačanja, Studio Arhing d.o.o., Zagreb



HVALA NA PAŽNJI!

www.linkedin.com/studio-arhing

www.youtube.com/studio-arhing

studio-arhing.hr

studio-arhing@zg.t-com

