

# Određivanje mehaničkih svojstava zida prilikom istražnih radova

---

Jancetić, Mario

Master's thesis / Diplomski rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University North / Sveučilište Sjever**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:603725>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-07**

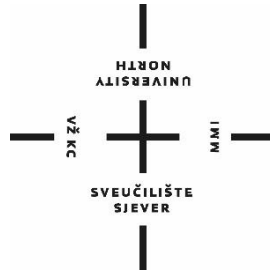


Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)



**SVEUČILIŠTE SJEVER  
SVEUČILIŠNI CENTAR VARAŽDIN**



DIPLOMSKI RAD br. 88/GRD/2023

**ODREĐIVANJE MEHANIČKIH SVOJSTAVA ZIDA  
PRILIKOM ISTRAŽNIH RADOVA**

Mario Jancetić

Varaždin, rujan 2023.

**SVEUČILIŠTE SJEVER**  
**SVEUČILIŠNI CENTAR VARAŽDIN**  
**Studij Graditeljstvo**



DIPLOMSKI RAD br. 88/GRD/2023

**ODREĐIVANJE MEHANIČKIH SVOJSTAVA ZIĐA  
PRILIKOM ISTRAŽNIH RADOVA**

Student:  
Mario Jancetić, 0160138611

Mentor:  
doc.dr.sc. Matija Orešković

Varaždin, rujan 2023.

# Prijava diplomskog rada

## Definiranje teme diplomskog rada i povjerenstva

ODJEL Odjel za graditeljstvo

STUDIJ diplomski sveučilišni studij Graditeljstvo

PRISTUPNIK Mario Jancetić

MATIČNI BROJ 0160138611

DATUM 28.08.2023.

KOLEGIJ Tehnička dijagnoza

NASLOV RADA Određivanje mehaničkih svojstava zida prilikom istražnih radova

NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU Determining the mechanical properties of masonry walls during research works

MENTOR Matija OREŠKOVIĆ

ZVANJE Docent

ČLANOVI POVJERENSTVA

1. prof.dr.sc. Božo SOLDO
2. doc.dr.sc. Matija OREŠKOVIĆ
3. doc.dr.sc. Aleksej ANISKIN
4. doc.dr.sc. Danko MARKOVINOVIĆ
- 5.

## Zadatak diplomskog rada

BROJ 88/GRD/2023

OPIS

Kako bi se napravili što kvalitetniji projekti sanacija za takve građevine potrebno je provesti velik broj prethodnih ispitivanja kojima se dobivaju kvalitetni ulazni podaci za statiku i projektiranje. U ovom će se radu prikazati jedan dio metoda kojima se mogu dobiti gotovo svi važni podaci, kao što su mehanička svojstva mortova i pune opeke kojima su takvi objekti uglavnom i građeni. Normiranim in situ eksperimentalnim metodama mogu se odrediti svojstva kao što su: modul elastičnosti zida,  $\sigma$ - $\epsilon$  dijagram, tlačna čvrstoća, posmična i referentna vlačna čvrstoća te čvrstoća na savijanje.

Rad se sastoji od:

- Uvod
- Ziđe i mortovi
- Svojstva nearmiranog zida
- Metode određivanja mehaničkih svojstava zida
- Terensko ispitivanje i prikaz rezultata
- Zaključak

Rad treba sadržavati vlastite priloge, detalje, nacрте koji trebaju biti tekstualno potkrijepljeni. Potrebno se pridržavati svih smjernica naučenim u kolegiju „Metodologija znanstvenog istraživanja“

ZADATAK URUČEN

26.09.2023.

POTPIS MENTORA

SVEUČILIŠTE  
SJEVER

KOPRIVNICA  
SVEUČILIŠTE SJEVER

Sveučilište  
Sjever

VŽKC



MMI

SVEUČILIŠTE  
SJEVERIZJAVA O AUTORSTVU  
I  
SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU

Završni/diplomski rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, Mario Jancetić pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor diplomskog rada pod naslovom "ODREĐIVANJE MEHANIČKIH SVOJSTAVA ZIĐA PRILIKOM ISTRAŽNIH RADOVA" te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:

Mario Jancetić

  
(vlastoručni potpis)

Sukladno Zakonu o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju završne/diplomske radove sveučilišta su dužna trajno objaviti na javnoj internetskoj bazi sveučilišne knjižnice u sastavu sveučilišta te kopirati u javnu internetsku bazu završnih/diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice. Završni radovi istovrsnih umjetničkih studija koji se realiziraju kroz umjetnička ostvarenja objavljuju se na odgovarajući način.

Ja, Mario Jancetić neopozivo izjavljujem da sam suglasan s javnom objavom diplomskog rada pod naslovom "ODREĐIVANJE MEHANIČKIH SVOJSTAVA ZIĐA PRILIKOM ISTRAŽNIH RADOVA" čiji sam autor.

Student/ica:

Mario Jancetić

  
(vlastoručni potpis)

# Sažetak

1. UVOD.....	1
2. ZIDE I MORTOVI .....	2
2.1. Općenito o zidu.....	2
2.2. Svojstva zidanih elemenata .....	7
2.3. Mortovi.....	8
3. SVOJSTVA NEARMIRANOG ZIDA .....	13
3.1. Karakteristična tlačna čvrstoća zida, $f_k$ .....	13
3.1.1 <i>Eksperimentalno određivanje tlačne čvrstoće zida</i> .....	13
3.2. Posmična čvrstoća zida .....	16
3.3. Čvrstoća pri savijanju .....	18
3.4. Referentna vlačna čvrstoća .....	20
3.5. Deformacijska svojstva zida.....	21
4. METODE ODREĐIVANJA MEHANIČKIH SVOJSTAVA ZIDA .....	23
4.1. Ispitivanje posmične čvrstoće zida in situ.....	23
4.1.1. <i>Oprema potrebna za ispitivanje:</i> .....	24
4.1.2. <i>Postupak</i> .....	24
4.1.3. <i>Proračun</i> .....	28
4.2. <i>Ispitivanje tlačne čvrstoće opeke</i> .....	29
4.3. Metode ispitivanja mehaničkih karakteristika zida primjenom plosnatih preša .....	30
4.3.1. <i>Oprema za ispitivanje</i> .....	30
4.3.2. <i>Kalibracija plosnate preše</i> .....	34
4.4. <b>Određivanje postojećeg tlačnog naprezanja u zidu</b> .....	36
4.4.1. <i>Postupak</i> .....	37
4.5. <b>Ispitivanje posmične čvrstoće zida in situ uz kontrolu vertikalnog naprezanja plosnatim prešama</b> .....	40
4.5.1. <i>Oprema</i> .....	40
4.5.2. <i>Postupak</i> .....	41
4.5.3. <i>Proračun</i> .....	43
4.6. <b>Određivanje deformabilnosti zida</b> .....	44
4.6.1. <i>Oprema</i> .....	44
4.6.2. <i>Postupak</i> .....	45
4.6.3. <i>Proračun</i> .....	46

<b>5. TERENSKO ISPITIVANJE I PRIKAZ REZULTATA</b> .....	48
<b>5.1. Istražni radovi na stambenoj zgradi u ulici Vladimira Nazora 20, Zagreb</b> .....	48
5.1.1. <i>Ispitivanje tlačnog naprezanja zida in-situ</i> .....	51
5.1.2. <i>Ispitivanje deformabilnosti zida</i> .....	54
5.1.3. <i>Ispitivanje in-situ posmične čvrstoće morta u sljubnici zida</i> .....	61
5.1.4. <i>Tlačna čvrstoća opeke</i> .....	68
5.1.5. <i>Pregled ispitivanja zida</i> .....	70
<b>5.2. Istražni radovi na stambenoj zgradi u Varšavskoj ulici 14, Zagreb</b> .....	71
5.2.1. <i>Ispitivanje deformabilnosti zida</i> .....	74
5.2.2. <i>Ispitivanje in-situ posmične čvrstoće morta u sljubnici zida</i> .....	82
5.2.3. <i>Ispitivanje tlačne čvrstoće opeke</i> .....	90
5.2.4. <i>Pregled ispitivanja zida</i> .....	93
<b>5.3. Istražni radovi na stambenoj zgradi u Novakovoj ulici 7, Zagreb</b> .....	94
5.3.1. <i>Ispitivanje in-situ tlačnog naprezanja u zidu</i> .....	97
5.3.2. <i>Ispitivanje deformabilnosti zida</i> .....	102
5.3.3. <i>Ispitivanje in-situ posmične čvrstoće morta u sljubnici zida</i> .....	105
5.3.4. <i>Ispitivanje tlačne čvrstoće opeke</i> .....	107
5.3.5. <i>Pregled ispitivanja zida</i> .....	109
<b>5.4. ANALIZA I USPOREDBA REZULTATA</b> .....	110
<b>6. ZAKLJUČAK</b> .....	114
<b>7. LITERATURA</b> .....	115
<b>8. POPIS SLIKA</b> .....	116
<b>9. POPIS TABLICA</b> .....	119

## SAŽETAK

U ovome su radu prikazane metode koje se koriste prilikom ispitivanja mehaničkih svojstava ziđa. Mehanička svojstva ziđa dobivaju se raznim ispitivanjima koja se provode sukladno normama, a to su: tlačna čvrstoća, posmična čvrstoća, čvrstoća pri savijaju, referentna vlačna čvrstoća i odnos naprezanje- relativna deformacija te modul elastičnosti. Podaci dobiveni ispitivanjem mehaničkih svojstava neophodni su prilikom izrade projekata sanacije i obnove građevina. U ovome će se radu obuhvatiti neka od najvažnijih ispitivanja kojima je moguće dobiti gotovo sve potrebne podatke za izradu spomenutih projekata. Ispitivanja su provedena na 3 lokacije u Zagrebu: ulica Vladimira Nazora 20, Varšavska ulica 14 i Novakova ulica 7.

Ključne riječi: mehanička svojstva ziđa, posmična čvrstoća, tlačna čvrstoća, naprezanje, deformacija, ispitivanje



## **SUMMARY**

This paper presents methods used when testing mechanical properties of masonry. Mechanical properties of masonry are obtained by various tests that are carried out in accordance with standards: compressive strength, shear strength, bending strength, reference tensile strength and the relationship between stress and relative deformation, and modulus of elasticity. The data obtained by testing the mechanical properties are necessary when creating projects for rehabilitation and renovation of buildings. This paper will cover some of the most important tests that can be used to obtain almost all the necessary data for the creation of the mentioned projects. Tests were conducted at 3 locations in Zagreb: Vladimira Nazora Street 20, Varšavska Street 14 and Novakova Street 7.

Key words: mechanical properties of masonry, shear strength, compressive strength, stress, deformation, testing

## POPIS KORIŠTENIH KRATICA

$f_b$	normalizirana tlačna čvrstoća
mm	milimetar
cm	centimetar
$N/mm^2$	njutn po kvadratnom milimetru
kN	kilonjutn
$f_k$	tlačna čvrstoća
$f_v$	posmična čvrstoća
$f_x$	čvrstoća pri savijanju
$f_t$	referentna vlačna čvrstoća
$\sigma$	naprezanje
$\varepsilon$	relativna deformacija
E	modul elastičnosti
F	sila
p	tlak
A	površina
MPa	megapaskal



## 1. UVOD

U današnje se vrijeme radi sve veći broj sanacija, adaptacija i rekonstrukcija starih građevina izgrađenih tijekom 19. i 20. stoljeća, uglavnom zbog njihove starosti i neadekvatnog održavanja. Kao razlozi se također javljaju i razne prirodne nepogode kao što su potresi, a što se tiče ljudskog učinka, razlog su uglavnom prenamjene prostora i prerađivanje tlocrta. Isto tako, velik broj tih građevina više ne zadovoljava minimalne kriterije mehaničke otpornosti i stabilnosti, te protupotresnog djelovanja. Iz tog je razloga neophodno dobro proučiti građevinu i otkriti sve faktore koji na to utječu. Kako bi se napravili što kvalitetniji projekti sanacija za takve građevine potrebno je provesti velik broj prethodnih ispitivanja kojima se dobivaju kvalitetni ulazni podaci za statiku i projektiranje. Takvi se projekti u velikom broju rade za važne povijesne građevine i spomenike kulture tako da je naglasak na što manjem zadiranju u građevinu prilikom ispitivanja, odnosno oštećenja moraju biti svedena na minimum. U ovom će se radu prikazati jedan dio metoda kojima se mogu dobiti gotovo svi važni podaci, kao što su mehanička svojstva mortova i pune opeke kojima su takvi objekti uglavnom i građeni. Normiranim in situ eksperimentalnim metodama mogu se odrediti svojstva kao što su: modul elastičnosti zida,  $\sigma$ - $\varepsilon$  dijagram, tlačna čvrstoća, posmična i referentna vlačna čvrstoća te čvrstoća na savijanje.

## **2. ZIDE I MORTOVI**

Zidane konstrukcije spadaju među najbrojnije u povijesti graditeljstva. Njihovu najveću prednost predstavlja jednostavna i brza gradnja koja se najčešće obavlja koristeći predgotovljene zidne elemente vezane mortom. Zidni elementi uglavnom se rade od pečene gline, raznih vrsta betona, kamena i slično te se iz tog razloga njihova geometrijska i fizikalna svojstva razlikuju. Horizontalne i vertikalne sljubnice između elemenata gotovo su uvijek potpuno ili barem djelomično ispunjene mortom. U gradnji se koriste različite vrste mortova, a najčešće su to vapneni, vapneno-cementni i cementni mort.

### **2.1. Općenito o zidu**

Zidane konstrukcije izvedene su od zidnih elemenata, kao što su opeka ili blokovi, povezanih mortom (ili drugim sličnim materijalom). One mogu biti zidane na gradilištu ili dolaze kao predgotovljeni elementi koji se na gradilištu spajaju u konstrukcijsku cjelinu.

Zidana se konstrukcija prema načinu izvođenja može podijeliti na [1]:

- a) Omeđeno zide,
- b) Nearmirano zide,
- c) Armirano zide,
- d) Prednapeto zide.

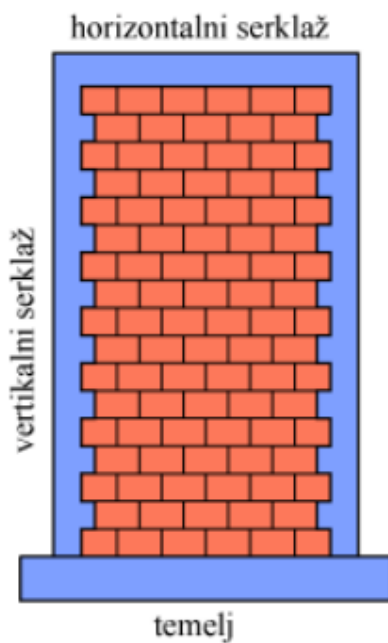
Zide se definira kao sklop zidnih elemenata koji su položeni na prethodno određeni način i povezani mortom.

Omeđeno zide definira se kao nearmirano zide izvedeno s vertikalnim i horizontalnim serklažima, te temeljima s kojima čini krutu vezu [1]. Iako su serklaži napravljeni od armiranog betona, oni se ne ponašaju kao okvirna konstrukcija. Omeđeno zide shematski je prikazano na slici 1.

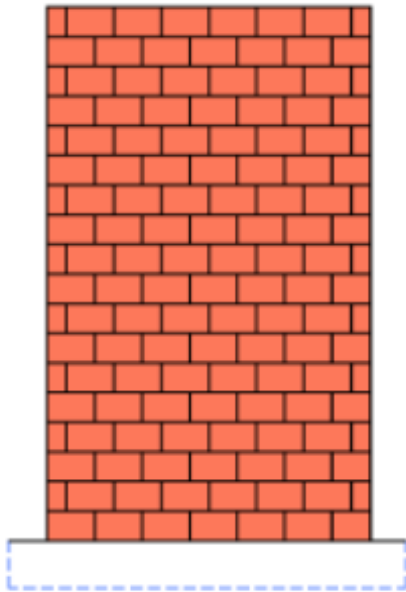
Nearmirano zide (slika 2) predstavlja kompozit, sastavljen je od zidnih elemenata i morta [1].

Armirano zide (slika 3) definira se kao zide u kojem su u mort ili beton postvaljene čelične šipke ili mreža tako da svi materijali zajedno sudjeluju u nosivosti [1].

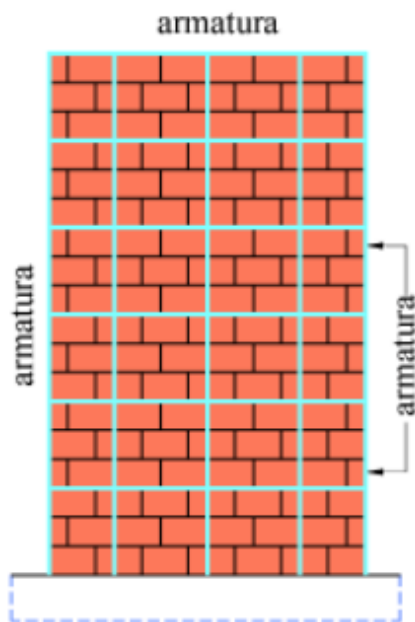
Prednapeto zide definira se kao zide u kojem su unutarnja tlačna naprezanja namjerno izazvana pomoću napete armature [1].



*Slika 1. Omeđeno zide [2]*



*Slika 2. Nearmirano zide [2]*



*Slika 3. Armirano zide [2]*

Zidni elementi proizvode se u tvornicama, a prema materijalu dijele se na [1]:

- A) Opečne zidne elemente,
- B) Betonske zidne elemente,
- C) Vapnenosiliaktne zidne elemente,
- D) Zidne elemente od umjetnog kamena,
- E) Zidne elemente od porastog betona,
- F) Zidne elemente od prirodnog kamena, razreda proizvodnje I i II.

Zidni se elementi prema kontroli proizvodnje dijele na kategorije I i II. Za elemente I kategorije proizvođač osigurava stalnu kontrolu kakvoće. Takvim je elementima u pošiljci definirana tlačna čvrstoća s 5% fraktila. U elemente II kategorije spadaju oni elementi koji imaju srednju vrijednost tlačne čvrstoće jednaku deklariranoj vrijednosti. U ovu kategoriju ubrajaju se i zidni elementi od prirodnog kamena [3].

Zidni se elementi mogu dijeliti i na temelju postotka šupljina u volumenu. U tom slučaju, postoji grupa 1, 2a, 2b i 3 (tablica 1). Debljina vanjskih stijenski zidnih elemenata u ne bi trebala biti manja od 15 milimetara.



Tablica 1. Zahtjevi koje grupe zidnih elemenata moraju ispuniti [3]

	<b>Grupa 1</b>	<b>Grupa 2a</b>	<b>Grupa 2b</b>	<b>Grupa 3</b>
<b>Volumen šupljina (% od bruto volumena)<sup>1</sup></b>	$\leq 25$	25-45 za zidne elemente od pečene gline 25-50 za betonske zidne elemente	45-55 za zidne elemente od pečene gline 50-60 za betonske zidne elemente <sup>2</sup>	$\leq 70$
<b>Volumen bilo koje šupljine (% od bruto volumena)</b>	$\leq 12.5$	$\leq 12.5$ za zidne elemente od pečene gline I $\leq 25$ za betonske zidne elemente	$\leq 12.5$ za zidne elemente od pečene gline $\leq 25$ za betonske zidne elemente	Ograničen površinom (vidjeti dolje)
<b>Površina bilo koje šupljine</b>	Ograničen volumenom (vidjeti gore)	Ograničen volumenom (vidjeti gore)	Ograničen volumenom (vidjeti gore)	$\leq 28 \text{ cm}^2$ osim za zidne elemente s jednom šupljinom kad je šupljina $\leq 180 \text{ cm}^2$
<b>Kombinirana debljina (% od ukupne širine)<sup>3</sup></b>	$\geq 37.5$	$\geq 30$	$\geq 20$	Nema posebnih zahtjeva

1. Šupljine ili utori vertikalno su oblikovani kroz zidne elemente
2. Ukoliko iskustvo i eksperimenti pokazuju da sigurnost zida nije smanjena ispod prihvatljive razine, može se volumen šupljina povećati i iznad 55% za glinene zidne elemente, te iznad 60 za betonske
3. Kombinirana debljina je ona debljina u koju se računaju debljine hrkata i stijenki, mjereno horizontalno preko zidnog elementa pod pravim kutom na lice zida.

## **2.2. Svojstva zidanih elemenata**

Trajnost i tlačna čvrstoća predstavljaju osnovna svojstva zidnih elemenata. Tlačna čvrstoća zidnih elemenata koja se koristi prilikom proračuna predstavlja normaliziranu tlačnu čvrstoću  $f_B$ . Normalizirana tlačna čvrstoća je zapravo tlačna čvrstoća zidnog elementa prevedena na tlačnu čvrstoću na zraku sušenog zidnog elementa čija su visina i širina jednake 100 mm [3]. Duljina nije definirana normom. Normalizirana čvrstoća dobiva se preko srednje tlačne čvrstoće tako da se njen iznos pomnoži sa 1.1 (elementi od pečene gline), odnosno sa 1.2 (ostali elementi). Dobivenu vrijednost potrebno je pomnožiti s faktorom oblika zidnog elementa,  $\delta$ , koji je ovisan o visini i širini zidnog elementa (tablica 2). Srednja tlačna čvrstoća dobiva se eksperimentalno, na način da se ispituju uzorci koji su prethodno bili uronjeni u vodu 24 sata [3].

Tablica 2. Vrijednosti faktora oblika  $\delta$  [3]

Visina zidnog elementa u mm	Najmanja horizontalna dimenzija zidnog elementa u mm				
	50	100	150	200	$\geq 250$
<b>50</b>	0.85	0.75	0.70	-	-
<b>65</b>	0.95	0.85	0.75	0.70	0.65
<b>100</b>	1.15	1.00	0.90	0.80	0.75
<b>150</b>	1.30	1.20	1.10	1.00	0.95
<b>200</b>	1.45	1.35	1.25	1.15	1.10
<b><math>\geq 250</math></b>	1.55	1.45	1.35	1.25	1.15

Zidni elementi trebaju imati srednju čvrstoću na tlak okomito na naliježecu površinu barem  $2.5 \text{ N/mm}^2$ . U horizontalnom smjeru ona mora iznositi barem  $2.0 \text{ N/mm}^2$  [3].

### 2.3. Mortovi

Mort se sastoji od mješavine agregata, vode i anorganskog veziva, a u sebi može sadržavati i razne dodatke. U graditeljstvu se najčešće koristi jedna od navedenih vrsta morta: cementni mort, cementno-vapneni mort, vapneni mort, tankoslojni mort (1-3 mm), lakoagregatni mort, unaprijed pripremljeni mort.

Klasifikacija morta radi se na temelju računске tlačne čvrstoće te se označava slovom M nakon kojeg dolazi broj koji predstavlja tlačnu čvrstoću izraženu u  $\text{N/mm}^2$  [3]. U većini propisa diljem svijeta odnos raznih komponenata u mortu određuje se volumenski, međutim omjeri po masi su točniji. Sastavi morta prema europskoj normi prikazani su u tablici 3.

