



HRVATSKA KOMORA INŽENJERA GRAĐEVINARSTVA

Dani Hrvatske komore inženjera građevinarstva 2020.

Dosadašnja iskustva u provođenju istražnih radova na zidanim građevinama

Joško Krolo

Prof.dr.sc. Joško Krolo, dipl.ing.građ., Izv.prof.dr.sc. Domagoj Damjanović, dipl.ing.građ.

Doc.dr.sc. Ivan Duvnjak, dipl.ing.građ.

Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26, Zagreb

Sadržaj

- Uvod
- Vrste istražnih radova - Što sve spada u istražne radove?
- Ispitivanje posmične čvrstoće zida (morta) „in situ”
- Ispitivanje tlačne čvrstoće morta „in situ”
- Ispitivanje tlačne čvrstoće opeke
- Ispitivanje mehaničkih karakteristika zida korištenjem plosnatih preša
- Eksperimentalna modalna analiza
- Zaključak

UVOD

POTRES:

Crna Gora - nedjelja, 15. travnja 1979.

7:30 sati ML 7 stupnjeva



Zagreb - nedjelja, 22. ožujka 2020.

6:24 sati ML 5,5 stupnjeva



41 godina

UVOD

POTRES:

Crna Gora - 1979.

Zagreb - 2020.



KLASIFIKACIJA OŠTEĆENJA OBJEKATA

I. UPOTREBLJIVI OBJEKTI

ZELENA

_____ 1. Neoštećen objekat

===== 2. Oštećen objekat, bez oštećenja konstrukcije

===== 3. Objekat sa lakim oštećenjima konstrukcije

II. PRIVREMENO NEUPOTREBLJIVI OBJEKTI

ŽUTA

_____ 1. Objekat sa oštećenom konstrukcijom

===== 2. Objekat sa teže oštećenom konstrukcijom

III. NEUPOTREBLJIVI OBJEKTI

CRVENA

_____ 1. Teško oštećen objekat

===== 2. Djelimično srušen objekat

===== 3. Potpuno srušen objekat

UPORABLJIVO		
<input type="radio"/>	U1	bez OGRANIČENJA
<input type="radio"/>	U2	UPORABLJIVO s preporukom
PROVEDEN BRZI PREGLED		

PRIVREMENO NEUPORABLJIVO		
<input type="radio"/>	PN1	potreban DETALJAN PREGLED
<input type="radio"/>	PN2	potrebne mjere HITNE INTERVENCIJE
PROVEDEN BRZI PREGLED		

NEUPORABLJIVO		
<input type="radio"/>	N1	zbog VANJSKIH UTJECAJA
<input type="radio"/>	N2	zbog OŠTEĆENJA
PROVEDEN BRZI PREGLED		

UVOD

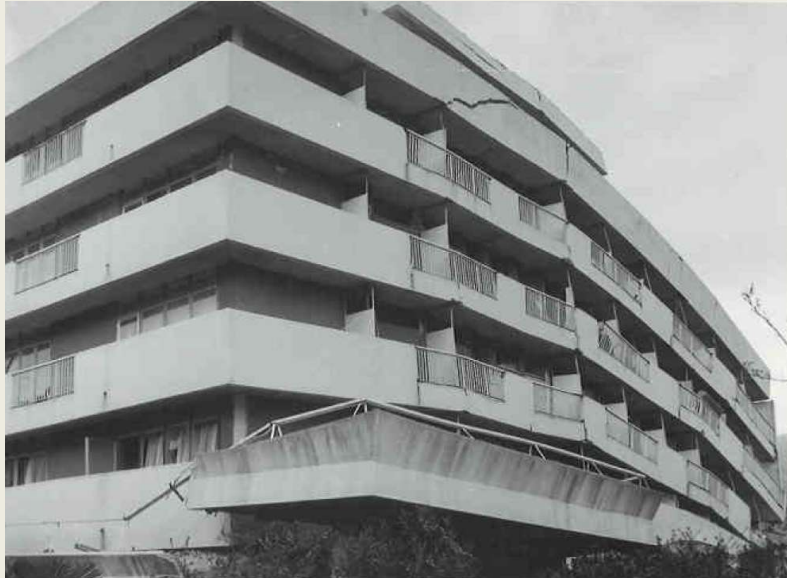
POTRES: Crna Gora - 1979.



Hotel SLAVIJA
u Budvi

UVOD

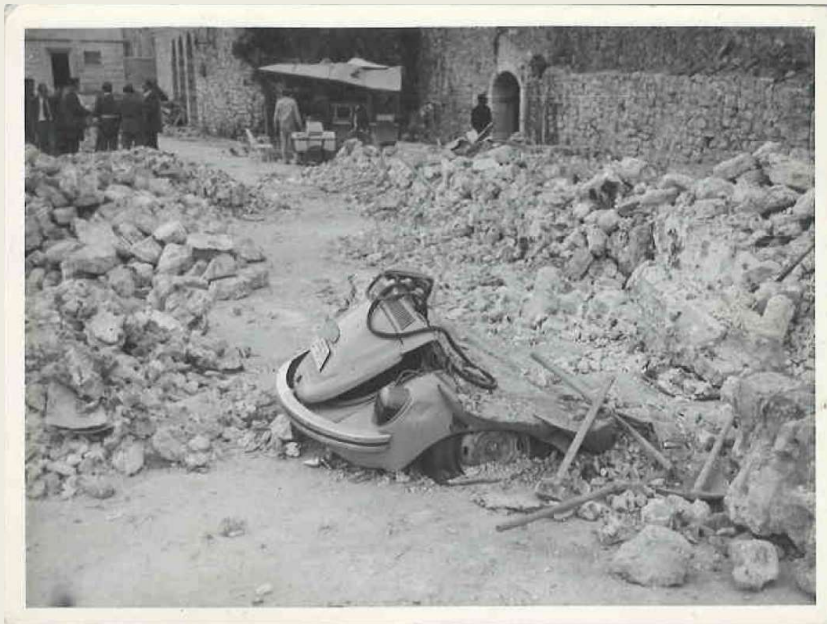
POTRES: Crna Gora - 1979.



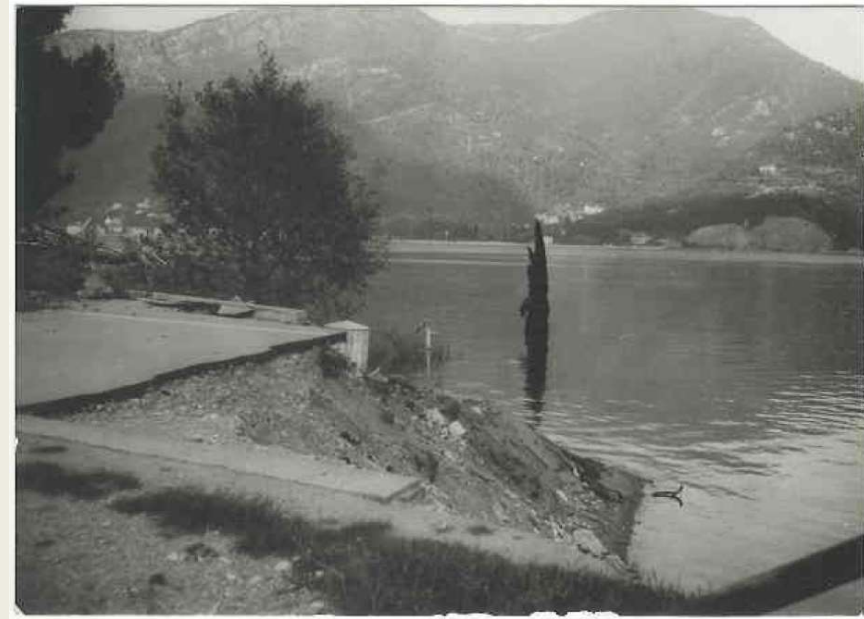
Hotel AGAVA u Baru

UVOD

POTRES: Crna Gora - 1979.



Budva



Boka Kotorska

UVOD

NAKON CRNE GORE:

- Pregled oštećenja građevina nakon potresa u Dubrovniku i Stonu
- Pregled i izrada projekata (uputa) za obnovu obiteljskih kuća oštećenih u Domovinskom ratu - preko 2000 kuća (područja Siska, Pakraca, Lipika, Novske, Lovinca i Sv. Roka,)
- Istražni radovi na 30-tak javnih građevina u Vukovaru (Crkva Sv. Filipa i Jakova, Kapela Sv. Roka, Mađarska škola, Radnički dom (hotel Grand), Ljekarna, Crkva Gospe od hrasta, Vodotoranj, Sportska dvorana, bazen, Osnovna škola i vrtić u Borovu Naselju, Rezidencija Paunović, Zgrada željezničkog kolodvora itd.), lječilišni kompleks "Kursalon" u Lipiku i dr.
- Istražni radovi za potrebe sanacije na desetak građevina od kamena u Dubrovniku (palača u Ulici od puča 11, palača Martinušić, palača Đorđić, palača Sorkočević, Franjevački samostan "Mala Braća") i Hvarski arsenal.
- Od 2013. radimo Studiju za saniranje posljedica potresa u Zagrebu – **kao da smo znali da će potres!**

UVOD

- Za izradu projekta **popravka, pojačanja i cjelovite obnove konstrukcije** oštećenih građevina neophodno je **provesti istražne radove** i ispitivanja kojima će se utvrditi mehanička svojstva materijala.
- Veliki broj zidanih građevina u Zagrebu koje su građene koncem 19. i početkom 20. stoljeća su i prije potresa bile u lošem stanju:
 - sustavno neodržavanje,
 - nesancija ranijih oštećenja (npr. od potresa manjih intenziteta),
 - nekontrolirani zahvati zbog prenamjene prostora (probijanje ili zazidavanje otvora, pregrađivanje i sl.).

UVOD - osvrt na propise

- ❑ ZAKON O OBNOVI ZGRADA OŠTEĆENIH POTRESOM na području Grada Zagreba, Krapinsko-zagorske županije i Zagrebačke županije (NN 102/20)
- ❑ TEHNIČKI PROPIS ZA GRAĐEVINSKE KONSTRUKCIJE (NN 17/17)
- ❑ TEHNIČKI PROPIS O IZMJENI I DOPUNAMA TEHNIČKOG PROPISA ZA GRAĐEVINSKE KONSTRUKCIJE (NN 75/2020)

PRILOG III.