Tablica 3. Volumni sastav morta prema Eurokodu 6 [3]

Vrsta morta	Najmanja tlačna čvrstoća nakon 28 dana [N/mm <sup>2</sup> ]	Približni sastav		
		cement	Hidratizirano vapno	Pijesak
<b>M20</b>	20	Treba odrediti ispitivanjem		
<b>M15</b>	15	1	0- ¼	3
<b>M10</b>	10	1	¼ - ½	4- 4 ¼
<b>M5</b>	5	1	½ - 1 ¼	5-6
<b>M2</b>	2	1	1 ¼ - 2 ½	8-9

Mort se može podijeliti na nekoliko načina, a neki od kojih su [4]:

1. Prema namjeni : mort za zidanje, mort za žbukanje, mort za fugiranje, sanacijski mort (sanacija betonskih površina), mort za podlijevanje strojeva te injekcioni mort.
2. Prema veličini zrna agregata : fini i grubi mort.
3. Prema sastavu : cementni mort, vapneni mort, gipsani mort, produžni mort, lakoagregatni mort te epoksidni mort.
4. Prema mjestu proizvodnje : gradilišni i transportni mort.
5. Prema obradivosti i konzistenciji : tekući mort, prskani mort, plastični mort te zemno-vlažni mort.

Vrste morta su [1]:

1. Mort opće namjene (G) – mort za zide bez nekih posebnih značajki,
2. Tankoslojni mort (T) – tankoslojni mort za zide sa zrnom agregata do maksimalno 2 milimetra,
3. Lagani mort (L) – mort za zide čija je gustoća suhog očvrnulog morta jednaka 1300 kg/m<sup>3</sup>.

Sastavni materijali od kojih se proizvodi mort, ili koji se u njega dodaju prilikom proizvodnje, moraju ispunjavati zahtjeve normi na koje upućuje norma HRN EN 998-2 :2016. Tehnička svojstva očvrstulog i svježeg morta moraju ispunjavati zahtjeve koji su važni za krajnju namjenu, te moraju biti specificirana prema normi HRN EN 998-2 :2016. Ponekad je potrebno u projektu zidane konstrukcije specificirati određena svojstva svježeg i očvrstulog, a sama kontrola morta prije ugradnje te naknadno ispitivanje provode se direktno na gradilištu prema normama :HRN EN 998-2 :2016, HRN CEN/TR 15225 :2006 i HRN EN 13501-1 :2019, te normama na koje te norme upućuju i odredbama TPGK-a.

Tehnička svojstva morta za zidanje trebaju ispunjavati opće i posebne zahtjeve važne za njegovu namjenu. Mort za zidanje dijeli se na:

1. Mort za zide opće namjene G,
2. Tankoslojni mort za zide T sa zrnom agregata ne većim od 2 mm,
3. Lagani mort za zide čija gustoća suhog očvrstulog morta ne smije biti veća od 1300 kg/m<sup>3</sup>.

Klase mortova za zidanje prema čvrstoći prikazane su u tablici 4.

*Tablica 4. Klase mortova za zidanje prema čvrstoći [3]*

<b>Klasa</b>	<b>M1</b>	<b>M2.5</b>	<b>M5</b>	<b>M10</b>	<b>M15</b>	<b>M20</b>	<b>Md</b>
<b>Čvrstoća N/mm<sup>2</sup></b>	1	2.5	5	10	15	20	D

“d” - čvrstoća morta na pritisak nakon 28 dana.

Dodaci u mortu koriste se radi modifikacije svojstava svježeg i očvrsnulog morta, a i radi ekonomičnosti. Dodaci se koriste u malim količinama kako bi svojim fizikalnim ili kemijskim djelovanjem poboljšali svojstva morta. Neki primjeri dodataka koji se koriste su plastifikatori, zguščivači, dodaci za bolje injektiranje, stabilizatori, dodaci za poboljšanje zadržavanje vode, i razni drugi. Vrlo je važno ispitati utjecaj dodataka na mort kako bi se odredilo optimalno doziranje.

Kao veziva koriste se građevno vapno i cement. Veziva utječu na kemijska i fizikalna svojstva morta, stvrdnjavanje morta, čvrstoću morta, te na njegovu reakciju s okolnim materijalima. Građevno vapno obuhvaća vrste građevnog vapna proizvedenog u tvornicama vapna ili otpremljenog iz distribucijskog centra.

Vrste vapna su [1]:

1. Zračno vapno
  - 1.1. Kalcijsko vapno,
    - 1.1.1 živo vapno
    - 1.1.2 hidratizirano vapno,
  - 1.2. Dolomitno vapno
    - 1.2.1. Poluhidratizirano vapno,
    - 1.2.2. Potpuno hidratizirano vapno,
2. Hidraulično vapno
  - 2.1. Prirodno hidraulično vapno,
  - 2.2. Hidraulično vapno.

U projektu zidane konstrukcije potrebno je specificirati tehnička svojstva, a učestalost, broj uzimanja i priprema samih uzoraka provodi se prema normama : HRN EN 459-1 :2015, HRN EN 459-3 :2015 i normama na koje one upućuju.

Cement predstavlja vezivni materijal koji se dobiva usitnjavanjem i pečenjem vapnenca i lapora u fini prah. Njegova se tehnička svojstva i ostali zahtjevi te potvrđivanje

sukladnosti cementa i zidarskog cementa provodi se prema normama HRN EN 197-2 :2020, HRN EN 413-1 :2011 te normama na koje one upućuju. Tehnička svojstva zidarskog cementa trebaju ispunjavati opće i posebne zahtjeve važne za konačnu namjenu u zidanoj konstrukciji te moraju biti specificirana prema normi HRN EN 413 -1 :2011. Priprema i uzimanje uzoraka te ispitivanje svojstava provodi se prema normi HRN EN 413-1 :2011 te normama na koje ona upućuje.

Kao agregat se najčešće koristi pijesak, koji može biti prirodnog ili umjetnog podrijetla, a odgovarajućeg granulometrijskog sastava. Veličina zrna ne bi smjela biti veća od pola debljine ugrađenog morta. Za zidanje se koristi oštar pijesak granulacije 0-4 mm, dok se za fino žbukanje koristi pijesak granulacije 0-2 mm. Kod termoizolacijskih mortova koriste se laki agregati, koji se također koriste i kao zaštita od požara. Za žbuke se također koriste i granule ekspanziranih polimera-polistiren ili poliuretan.

Za mortove se može koristiti voda minimalne pH vrijednosti od 4.5, a temperatura maksimalno 80 stupnjeva. Voda za piće može se koristiti prilikom pripreme morta bez prethodnog ispitivanja.

### 3. SVOJSTVA NEARMIRANOG ZIDA

Mehanička svojstva zida dobivaju se normiranim ispitivanjem, a to su [3]:

1. Tlačna čvrstoća  $f_k$ ,
2. Posmična čvrstoća  $f_v$ ,
3. Čvrstoća pri savijanju  $f_x$ ,
4. Referentna vlačna čvrstoća  $f_t$ ,
5. Odnos naprezanje – relativna deformacija ( $\sigma$ - $\varepsilon$ ) te modul elastičnosti (E).

#### 3.1. Karakteristična tlačna čvrstoća zida, $f_k$

Karakteristična tlačna čvrstoća zida predstavlja čvrstoću ispod koje se ne očekuje više od 5% rezultata ispitivanja tlačne čvrstoće [3]. Ukoliko se ona ne može odrediti pokusom, potrebno je eksperimentalno odrediti tlačne čvrstoće morta i zidnog elementa. Izrazi koji se nalaze u tekstu predstavljaju empirijske formule potrebne za određivanje karakteristične tlačne čvrstoće zida temeljem tlačnih čvrstoća morta i zidnog elementa.

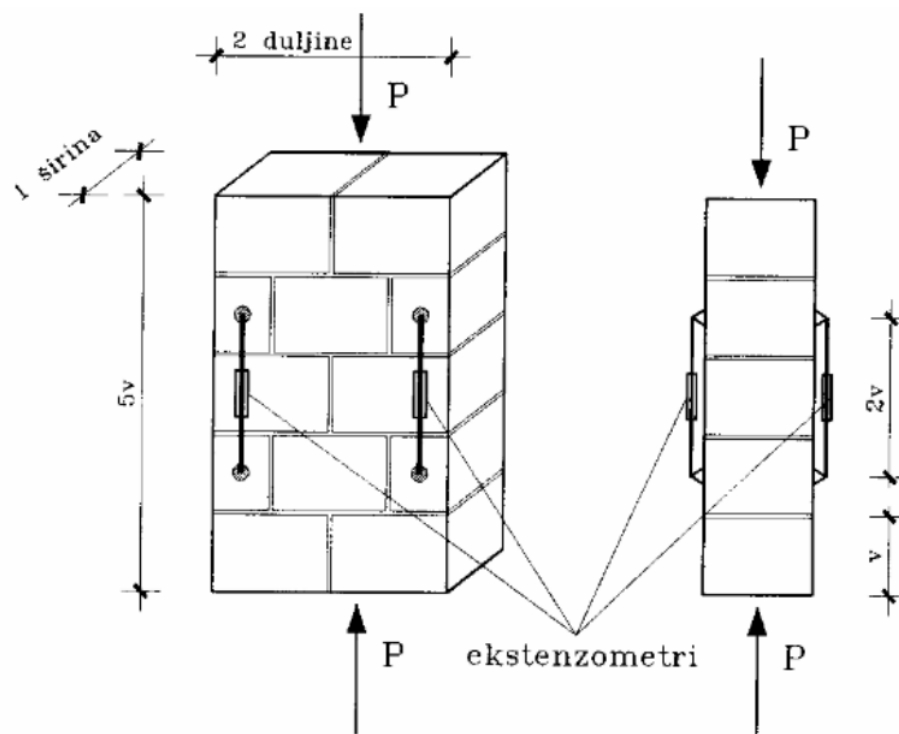
##### 3.1.1 Eksperimentalno određivanje tlačne čvrstoće zida

Karakteristična tlačna čvrstoća zida može se odrediti ili iz granične čvrstoće zida visine kata ispitanog do sloma ili iz tlačne čvrstoće manjih uzoraka zida [3]. Koriste se materijali, zidanje i vez na način kako se koriste i u praksi. Prilikom polaganja zidnog elementa u sloj morta potrebno je zabilježiti količinu vlage. Određuje se normalizirana tlačna čvrstoća ( $f_b$ ) zidnog elementa, te ako se mijenja tijekom vremena, ispitivati će se na dan kada se ispituje i zide. Mort koji se koristi potrebno je pripremiti na način da mu se važu sastojci koji su određeni temeljem volumenskih omjera suhog materijala koji odgovaraju određenoj vrsti morta. Potrebno je ispitati najmanje tri uzorka oblika prikazanog na slici 1. Visina uzorka mora biti minimalno 5 puta veća od širine uzorka. Prilikom ispitivanja uzorci moraju biti u suhim uvjetima. Prije samog ispitivanja se na gornju površinu zida



stavlja mort, a na njega se postavlja čelična ploča s ravnom donjom plohom ili opteretna greda. Plohe na koje se raspodjeljuje opterećenje moraju biti paralelne i pod pravim kutom na vertikalnu os uzorka.

Uzorak se postavlja centrično kako bi došlo do poklapanja njegove uzdužne osi s uzdužnom osi stroja za ispitivanje. Opterećenje je potrebno jednoliko na nositi po površini na vrhu i na dnu zida, te ga je potrebno neprestano povećavati kako bi se nakon 15-30 minuta uspio dosegnuti slom. Na slici 4 prikazan je uzorak zida kojemu se uz tlačnu čvrstoću mjeri i relativna deformacija kako bi se mogao odrediti modul elastičnosti. Deformacije uzorka u vertikalnom smjeru mjere se uz pomoć četiri ekstenzometra, a kao relativna deformacija uzima se srednja vrijednost iz četiri očitavanja. Da bi se mogao odrediti modul elastičnosti,  $E$ , potrebno je izdvojiti vrijednosti izmjerene relativne deformacije,  $\epsilon_{1/3}$ , pri sili jednakoj trećini maksimalne.



Slika 4. Eksperimentalno određivanje tlačne čvrstoće zida [5]

Tlačna čvrstoća se računa za svaki uzorak zida,  $f_1$ ,  $f_2$ ,  $f_3$  i  $f_4$  u  $N/mm^2$  pomoću idućeg izraza:

$$f_i = \frac{P_{i,max}}{A_i} \quad [5]$$

pri čemu je :

$P_{i,max}$  – maksimalna sila i-tog uzorka određena ispitivanjem,

$A_i$  – površina opterećenog poprečnog presjeka i-tog uzorka zida.

Kada se ne raspolože s eksperimentalno dobivenim podacima, karakteristična tlačna čvrstoća zida opće namjene može se odrediti iz izraza :

$$f_k = K \cdot f_b^{0.65} \cdot f_m^{0.25} [N/mm^2] \quad [5]$$

pri čemu je :

$f_b$  – normalizirana tlačna čvrstoća zidnog elementa ( $N/mm^2$ )

$f_m$  – nazivna čvrstoća morta ( $N/mm^2$ )

$K$  – konstanta  $[N/mm^2]^{0.10}$

EkspONENT 0.10 uz  $K$  i eksponenti 0.65 uz  $f_b$  i 0.25 uz  $f_m$  daju zbroj 1.00. Vrijednost koeficijenta  $K$  daje se u uglatoj zagradi i svaka država ga može mijenjati prema svojim uvjetima, a prema Eurokodu 6 mogu se uzeti različite vrijednosti za određene grupe zidnih elemenata.

Navedeni izraz vrijedi samo ukoliko nazivna čvrstoća morta nije veća od  $20 N/mm^2$  niti veća od  $2f_b$ . Izraz ne vrijedi za ziđe od kamenih i porastih zidnih elemenata.

Na tlačnu čvrstoću zida utječe nekoliko čimbenika, a to su naprimjer dimenzije i geometrijski odnosi zidnih elemenata, visina prizmi, tj. zida, ispunjenost vertikalnih i horizontalnih sljubnica mortom, omjer volumena i raspodjela šupljina i vanjskih dimenzija zidnih elemenata, čvrstoća zidnih elemenata, vrsta veza, debljina sljubnice... Čvrstoća zida u tlaku je manja od nominalne tlačne čvrstoće bloka od kojeg je ziđe izvedeno. Čvrstoća zida može prekoračiti slomnu čvrstoću kocke morta.

### 3.2. Posmična čvrstoća zida

Karakteristična posmična čvrstoća nearmiranog zida,  $f_{vk}$ , predstavlja čvrstoću ispod koje se ne očekuje više od 5% rezultata ispitivanja. Dobiva se ispitivanjem uzoraka na način da se izradi 9 uzoraka od kojih se ispituje po 3 do posmičnog sloma pri vertikalnom naprežanju od 0.2, 0.6 i 1 N/mm<sup>2</sup>. Duljina uzorka treba biti između 40 i 70 cm, a omjer visine i debljine veći od 2. U svakom sloju potrebna je minimalno jedna vertikalna sljubnica morta. Vertikalno naprežanje računa se prema navedenom izrazu :

$$f_{vk} = f_{vk,0} + 0,4 \cdot \sigma_d \text{ [N/mm}^2\text{]} \quad [5]$$

ili

$$f_{vk} = 0,065 \cdot f_b \quad [5]$$

ali ne manje od  $f_{vk,0}$  niti veće od granične vrijednosti iz tablice 5.

pri čemu je :

$f_{vk,0}$  – posmična čvrstoća kad je  $\sigma_d = 0$ , ako ne postoje rezultati ispitivanja tada je jednako 0,1 N/mm<sup>2</sup>

$\sigma_d$  – proračunsko vertikalno tlačno naprežanje u zidu uzimajući kombinaciju opterećenja koja daje najmanje vertikalno opterećenje

$f_b$  – normalizirana tlačna čvrstoća zidnog elementa.

Prilikom određivanja posmične čvrstoće zida postojećeg objekta potrebno je ukloniti minimalno jedan zidni element i na njegovo mjesto postaviti uređaj pomoću kojeg se nanosi sila. Zidnom elementu na koji se nanosi sila potrebno je ukloniti vertikalne sljubnice morta ispred i iza. Bočna se sljubnica ne dira i ne uzima u obzir prilikom određivanja posmične čvrstoće. Silu je potrebno postupno povećavati sve dok ne dođe do posmičnog sloma.

U tablici 5 prikazane su granične vrijednosti karakteristične posmične čvrstoće zida  $f_{vk0}$  i  $f_{vk}$  za mort opće namjene.

Tablica 5. Granične vrijednosti karakteristične posmične čvrstoće zida  $f_{vk0}$  i  $f_{vk}$  za mort opće namjene [5]

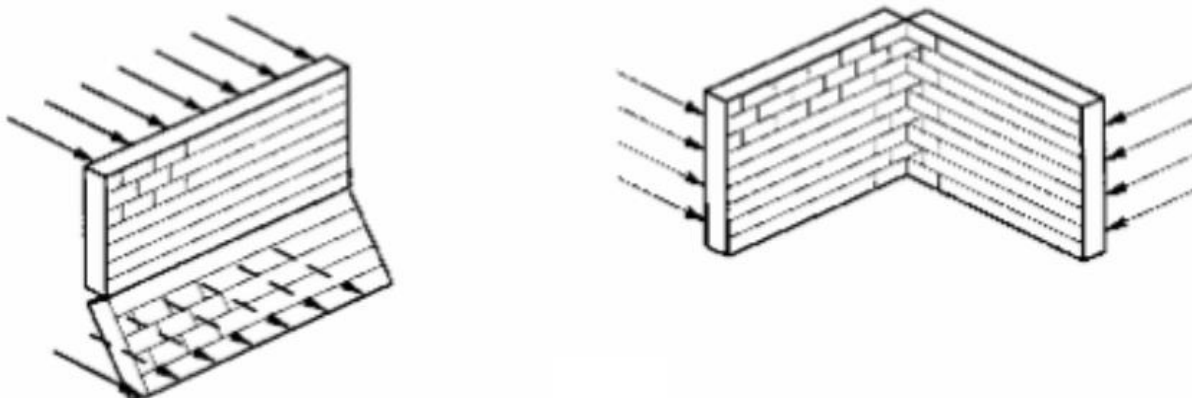
Zidni element	Mort	$F_{vk0}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Granična vrijednost $f_{vk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	
Zidni elementi od pečene gline grupe 1	M10 do M20,	0.3	1.7	
	M2.5 do M9,	0.2	1.5	
	M1 do M2	0.1	1.2	
Zidni elementi grupe 1 koji nisu od pečene gline ili nisu od prirodnog kamena	M10 do M20,	0.2	1.7	
	M2.5 do M9,	0.15	1.5	
	M1 do M2	0.1	1.2	
Grupa 1, zidni elementi od prirodnog kamena	M2.5 do M9,	0.15	1.0	
	M1 do M2	0.1	1.0	
Grupa 2a, zidni elementi od pečene gline	M10 do M20,	0.3	Manja od uzdužne tlačne čvrstoće*	1.4
	M2.5 do M9,	0.2		1.2
	M1 do M2	0.1		1
Grupa 2a, zidni elementi koji nisu od pečene gline i grupe 2b, zidni elementi od pečene gline	M10 do M20,	0.2	ili	1.4
	M2.5 do M9,	0.15		1.2
	M1 do M2	0.1		1.0

<b>Grupa 3, zidni elementi od pečene gline</b>	M10 do M20,	0.3	Bez drugih ograničenja (osim već spomenutih)
	M2.5 do M9,	0.2	
	M1 do M2	0.1	

\*Za grupe 2a i 2b zidnih elemenata, uzdužna tlačna čvrstoća elemenata je ona koja je izmjerena, uz koeficijent  $\delta$  koji nije veći od 1.0. ako se očekuje da uzdužna tlačna čvrstoća može biti veća od  $0.15 f_b$ , uzimajući u obzir raspored šupljina, eksperimenti nisu potrebni.

### 3.3. Čvrstoća pri savijanju

Karakteristična čvrstoća na savijanje je ona čvrstoća ispod koje ne pada više od 5% rezultata. Određuje se za ravninu sloma koja je paralelna s horizontalnim sljubnicama i za ravninu sloma okomitu na iste (slika 5).



Slika 5. Ravnine sloma [3]

U tablici 6. Su prikazane karakteristične čvrstoće zida pri savijanju poduprte eksperimentalno dobivenim podacima

Tablica 6. Vrijednosti karakteristične čvrstoće zida pri savijanju poduprte eksperimentalno dobivenim podacima [5]

Ravnine sloma mort i zidni elementi	Ravnina sloma paralelna s horizontalnim sljubnicama $f_{xk1}$ [N/mm <sup>2</sup> ]			Ravnina sloma okomita s horizontalnim sljubnicama $f_{xk2}$ [N/mm <sup>2</sup> ]		
	M15 M20	M10 M5	M2	M15 M20	M10 M5	M2
<b>Zidni elementi od pečene gline s upijanjem vode:</b>	0.7	0.5	0.4	2.0	1.5	1.2
<b>Manje od 7%</b>	0.5	0.4	0.35	1.5	1.1	1.0
<b>7-12%</b>	0.4	0.3	0.25	1.1	0.9	0.8
<b>Više od 12%</b>						
<b>Kalcijsko – silikatni</b>	0.3		0.2	0.9		0.6
<b>Betinski zidni elementi ili jako perforirani zidni elementi od pečene gline s karakterističnom tlačnom čvrstoćom <math>\geq 3.5</math> N/mm<sup>2</sup> rabljeni u zidovima debljine*:</b>						
<b>Do 10 cm</b>	0.25		0.2	0.45		0.4
<b>Do 25 cm</b>	0.15		0.1	0.25		0.2

\*za jednoslojni zid to je debljina zida, a za dvoslojni to je debljina izloženog opterećenja. Dopuštena je linearna interpolacija između vrijednosti prikazanih u tablici za zidove čija je debljina između 10 i 25 cm.

### 3.4. Referentna vlačna čvrstoća

Referentna vlačna čvrstoća je ona čvrstoća kod koje dolazi do vlačnog otkazivanja zida kada je on u isto vrijeme opterećen i horizontalnim i vertikalnim opterećenjem [5]. Vertikalno opterećenje je stalno prisutno, a horizontalno je povremeno prouzročeno vjetrom ili potresom. Referentna vlačna čvrstoća može se odrediti ispitivanjem zida opterećenog konstantnim vertikalnim opterećenjem i postupno rastućom horizontalnom silom. Za referentnu vlačnu čvrstoću vrijedi izraz:

$$f_t = -\frac{\sigma_d}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_d}{2}\right)^2 + (k\tau)^2} \quad [5]$$

gdje je:

$\sigma_d$  - prosječno tlačno naprezanje ( $\sigma_d = N/A_m$ )

$\tau$  - prosječno posmično naprezanje ( $\tau = H/A_m$ ) pri slomu tj za  $H=H_{max}$

k- omjer najvećeg i prosječnog posmičnog naprezanja ( $k \approx 1.5$ )

$A_m$  - ploština presjeka zida ( $t \times L$ )

L - duljina zida

T - debljina zida

### 3.5. Deformacijska svojstva zida

Deformacijska svojstva mjerodavna za proračun nearmiranog zida su [5]:

1. Modul elastičnosti E,
2. Modul posmika G,
3. Puzanje, skupljanje i toplinsko širenje.

Deformacijska svojstva bi također trebalo odrediti ispitivanjem, no u nedostatku ispitivanja mogu se uzeti vrijednosti navedene u nastavku kao proračunske vrijednosti. Te su vrijednosti izvedene za određene vrste zidnih elemenata. Deformacijska svojstva nearmiranog zida u mortu opće namjene, a koja nije moguće odrediti eksperimentom, prikazana su u tablici 7.

Napomene:

1. Konačni koeficijent puzanja  $\phi_{\infty} = \varepsilon_{\infty}/\varepsilon_{el}$ , pri čemu je  $\varepsilon_{\infty}$  krajnja relativna deformacija od puzanja, a  $\varepsilon_{el} = \sigma/E$ .
2. Krajnja vrijednost skupljanja ili širenja uslijed vlage. Minus označuje skraćenje, a plus širenje.
3. Vrijednosti ovise o vrsti materijala pa se određena računaska vrijednost ne može dati.
4. Vrijednost je iskazana za agregate plovućac i ekspandiranu glinu.
5. Vrijednost je iskazana za laki agregat koji nije plovućac ni ekspandirana glina.
6. Vrijednosti su uglavnom vrlo niske.



Tablica 7. Deformacijska svojstva nearmiranog zida u mortu opće namjene [3]

Vrsta zidnog elementa	Konačni koeficijent puzanja $\phi_{\infty}$ (napomena 1)		Krajnje širenje ili skupljanje uslijed vlage [mm/m] (napomena 2)		Koeficijent toplinskog širenja $10^{-6} / ^{\circ} \text{K}$	
	Područje	Računske vrijednosti	Područje	Računske vrijednosti	Područje	Računske vrijednosti
<b>Od pečene gline</b>	0.5-1.5	1.0	-0.2 do +1.0	(napomena 3)	4 do 8	6
<b>Kalcijsko – silikatni</b>	1.0-2.0	1.5	-0.4 do -0.1	-0.2	7 do 11	9
<b>Obični beton ili umjetni kamen</b>	1.0-2.0	1.5	-0.6 do -0.1	-0.2	6 do 12	10
<b>Lakoagregatni beton</b>	1.0-3.0	2.0	-1.0 do -0.2	-0.4 (napomena 4) -0.2 (napomena 5)	8 do 12	10
<b>Porasti beton</b>	1.0-2.5	1.5	-0.4 do +0.2	-0.2	7 do 9	8
<b>Prirodni kamen</b>	(napomena 6)	0	-0.4 do +0.7	+0.1	3 do 12	7

## **4. METODE ODREĐIVANJA MEHANIČKIH SVOJSTAVA ZIDA**

Potresi koji su zadesili Hrvatsku posljednjih godina potaknuli su veliki interes za sanacijom i obnovom građevina. Veliki broj građevina građenih prije 20. stoljeća građeno je koristeći punu opeku i vapneni mort, te se mnoge od njih nalaze u lošem stanju zbog nepravilnog održavanja, nekontroliranih zahvata zbog prenamjene prostora, nesaniranja ranijih oštećenja, potresa i slično. Prilikom izrade projekta sanacije i obnove građevina neophodno je provođenje istražnih radova i ispitivanja kojima se utvrđuju mehanička svojstva materijala. Prilikom ispitivanja materijala koji su ugrađeni u zidane konstrukcije upotrebljavaju se razorna i nerazorna ispitivanja, a to su [6]:

- ograničena ispitivanja in situ,
- opsežna ispitivanja in situ,
- sveobuhvatna ispitivanja in situ.

### **4.1. Ispitivanje posmične čvrstoće zida in situ**

Prilikom ispitivanja građevina velika važnost pridaje se što manjem zadiranju u postojeće nosivo zide kako bi se ono što manje oštetilo. Iz tog se razloga prilikom ispitivanja koristi veoma mala hidraulična preša koja istovremeno omogućuje i brzu kontrolu na većem broju lokacija.

#### **4.1.1. Oprema potrebna za ispitivanje:**

Za ispitivanje posmične čvrstoće zida in situ potrebna je sljedeća oprema :

- a) Oprema za mjerenje opterećenja – postoje 2 mogućnosti :
  - (1) hidraulični sustav za nanošenje tlaka koji se sastoji od ručne ili električne hidraulične pumpe, manometra i odgovarajućih spojnih crijeva. Hidraulična pumpa može biti s električnim ili ručnim upravljanjem. Pumpa mora omogućavati održavanje konstantnog tlaka unutar 1% tijekom minimalno 5 minuta u cijelom radnom području, a manometar mora imati točnosti od 1% u cijelom mjernom području.
  - (2) Za bolju preciznost koristi se mjerna ćelija za mjerenje sile primijenjene hidrauličnom prešom. Mjerna ćelija postavlja se između hidraulične preše, sfernog ležaja i pomoćnih pločica za ravnomjerno nanošenje sile na opeku.
  
- b) Čelične pomoćne pločice ili blokovi kako bi se popunila rupa na mjestu izvađene opeke te kako bi se ravnomjerno nanosila sila na ispitnu opeku.

Minimalna debljina ploče mora biti jednaka 1/8 visine iste. Pomoćne ploče moraju imati vertikalnu dimenziju koja je 3.2 mm manja od visina ispitne opeke, a horizontalnu dimenziju jednaku ili veću od debljine opeke.

#### **4.1.2. Postupak**

Prije početka ispitivanja potrebno je ukloniti žbuku na nosivom zidu. Nakon što se uklonila žbuka potrebno je odabrati jednu uzdužno orijentiranu opeku na kojoj će se provoditi ispitivanje posmične čvrstoće morta u sljubnici zida,  $f_v$ . Kada se odabrala opeka uklanja se jedna opeka s njene jedne strane, a s druge strane se uklanja vertikalna sljubnica (slike 6 i 7). Opeka se uklanja kako bi se oslobodio prostor za postavljanje horizontalno orijentirane hidraulične preše. Mort u sljubnicama iznad i ispod ispitivane opeke ne smije izlaziti van vertikalnih krajeva iste. Za vađenje morta koriste se borer i bušilica bez vibracija kako se ne bi oštetile okolne sljubnice koje su ionako već u lošem stanju. Nakon

što se očistilo ispitno mjesto u utor, odnosno na mjesto izvađene opeke, se postavljaju hidraulična preša, tlačna ćelija i pomoćni pribor (pomoćne pločice i blokovi). Vrlo je važno centrirati hidrauličnu prešu da ona ne leži na donjoj opeci, već da bude u centru ispitne opeke. Potrebno je kontinuirano povećavati tlak, odnosno silu, dok se ispitna opeka ne počinje odvajati od sljubnica morta i pomicati se prema vertikalno oslobođenoj sljubnici. U trenutku pomaka važno je zabilježiti silu kod koje se opeka posmaknula. Nakon ispitivanja oprema se demontira, a ispitno mjesto zapunjuje mortom jednake ili veće tlačne čvrstoće (preporuka: reparaturni mort).

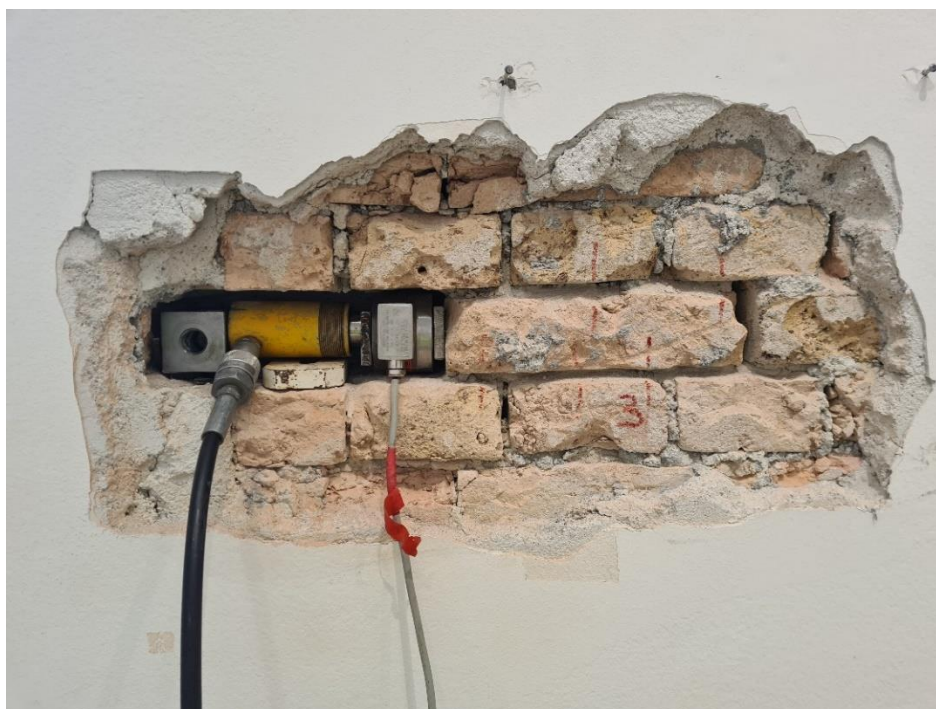


*Slika 6. Prikaz uklonjene opeke prije početka ispitivanja*



*Slika 7. Prikaz uklonjene opeke prije početka ispitivanja*

Na slikama 8, 9 i 10 prikazana je pravilno postavljena oprema za ispitivanje.



*Slika 8. Ispitivanje posmične čvrstoće zida in situ*



*Slika 9. Ispitivanje posmične čvrstoće zida in situ*



*Slika 10. Ispitivanje posmične čvrstoće zida in situ*

### 4.1.3. Proračun

Prosječno posmično naprezanje:

$$f_v = \frac{P_h}{A_j} \quad [7]$$

gdje je :

$P_h$  – maksimalna granična horizontalna sila koja u trenutku posmičnog sloma djeluje na opeku

$A_j$  – bruto površina spojeva gornjeg i donje sljubnice u slučaju zidanja s punom opekom ili površina s neto mortom u slučaju zidanja sa šupljim elementima.

Prosječno posmično naprezanje iz ispitivanja smanjuje se na vrijednost koja bi se dobila pod nultim aksijalnim opterećenjem,  $f_{v0}$ , koristeći relaciju:

$$f_{v0} = f_v - \mu \cdot \sigma_0 \quad [7]$$

gdje je:

$\mu$  – koeficijent trenja za zid (ne mjeri se, već se uzima iz dostupnih podataka – laboratorijska istraživanja pokazala su da varira od 0.3 do 1.6 sa srednjom vrijednosti od 1,0 i koeficijentom varijacije od približno 30%)

$\sigma_v$  – procijenjeno normalno tlačno naprezanje na ispitanom mjestu (procjena proračunom ili preuzimanje iz odgovarajućeg numeričkog modela konstrukcije).

#### 4.2. Ispitivanje tlačne čvrstoće opeke

Ispitivanje tlačne čvrstoće opeke provodi se prema normi HRN EN 772-1 :2015, Metode ispitivanja zidnih elemenata – 1.dio : Određivanje tlačne čvrstoće [6]. Prema spomenutoj normi, potrebno je uzeti minimalno šest uzoraka koji će se ispitivati. Uzorke je potrebno očistiti od morta, te im je potrebno navlažiti površine i nanijeti sloj cementnog morta za izravnavanje, minimalne debljine 3 milimetra. Prije samog ispitivanja uzorci se suše na zraku u laboratoriju 14 dana na temperaturi manjoj od 15 °C i relativnoj vlažnosti manjoj od 65%. Brzina opterećenja uzoraka prilikom ispitivanja prikazana je u tablici 8.

Tablica 8. Brzina opterećenja uzoraka prilikom ispitivanja [6]

<b>Očekivana tlačna čvrstoća opeke <math>f_b</math></b> <b>[MPa]</b>	<b>Brzina nanošenja opterećenja</b> <b>[MPa/sek]</b>
<10	0,05
11-20	0,15
21-40	0,30
41-80	0,60
>80	1,00

Čvrstoća opeke dobiva se tako da se maksimalno opterećenje pri slomu podijeli s bruto ploštinom, a rezultat je potrebno zaokružiti na 0,1 MPa [6].



### 4.3. Metode ispitivanja mehaničkih karakteristika zida primjenom plosnatih preša

Korištenje plosnatih preša u ispitivanju mehaničkih svojstava zida omogućuje pouzdanije utvrđivanje istih. Ponajviše se to odnosi na određivanje vertikalnog naprezanja u zidu te ovisnosti naprezanje-deformacija u tlaku, a mogu se koristiti i za određivanje tlačne i posmične čvrstoće zida. Ispitivanje plosnatim prešama detaljno je opisano u normama ASTM-a i preporukama RILEM-a [8]:

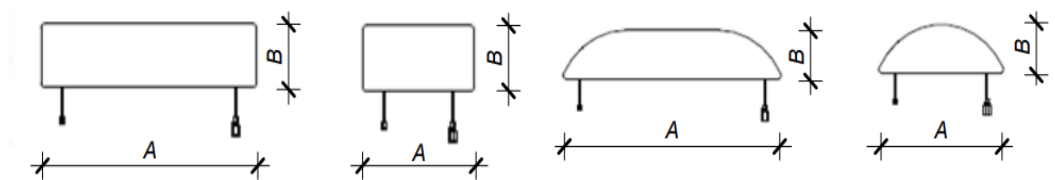
- Vertikalno naprezanje u zidu : ASTM C1196-14a, RILEM MDT.D.4
- Naponsko deformacijska svojstva u tlaku: ASTM C1197-14a, RILEM MDT.D.5
- Posmična čvrstoća zida uz kontrolu vertikalnog naprezanja: ASTM C1531-16.

#### 4.3.1. Oprema za ispitivanje

Oprema za ispitivanje sastoji se od :

- (1) plosnatih preša čiji oblik nalikuje obliku tankog mjehura s ulaznim i izlaznim ventilima na koje se može priključiti hidraulična pumpa pomoću koje se nanosi tlak u preši. Sastoje se od dvije čelične ploče koje su međusobno zavarene po obodu.

Na slici 11 su shematski prikazani neki od mogućih oblika plosnatih preša, dok su na slici 12 prikazane neke vrste plosnatih preša i čelične podložne ploče.



Slika 11. Shematski prikaz oblika plosnatih preša [8]



*Slika 12. Plosnate preše i čelične podložne ploče [6]*

Za određivanje stanja tlačnog naprezanja dimenzija A treba biti jednaka ili veća od duljine jedne opeke, ali ne manja od 200 mm. Dimenzija B treba biti veća ili jednaka širini jedne opeke, ali ne manja od 75 mm. Kod kružnih i polukružnih preša njihov radijus mora biti jednak radijusu kružne pile koja se koristi za rezanje proreza.

- (2) hidrauličnog sustava za nanošenje tlaka koji se sastoji od ručne ili električne hidraulične pumpe, manometra i spojnih crijeva. Sustav mora biti u stanju održati konstantni tlak unutar 1% tijekom najmanje 5 minuta u cijelom radnom području. Manometar mora imati točnost od 1% u cijelom mjernom području. Na slici 13 prikazan je opisani sustav.



*Slika 13. Hidraulični sustav za nanošenje tlaka [6]*

(3) mjernih uređaja za mjerenje pomaka/relativnih deformacija

Pomaci se mjere mehaničkim ekstenzometrom koji mjeri udaljenost između fiksnih mjernih točaka na zidu. Mjerno područje uređaja mora biti najmanje 5 mm. Sama točnost opreme, prema normama ASTM-a, treba biti unutar  $\pm 0,005$  % mjerne baze. Prema RILEM-ovim preporukama osjetljivost mora biti najmanje 0,0025 mm. Na slici 14 prikazan je prijenosni komparator koji se koristi za mjerenje pomaka/relativnih deformacija.



*Slika 14. Prijenosni komparator [6]*

(4) Oprema za izradu otvora, mjernih točaka i pomoćni alati za čišćenje.

Tijekom procesa ispitivanja koriste se i takozvane mjerne točke, odnosno to su metalni diskovi ili umetci koje je potrebno čvrsto pričvrstiti na zid pomoću cementnog ljepila i anker koji sprječava pomicanje i osigurava potrebnu točnost mjerenja. Dimenzije mjernih točaka moraju odgovarati dimenzijama mjernih ura kako bi se minimizirala pogreška kod mjerenja.

Vrlo je važno kvalitetno pripremiti otvor u zidu za plosnatu prešu jer o njegovim dimenzijama ovisi ispitivanje. Istovremeno, dimenzije otvora moraju odgovarati dimenzijama plosnate preše. Otvori u zidu obično se pripremaju uklanjanjem morta iz sljubnica, za što se često koriste razne bušilice, ubodne pile i slično, no ukoliko se ispitivanje provodi s pločama polukružnog oblika onda bi za otvaranje otvora bilo poželjno koristiti ekscentrične prstenaste pile dovoljnog radijusa za postizanje dubine (slika 15).



*Slika 15. Ekscentrična prstenasta pila*

Tlocrtna geometrija otvora treba biti slična geometriji plosnate preše koja se koristi. Tlocrtne dimenzije pripremljenog otvora ne smiju premašiti tlocrtne dimenzije plosnatih preša za više od 12 mm.

#### ***4.3.2. Kalibracija plosnate preše***

Plosnate preše imaju određenu krutost koja se opire širenju kada se ona nalazi pod tlakom. Iz tog razloga je tlak hidraulične tekućine u preši veći od opterećenja koje ona prenosi na zidu. Plosnate preše moraju se kalibrirati kako bi se omogućilo određivanje koeficijenta  $K_m$  da bi se mogao odrediti odnos između unutarnjeg tlaka hidraulične tekućine i primijenjenog naprezanja.

Sam postupak kalibracije provodi se u hidrauličnoj preši (npr. preša za beton) minimalnog kapaciteta od 450 kN. Čelična ploča debljine 50 mm postavlja se na postolje hidraulične preše, te ona mora biti dovoljne veličine da potpuno prekrije plosnatu prešu koja se

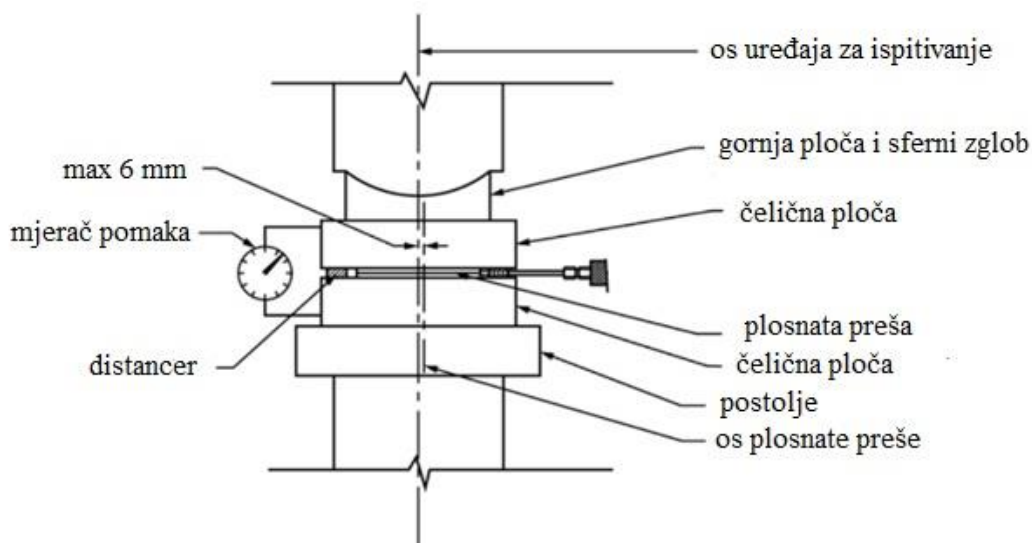
kalibrira. Plosnata preša postavlja se na čeličnu ploču tako da se rub preše poklopi s rubom čelične ploče. Na preostale rubove preše postavljaju se distanceri debljine veće za 0.38 - 1.27 mm od proizvedene nedeformirane debljine preše. Nakon toga se na distancere i prešu postavlja još jedna čelična ploča debljine 50 mm te se ona mora poravnati s donjom čeličnom pločom. Sustav sačinjen od čeličnih ploča i preše treba se postaviti na postolje tako da je središte površine preše unutar 6 mm od osi ispitnog uređaja. Idući je korak popunjavanje praznog prostora između gornje čelične ploče i sfernog zgloba na hidrauličnoj preši. Potrebno je nanijeti predopterećenje kako bi se osigurao potpuni kontakt između nosivih ploča i distancera. Predopterećenje odgovara naprezanju od 0.07 MPa po površini plosnate preše. Udaljenost među pločama mora biti konstantna tijekom kalibracije. Ukoliko se koristi uređaj za mjerenje pomaka onda je potrebno ispraviti pomak uređaja za ispitivanje. Ukoliko već nisu, potrebno je pričvrstiti mjerače pomaka (mehaničke ili električne) tako da udaljenost između ploča može ostati konstantna prilikom korištenja uređaja za kontrolu sile.

Potrebno je provesti 3 ciklusa kalibracije. Prilikom održavanja konstantnog razmaka među pločama potrebno je povećati tlak u preši u jednakim inkrementima unutar 5% najvećeg radnog tlaka. Koristi se najmanje 10 jednakih inkremenata. Prilikom svakog povećanja potrebno je zabilježiti hidraulički tlak i primijenjenu silu. Nakon toga je potrebno izračunati opterećenje primijenjeno od strane preše tako da se dobije umnožak unutarnjeg tlaka i bruto površine preše. Prilikom iscrtavanja dijagrama, na vertikalnu os nanosi se sila izmjerena ispitnim strojem ( $P_{is}$ ), a na horizontalnu sila  $P_{pp}$ . Nagib linije jednak je konstanti  $K_m$ . Koeficijent  $K_m$  je tada :

$$K_m = \frac{P_{is}}{P_{pp}} \quad [8]$$

Kalibraciju se potrebno ponoviti nakon 5 puta ili kada se pojave značajne deformacije preše. Sam postupak kalibriranja provodi se u tlačnom ispitnom uređaju gdje se plosnata preša opterećuje preko 2 čelične ploče debljine 50 mm. Istovremeno, os djelovanja sile mora biti unutar 6 mm od središta površine preše, a rub preše mora biti poravnat s

rubovima gornje i donje ploče. Čelične ploče moraju biti razmaknute distancerima čija debljina otprilike odgovara umnošku debljine dvaju limova od kojih je plosnata preša izvedena i koeficijenta 1,33. Prešu je potrebno kalibrirati kroz njeno cijelo radno područje s najmanje 10 istih inkremenata povećanja opterećenja. Shematski prikaz kalibracije prikazan je na slici 16.



Slika 16. Shematski prikaz kalibracije plosnate preše [8]

#### 4.4. Određivanje postojećeg tlačnog naprezanja u zidu

Metoda je pogodna za ispitivanje zato što se prilikom istog zid minimalno oštećuje jer se koristi samo jedna plosnata preša. Potrebno je otvoriti zid i očistiti žbuku do opeke te izabrati jednu sljubnicu iz koje će se pažljivo ukloniti mort. Utor u zidu treba biti što pravilniji, gornja i donja ploha što ravnije, kako bi tijekom ispitivanja došlo do minimalnih deformacija plosnate preše. Tlocrtna geometrija utora mora biti slična geometriji plosnate preše, odnosno tlocrtna dimenzija utora ne smije premašiti dimenzije preše za više od 12

mm. Mort iz sljubnica uklanja se na jednak način kao i u svim metodama kod kojih se koriste plosnate preše.

Prema ASTM-u naprežanje u zidu jednako je :

$$f_m = K_m \cdot K_a \cdot p \quad [8]$$

gdje je :

$K_m$ - bezdimenzionalan koeficijent koji je ovisan o geometriji i krutosti plosnate preše. Određuje se kalibracijom

$K_a$  – bezdimenzionalan koeficijent koji se određuje kao omjer ploštine plosnate preše i ploštine otvora

$p$ - tlak u plosnatoj preši potreban da se mjerna duljina vrati na početnu.

Očekivano odstupanje metode može biti do 20% te su potrebna najmanje 3 ispitivanja na sličnim zidovima.

#### ***4.4.1. Postupak***

Mjesto koje se ispituje u pravilu određuje statičar ili projektant kojem su tražene vrijednosti potrebne. Na ispitnom mjestu potrebno je označiti mjesto i duljinu utora kojeg je potrebno formirati. Zatim se pričvršćuje najmanje 3 para jednako razmaknutih mjernih točaka za montiranje 3 mjerna uređaja (mikroure) koji se moraju nalaziti unutar širine plosnate preše i jednako udaljene od utora s gornje i donje strane. Mjerna duljina, odnosno mjerna baza, mora biti najmanje 0.3, a maksimalno 0.6 dimenzije A plosnate preše.