RAZINE OBNOVE POTRESOM OŠTEĆENIH KONSTRUKCIJA ZGRADA
U ODNOSU NA MEHANIČKU OTPORNOST I STABILNOST

Za provedbu popravka/pojačanja/cjelovite obnove potresom oštećene građevinske konstrukcije zgrade potrebna je izrada:

- elaborata ocjene postojećeg stanja građevinske konstrukcije uz provedbu detaljnog pregleda (vizualni pregled, prikupljanje postojeće dokumentacije i **PO POTREBI ISTRAŽNIH RADOVA**)

UVOD - osvrt na propise

- ❑ **HRN EN 1998-3:2011, Eurokod 8:** Projektiranje potresne otpornosti konstrukcija - 3. dio: Ocjenjivanje i obnova zgrada

Razine znanja, preporučeni najmanji zahtjevi i faktori povjerenja

Razina znanja	Detalji	Materijali	Faktor povjerenja
RZ1 - ograničeno	Simulirani proračun u skladu s odgovarajućom praksom i ograničeni pregled - 20 % elemenata	Uobičajene vrijednosti iz vremena gradnje i ograničena ispitivanja 1 uzorak materijala po katu	1,35
RZ2 - uobičajeno	Nepotpuni izvorni izvedbeni nacrti uz ograničeni pregled - 20 % elem.) ili opsežni pregled - 50 % elemenata	Izvorne projektne specifikacije uz ograničeno ispitivanje (1 uzorak/katu) ili opsežna ispitivanja (2 uzorka/katu)	1,20
RZ3 - potpuno	Izvorni izvedbeni nacrti uz ograničeni pregled - 20 % elementa) ili sveobuhvatni pregled (80 % elemenata.)	Izvorni izvještaji o ispitivanju uz ograničeno ispitivanje (1 uzorak/katu) ili sveobuhvatna ispitivanja (3 uzorka/katu)	1,00

Nije definirano na kakvu se vrstu ispitivanja ili uzetih uzoraka kod zidanih konstrukcija misli!!

VRSTE ISTRAŽNIH RADOVA

Što sve spada u istražne radove kod zidanih konstrukcija?

- **Detaljni vizualni pregled** s opisom i dokumentacijom svih postojećih oštećenja, pukotina, ...
- **Utvrđivanje vrste, debljine i sastava zidova, stropnih konstrukcija, veze stropnih konstrukcija i zidova**, vrstu i statički sustav **krovne konstrukcije**, ...
- **Ispitivanje mehaničkih svojstava ugrađenih gradiva** (mort, opeka, kamen, čelične zatege, ...)
- Ako zidane konstrukcije imaju ab elemente (vertikalni serklaži, stupovi, grede, stropne konstrukcije) potrebno je u istražne radove uvrstiti i **ispitivanje kvalitete ugrađenog betona** (valjci i sklerometar), količinu, stanje i kvalitetu ugrađene **armature**, stanje zaštitnog sloja armature, ..
- **Određivanje dinamičkih parametara postojeće konstrukcije** (eksperimentalna modalna analiza) koji mogu poslužiti za kontrolu i kalibraciju numeričkih modela i povećanje pouzdanosti proračuna.
-

VRSTE ISTRAŽNIH RADOVA

Sve to norma HRN EN 1998-3:2011 naziva:

IDENTIFIKACIJA GEOMETRIJSKIH SVOJSTAVA, DETALJA I MATERIJALA

Prikupljeni podaci trebaju obuhvatiti sljedeće:

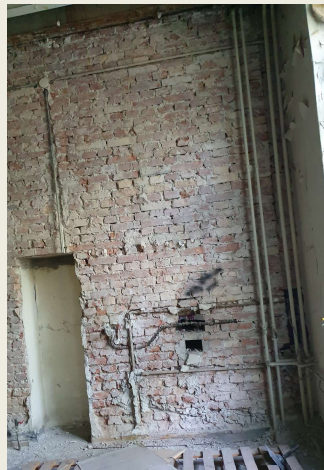
- Tip, stanje, oblikovanje, svojstva sastavnih materijala i dimenzije zidnih elemenata,
- Prisustvo obloga i nekonstrukcijskih elemenata (pregradnih zidova),
- Podatke o susjednim zgradama,
- Veličinu i položaj nosivih zidova, položaj i veličinu otvora u zidu,
- Raspodjelu gravitacijskih opterećenja na nosive zidove,
- Razredbu zidova na nearmirane, omeđene ili armirane,
- Prisustvo, kvalitetu, tip i stanje morta i sljubnica, ispitivanje čvrstoće, **erozije** i tvrdoće morta, identifikaciju nedostataka (pukotina, unutarnjih šupljina i pogoršanja svojstava), **KAKO??**
- Identifikaciju tipa i uvjeta spojeva zidova, zidova i stropova i zidova i krovova,
- Identifikaciju i mjesto horizontalnih i vertikalnih pukotina u sljubnicama i dijagonalnih oko otvora,
- Ispitivanje vertikalnosti zidova.

Materijali:

- Mjerenje brzine ultrazvučnog vala radi otkrivanja promjene gustoće i modula zidnog materijala i otkrivanja prisustva pukotina i diskontinuiteta,
- Ispitivanje udarnim odjekom (impact echo test) **radi potvrde jesu li armirani zidovi ispunjeni sitnozrnim betonom ??**,
- Ispitivanje sklerometrom **radi utvrđivanja površinske tvrdoće vanjskih zidova ??**,
- **Ispitivanje plosnatim prešama radi mjerenja posmične čvrstoće i vertikalnog tlačnog naprezanja**,
- Ispitivanje dijagonalnim tlakom radi procjene posmične čvrstoće i posmičnog modula ziđa.

VRSTE ISTRAŽNIH RADOVA

U realnim uvjetima na građevinama to izgleda ovako:

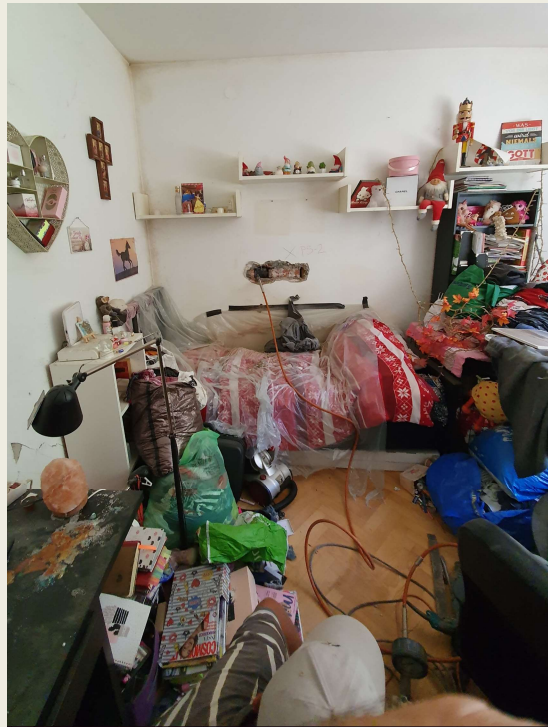


Vrlo je teško pronaći odgovarajuću površinu zida za ispitivanje:

- U zidovima ima puno otvora - širina zida između prozora na pročeljima je u pravilu manja od 2 m,
- U srednjim nosivim zidovima ima puno dimnjaka,
- U zidovima ima puno elektro, plinskih i vodovodnih instalacija,
- Nakon skidanja žubuke nailazi se na zazidane otvore,
- Način zidanja opekom onemogućava predviđenu vrstu ispitivanja,
- Gdje se koriste različite vrste opeke itd.

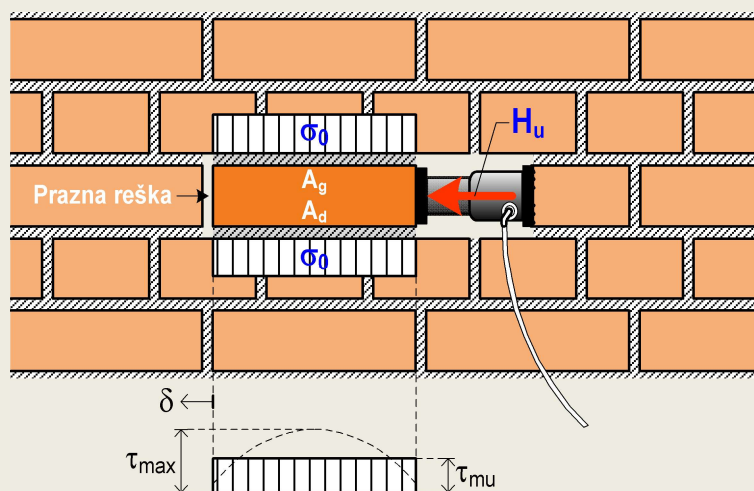
VRSTE ISTRAŽNIH RADOVA

Veliki problem predstavlja prisustvo stanara - prostori nisu iseljeni:



ISPITIVANJE POSMIČNE ČVRSTOĆE MORTA

Ispitivanje se obavlja pomoću male hidraulične preše čime je minimalno oštećena struktura postojećeg nosivog zida:



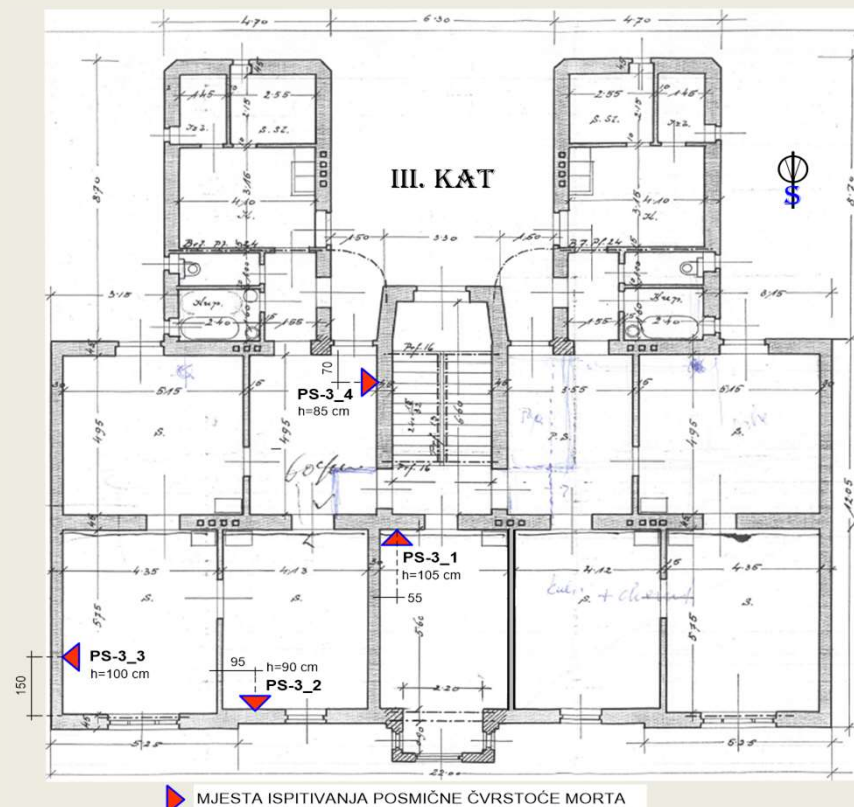
$$\tau_{mu} = f_{vd} = \frac{H_u}{A_g + A_d}$$



τ_{mu} - prosječno granično posmično naprezanje
 H_u - registrirana granična horizontalna sila
 $A_g + A_d$ - gornja i donja površina ispitivane opeke

ISPITIVANJE POSMIČNE ČVRSTOĆE MORTA

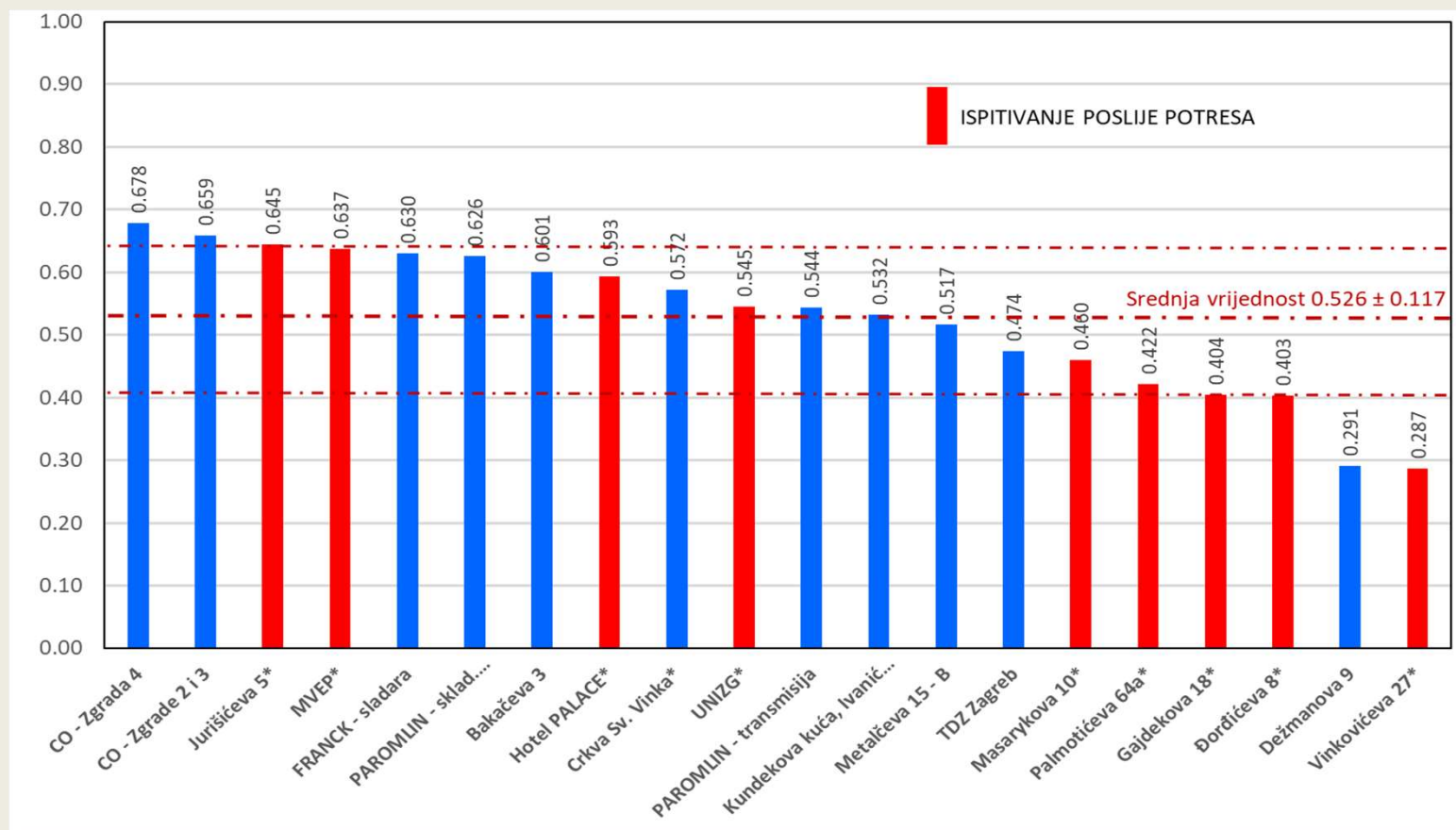
U izvješću se navodi: kat (etaža), tlocrtni položaj mjernog mjesta, podaci o zidu (debljina, nosivi, unutarnji, vanjski, stubišni) visina mjernog mjesta od gornjeg ruba stropne konstrukcije,



Stambena građevina, Đorđićeva ulica 8 u Zagrebu

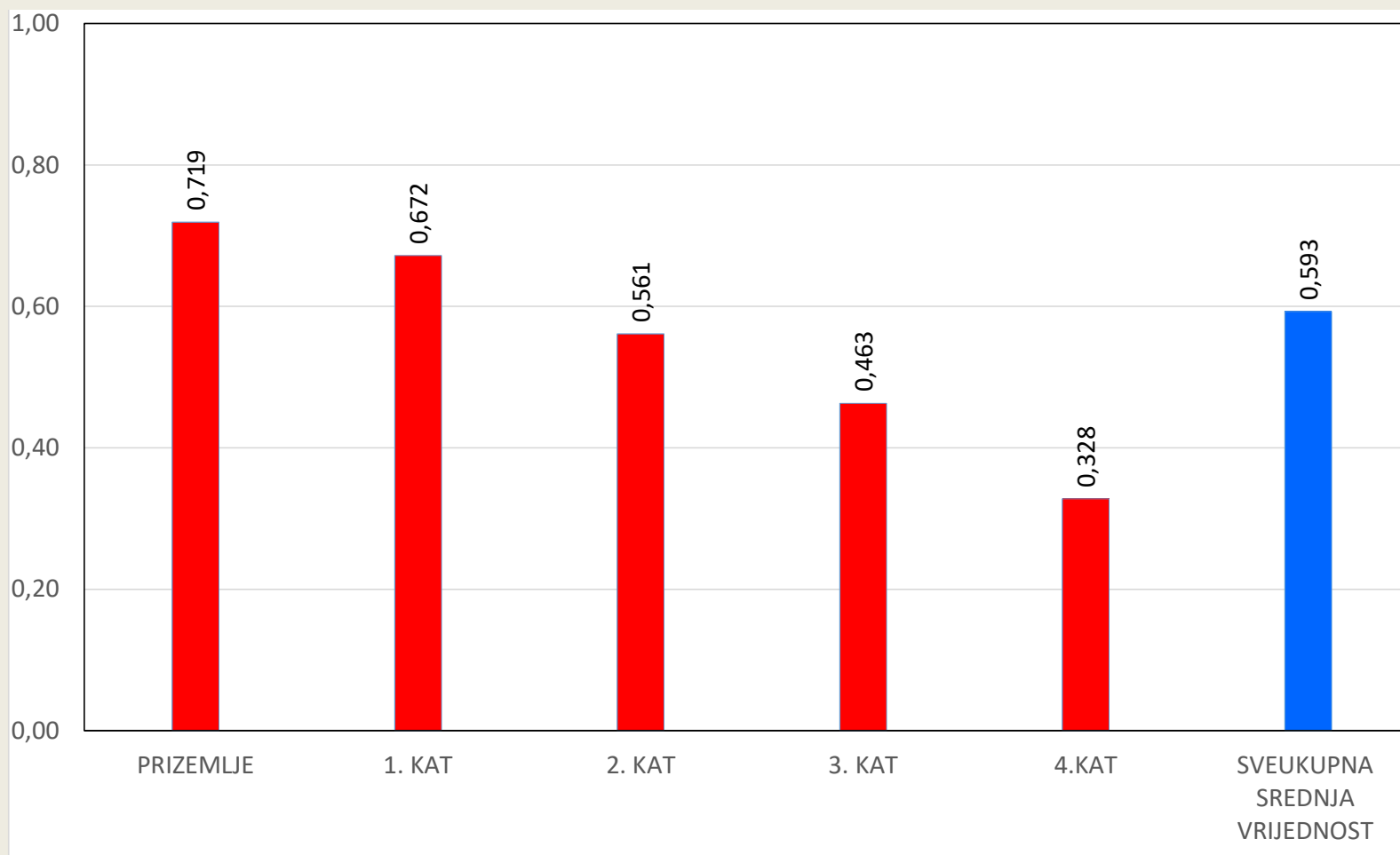
ISPITIVANJE POSMIČNE ČVRSTOĆE MORTA

Rezultati ispitivanja posmične čvrstoće zida na 20 zidanih građevina u Zagrebu (cca 150 ispitivanja), prikazane su srednje vrijednosti.



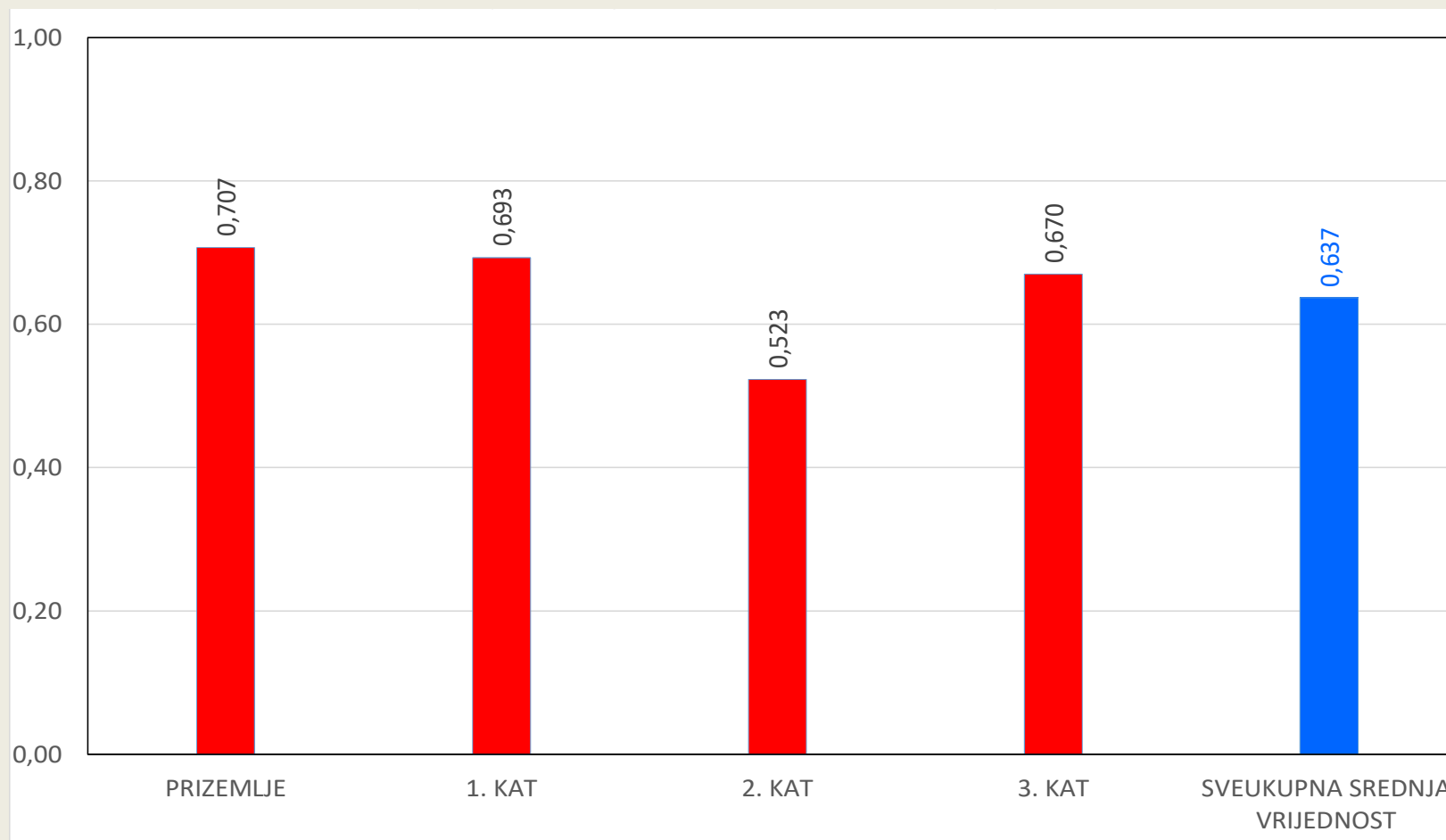
ISPITIVANJE POSMIČNE ČVRSTOĆE MORTA

Srednje vrijednosti posmične čvrstoće zida (MPa) po etažama za zgradu hotela PALACE u Zagrebu (5-6 uzoraka po etaži)