Nakon što se uklonila žbuka sa zida i što su se fiksirale mjerne točke postavljaju se mikroure i zabilježuje se njihovo nulto stanje. Nakon što se zabilježilo nulto stanje potrebno je skinuti mikroure i kreće priprema, odnosno čišćenje, sljubnice od morta. Kada se sljubnica očistila od morta montira se plosnata preša uz korištenje čeličnih podložaka



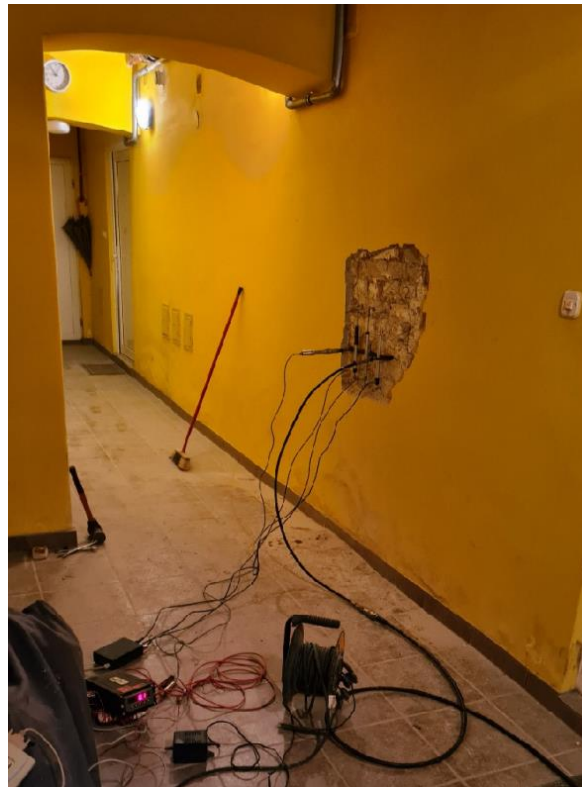
kako bi preša što bolje popunila otvor. Potrebno je vratiti mikroure nazad na početne pozicije, čime se uočava slijeganje zida, odnosno mikroure pokazuju manju vrijednost nego u što su pokazivale u početnom položaju. Plosnata preša puni se hidrauličnom tekućinom i raste tlak. Tlak se nanosi do 50% tlaka koji odgovara očekivanom naprezanju u zidu, nakon čega se on otpusti. Prilikom ispitivanja on se nanosi u inkrementima od 25% dok se ne dosegne tlačno naprezanje u zidu, odnosno dok se mjerna duljina ne vrati na početnu (vraćanje mikroure na nulti položaj). U posljednjem koraku odstupanje mjerne duljine od početne mora biti unutar granica od  $\pm 0.013$  mm za srednju vrijednost svih mjernih mjesta ili manje od  $1/20$  početnog smanjenja mjerne duljine, uz uvjet da pojedino mjerno mjesto ne odstupi za više od  $0,025$  mm ili  $1/10$  početnog smanjenja mjerne duljine. Pravilno postavljanje opreme i ispitna mjesta prikazana su na slikama 17, 18 i 19.



*Slika 17. Određivanje postojećeg tlačnog naprezanja u zidu*



*Slika 18. Određivanje postojećeg tlačnog naprezanja u zidu*



*Slika 19. Određivanje postojećeg tlačnog naprezanja u zidu*

## **4.5. Ispitivanje posmične čvrstoće zida in situ uz kontrolu vertikalnog naprezanja plosnatim prešama**

Ispitivanje posmične čvrstoće zida in situ uz kontrolu vertikalnog naprezanja, a uz korištenje plosnatih preša, provodi se prema postupku opisanom u poglavlju 4.1, a nanošenje i kontrola tlačnog naprezanja provode se kao što je opisano u poglavlju 4.4. Prednost ove metode leži upravo u činjenici da se prilikom ispitivanja kontrolira i vertikalno naprezanje, čime je omogućeno određivanje posmične čvrstoće bez vertikalnog naprezanja  $f_{v0}$ .

### **4.5.1. Oprema**

Za ispitivanje se koristi jednaka oprema kao u poglavlju 4.1.1., uz dodatke :

- (1) Plosnate preše i pripadajuća oprema za mjerenje stanja tlačnog naprezanja
- (2) Mehanički ili elektronički ekstenzometar za mjerenje horizontalnog pomaka ispitne jedinice. Metoda, odnosno uređaj koji se koristi treba biti u stanju za mjerenje deformacije do 6 mm. Točnost mjerenja mora biti minimalno 0,005% mjernog područja.

### ***4.5.2. Postupak***

Kao i u prethodnim metodama, prije početka ispitivanja potrebno je ukloniti žbuku sa zida, nakon čega se rade otvori u sljubnicama kako bi se mogle umetnuti plosnate preše. Između tih otvora, odnosno između 2 preše, potrebno je ostaviti 5 redova opeke. Ispitna opeka bira se u sredini između 2 plosnate preše, nakon čega je potrebno, kao i u poglavlju 4.1.2., ukloniti jednu opeku s njene jedne strane, a s druge strane je potrebno ukloniti vertikalnu sljubnicu kako bi se omogućio horizontalni pomak. Nakon što se pravilno izvela opisana priprema, u prazno mjesto pored ispitne jedinice umeće se hidraulična preša i čelične pločice za prijenos opterećenja. Potrebno je postaviti tlak u 2 plosnate preše na 0,07 MPa ili manje i zatvoriti ventil. U horizontalnoj se preši postepeno povećava pritisak tako da popuštanje veze između morta i opeke nastane između 30 sekundi i 2 minute nakon inicijalnog opterećenja. Zapisuje se pomak jedinice u malim inkrementima horizontalne sile. Tlak u plosnatim prešama treba se pratiti tijekom cijelog procesa nanošenja opterećenja, te ukoliko je potrebno, treba namjestiti unutarnji tlak kako bi se osiguralo konstantno tlačno naprezanje. Nakon što se prekine veza između morta i opeke, ona se počinje pomicati pod stalnim horizontalnim opterećenjem. Upravo to predstavlja maksimalno horizontalno opterećenje za ovu razinu normalnog tlačnog naprezanja. Nadalje, potrebno je povećati tlak u plosnatim prešama kako bi se inducirala iduća razina normalnog tlačnog naprezanja te se ponavlja proces horizontalnog opterećenja do maksimalnog za ovu razinu normalnog tlačnog naprezanja. Postupak se ponavlja kako bi se odredilo posmično naprezanje na različitim razinama normalnog tlačnog naprezanja. Na kraju ispitivanja, u prešama se otpušta tlak i uklanja se oprema. Praznine se popunjavaju na jednak način kao u prethodno opisanim metodama. Na slikama 20 i 21 prikazana su ispitna mjesta i pravilno postavljena oprema.



*Slika 20. Ispitivanje posmične čvrstoće uz kontrolu vertikalnog naprezanja*



*Slika 21. Ispitivanje posmične čvrstoće uz kontrolu vertikalnog naprezanja*

### 4.5.3. Proračun

Indeks posmične čvrstoće za svaku razinu normalnog tlačnog naprezanja računa se kao :

$$f_i = \frac{P_{h,i}}{A_j} \quad [8]$$

gdje je :

$P_{h,i}$  najveća horizontalna sila kojoj se opire ispitna jedinica kod i-te razine normalnog tlačnog naprezanja

$A_j$  – bruto površina gornje i donje sljubnice u slučaju masivnog zida ili površina s neto mortom u slučaju zidanja šupljim elementima. Koeficijent trenja  $\mu$  računa se kao nagib linije u dijagramu odnosa indeksa posmične čvrstoće i normalnog tlačnog naprezanja.

Posmična čvrstoća zida ovisna je o posmičnoj čvrstoći bez vertikalnog naprezanja  $f_0$  i umnošku tlačnog naprezanja  $\sigma_0$  i koeficijenta trenja  $\mu$ .

$$f_v = f_0 + \mu \cdot \sigma_0 \quad [8]$$

## **4.6. Određivanje deformabilnosti zida**

Ova se metoda odnosi na mjerenje deformabilnosti zida na ispitnoj lokaciji korištenjem plosnatih preša koje se umeću u paralelne otvore u zidu. Metoda se smatra nedestruktivnom.

### **4.6.1. Oprema**

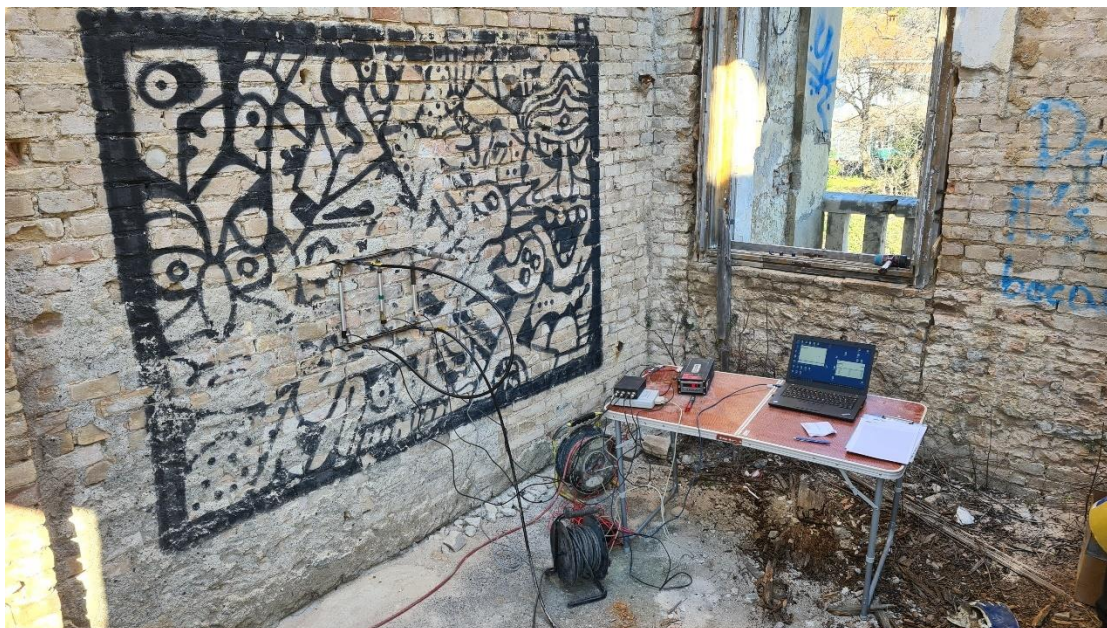
Prilikom ispitivanja deformabilnosti zida koristi se sljedeća oprema:

- (1) Plosnate preše – za potrebe ispitivanja trebaju biti izrađene od nehrđajućeg čelika tipa 301, debljine 0,6 mm – 1,2 mm. Potrebno ih je kalibrirati, a to se provodi prema postupku opisanom u poglavlju 4.3.2.
- (2) Hidraulični sustav – potrebna je hidraulična pumpa s hidrauličnim crijevima.
- (3) Elektronički instrumenti za mjerenje pomaka – npr. Linearno varijabilni diferencijalni transformator (LVDT) ili mehanički mjerni ekstenzometar koji mjeri udaljenost između fiksnih mjernih točaka na zidu. LVDT se montira na površinu zida između plosnatih preša. Metoda ili uređaj koji se koristi za mjerenje mora biti sposoban za mjerenje deformacija do 5 mm.

#### **4.6.2. Postupak**

Kao prvi korak ispitivanja potrebno je označiti liniju na zidu koja definira mjesto i duljinu utora kojeg treba formirati. Utori u zidu pripremaju se tako da se ukloni mort iz sljubnica kako bi se izbjeglo narušavanje zida. Potrebno je ukloniti sav mort u sljubnici kako bi opterećenje kojeg prenosi plosnata preša bilo direktno na površini jedinica. Utori za preše moraju biti izvedeni jednako kao i u prethodnim metodama – tlocrtne dimenzije utora ne smiju premašivati dimenzije preše za više od 12 mm, a uz to oni moraju biti paralelni i okomito poravnati te ne smiju biti odvojeni za više od 1,5 duljine preše. Razmak između utora treba biti najmanje 5 redova opeke. Utori za plosnate preše izvode se istim postupkom u svim spomenutim metodama u radu. Kada su utori spremni potrebno je zabilježiti njegove dimenzije, a zatim se na zid pričvršćuju najmanje 3 para mjernih točaka ili električnih mjernih uređaja. Kada je sve navedeno spremno vrijeme je za umetanje plosnatih preša u utore, nakon čega se na njih priključuju hidraulična crijeva i preše se pune dok se ne počne razvijati tlak. Kako bi plosnate preše bile što bolje namještene, treba ih postaviti na tlak koji odgovara otprilike 50% procijenjenom maksimalnom tlaku preše (što odgovara maksimalnoj tlačnoj čvrstoći zida). Nakon toga tlak u preši je potrebno smanjiti na nulu. Mehaničkim uređajima izvršavaju se početna mjerenja (tri ponavljanja), a ukoliko se radi s električnim uređajima onda ih je potrebno inicijalizirati. Polako je potrebno povećavati tlak i mjeriti pomake pri malim porastima istog. Ukoliko mjerenja treba uzeti ručno, tada se potrebno zaustaviti, zadržati pritisak najmanje minutu ili dok tlak ne bude stabilan na svakom koraku povećanja, te zabilježiti pomake (3 ponavljanja na svakoj mjernoj točki u slučaju korištenja mehaničkih mjernih uređaja). Vrlo je važno pratiti omjer tlaka preše i deformacije zida,  $p$ , tijekom ispitivanja prilikom svakog povećanja pritiska. Ukoliko se ne smije desiti nikakvo oštećenje zida između plosnatih preša, onda treba zaustaviti ispitivanje čim spomenuti omjer počne padati. Kada se ispitivanje završi, potrebno je otpustiti tlak, ukloniti opremu te otvor popuniti žbukom ili drugim prikladnim materijalom jednake boje i slične čvrstoće. Na slici 22 prikazana su ispitna mjesta s pravilno postavljenom opremom.





*Slika 22. Određivanje deformabilnosti zida*

### **4.6.3. Proračun**

Naprezanje u zidu između plosnatih preša moguće je izračunati za bilo koju točku u procesu tlačenja prema formuli:

$$f_m = K_m \cdot K_a \cdot p \quad [9]$$

gdje je:

$K_m$ - bezdimenzionalan koeficijent koji je ovisan o geometriji i krutosti plosnate preše.

Određuje se kalibracijom

$K_a$  – bezdimenzionalan koeficijent koji se određuje kao omjer ploštine plosnate preše i ploštine otvora

$p$ - tlak u plosnatoj preši potreban da se mjerna duljina vrati na početnu.

Pojedinačne vrijednosti deformacije računaju se za svaki zabilježeni pomak prilikom povećanja opterećenja. Prosječna vrijednost deformacije za svako opterećenje računa se kao prosjek pojedinačnih vrijednosti za svako mjesto mjerenja.

Tangentni modul u bilo kojem intervalu naprezanja računa se kao:

$$E_t = \frac{\delta f_m}{\delta \varepsilon_m} \quad [9]$$

gdje je:

$\delta f_m$  – povećanje naprezanja izraženo u MPa

$\delta \varepsilon_m$  - odgovarajući prirast deformacije

Sekantni modul elastičnosti u bilo kojoj točki računa se kao:

$$E_{mi} = \frac{f_{mi}}{\varepsilon_{mi}} \quad [9]$$

gdje je:

$f_{mi}$  – naprezanje u točki i

$\varepsilon_{mi}$  – deformacija u točki i

## 5. TERENSKO ISPITIVANJE I PRIKAZ REZULTATA

U ovome poglavlju prikazati će se ispitivanja provedena prema odgovarajućim normama, opisanim ranije u radu, te će biti prikazan način proračuna i grafički prikaz rezultata. Ispitivanja su se provodila na 3 lokacije u Zagrebu.

### 5.1. Istražni radovi na stambenoj zgradi u ulici Vladimira Nazora 20, Zagreb

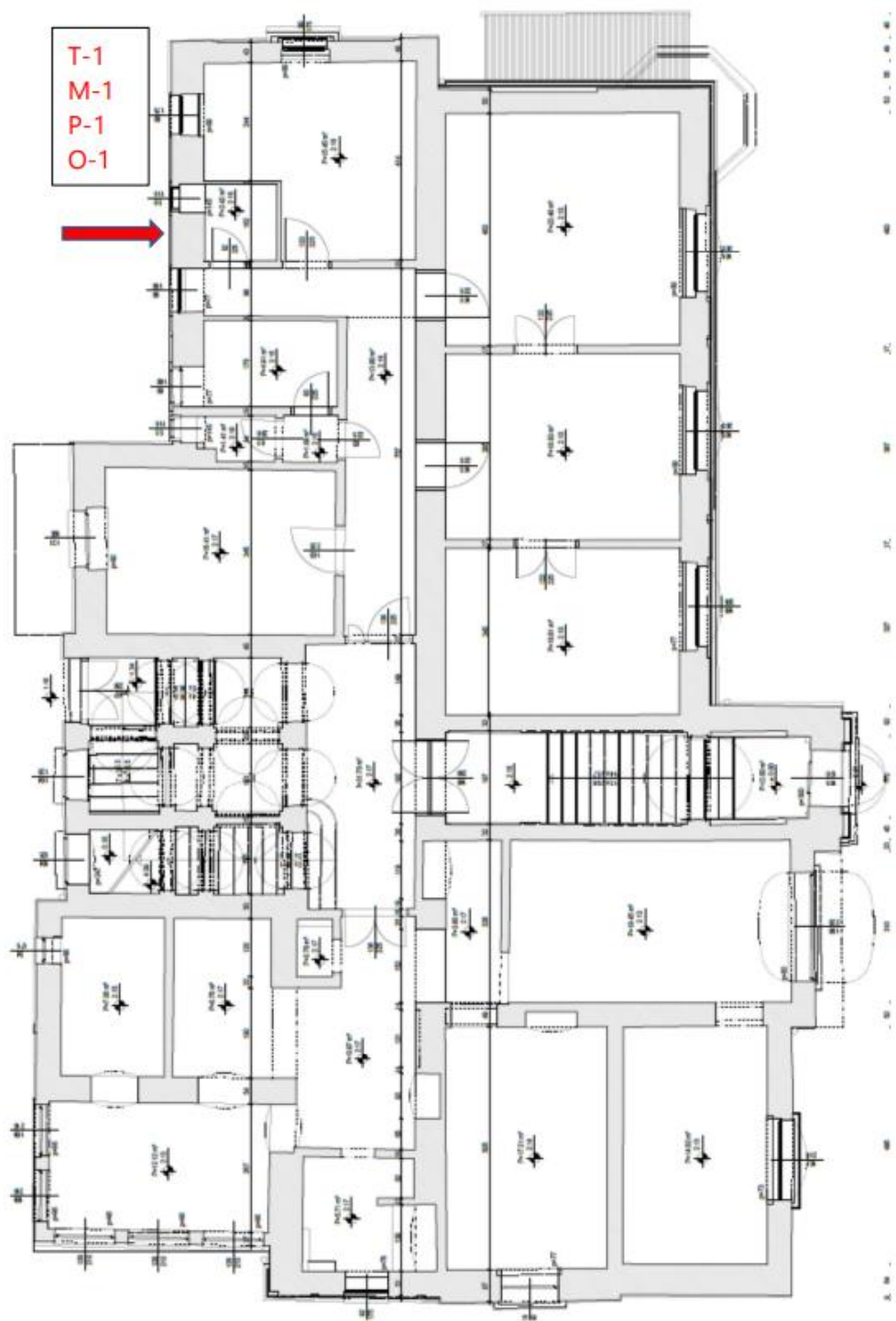
Istražni radovi na stambenoj zgradi u ulici Vladimira Nazora 20 provedeni su kako bi se utvrdila vrsta, geometrija i kvaliteta elemenata konstrukcije. Svrha provođenja radova jest podloga za projekt obnove od potresa.

Na lokaciji se provelo nekoliko ispitivanja svojstava zida, a to su ispitivanje deformacija, posmične čvrstoće morta, tlačnog naprezanja i tlačne čvrstoće opeke. U tablici 9 prikazane su oznake pojedinih ispitivanja.

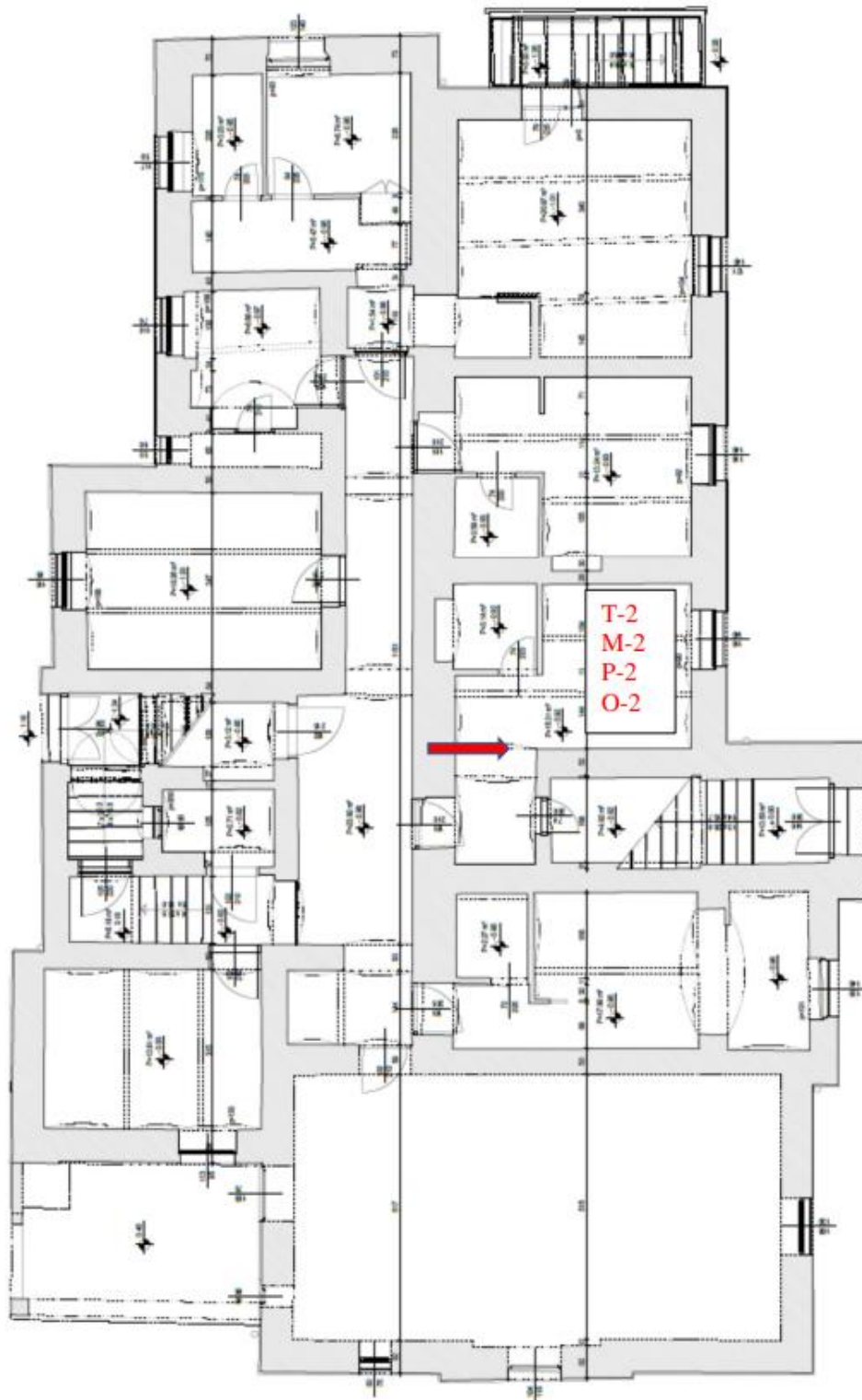
*Tablica 9. Vrste i oznake ispitivanja provedenih na stambenoj zgradi u ulici V. Nazora 20, Zagreb*

Oznaka	Vrsta ispitivanja
<b>T</b>	Tlačno naprezanje u zidu
<b>P</b>	Zid posmik
<b>M</b>	Zid modul
<b>O</b>	Opeka-tlak

Na slikama u nastavku prikazane su odabrane pozicije na kojima su se ispitivanja provodila.