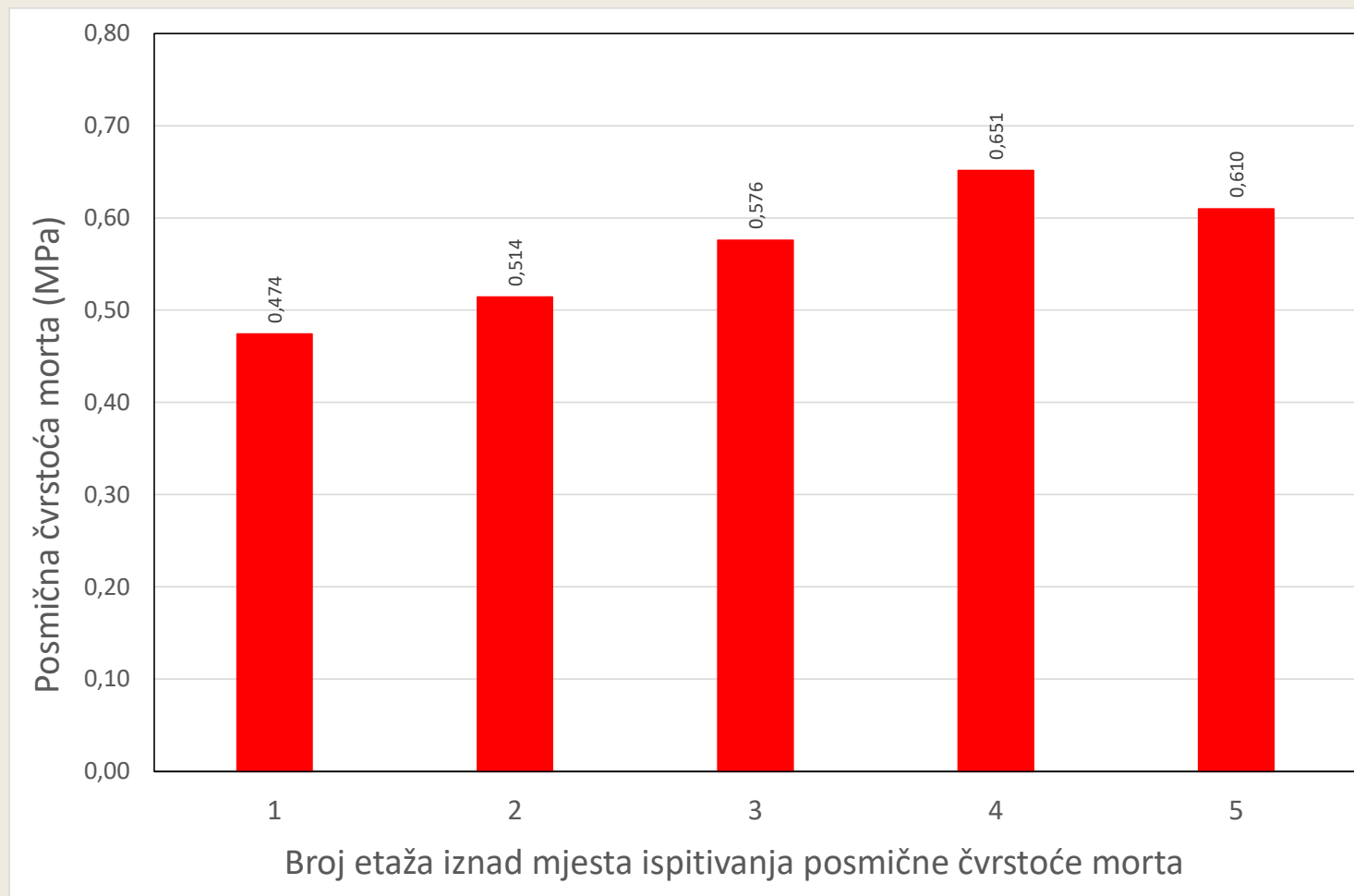
ISPITIVANJE POSMIČNE ČVRSTOĆE MORTA

Srednje vrijednosti posmične čvrstoće zida (MPa) po etažama za zgradu MVEP u Zagrebu (3-5 uzoraka po etaži)



ISPITIVANJE POSMIČNE ČVRSTOĆE MORTA

Srednje vrijednosti posmične čvrstoće zida (MPa) u ovisnosti o broju etaža iznad mjesta ispitivanja (20 zgrada, 150 ispitivanja)



ISPITIVANJE POSMIČNE ČVRSTOĆE MORTA

- Što možemo odrediti iz ovih ispitivanja??

POSMIČNU ČVRSTOĆU ZIDA bez vertikalnog naprezanja (f_{vm0})

$$f_{vd} = f_{vm0} + \mu \cdot \sigma_0 \quad \longrightarrow \quad f_{vm0} = f_{vd} - \mu \cdot \sigma_0$$

$f_{vd} (\tau_{mu})$ - posmična čvrstoća zida (ispitivanjem)

σ_0 - vertikalno tlačno naprezanje - RAČUNSKI

μ - koeficijenta trenja ($\mu=0,4$ prema HRN EN 1998-3)

Uz korištenje plosnatih preša možemo eksperimentalno odrediti σ_0 i μ

ISPITIVANJE POSMIČNE ČVRSTOĆE MORTA

PRIMJER:

- Određivanje posmične čvrstoće bez vertikalnog pritiska iz rezultata jednostavnog posmičnog ispitivanja:

$$f_{vm0} = f_{vd} - \mu \cdot \sigma_0 = 0,409 - 0,5 \cdot 0,5 = 0,159 \text{ MPa}$$

$f_{vd} = 0,526 - 0,117 = 0,409 \text{ MPa}$ - srednja vrijednost jednostavnih posmičnih ispitivanja provedenih na 20 zgrada umanjena za standardno odstupanje

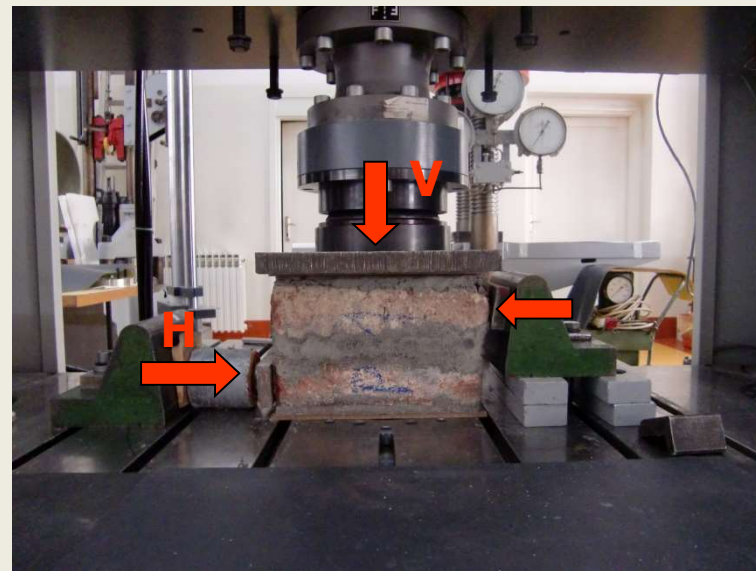
$\mu = 0,5$ - 1,25 puta veća vrijednost od one iz norme HRN EN 1998-3:2011

$\sigma_0 = 0,5 \text{ MPa}$ - vertikalno naprezanje na mjestu ispitivanja - RAČUNSKI

- Dobivena posmična čvrstoća bez vertikalnog pritiska je veća od one koju predviđa norma za slučaj kada ne postoje nikakva ispitivanja.

ISPITIVANJE POSMIČNE ČVRSTOĆE MORTA

Ispitivanje posmične čvrstoće morta može se vršiti i u laboratoriju, na uzetim, **neporemećenim uzorcima**:



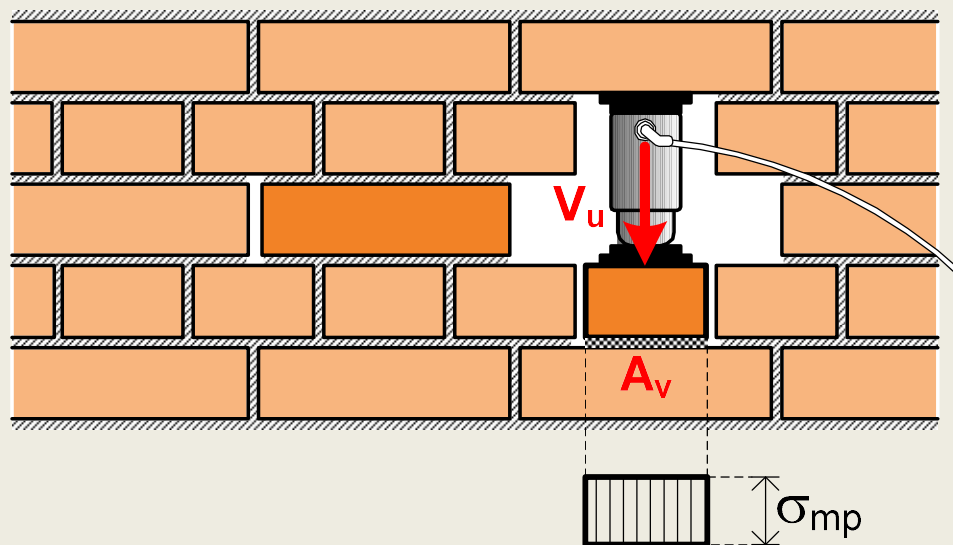
PROBLEM: Pronaći takav neporemećeni uzorak i donijeti ga u laboratorij!

ISPITIVANJE TLAČNE ČVRSTOĆE MORTA

S obzirom da je vrlo tešku uzeti (pronaći) uzorak morta za ispitivanje njegove tlačne čvrstoće prikazat će se metoda ispitivanja kojom se može relativno grubo procijeniti tlačna čvrstoća.

Određivanje **tlačne čvrstoće morta** vrši se na istom mjestu s tim da se otvor za prešu proširi u vertikalnom smjeru.

U trenutku dosizanja tlačne čvrstoće morta ispod opeke donja opeka koja je upeta u zid u tom trenutku pukne.