*Slika 23. Prikaz ispitnih mjesta u prizemlju stambene zgrade*



*Slika 24. Prikaz ispitnih mjesta u podrumu stambene zgrade*

### ***5.1.1. Ispitivanje tlačnog naprezanja zida in-situ***

Ispitivanje tlačnog naprezanja zida in-situ provodi se prema normi ASTM C1196-20. U konkretnome slučaju, ispitivanje se provelo na jednoj poziciji vanjskog zida u prizemlju stambene zgrade (oznaka T-1), te na unutarnjem zidu podruma (oznaka T-2). Prilikom ispitivanja koristila se preša flat-jack C358-01 Matest, a utor za nju izrađen je bušenjem svrdlima bez vibracija. Između preše i zida montirani su čelični umetci sa svake strane ( $d=0,75$  mm).

Tlačno se naprezanje određuje kao tlak pri kojem se mjereni razmak u zoni reške vratio u prvobitno stanje.

#### ***POZICIJA T-1***

Postavljanje opreme i samo ispitivanje provelo se na način detaljnije opisan u poglavlju 4.4.1. Nakon odabira pozicija ispitivanja (u dogovoru s naručiteljem, odnosno projektantom), na ispitnoj poziciji T-1 očistio se zid, uklonila se žbuka, fiksirale su se mjerne točke i postavile mikroure. Nakon postavljanja mikroure one su se postavile u nultu stanje i skinule sa zida, nakon čega se pristupilo čišćenju morta iz sljubnice kako bi se u utor mogla staviti plosnata preša. Kada je sve opisano bilo spremno, mikroure su se vratile na svoje pozicije pri čemu se uočilo slijeganje. Idući je korak nanošenje tlaka u iznosu od otprilike 50% od očekivanog naprezanja, a nanosio se u inkrementima od 25% sve dok se nije postiglo tlačno naprezanje, odnosno dok se mikroure nisu vratile na početnu vrijednost. Na slici 25 prikazana je postavljena oprema za vrijeme ispitivanja na poziciji T-1. Na slici uočavamo kako je sve postavljeno prema normi, vidimo 3 para mjernih točaka s mikrourama, a koji su jednako udaljeni jedni od drugih te se nalaze na jednakoj udaljenosti gore i dolje od utora za prešu.



*Slika 25. Ispitivanje na poziciji T-1*

**Proračun:**

Proračun tlačnog naprezanja vrši se prema idućem izrazu (ASTM):

$$f_m = K_m \cdot K_a \cdot p \quad [8]$$

pri čemu je:

$K_m$ - bezdimenzionalan koeficijent koji je ovisan o geometriji i krutosti plosnate preše.

Određuje se kalibracijom

$K_a$  – bezdimenzionalan koeficijent koji se određuje kao omjer ploštine plosnate preše i ploštine otvora

$p$ - tlak u plosnatoj preši potreban da se mjerna duljina vrati na početnu.

$$K_m = 0,8034$$

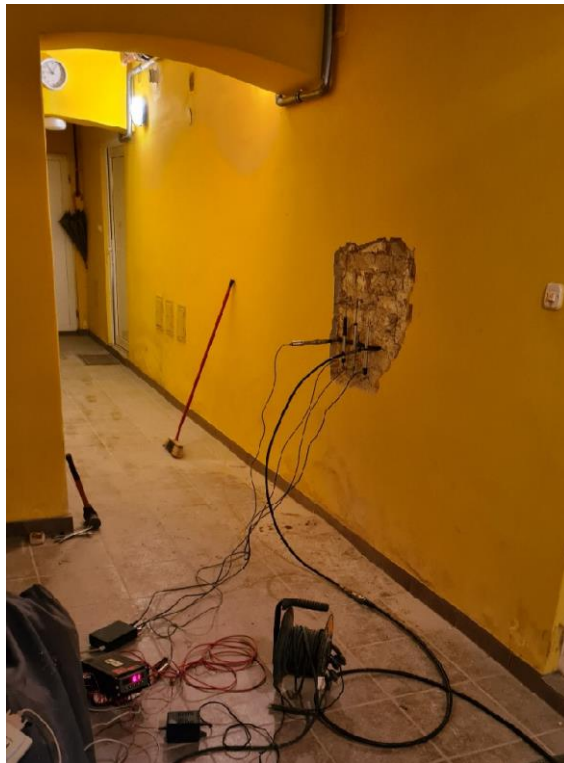
$$K_a = 0,9130$$

$$p = 0,74 \text{ N/mm}^2$$

$$f_m = 0,8034 \cdot 0,8130 \cdot 0,74 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 0,48 \text{ N/mm}^2$$

### ***POZICIJA T-2***

Na slici 26 prikazana je postavljena oprema za vrijeme ispitivanja na poziciji T-2. Nakon ispitivanja na poziciji T-1 pristupilo se ispitivanju na poziciji T-2. Sama priprema ispitnog mjesta i način ispitivanja u potpunosti su jednaki na obje pozicije.



*Slika 26. Ispitivanje na poziciji T-2*



Proračun se provodi na isti način kao i za prošlu poziciju, pri čemu su:

$$K_m = 0,8034$$

$$K_a = 0,9292$$

$$p = 1,00 \text{ N/mm}^2$$

$$f_m = 0,8034 \cdot 0,9292 \cdot 1,00 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 0,75 \text{ N/mm}^2$$

Uočavamo da su tlačna naprezanja u podrumu veća od tlačnih naprezanja u prizemlju objekta, što je i logično s obzirom da na poziciju u podrumu djeluje veće opterećenje nego u prizemlju.

### ***5.1.2. Ispitivanje deformabilnosti zida***

Ispitivanje deformabilnosti zida provodi se u skladu s normom ASTM C1197-14a. Prilikom ispitivanja korištena je preša flat-jack C358-01 Matest (2 kom), a utor za njeno montiranje izrađen je bušenjem svrdlima bez vibracija. Između preše i zida montirani su čelični umetci sa svake strane ( $d=0,75 \text{ mm}$ ).

#### ***POZICIJA M-1***

Detaljan postupak ispitivanja i pripreme ispitnog mjesta za ispitivanje deformabilnosti opisan je u poglavlju 4.6.2. Nakon ispitivanja tlačnog naprezanja, na istoj poziciji ispitivala se i deformabilnost. Uz jednu očišćenu sljubnicu, očistila se i druga 5 redova iznad, kao što je propisano normom. Nadalje, postavila su se 3 para mjernih točaka na zid između 2 utora te kada je sve navedeno bilo spremno u utore su se umetnule plosnate preše, na koje su se zatim priključila hidraulična crijeva pomoću kojih su se preše punile sve dok se nije krenuo razvijati tlak u njima. Preše su se postavile na tlak koji odgovara otprilike 50% očekivanog maksimalnog tlaka, odnosno maksimalne tlačne čvrstoće zida, kako bi se bolje namjestila unutar utora. Idući korak je bio smanjenje tlaka u preši na nulu,

nakon čega ga je bilo potrebno povećavati i istovremeno mjeriti pomake. Na slici 27 prikazana je postavljena oprema na poziciji M-1.



*Slika 27. Ispitivanje na poziciji M-1*

**Proračun:**

Proračun deformabilnosti radi se prema idućem izrazu:

$$E_t = \frac{\delta f_m}{\delta \varepsilon_m} \quad [9]$$

$$f_m = K_m \cdot K_a \cdot p \quad [8]$$

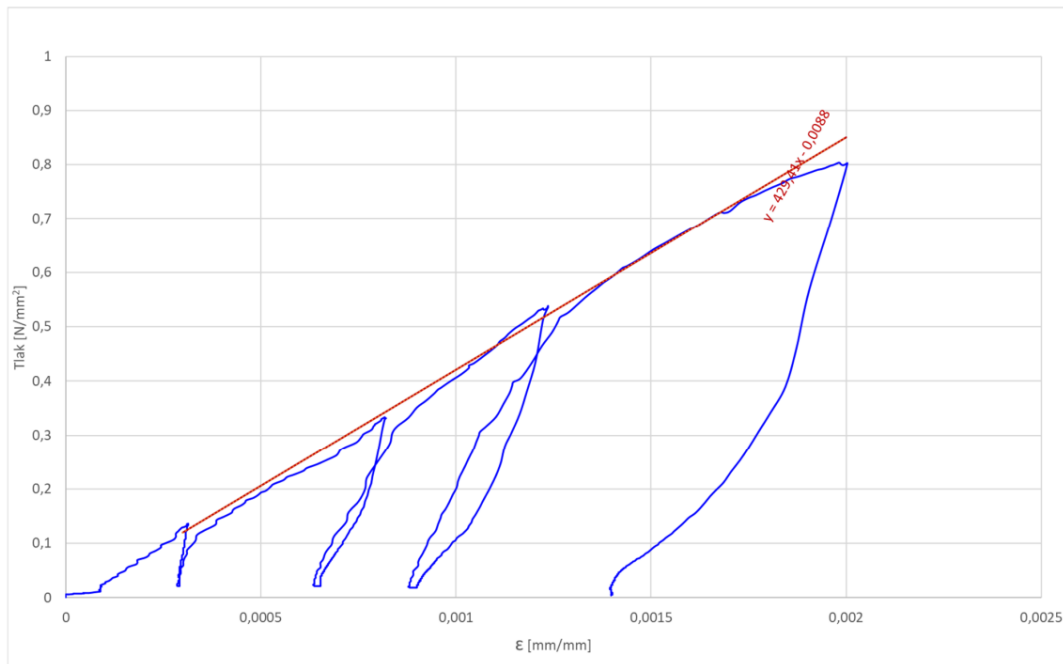
pri čemu je:

$$K_m = 0,8034$$

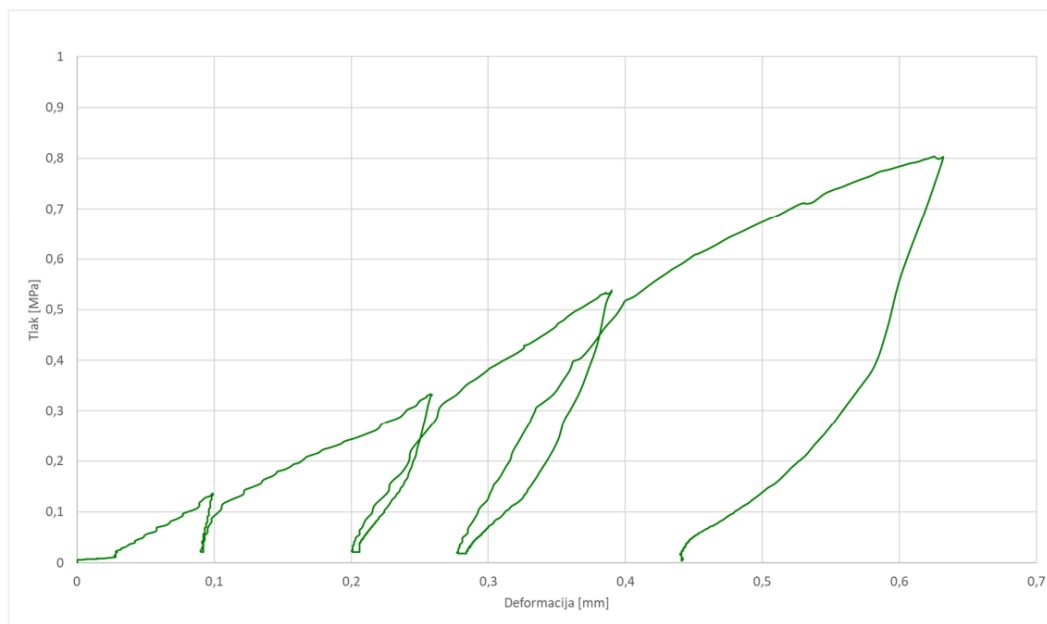
$$K_a = 0,8216$$

$$E_t = 430 \text{ MPa}$$

Na slikama 28 i 29 prikazan je grafički prikaz rezultata ispitivanja. Na grafu prikazanom na slici 28 plavom bojom prikazano je nanošenje tlaka u 4 inkrementa (opterećenje – rasterećenje) te pravac korelacije s pripadajućom jednačbom koja odgovara nagibu pravca (crveno). Osim toga, na grafu se također uočava i plastična deformacija koja trajno ostaje nakon svakog inkrementa nanošenja opterećenja te se sa svakim inkrementom povećava. Grafikon na slici 28 prikazuje obrađene rezultate dobivene ispitivanjem, a grafikon na slici 29 predstavlja "sirove rezultate" s terena.



Slika 28. Grafički prikaz odnosa tlaka i deformacija



*Slika 29. Grafički prikaz odnosa tlaka i deformacija*

Postavljanje opreme i samo ispitivanje na poziciji M-2 vršilo se na isti način kao na poziciji M-1.

### **POZICIJA M-2**

Na slici 30. prikazana je oprema pripremljena za ispitivanje na poziciji M-2.



*Slika 30. Ispitivanje na poziciji M-2*

### **Proračun:**

Proračun se izveo na jednak način kao i za poziciju M-1.

$$E_t = \frac{\delta f_m}{\delta \varepsilon_m} \quad [9]$$

$$f_m = K_m \cdot K_a \cdot p \quad [8]$$

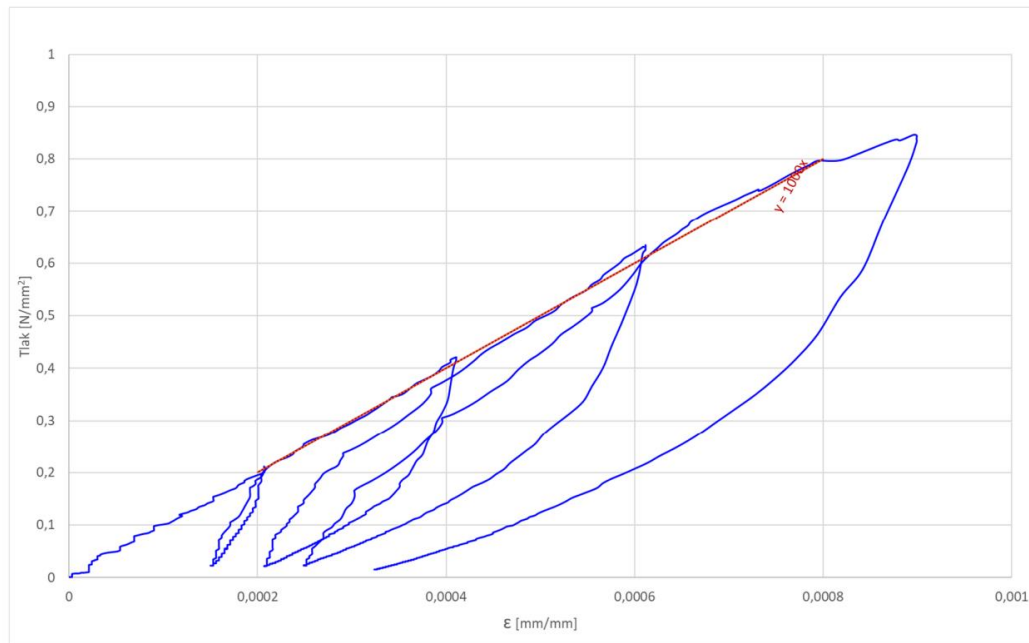
pri čemu je:

$$K_m = 0,8034$$

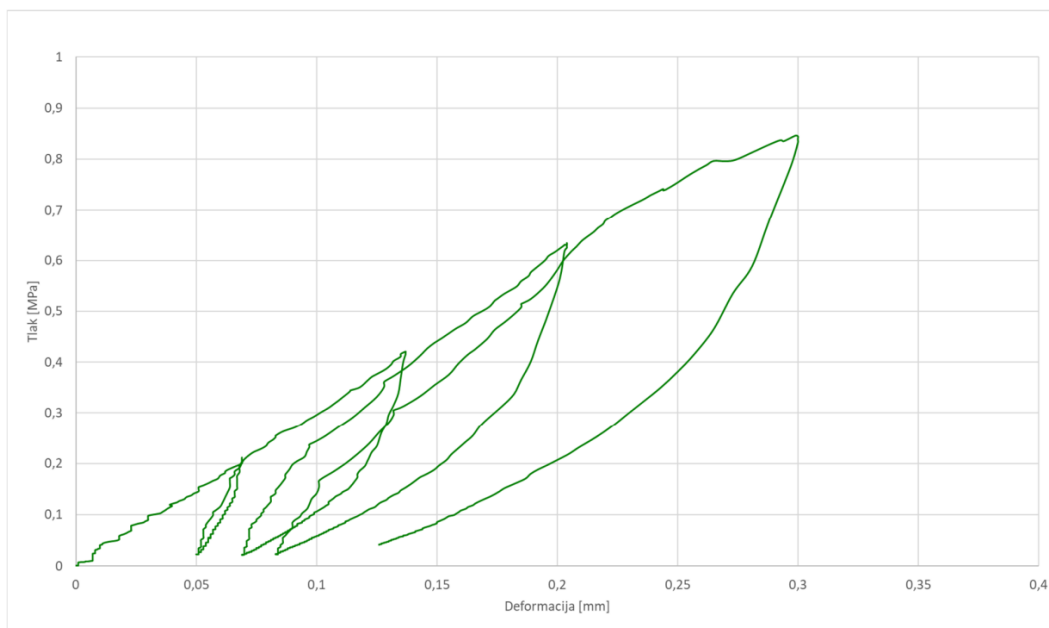
$$K_a = 0,8577$$

$$E_t = 1000 \text{ MPa}$$

Na slikama 31 i 32 grafički su prikazani rezultati ispitivanja. Na grafu prikazanom na slici 31 plavom bojom prikazano je nanošenje tlaka u 4 inkrementa (opterećenje – rasterećenje) te pravac korelacije s pripadajućom jednadžbom koja odgovara nagibu pravca (crveno). Osim toga, na grafu se također uočava i plastična deformacija koja trajno ostaje nakon svakog inkrementa nanošenja opterećenja te se sa svakim inkrementom povećava. Grafikon na slici 31 prikazuje obrađene rezultate dobivene ispitivanjem, a grafikon na slici 32 predstavlja "sirove rezultate" s terena.



Slika 31. Grafički prikaz odnosa tlaka i deformacija



*Slika 32. Grafički prikaz odnosa tlaka i deformacija*

Iz dobivenih rezultata vidi se da je omjer naprezanja i deformacije puno veći na poziciji M-2 nego na poziciji M-1, što je i vidljivo iz priloženih grafova, odnosno pri istom tlaku dolazi do višestruko manje deformacije na poziciji M-2.

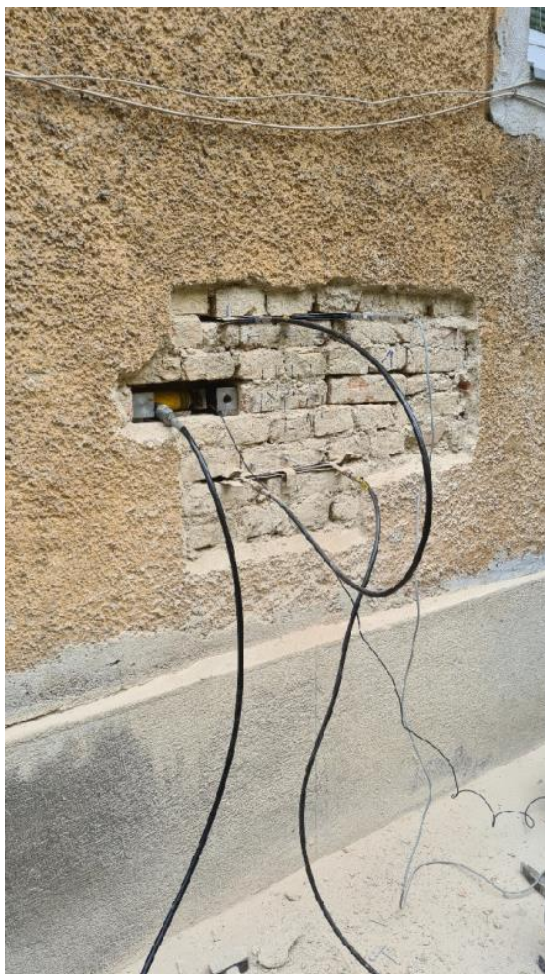
### ***5.1.3. Ispitivanje in-situ posmične čvrstoće morta u sljubnici zida***

Ispitivanje se provodi u skladu s ASTM C1531-16. U konkretnom slučaju, ispitivanje je provedeno na 2 pozicije. Korištena je preša flat-jack C358-01 Matest, čiji utor za montažu je izrađen bušenjem svrdlima bez vibracija. Čelični umetci ( $d=0,75$  mm) montirani su sa svake strane između preše i zida. Za nanos sile korištena je hidraulična preša kapaciteta 10 tona, umetnuta u utor nakon uklanjanja opeke, te mjerna ćelija kapaciteta 50 kN.

#### ***POZICIJA P-1***

Priprema ispitne pozicije i postupak samog ispitivanja detaljnije su opisani u poglavlju 4.5.2. Nakon odrađenog ispitivanja tlaka i deformabilnosti, ista pozicija se koristila za određivanje posmične čvrstoće. Uklonile su se mikroure te se odabrala najpovoljnija opeka po položaju za ispitivanje. S lijeve strane odabrane opeke uklonila se opeka, a s desne strane se uklonila vertikalna sljubnica. U mjesto uklonjene opeke postavila se hidraulična preša i čelične pločice koje služe za prijenos opterećenja. U horizontalnoj preši postupno se povećavao tlak sve dok nije popustila veza između morta i opeke. Kada je došlo do prekida veze između opeke i morta, ona se počela pomicati pod stalnim opterećenjem. Idući korak bio je povećanje tlaka u plosnatim prešama kako bi se ponovio proces za ovu razinu tlačnog naprezanja. Na slici 33 prikazana je oprema postavljena za ispitivanje na poziciji P-1.