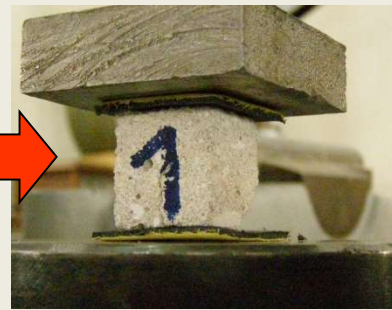
$$\sigma_{mp} = \frac{V_u}{A_v}$$

ISPITIVANJE TLAČNE ČVRSTOĆE MORTA



ISPITIVANJE TLAČNE ČVRSTOĆE MORTA

Ispitivanje tlačne čvrstoće morta može se vršiti i u laboratoriju, na uzetim, **neporemećenim uzorcima**:



Ovakvi uzorci morta mogu se eventualno pronaći kod zidova od kamena!!

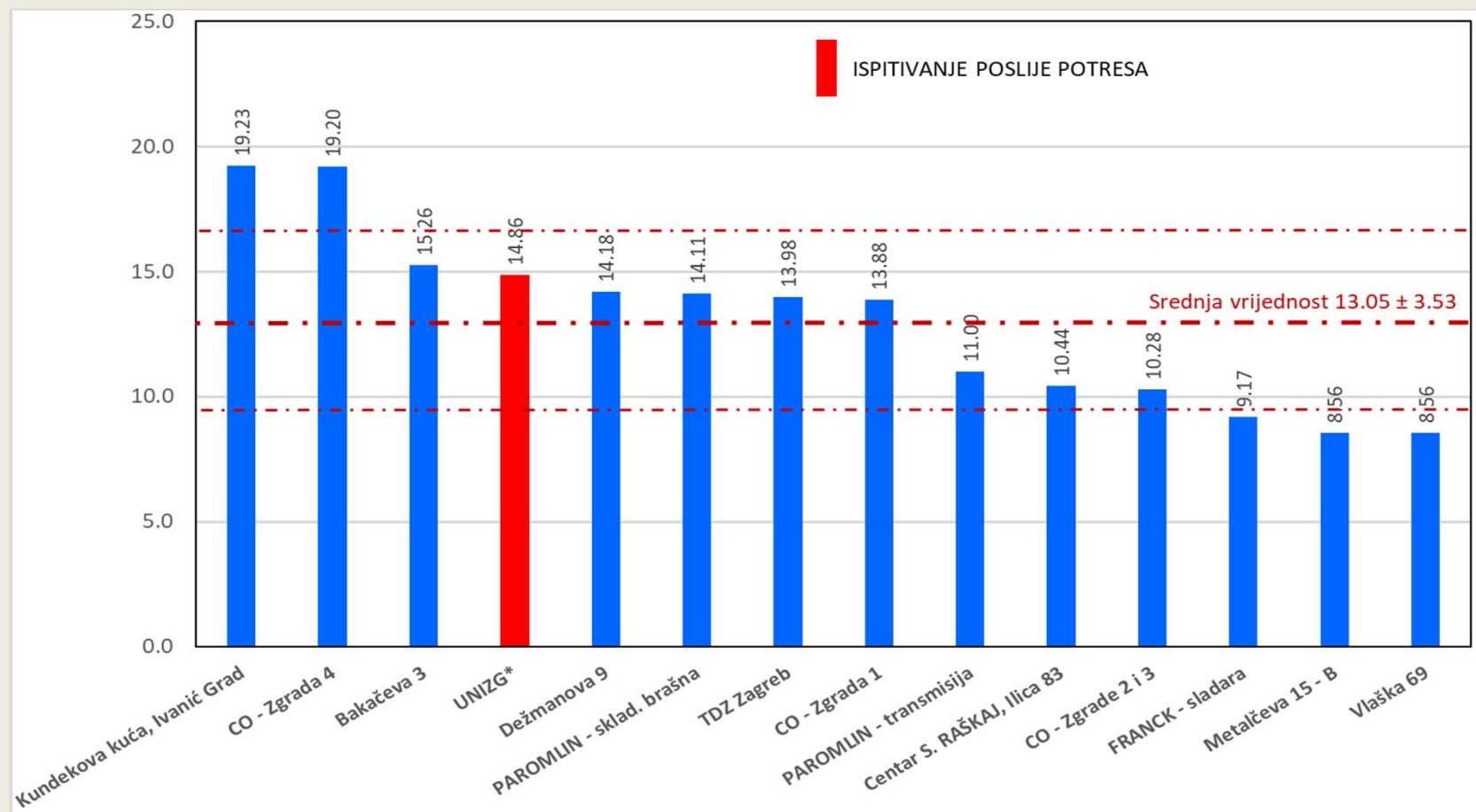
ISPITIVANJE TLAČNE OPEKE

- HRN EN 772-1:2015, *Metode ispitivanja zidnih elemenata - 1. dio: Određivanje tlačne čvrstoće.*
 - šest (6) uzoraka za ispitivanje,
 - uzorci se očiste od morta, navlaže površine i nanese sloj cementnog morta za izravnanje minimalne debljine 3 mm,
 - prije ispitivanja uzorci se njeguju sušenjem na zraku u laboratoriju 14 dana na temperaturi $< 15^{\circ}\text{C}$ i relativnoj vlažnosti $< 65\%$.
- Čvrstoća opeke: opterećenje pri slomu / bruto površina (rezultat se zaokružuje na 0,1 MPa).



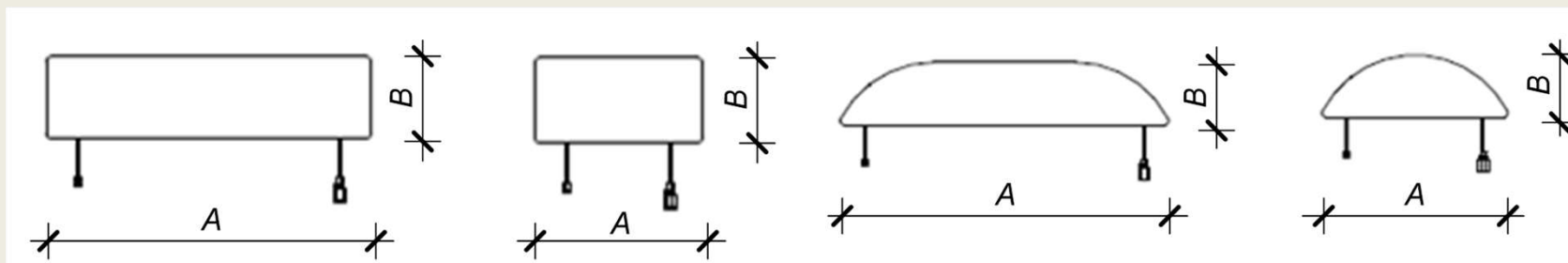
ISPITIVANJE TLAČNE OPEKE

- Rezultati ispitivanja tlačne čvrstoće opeke na 14 zidanih građevina u Zagrebu, prikazane su srednje vrijednosti.



ISPITIVANJE MEHANIČKIH KARAKTERISTIKA ZIDA KORIŠTENJEM PLOSNATIH PLOČA

- Korištenje plosnatih preša omogućuje pouzdanije utvrđivanje mehaničkih karakteristika zida:
 - *vertikalno naprezanje u zidu (ASTM C1196-14a; RILEM MDT. D.4)*
 - *naponsko deformacijska svojstva u tlaku (ASTM C1197-14a; RILEM MDT. D.5)*
 - *posmična čvrstoća zida uz kontrolu vertikalnog naprezanja (ASTM C1531-16)*
 - *tlačna čvrstoća zida.*
- Plosnata preša ima oblik mjehurica koji se sastoji od dvije čelične ploče zavarene po obodu.



- Prilikom ispitivanja plosnate preše se umeću u horizontalne otvore u zidu te se povećanjem pritiska u preši kontrolirano nanosi naprezanje u zidu.

ISPITIVANJE MEHANIČKIH KARAKTERISTIKA ZIDA KORIŠTENJEM PLOSNATIH PLOČA

OPREMA

- Plosnate preše i podložne ploče,
- Hidraulični sustav za nanošenje pritiska,
- Mjerni uređaji za mjerenje pomaka/relativnih deformacija,
- Oprema za izradu otvora - EKSCENTRIČNA PRSTENASTA PILA.



ISPITIVANJE MEHANIČKIH KARAKTERISTIKA ZIDA KORIŠTENJEM PLOSNATIH PLOČA

■ KALIBRACIJA PLOSNATE PREŠE

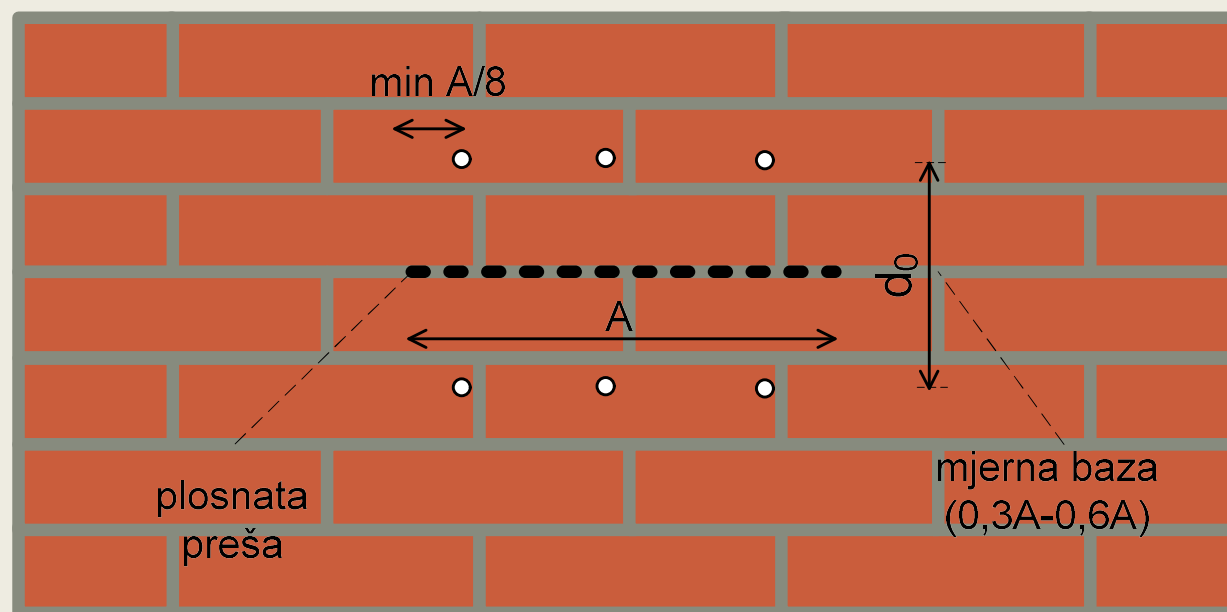
- Dio pritiska hidraulične tekućine troši se na deformaciju same plosnate preše,
- pritisak u sustavu veći je od naprezanja koji plosnata preša prenosi na zide,
- koeficijent K_m daje odnos između pritiska hidraulične tekućine i naprezanja koje se prenosi na zide - ASTM C1196,

■ Postupak

- u tlačnom ispitnom uređaju plosnata preša opterećuje se preko dvije čelične ploče,
- kalibraciju je potrebno izvršiti kroz cijelo radno područje plosnate preše, s najmanje 10 jednakih inkremenata povećanja opterećenja, kroz 3 ciklusa,
- pritisak se povećava pomoću hidraulične pumpe, a pri svakom koraku potrebno je registrirati pritisak plosnate preše i silu na ispitnom uređaju.

ISPITIVANJE MEHANIČKIH KARAKTERISTIKA ZIDA KORIŠTENJEM PLOSNATIH PLOČA

- **ODREĐIVANJE POSTOJEĆEG TLAČNOG NAPREZANJA U ZIDU**
 - u zidu se djelomično oslobodi tlačno naprezanje uklanjanjem morta iz horizontalne sljubnice,
 - Naprezanje se kompenzira pomoću plosnate preše umetnute u otvor dok se ne uspostavi početno stanje naprezanja i deformacija što se kontrolira mjerenjem polja pomaka okomito na otvor

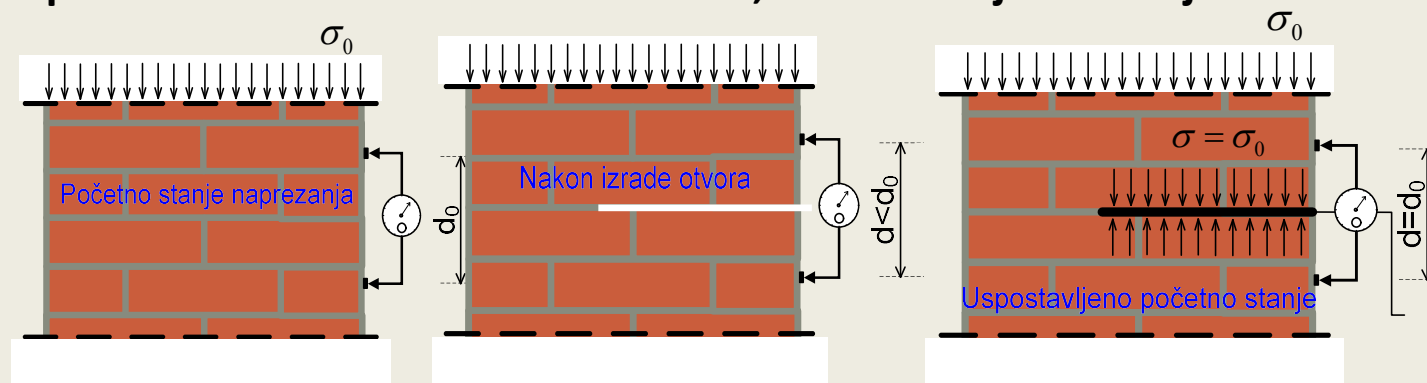


ISPITIVANJE MEHANIČKIH KARAKTERISTIKA ZIDA KORIŠTENJEM PLOSNATIH PLOČA

ODREĐIVANJE POSTOJEĆEG TLAČNOG NAPREZANJA U ZIDU

POSTUPAK

- ukloniti žbuku i zacrtati mjesto na kojem će se napraviti otvor
- postaviti najmanje 3 para markica za prijenosni komparator i izvršiti početno mjerenje mjerne duljine,
- izrada otvora (uklanjanje morta iz horizontalne sljubnice), ako se koriste polukružne plosnate preše pomoću ekscentrične prstenaste pile,
- postavljanje plosnate preše u otvor, uz korištenje podložaka kako bi plosnata preša što bolje popunila otvor, mjerenje promjene mjerne duljine,
- Predopterećenje do 50 % očekivanog napreznja u zidu i rasterećenje
- Nanošenje pritiska u inkrementima od 25 %, dok se mjerna duljina ne vrati na početnu



ISPITIVANJE MEHANIČKIH KARAKTERISTIKA ZIDA KORIŠTENJEM PLOSNATIH PLOČA

- **ODREĐIVANJE POSTOJEĆEG TLAČNOG NAPREZANJA U ZIDU
prema ASTM C1196**

$$f_m = K_m K_a p$$

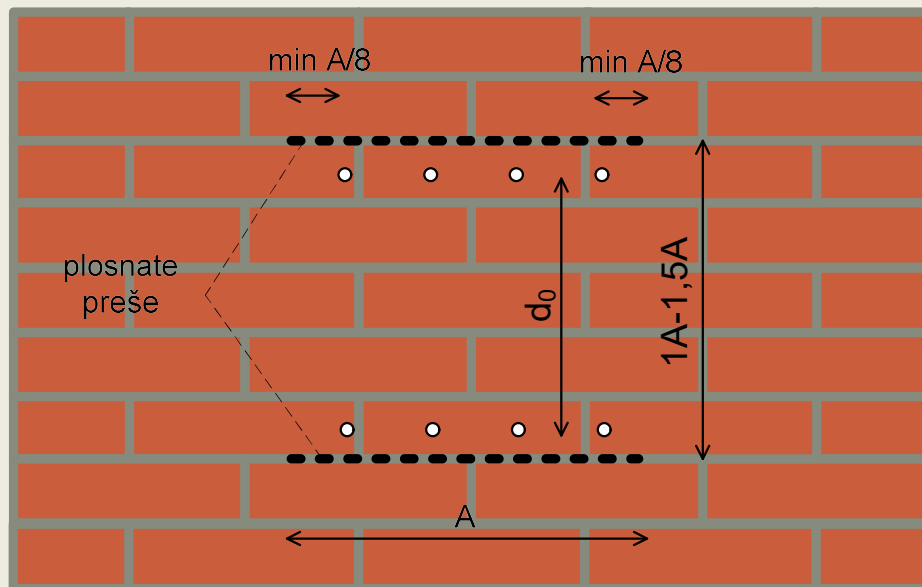
- K_m - bezdimenzionalni koeficijent dobijen kalibracijom,
- K_a - bezdimenzionalni koeficijent, omjer površine plosnate preše i površine otvora
- p - pritisak u plosnatoj preši potreban da se mjerna duljina vrati na početnu

Očekivano odstupanje metode može biti do 20 %!!

ISPITIVANJE MEHANIČKIH KARAKTERISTIKA ZIDA KORIŠTENJEM PLOSNATIH PLOČA

ODREĐIVANJE MODULA ELASTIČNOSTI

- Dvije plosnate preše se umeću u paralelne horizontalne otvore u zidu na razmaku od najmanje 5 opeka,
- između plosnatih preša postavljaju se uređaji za mjerenje relativnih deformacija (komparatori ili LVDT) te se istovremeno mjeri naprezanje i relativna deformacija.



Tangentni modul elastičnosti

$$E_t = df_m / de_m$$

df_m - inkrement naprezanja

de_m - inkrement relativne deformacije

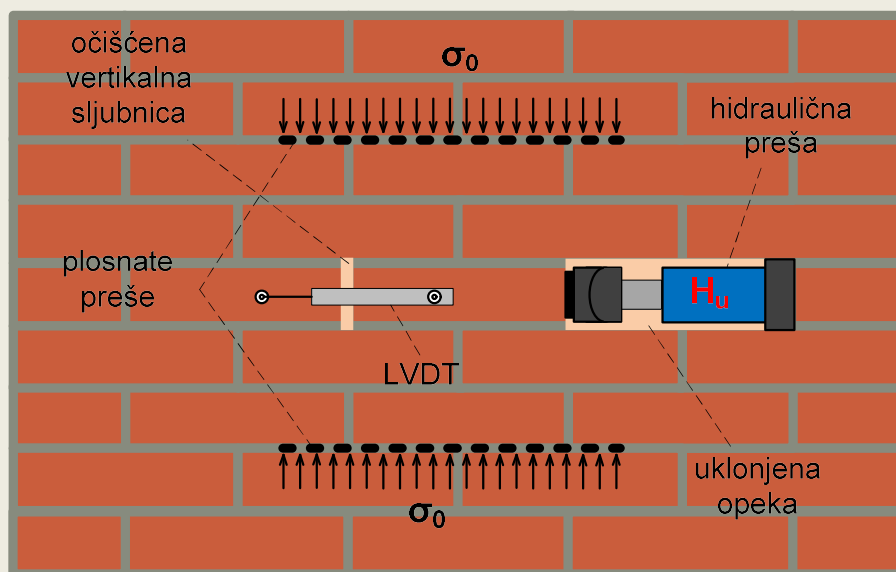
Sekantni modul elastičnosti

$$E_s = f_m / e_m$$

ISPITIVANJE MEHANIČKIH KARAKTERISTIKA ZIDA KORIŠTENJEM PLOSNATIH PLOČA

ODREĐIVANJE POSMIČNE ČVRSTOĆE ZIDA UZ KONTROLU VERTIKALNOG NAPREZANJA

- Prednost metode je što se pri posmičnom ispitivanju zida kontrolira vertikalno naprezanje što omogućuje određivanje posmične čvrstoće bez vertikalnog pritiska (f_{vm0}).
- Posmična čvrstoća zida (f_{vd}) ovisi o posmičnoj čvrstoći bez vertikalnog pritiska (f_{vm0}) i umnošku tlačnog naprezanja (σ_0) i koeficijenta trenja (μ).



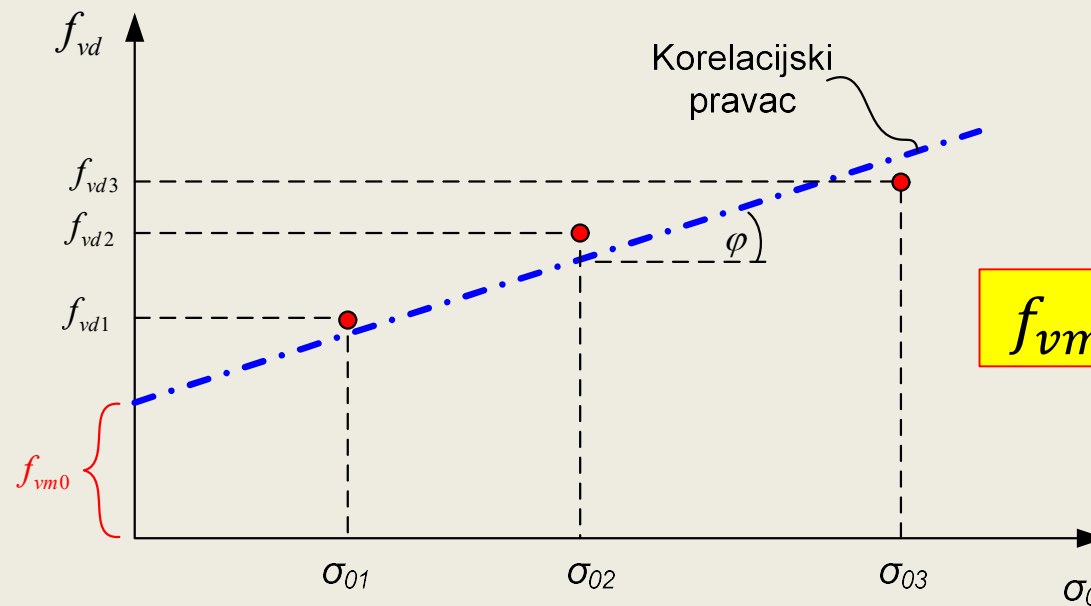
$$f_{vd} = f_{vm0} + \mu \cdot \sigma_0$$