*Slika 33. Ispitivanje na poziciji P-1*

**Proračun:**

Proračun se vrši prema idućem izrazu:

$$f_{v0} = f_v - \mu \cdot \sigma_0 \quad [8]$$

gdje je:

$\mu$  – koeficijent trenja za zid

$\sigma_v - j \cdot \sigma_{tj}$

$j$  – faktor za normalno naprezanje na ispitnoj jedinici

Dimenzija ispitne jedinice: 268 x 128 x 62 mm

Površina sljubnica,  $A = 68608 \text{ mm}^2$

$$j = 1,5$$

$$\mu = 0,557$$

$$f_{v0} = 0,35 - 0,557 \cdot 0,09$$

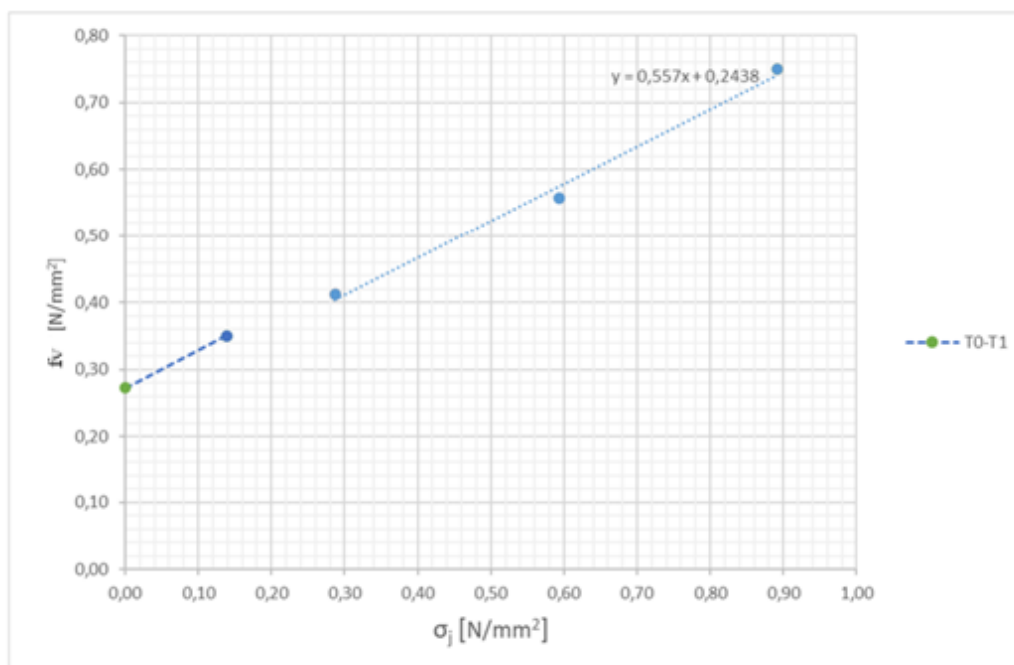
$$f_{v0} = 0,27 \text{ N/mm}^2$$

U tablici 10 prikazani su rezultati ispitivanja. Oznaka F predstavlja silu prilikom koje je uočen pomak opeke pri vertikalnom tlaku  $f_v$ .

Tablica 10. Prikaz rezultata

	<b>F</b> [kN]	<b>f<sub>v</sub></b> [N/mm <sup>2</sup> ]	<b>σ<sub>j</sub></b> [N/mm <sup>2</sup> ]	<b>σ</b> [N/mm <sup>2</sup> ]
<b>0</b>	24,0	0,35	0,14	0,09
<b>1</b>	28,3	0,41	0,29	0,19
<b>2</b>	38,2	0,56	0,59	0,40
<b>3</b>	51,4	0,75	0,89	0,50

Na slici 34 grafički su prikazani rezultati ispitivanja opisani u prethodnoj tablici.



*Slika 34. Grafički prikaz rezultata*

### **POZICIJA P-2**

Postavljanje opreme i ispitivanje na poziciji P-2 radi se na isti način kao i za poziciju P-1.

Na slici 35 prikazana je oprema postavljena za ispitivanje na poziciji P-2.



Slika 35. Ispitivanje na poziciji P-2

**Proračun:**

Proračun se provodi na potpuno jednak način kao i za poziciju P-1.

$$f_{v0} = f_v - \mu \cdot \sigma_0 \quad [8]$$

gdje je:

$\mu$  – koeficijent trenja za zid

$\sigma_v - j \cdot \sigma_{ij}$

$j$  – faktor za normalno naprezanje na ispitnoj jedinici

Dimenzija ispitne jedinice: 284 x 132 x 66 mm

Površina sljubnica,  $A = 74976 \text{ mm}^2$

$j = 1,5$

$$\mu = 0,7936$$

$$f_{v0} = 0,40 - 0,7936 \cdot 0,08$$

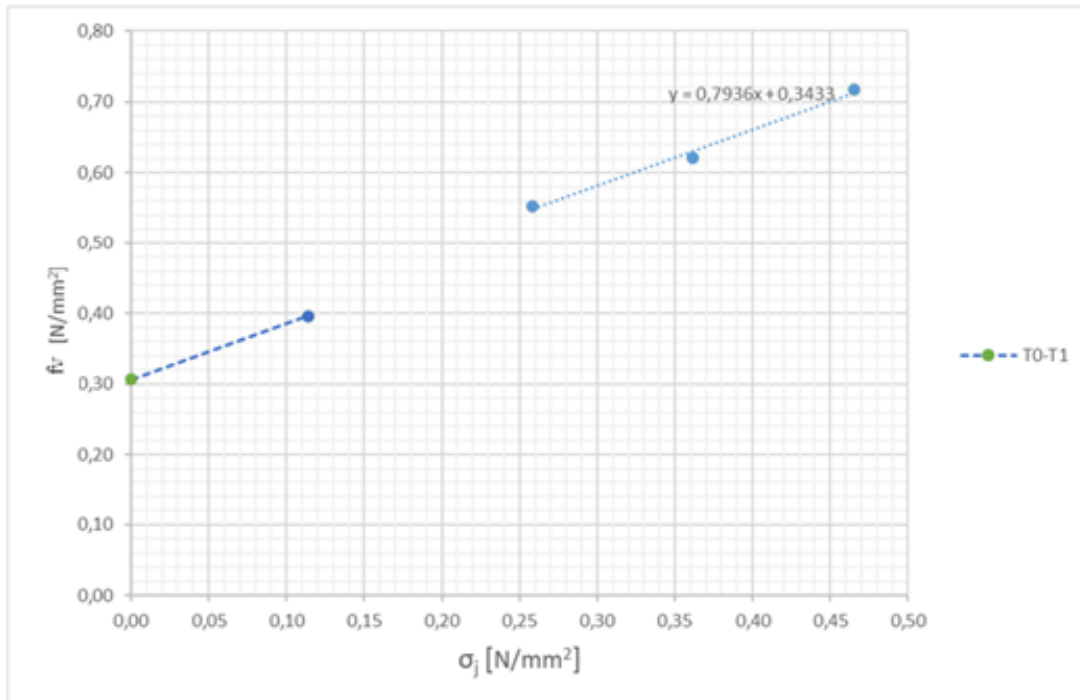
$$f_{v0} = 0,31 \text{ N/mm}^2$$

U tablici 11 prikazani su rezultati ispitivanja. Oznaka F predstavlja silu prilikom koje je uočen pomak opeke pri vertikalnom tlaku  $f_v$ .

*Tablica 11. Prikaz rezultata*

	<b>F</b> [kN]	<b>f<sub>v</sub></b> [N/mm <sup>2</sup> ]	<b>σ<sub>j</sub></b> [N/mm <sup>2</sup> ]	<b>σ</b> [N/mm <sup>2</sup> ]
<b>0</b>	29,7	0,40	0,11	0,0
<b>1</b>	41,5	0,55	0,26	0,17
<b>2</b>	46,5	0,62	0,36	0,24
<b>3</b>	53,8	0,72	0,47	0,31

Na slici 35 grafički su prikazani rezultati ispitivanja iz prethodne tablice.



Slika 36. Grafički prikaz rezultata

Kao što je vidljivo iz rezultata, može se zaključiti da se radi o sličnoj posmičnoj čvrstoći morta, što ukazuje na ista svojstva morta.

### 5.1.4. Tlačna čvrstoća opeke

Tlačna se čvrstoća opreme ispituje prema normi HRN EN 772-1,a u konkretnom slučaju ispitana je na uzorcima izvađenima iz konstrukcije na pozicijama O-1 i O-2. Kondicionirani su u laboratoriju u skladu s navedenom normom. Uzorci su izrađeni piljenjem prizmi 50 x 50 mm. Visina uzoraka određena je debljinom opeke, a kao faktor oblika odabran je koeficijent u skladu s tablicom A.1 spomenute norme.

Tablica 12. Prikaz rezultata

Ozna- ka uzorka	Dimenzije uzorka [mm]			m [g]	Gustoća [kg/m <sup>3</sup> ]	F [kN]	Ispitana tlačna čvrstoća [N/mm <sup>2</sup> ]	Normalizirana tlačna čvrstoća $f_b$ [N/mm <sup>2</sup> ]
	a	b	h					
<b>O-1/1</b>	51,58	51,99	61,9	278,2	1679	25,2	9,4	8,7
	51,61	51,77	61,91					
<b>O-1/2</b>	51,54	49,6	62,75	276,6	1689	29,2	11,2	10,4
	51,38	51,86	62,73					
<b>O-1/3</b>	51,41	50,02	61,17	274,3	1743	27	10,5	9,7
	51,89	49,47	61,34					
<b>O-1/4</b>	52	51,7	61,64	278,7	1677	31	11,5	10,7
	51,81	51,92	61,99					
<b>O-1/5</b>	51,59	48,78	62,58	265,1	1650	31,2	12,0	11,2
	50,93	52,44	61,27					
<b>O-1/6</b>	51,25	51,65	61,76	276,4	1688	22,3	8,4	7,8
	50,88	52,05	61,95					
SREDNJA VRIJEDNOST					1690		10,5	9,8

Tablica 13. Prikaz rezultata

Ozna- ka uzorka	Dimenzije uzorka [mm]			m [g]	Gustoća [kg/m <sup>3</sup> ]	F [kN]	Ispitana tlačna čvrstoća [N/mm <sup>2</sup> ]	Normalizirana tlačna čvrstoća f <sub>b</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]
	a	b	h					
<b>O-1/1</b>	49,72	50,1	66,91	299,5	1753	21,9	8,5	8,2
	50,91	51,8	66,35					
<b>O-1/2</b>	49,5	49	62,6	254,2	1673	27,9	11,5	10,7
	49,65	48,92	62,63					
<b>O-1/3</b>	51,95	50,92	64,73	298,9	1724	25,4	9,6	9,1
	51,05	51,92	66,24					
<b>O-1/4</b>	52,13	51,53	66,9	304,5	1703	31,7	11,9	11,4
	51,24	51,66	67,19					
<b>O-1/5</b>	49,33	48,85	62,79	280,4	1761	19,7	7,8	7,3
	51,51	51,57	63					
<b>O-1/6</b>	51,7	48,22	68,5	291,3	1687	31,3	12,4	12
	48,8	52,24	68,35					
SREDNJA VRIJEDNOST				1720			10,3	9,8

U tablicama 12 i 13 prikazani su rezultati tlačne čvrstoće opeke koje su se izvadile prilikom oslobađanja rupe za prešu u prethodnom ispitivanju, te se iz njih izvukao maksimalan broj uzoraka (6 kom). Kao rezultat ispitivanja uzeta je srednja vrijednost, a iz samog rezultata zaključujemo da se radi o identičnoj opeci.



### 5.1.5. Pregled ispitivnja zida

U tablici su prikazani svi rezultati ispitivanja mehaničkih svojstava zida. Kao što je i komentirano prethodno u radu, u tablici s rezultatima vidimo da su rezultati opeke i morta gotovo isti, odnosno isti u slučaju opeke. Tlačno naprezanje i modul (ispitivanje deformabilnosti) ovise o poziciji ispitivanja. U podrumu je veća deformabilnost i tlačno naprezanje, što je i logično s obzirom da na podrum djeluje veće opterećenje.

Tablica 14. Rezultati ispitivanja provedenih na stambenoj zgradi u ulici V.Nazora 20, Zagreb

Pozicija	Opis	Tlačno naprezanje [MPa]	Modul zid [MPa]	Posmik mort [N/mm <sup>2</sup> ]	Opeka tlak [N/mm <sup>2</sup> ]
1	Prizemlje, vanjski nosivi zid	0,48	430	0,27	9,8
2	Podrum, unutarnji nosivi zid	0,75	1000	0,31	9,8

## **5.2. Istražni radovi na stambenoj zgradi u Varšavskoj ulici 14, Zagreb**

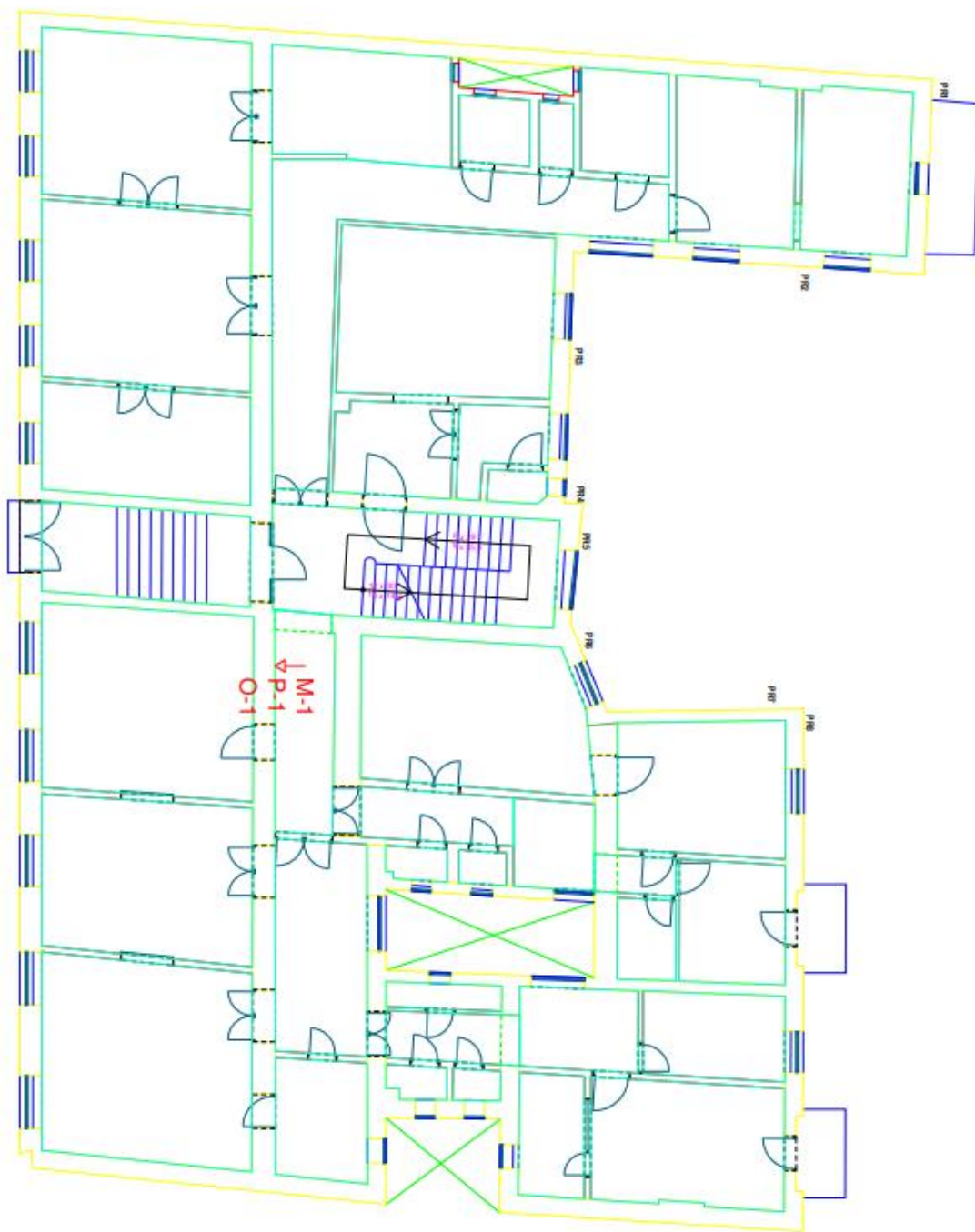
Kao i u prethodnom poglavlju, istražni radovi su provedeni u svrhu utvrđivanja vrste, geometrije i kvalitete elemenata konstrukcije, a služe kao podloga za budući projekt rekonstrukcije zgrade. Prilikom istražnih radova na ovoj su stambenoj zgradi provedena ispitivanja svojstava ziđa (deformacija, posmična čvrstoća morta, tlačna čvrstoća opeke) te se ispitala i geometrija nosivih elemenata međukatne konstrukcije, što neće biti tema ovog rada.

U tablici 15 su prikazane oznake i vrste ispitivanja.

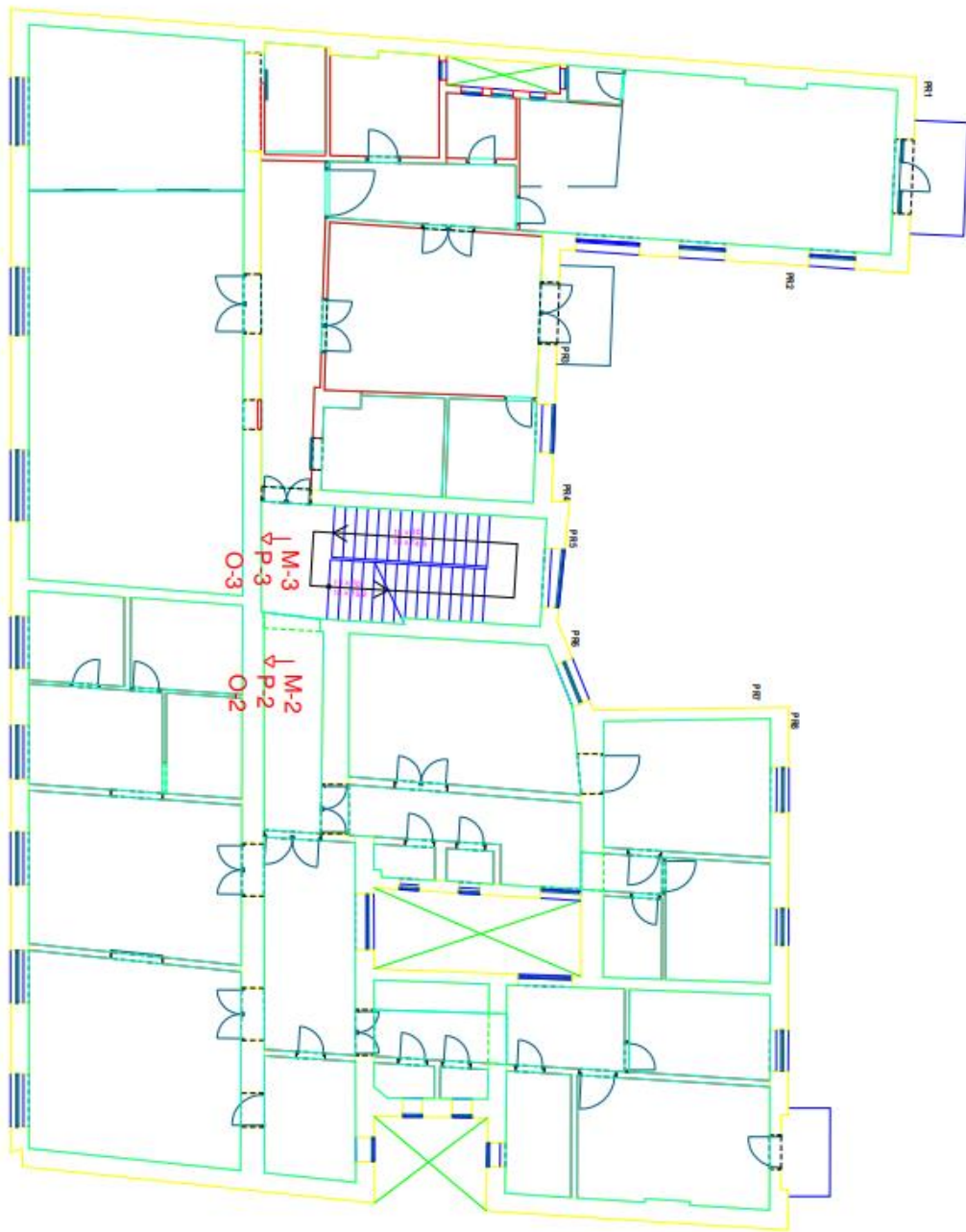
*Tablica 15. Vrste i oznake ispitivanja provedenih na stambenoj zgradi u Varšavskoj ulici 14, Zagreb*

<b>OZNAKA</b>	<b>VRSTA ISPITIVANJA</b>
<b>P</b>	Zid posmik
<b>M</b>	Zid modul
<b>O</b>	Opeka – tlak

Na slikama 37 i 38 prikazane su pozicije na kojima su se provela ispitivanja.



*Slika 37. Prikaz ispitnih pozicija u prizemlju stambene zgrade*



Slika 38. Prikaz ispitnih mjesta na 1.katu stambene zgrade

### ***5.2.1. Ispitivanje deformabilnosti zida***

Ispitivanje in-situ deformabilnosti zida provelo se u skladu s normom ASTM C1197-14a, na tri pozicije. Prilikom ispitivanja korištena je preša flat-jack C358-01 Matest (2 kom), a čiji su utori za montiranje izrađeni bušenjem svrdlima bez vibracija. Kao i na prethodnoj lokaciji, između preše i zida montirani su čelični umetci sa svake strane ( $d=0,75$  mm).

#### ***POZICIJA M-1***

Postavljanje opreme detaljno je opisano u poglavlju 4.6.2, a postupak je jednak onome provedenome u poglavlju 5.1.2. Na slici 39 prikazano je ispitno mjesto s pravilno postavljenom opremom za ispitivanje.



*Slika 39. Ispitivanje na poziciji M-1*

#### **Proračun :**

Proračun se vrši prema idućem izrazu :

$$E_t = \frac{\delta f_m}{\delta \varepsilon_m} \quad [9]$$

$$f_m = K_m \cdot K_a \cdot p \quad [8]$$

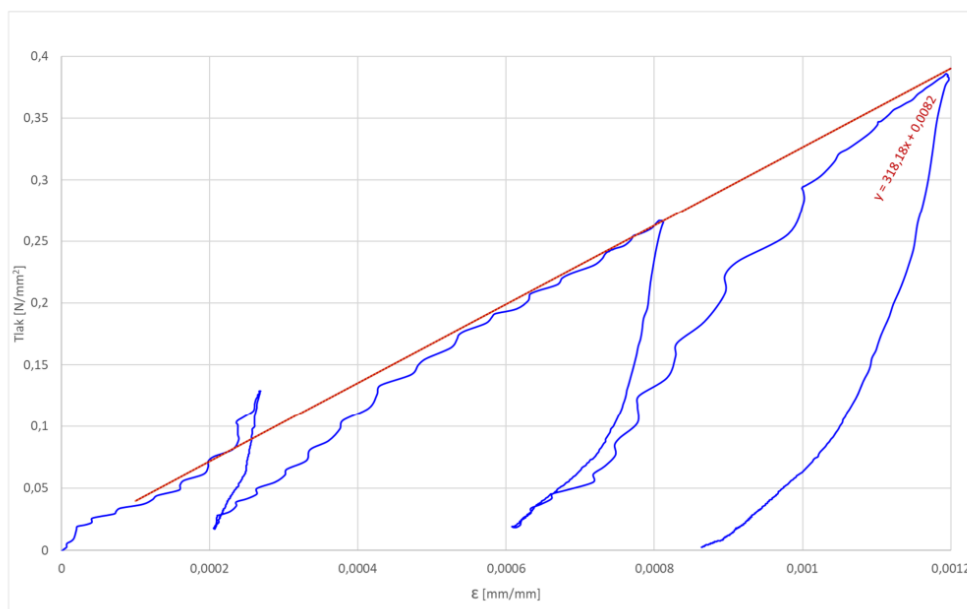
pri čemu je:

$$K_m = 0,7573$$

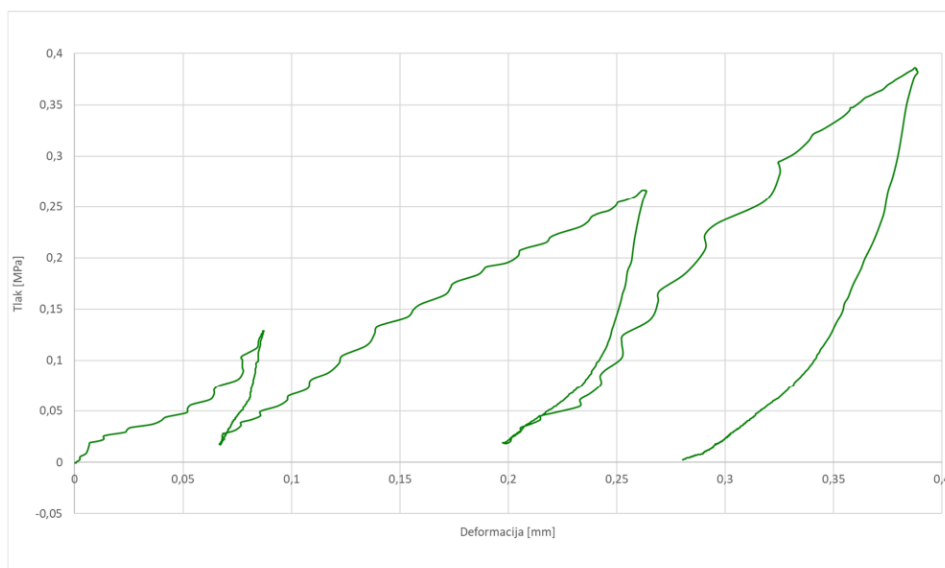
$$K_a = 0,8421$$

$$E_t = 318 \text{ MPa}$$

Na slikama 40 i 41 grafički su prikazani rezultati ispitivanja deformabilnosti ziđa na poziciji M-1. Na grafu prikazanom na slici 40 plavom bojom prikazano je nanošenje tlaka u 3 inkrementa (opterećenje – rasterećenje) te pravac korelacije s pripadajućom jednačbom koja odgovara nagibu pravca (crveno). Osim toga, na grafu se također uočava i plastična deformacija koja trajno ostaje nakon svakog inkrementa nanošenja opterećenja te se sa svakim inkrementom povećava. Grafikon na slici 40 prikazuje obrađene rezultate dobivene ispitivanjem, a grafikon na slici 41 predstavlja "sirove rezultate" s terena.