ISPITIVANJE MEHANIČKIH KARAKTERISTIKA ŽIDA KORIŠTENJEM PLOSNATIH PLOČA

ODREĐIVANJE POSMIČNE ČVRSTOĆE ŽIDA

UZ KONTROLU VERTIKALNOG NAPREZANJA

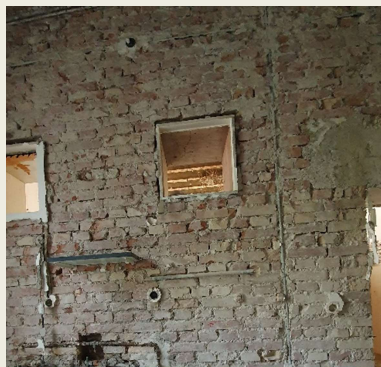
- Postupak se provodi za najmanje tri nivoa vertikalnog tlačnog naprezanja,
- Određuju se posmične čvrstoće (f_{vd} , f_{vd} , f_{vd}) pri kontroliranim razinama vertikalnog tlačnog naprezanja (σ_{01} , σ_{02} , σ_{03}),
- Sada možemo odrediti korelacijski pravac koji sa horizontalnom osi zatvara kut (φ), a tangens tog kuta predstavlja koeficijent trenja.



$$f_{vm0i} = f_{vdi} - \operatorname{tg}\varphi \cdot \sigma_{0i}$$

ISPITIVANJE MEHANIČKIH KARAKTERISTIKA ZIDA KORIŠTENJEM PLOSNATIH PLOČA

- **Izvori nesigurnosti kod metoda s plosnatim pločama**
- lokalne nepravilnosti i nehomogenosti zida, pronalaženje adekvatnog mjesta za ispitivanje (puno otvora, instalacija, zazidanih otvora, dimnjaka),
- otvori za umetanje plosnatih preša se režu ekscentričnim pilama uz korištenje vode kojom se zasiti mort,
- nepravilnosti u otvorima za plosnate preše (nejednolika debljina otvora koja značajno utječe na raspodjelu naprezanja koje se nanosi plosnatim prešama),
- kod određivanja posmične čvrstoće uz kontrolu tlačnog naprezanja zbog uklanjanja susjedne opeke tlačno naprezanje koje djeluje na ispitivanu opeku je veće od onog koje se nanosi plosnatim prešama i potrebno ga je korigirati (faktor korekcije ovisi o konfiguraciji ispitivanja, može biti čak 1,7).



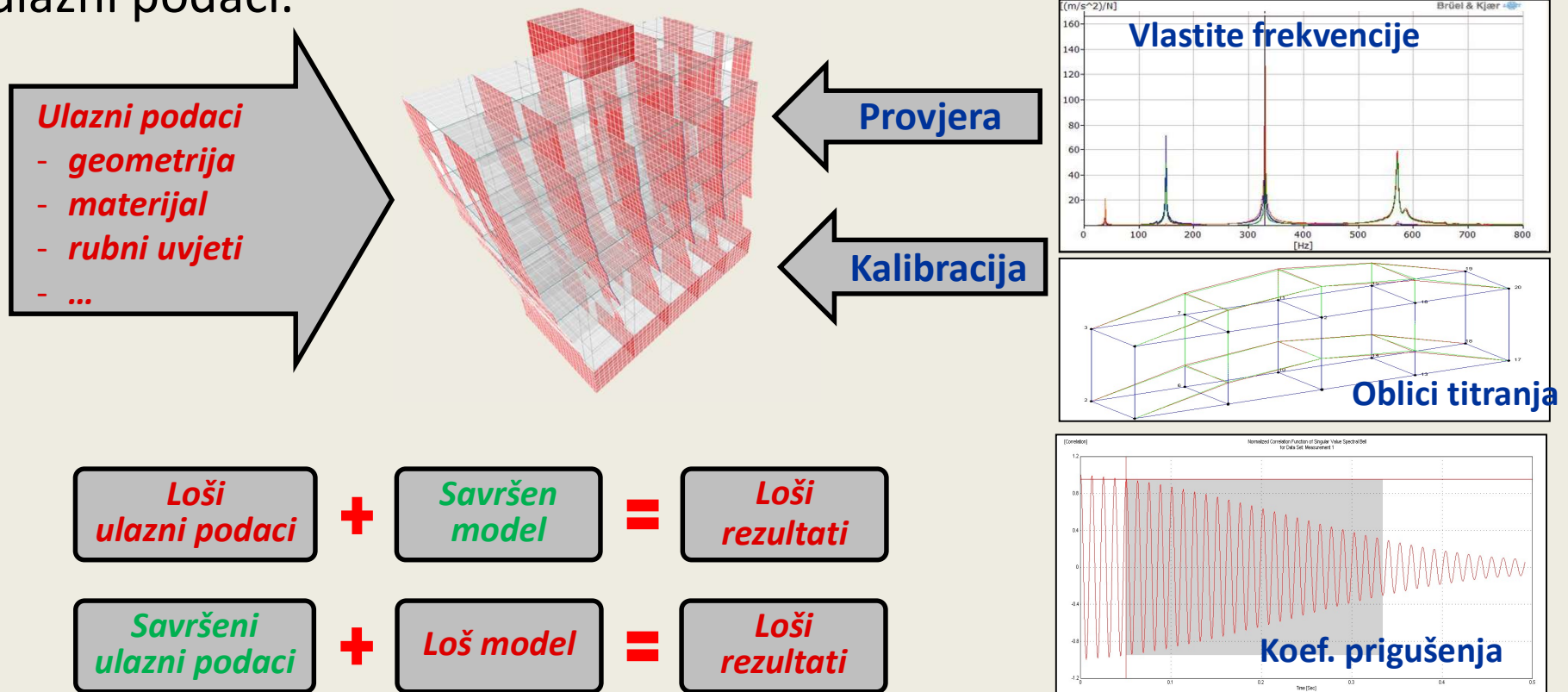
ISPITIVANJE MEHANIČKIH KARAKTERISTIKA ZIDA KORIŠTENJEM PLOSNATIH PLOČA

- **Prednosti metoda s plosnatim prešama**
 - vrijedni podaci o tlačnim naprezanjima, koeficijentima trenja i naponsko deformacijskim odnosima zida,
 - prije intenziviranja radova na obnovi potresom oštećenih građevina bilo bi vrlo važno napraviti određeni broj ovakvih ispitivanja na karakterističnim zgradama,
 - uložena sredstva vratila bi se kroz uštede na troškovima obnove, jer bi projektanti u proračun ulazili s realnim vrijednostima posmične čvrstoće bez vertikalnog opterećenja, a ovakva složena i skupa ispitivanja se nebi provodila na svakoj zgradi.

EKSPERIMENTALNA MODALNA ANALIZA

Postupak određivanja dinamičkih parametara konstrukcije

Pouzdanost numeričkih analiza ovisi o načinu modeliranja nosivih elemenata i primijenjenoj metodi proračuna, ali presudnu ulogu imaju ulazni podaci.

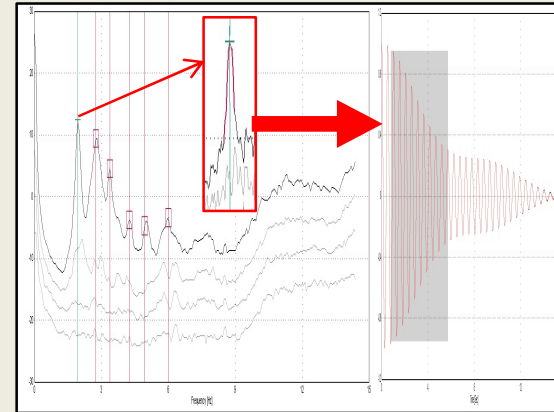


EKSPERIMENTALNA MODALNA ANALIZA

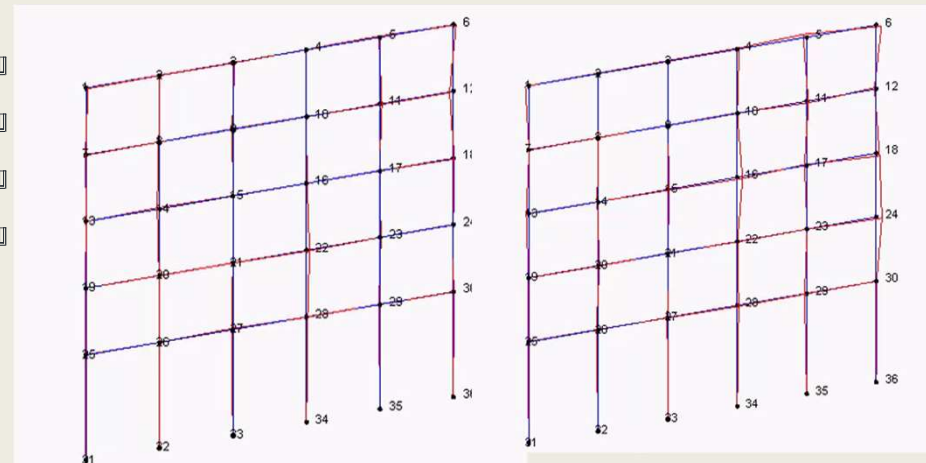
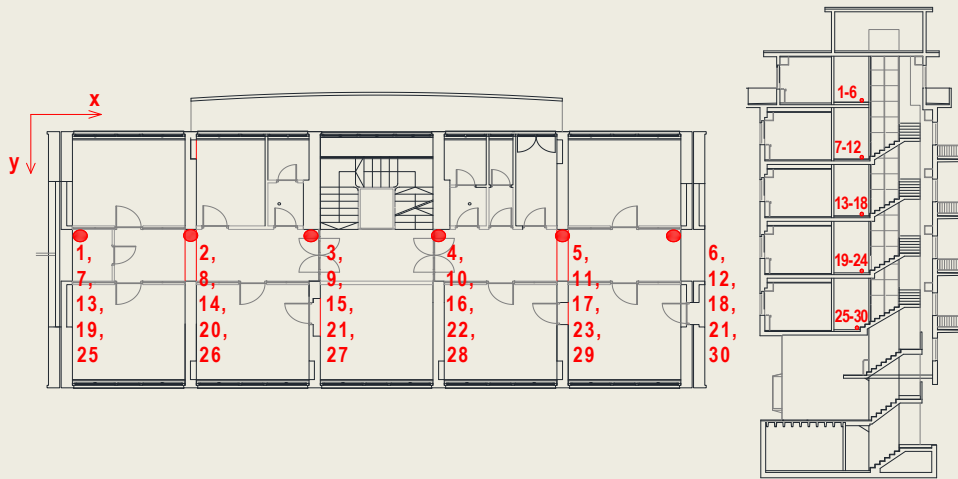
- Jedan od načina da se provjeri pouzdanost numeričkog modela je svakako usporedba numeričkih vrijednosti dinamičkih parametara s odgovarajućim eksperimentalno određenim vrijednostima, a eksperimentalno određeni dinamički parametri mogu se iskoristiti i za kalibraciju numeričkog modela.
- Dinamički parametri konstrukcije (vlastite frekvencije, modalni oblici i koeficijenti prigušenja) funkcije su krutosti, mase i prigušenja.
- Ukoliko postoje podaci o eksperimentalno određenim dinamičkim parametrima prije potresa, ispitivanje se može ponoviti i usporedbom utvrditi da li je došlo do gubitka krutosti.
- Isto tako ako se eksperimentalno određivanje dinamičkih parametara provede na oštećenoj zgradi, ponovljenim ispitivanjem nakon sanacije može se procijeniti učinkovitost radova na sanaciji.