Slika 40. Grafički prikaz rezultata



*Slika 41. Grafički prikaz rezultata*

### **POZICIJA M-2**

Postavljanje opreme i samo ispitivanje vršilo se na jednak način kao i na poziciji M-1. Na slici 42 prikazano je ispitivanje na ispitnom mjestu M-2.



*Slika 42. Ispitivanje na poziciji M-2*

**Proračun:**

Proračun se vrši na jednak način kao za poziciju M-1, a prema idućim izrazima:

$$E_t = \frac{\delta f_m}{\delta \varepsilon_m} \quad [9]$$

$$f_m = K_m \cdot K_a \cdot p \quad [8]$$

pri čemu je:

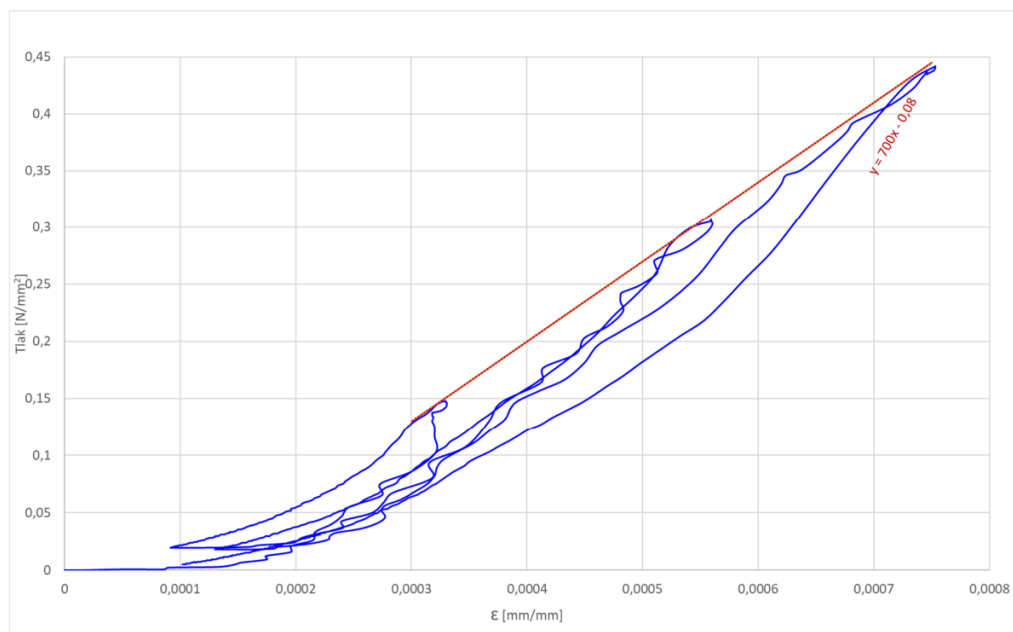
$$K_m = 0,8034$$

$$K_a = 0,8988$$

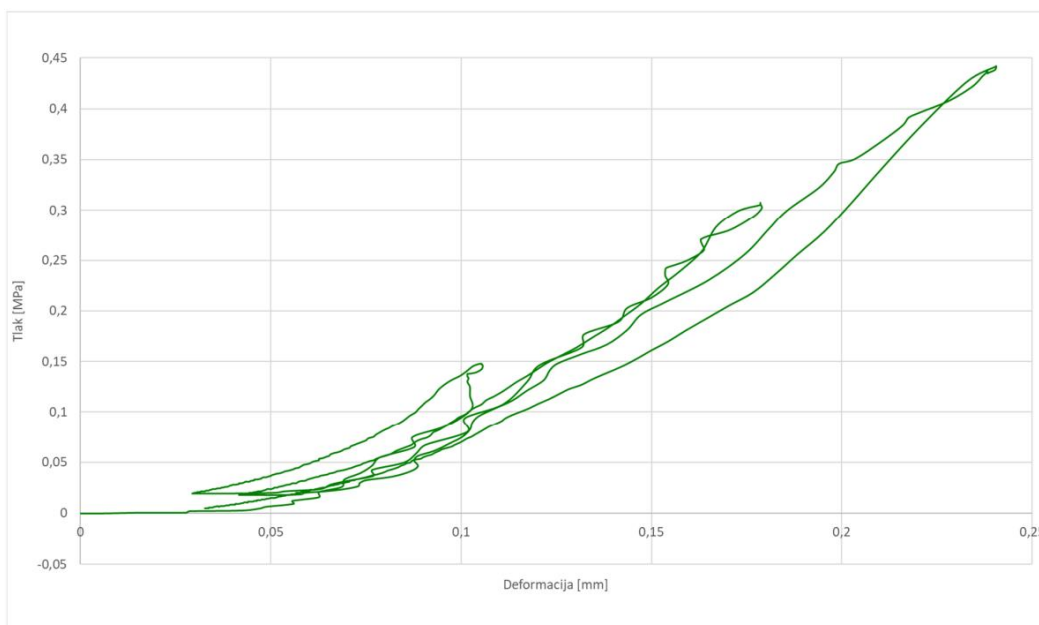
$$E_t = 700 \text{ MPa}$$

Na slikama 43 i 44 grafički su prikazani rezultati ispitivanja na poziciji M-2. Na grafu prikazanom na slici 43 plavom bojom prikazano je nanošenje tlaka u 3 inkrementa (opterećenje – rasterećenje) te pravac korelacije s pripadajućom jednačinom koja odgovara nagibu pravca (crveno). Osim toga, na grafu se također uočava i plastična deformacija koja trajno ostaje nakon svakog inkrementa nanošenja opterećenja te se sa svakim inkrementom povećava. Grafikon na slici 43 prikazuje obrađene rezultate dobivene ispitivanjem, a grafikon na slici 44 predstavlja "sirove rezultate" s terena.





Slika 43. Grafički prikaz rezultata



Slika 44. Grafički prikaz rezultata

### **POZICIJA M-3**

Postavljanje opreme i ispitivanje provelo se na jednak način kao i za pozicije M-1 i M-2.

Na slici 45 prikazano je ispitivanje na poziciji M-3.



*Slika 45. Ispitivanje na poziciji M-3*

### **Proračun:**

Proračun se vrši na jednak način kao i za prethodne 2 pozicije, a prema formulama:

$$E_t = \frac{\delta f_m}{\delta \varepsilon_m} \quad [9]$$

$$f_m = K_m \cdot K_a \cdot p \quad [8]$$

pri čemu je:

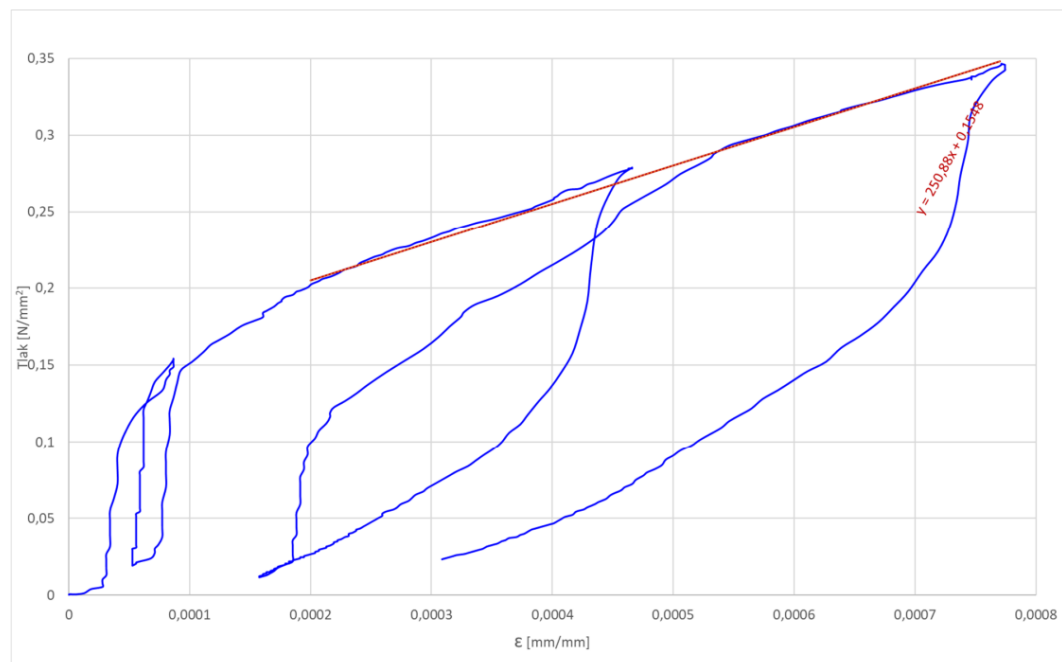
$$K_m = 0,7573$$

$$K_a = 0,9091$$

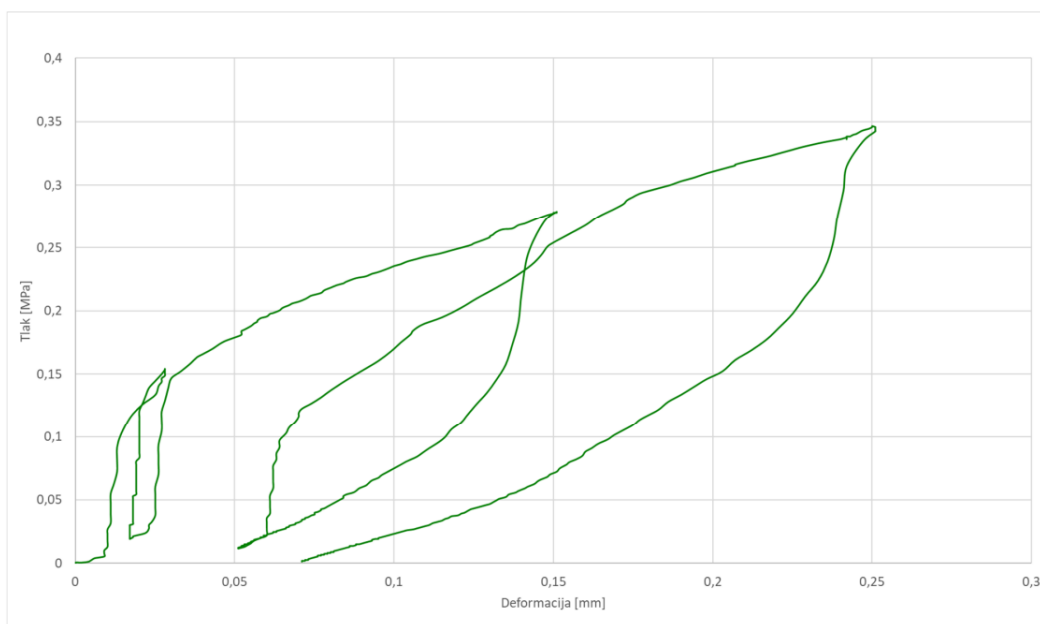
$$E_t = 250 \text{ MPa}$$

Na slikama 46 i 47 grafički su prikazani rezultati ispitivanja. Na grafu prikazanom na slici 46 plavom bojom prikazano je nanošenje tlaka u 3 inkrementa (opterećenje –

rasterećenje) te pravac korelacije s pripadajućom jednačbom koja odgovara nagibu pravca (crveno). Osim toga, na grafu se također uočava i plastična deformacija koja trajno ostaje nakon svakog inkrementa nanošenja opterećenja te se sa svakim inkrementom povećava. Grafikon na slici 46 prikazuje obrađene rezultate dobivene ispitivanjem, a grafikon na slici 47 predstavlja "sirove rezultate" s terena.



Slika 46. Grafički prikaz rezultata



*Slika 47. Grafički prikaz rezultata*

Iz rezultata ispitivanja na svim pozicijama uočavamo nelogičnosti koje možemo pripisati naknadnoj dogradnji dijela zgrade na postojeći objekt, uslijed čega je došlo do preraspodjele naprezanja, odnosno deformabilnosti pojedinih dijelova zgrade.

### ***5.2.2. Ispitivanje in-situ posmične čvrstoće morta u sljubnici zida***

Ispitivanje in-situ posmične čvrstoće morta provodi se u skladu s normom ASTM C1531-16, a u konkretnom slučaju provedeno je na 3 pozicije. Prilikom ispitivanja korištena je preša flat-jack C358-01 Matest (1 kom), a utor za nju rađen je bušenjem svrdlima bez vibracija. Također, između preše i zida montirani su čelični umetci sa svake strane ( $d=0,75$  mm). Za nanošenje sile prilikom ispitivanja korištena je hidraulična preša kapaciteta 10 tona, umetnuta u utor nakon uklanjanja opeke, te mjerna ćelija kapaciteta 50 kN.

#### ***POZICIJA P-1***

Postavljanje opreme i samo ispitivanje detaljno je opisano u poglavlju 4.5.2., a ispitivanje se vršilo na jednak način koji je prethodno opisan u poglavlju 5.1.3. Na slici 48 prikazano je ispitivanje na poziciji P-1.



*Slika 48. Ispitivanje na poziciji P-1*

**Proračun:**

Proračun se vrši prema idućem izrazu:

$$f_{v0} = f_v - \mu \cdot \sigma_0 \quad [8]$$

gdje je:

$\mu$  – koeficijent trenja za zid

$\sigma_v - j \cdot \sigma_{ij}$

$j$  – faktor za normalno naprezanje na ispitnoj jedinici

Dimenzija ispitne jedinice: 140 x 290 x 65 mm

Površina sljubnica,  $A = 81200 \text{ mm}^2$

$j = 1,5$

$\mu = 0,4261$

$$f_{v0} = 0,33 - 0,4261 \cdot 0,08$$

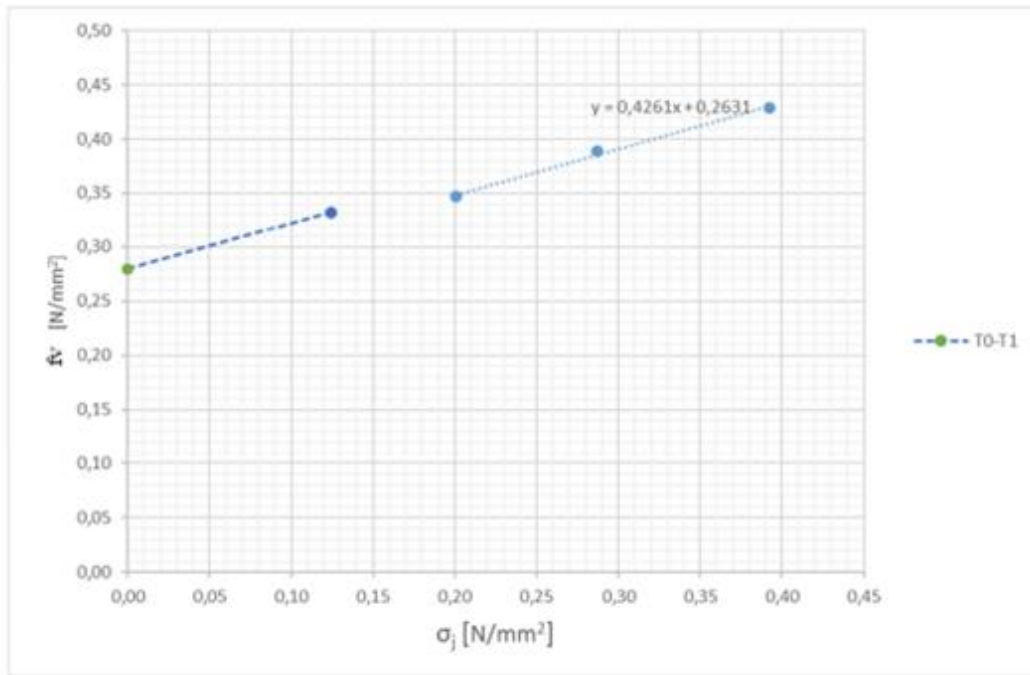
$$f_{v0} = 0,28 \text{ N/mm}^2$$

U tablici 16 prikazani su rezultati ispitivanja. Oznaka F predstavlja silu prilikom koje je uočen pomak opeke pri vertikalnom tlaku  $f_v$ .

*Tablica 16. Rezultati ispitivanja*

	<b>F</b> [kN]	<b><math>f_v</math></b> [N/mm <sup>2</sup> ]	<b><math>\sigma_j</math></b> [N/mm <sup>2</sup> ]	<b><math>\sigma</math></b> [N/mm <sup>2</sup> ]
<b>0</b>	27	0,33	0,12	0,08
<b>1</b>	28,2	0,35	0,20	0,13
<b>2</b>	31,6	0,39	0,29	0,19
<b>3</b>	34,8	0,43	0,39	0,26

Na slici 49 grafički su prikazani rezultati ispitivanja.



Slika 49. Grafički prikaz rezultata

### **POZICIJA P-2**

Postavljanje opreme i ispitivanje vrše se na potpuno jednak način kao i za poziciju P-1.

Na slici 50 prikazano je ispitivanje na poziciji P-2.



Slika 50. Ispitivanje na poziciji P-2

**Proračun:**

Proračun se vrši na isti način kao i za poziciju P-1.

$$f_{v0} = f_v - \mu \cdot \sigma_0 \quad [8]$$

gdje je:

$\mu$  – koeficijent trenja za zid

$\sigma_v - j \cdot \sigma_{ij}$

$j$  – faktor za normalno naprezanje na ispitnoj jedinici

Dimenzija ispitne jedinice: 145 x 295 x 70 mm

Površina sljubnica,  $A = 85550 \text{ mm}^2$

$j = 1,5$

$\mu = 0,444$

$$f_{v0} = 0,30 - 0,444 \cdot 0,08$$

$$f_{v0} = 0,23 \text{ N/mm}^2$$

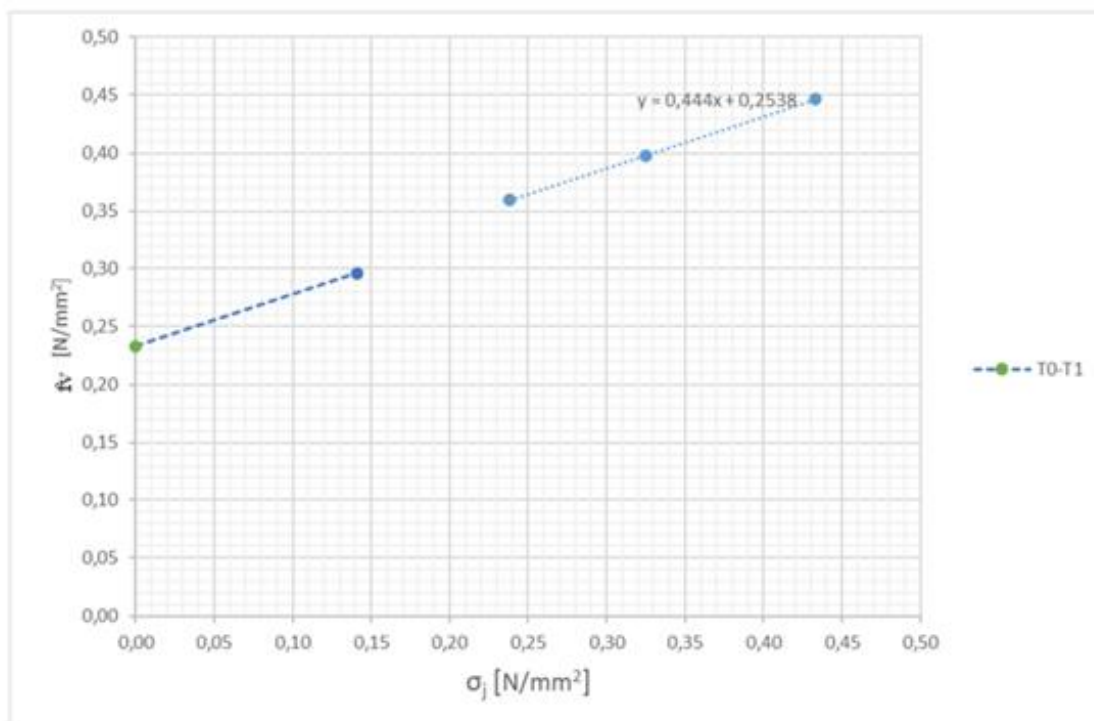


U tablici 17 prikazani su rezultati ispitivanja. Oznaka F predstavlja silu prilikom koje je uočen pomak opeke pri vertikalnom tlaku  $f_v$ .

Tablica 17. Rezultati ispitivanja

	<b>F</b> [kN]	<b><math>f_v</math></b> [N/mm <sup>2</sup> ]	<b><math>\sigma_j</math></b> [N/mm <sup>2</sup> ]	<b><math>\sigma</math></b> [N/mm <sup>2</sup> ]
<b>0</b>	25,3	0,30	0,14	0,09
<b>1</b>	30,8	0,36	0,24	0,16
<b>2</b>	34,0	0,40	0,32	0,22
<b>3</b>	38,2	0,45	0,43	0,29

Na slici 51 grafički su prikazani rezultati ispitivanja.



Slika 51. Grafički prikaz rezultata

### **POZICIJA P-3**

Postavljanje opreme i samo ispitivanje provelo se na sve tri pozicije na jednak način. Na slici 52 prikazano je ispitivanje na poziciji P-3.