EKSPERIMENTALNA MODALNA ANALIZA

Zgrada područnog ureda gradske uprave,
Ulica Grada Vukovara.



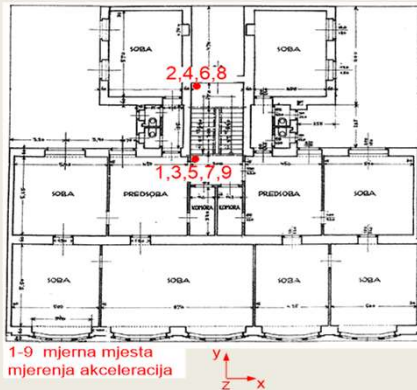
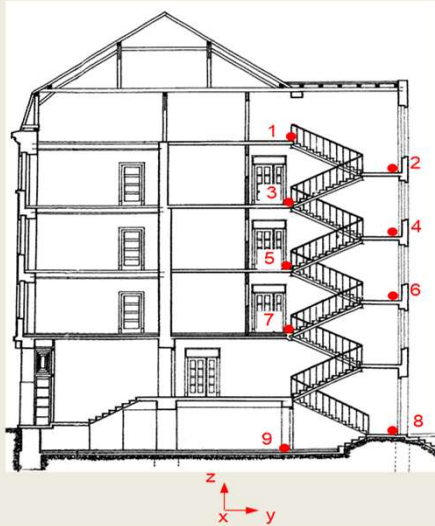
Vlastita frekvencija (Hz)	Koeficijent prigušenja (%)
<u>1,96 ± 0,03</u>	<u>2,37 ± 1,91</u>
<u>2,77 ± 0,05</u>	<u>2,47 ± 0,75</u>
3,32 ± 0,02	2,17 ± 2,07
4,24 ± 0,04	0,79 ± 0,54
4,97 ± 0,08	0,72 ± 0,38
5,99 ± 0,04	0,30 ± 0,12



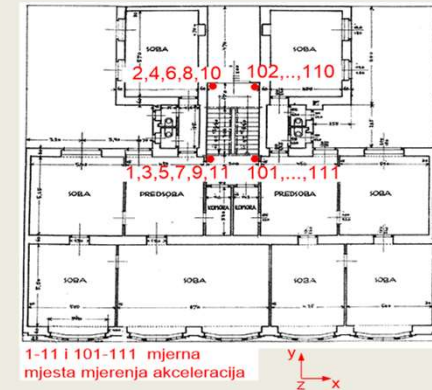
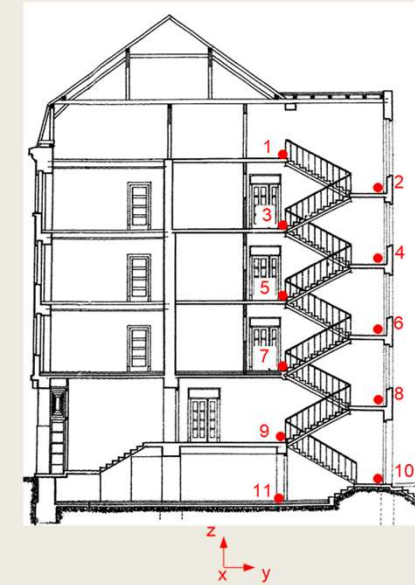
- 2015. godine
- 30 mjernih mjesta, 60 mjerenih stupnjeva slobode,
- dva referentna akcelerometra, dva se sele

EKSPERIMENTALNA MODALNA ANALIZA

Zgrada u Palmotićevoj 64a



Vlastita frekvencija (Hz)		Koeficijent prigušenja (%)	
10/2014	9/2020	10/2014	9/2020
2,55	1,98	1,46	2,87
3,10	2,63	2,84	2,76

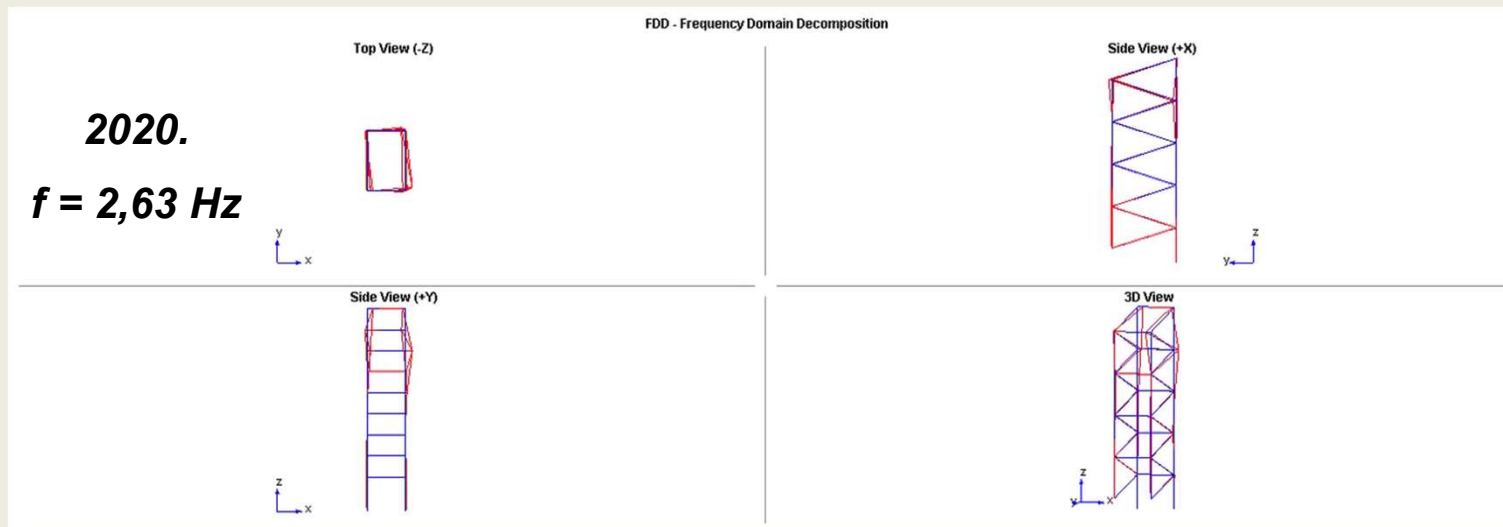
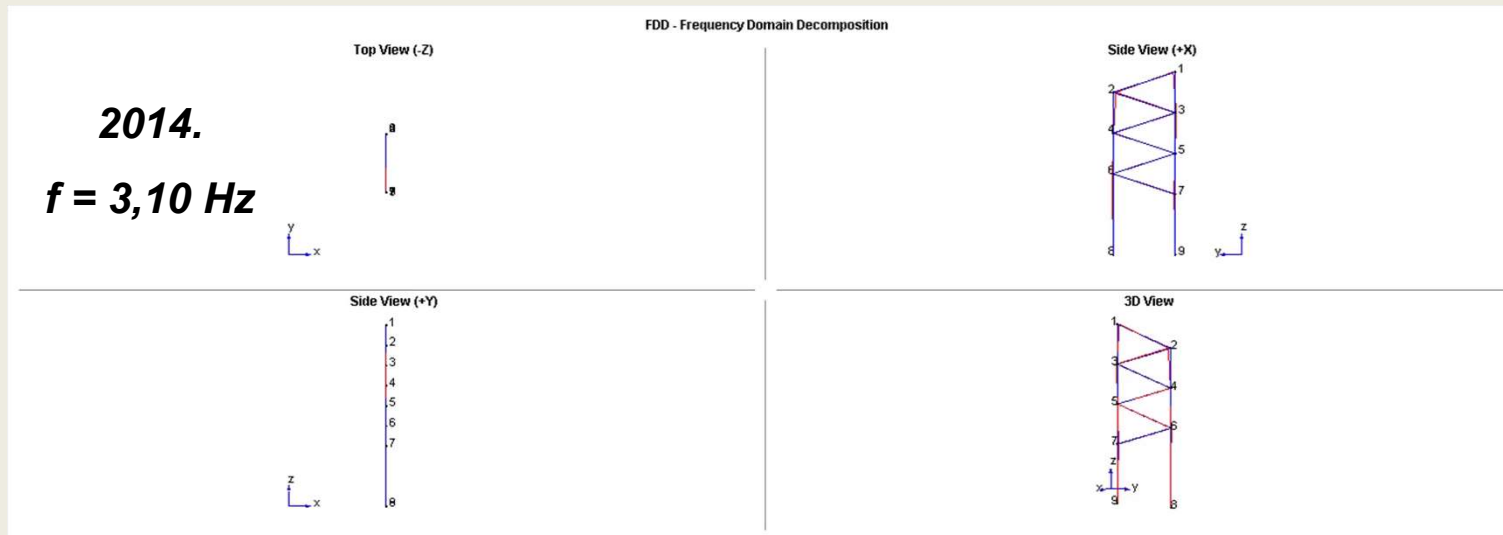


Listopad 2014.,
broj mjerenih stupnjeva slobode: 18

Rujan 2020.,
broj mjerenih stupnjeva slobode: 44

EKSPERIMENTALNA MODALNA ANALIZA

Zgrada u Palmotićevoj 64a



ZAKLJUČAK

- Rezultati istražnih radova omogućuju projektantima korištenje realnih ulaznih parametara materijala u proračunu.
- Rezultati dobiveni jednostavnim posmičnim ispitivanjem predstavljaju vrlo korisnu informaciju projektantu konstrukcije o stanju zida.
- Metode ispitivanja plosnatim prešama omogućuju određivanje vrijednih podataka o tlačnim naprezanjima, koeficijentima trenja i naponsko deformacijskim odnosima zida.
- Ulaganje u sustavno provođenje takvih ispitivanja na karakterističnim zgradama omogućilo bi uspostavu baze podataka koja bi se mogla koristiti i za druge slične zgrade uz provođenje istražnih radova u manjem obimu čime bi se u konačnici ostvarile značajne uštede.
- Eksperimentalno određeni dinamički parametri mogu se iskoristiti za provjeru pouzdanosti numeričkog modela i za kalibraciju numeričkog modela, a usporedbom rezultata prije i poslije potresa ili nakon sanacije može se utvrditi promjena krutosti.

Dosadašnja iskustva u provođenju istražnih radova na zidanim građevinama

Hvala na pažnji

krolo@grad.hr