*Slika 52. Ispitivanje na poziciji P-3*

### **Proračun:**

Proračun se vrši na jednak način kao i za svaku prethodnu poziciju.

$$f_{v0} = f_v - \mu \cdot \sigma_0 \quad [8]$$

gdje je:

$\mu$  – koeficijent trenja za zid

$\sigma_v - j \cdot \sigma_{ij}$

$j$  – faktor za normalno naprezanje na ispitnoj jedinici

Dimenzija ispitne jedinice: 140 x 285 x 65 mm

Površina sljubnica,  $A = 79800 \text{ mm}^2$

$j = 1,5$

$\mu = 1,0374$

$$f_{v0} = 0,32 - 1,0374 \cdot 0,09$$

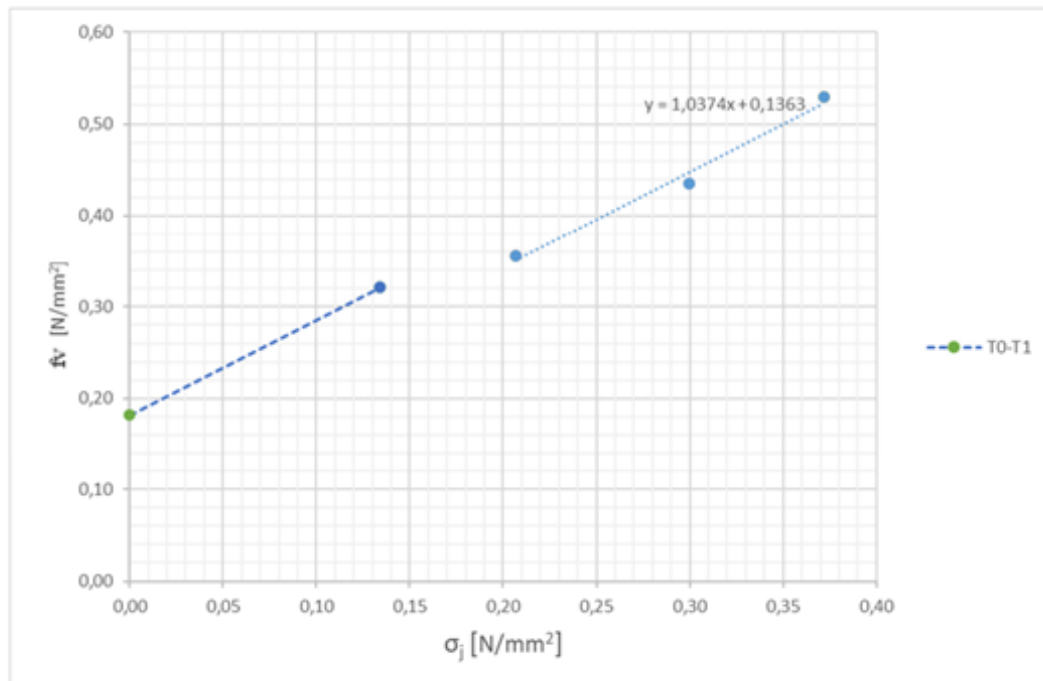
$$f_{v0} = 0,18 \text{ N/mm}^2$$

U tablici 17 prikazani su rezultati ispitivanja. Oznaka F predstavlja silu prilikom koje je uočen pomak opeke pri vertikalnom tlaku  $f_v$ .

*Tablica 18. Rezultati ispitivanja*

	<b>F</b> [kN]	<b>f<sub>v</sub></b> [N/mm <sup>2</sup> ]	<b>σ<sub>j</sub></b> [N/mm <sup>2</sup> ]	<b>σ</b> [N/mm <sup>2</sup> ]
<b>0</b>	25,6	0,32	0,13	0,09
<b>1</b>	28,4	0,36	0,21	0,14
<b>2</b>	34,7	0,43	0,30	0,20
<b>3</b>	42,2	0,53	0,37	0,25

Na slici 54 grafički su prikazani rezultati ispitivanja.



*Slika 54. Grafički prikaz rezultata*

Iz rezultata možemo utvrditi da se radi o sličnoj kvaliteti morta prilikom svakog ispitivanja.

### 5.2.3. Ispitivanje tlačne čvrstoće opeke

Tlačna čvrstoća opeke ispituje se, kao što je ranije spomenuto, prema normi HRN EN 772-1 na uzorcima izvađenim iz konstrukcije na pozicijama ispitnih mjesta O-1, O-2 i O-3. Kondicionirani su u laboratoriju u skladu s normom, a izrađeni su piljenjem prizmi 50 x 50 mm. Ispitna ploha uređena je mortom. Visina uzorka određena je debljinom opeke, a za faktor oblika odabran je koeficijent u skladu s tablicom A.1 norme.

U tablicama 19,20 i 21 prikazani su rezultati.

Tablica 19. Rezultati ispitivanja

O-1	Dimenzije uzorka [mm]			m [g]	Gustoća [kg/m <sup>3</sup> ]	F [kN]	Ispitana tlačna čvrstoća [N/mm <sup>2</sup> ]	Normalizirana tlačna čvrstoća f <sub>b</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]
	a	b	h					
1.1	50,04	50,29	50,05	192,4	1530	18,6	7,4	6,3
1.2	50,49	50,04	50,79	205,9	1600	22,3	8,8	7,6
1.3	50,14	49,35	50,37	196,9	1580	19,17	7,7	6,7
1.4	50,73	49,39	52,24	210,5	1610	21,69	8,7	7,5
1.5	50,03	49,80	66,02	257,2	1560	12,86	5,2	4,9
1.6	50,24	50,20	65,78	262,3	1580	18,6	7,4	7,0
SREDNJA VRIJEDNOST					1580		7,5	6,7

Tablica 20. Rezultati ispitivanja

O-2	Dimenzije uzorka [mm]			m [g]	Gustoća [kg/m <sup>3</sup> ]	F [kN]	Ispitana tlačna čvrstoća [N/mm <sup>2</sup> ]	Normalizirana tlačna čvrstoća f <sub>b</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]
	a	b	h					
2.1	54,92	53,65	64,18	294,2	1560	20,26	6,9	6,5
2.2	50,28	50,00	65,01	248,1	1520	16,18	6,4	6,1
2.3	50,26	49,73	65,27	259,5	1590	14,9	6,0	5,6
2.4	50,34	50,38	62,22	248,0	1570	14,57	5,7	5,3
2.5	48,83	50,66	62,39	241,5	1560	13,9	5,6	5,2
2.6	50,18	49,89	64,26	255,6	1590	14,8	5,9	5,6
SREDNJA VRIJEDNOST					1570		6,1	5,7

Tablica 21. Rezultati ispitivanja

O-3	Dimenzije uzorka [mm]			m [g]	Gustoća [kg/m <sup>3</sup> ]	F [kN]	Ispitana tlačna čvrstoća [N/mm <sup>2</sup> ]	Normalizirana tlačna čvrstoća f <sub>b</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]
	a	b	h					
3.1	50,33	50,43	50,36	204,7	1600	13,02	5,1	4,4
3.2	47,74	49,90	48,18	184,5	1610	11,04	4,6	3,9
3.3	49,84	49,94	69,05	278,9	1620	8,74	3,5	3,4
3.4	50,29	49,67	66,80	261,3	1570	13,8	5,5	5,3
3.5	50,13	50,24	66,10	264,8	1590	12,1	4,8	4,6
3.6	51,21	50,65	65,11	271,5	1610	13,9	5,4	5,1
SREDNJA VRIJEDNOST					1600		4,8	4,4

Iz priloženih tablica rezultata lako se uočava kako se radi o vrlo sličnim vrijednostima, što ukazuje na to da se radi o istoj opeci ne pretjerano dobre kvalitete (male vrijednosti).

#### 5.2.4. Pregled ispitivanja zida

U tablici 22 su prikazani svi rezultati ispitivanja mehaničkih svojstava zida. Kao što je već komentirano tijekom rada, prilikom ispitivanja modula (deformabilnost) uočavamo nelogičnosti u rezultatima, a možemo ih pripisati tome što se radila naknadna dogradnja na postojeći objekt, što je rezultiralo raspodjelom naprezanja. S druge strane, vrijednosti ispitivanja pomične čvrstoće morta vrlo su slične, čime zaključujemo da se radi o mortu slične kvalitete. Iz ispitivanja tlačnog naprezanja opeke uočavamo male vrijednosti rezultata, što ukazuje na lošiju kvalitetu opeke. S obzirom da su vrijednosti vrlo slične, možemo zaključiti kako se radi o istoj opeci.

Tablica 22. Pregled rezultata ispitivanja

Pozicija	Opis	Modul zid [MPa]	Posmik mort [N/mm <sup>2</sup> ]	Opeka tlak [N/mm <sup>2</sup> ]
1	Prizemlje, unutarjni zid – dogradnja	318	0,28	6,7
2	1.kat, unutarjni zid – dogradnja	700	0,23	5,7
3	1.kat, unutarjni zid – glavna zgrada	250	0,18	4,4



### **5.3. Istražni radovi na stambenoj zgradi u Novakovoj ulici 7, Zagreb**

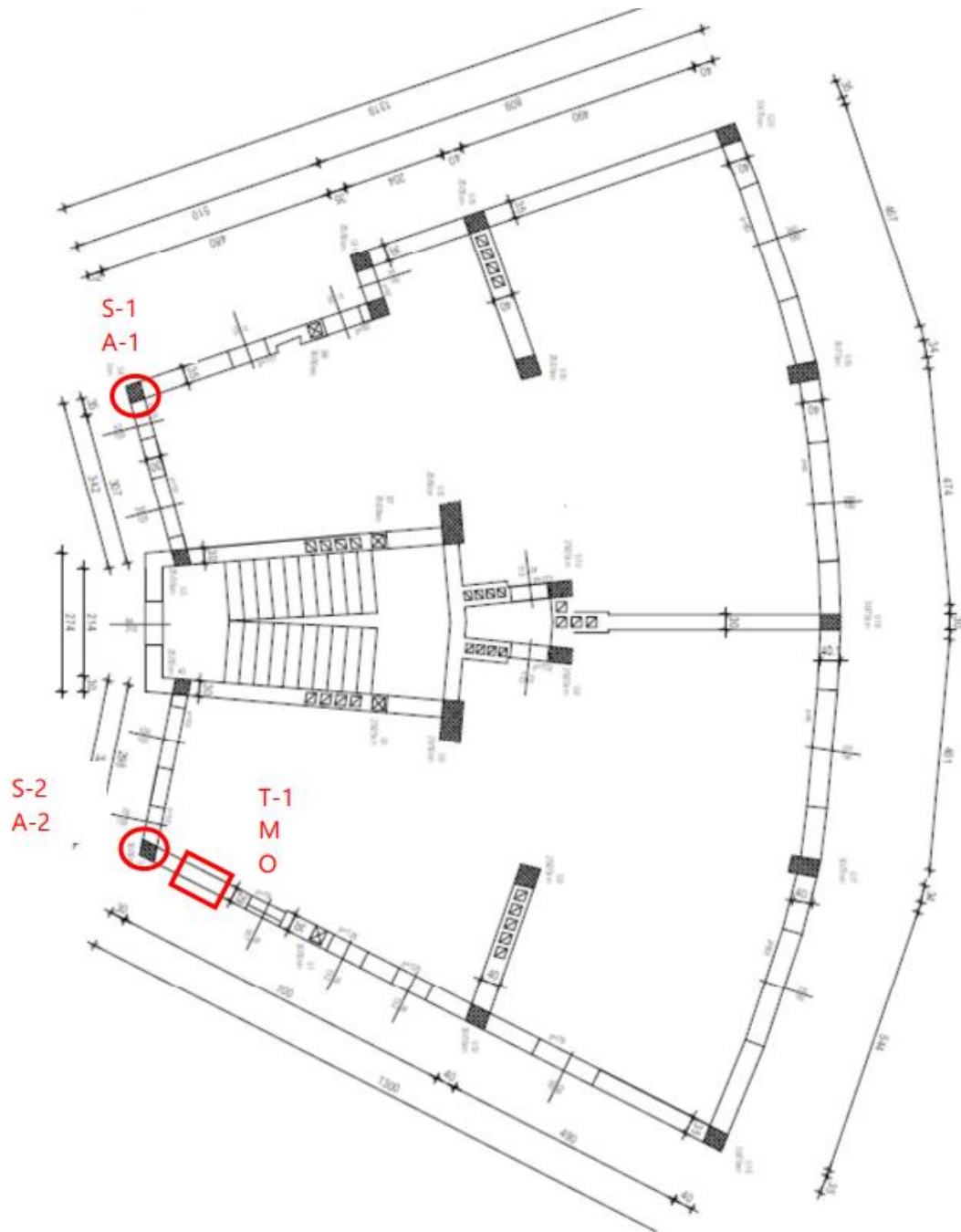
Istražni radovi na stambenoj zgradi u Novakovoj ulici 7 u Zagrebu provedeni su u svrhu izrade projektne dokumentacije za potrebe obnove zgrade nakon potresa. Provedena su ispitivanja svojstava zida (srednje tlačno naprezanje, ispitivanje deformacija, posmična čvrstoća morta te tlačna čvrstoća opeke). Uz ispitivanja svojstava zida, provelo se i određivanje odskoka sklerometra (beton) te utvrđivanje vrste i količine armature, ali to nije relevantno za temu ovog rada.

U tablici 23 prikazane su vrste i pripadajuće oznake ispitivanja.

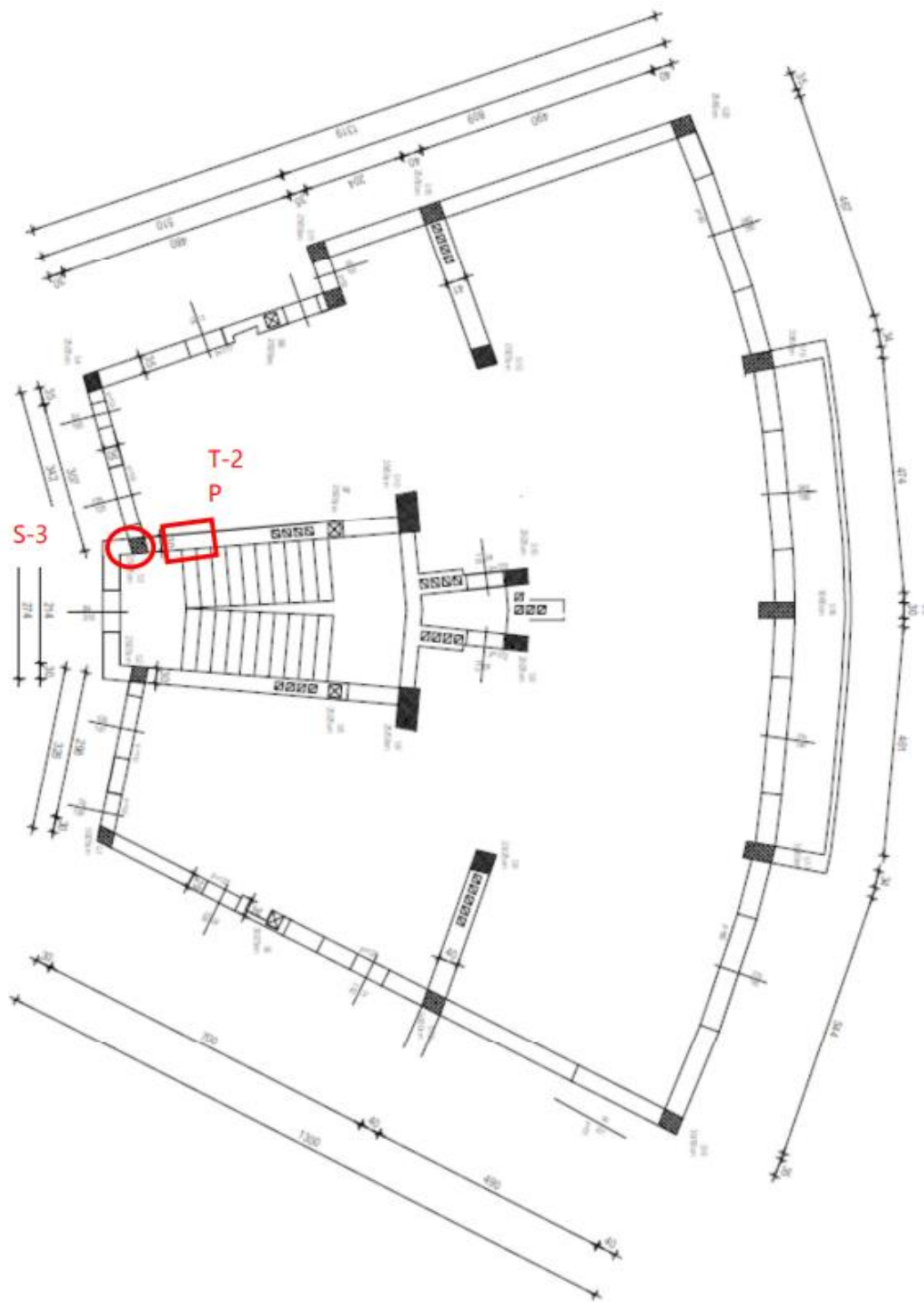
*Tablica 23. Vrste i oznake ispitivanja provedenih na stambenoj zgradi u Novakovoj ulici 7, Zagreb*

<b>OZNAKA</b>	<b>VRSTA ISPITIVANJA</b>
<b>M</b>	Zid modul
<b>T</b>	Zid tlak
<b>P</b>	Zid posmik
<b>O</b>	Opeka – tlak

Na slikama 55 i 56 prikazane su pozicije na kojima su provedena ispitivanja.



Slika 55. Ispitne pozicije u prizemlju stambene zgrade



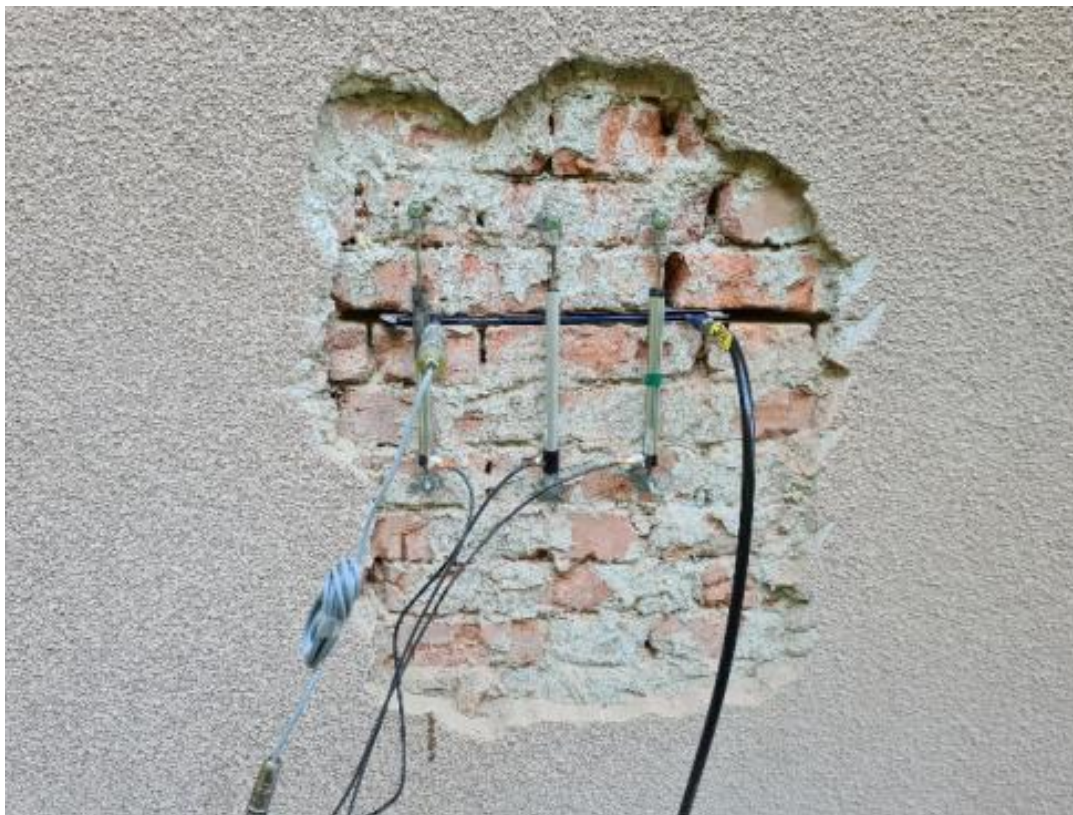
*Slika 56. Ispitne pozicije na podestu između 1. i 2. kata*

### ***5.3.1. Ispitivanje in-situ tlačnog naprezanja u zidu***

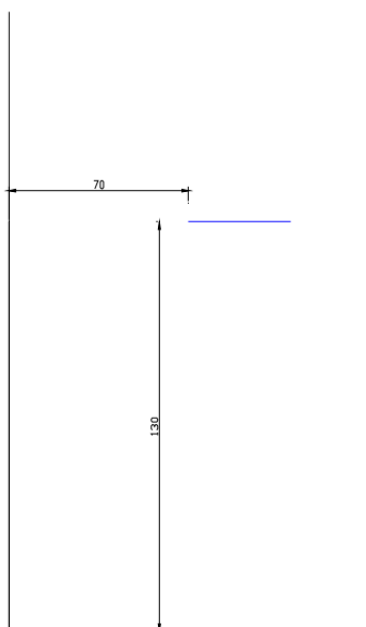
Ispitivanje in-situ tlačnog naprezanja u zidu provelo se u skladu s ASTM C1196-20 na jednoj poziciji vanjskog zida prizemlja te na unutarnjem zidu stubišta (podest između prvog i drugog kata). Prilikom ispitivanja koristila se preša flat-jack C358-01 Matest, za koju se utor izradio bušenjem svrdlima bez vibracija. Kao i u prethodnim ispitivanjima na drugim lokacijama, između zida i preše montirali su se čelični umetci sa svake strane ( $d=0,75$  mm).

#### ***POZICIJA T-1***

Postavljanje opreme i samo ispitivanje detaljno su opisani u poglavlju 4.4.1., a samo ispitivanje provelo se na jednak način kao i u poglavlju 5.1.1. Na slici 57 prikazano je ispitno mjesto T-1, dok se na slici 58 vidi pozicija ispitivanja u odnosu na kut zgrade.



*Slika 57. Ispitivanje na poziciji T-1*



Slika 58. Pozicija ispitivanja u odnosu na kut zgrade

**Proračun:**

Izmjerene vrijednosti prikazane su u tablici 24.

Tablica 24. Prikaz izmjerenih vrijednosti

<b>p [bar]</b>	<b>d<sub>sr</sub> [mm]</b>
<b>Početna</b>	<b>42,539</b>
0	42,255
1	42,273
2	42,311
3	42,356
4	42,406
5	42,458
6	42,503
<b>6,7</b>	<b>42,539</b>

Prilikom proračuna koristi se sljedeća formula:

$$f_m = K_m \cdot K_a \cdot p \quad [8]$$

pri čemu je:

$K_m$ - bezdimenzionalan koeficijent koji je ovisan o geometriji i krutosti plosnate preše.

Određuje se kalibracijom

$K_a$  – bezdimenzionalan koeficijent koji se određuje kao omjer ploštine plosnate preše i ploštine otvora

$p$ - tlak u plosnatoj preši potreban da se mjerna duljina vrati na početnu.

$$K_m = 0,8265$$

$$K_a = 0,8157$$

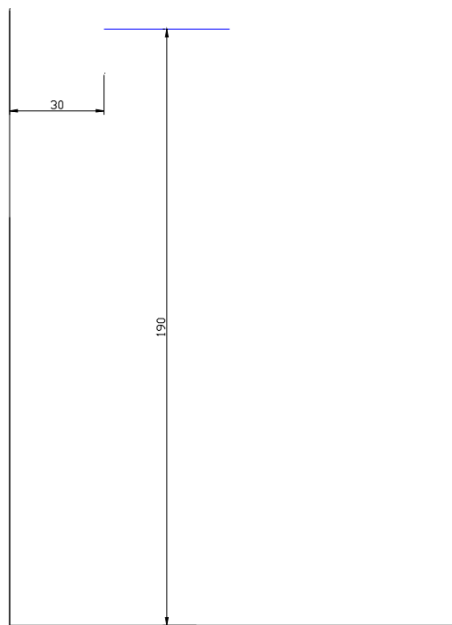
$$f_m = 0,8265 \cdot 0,8157 \cdot 0,67 = 0,45 \text{ N/mm}^2$$

### **POZICIJA T-2**

Na slici 59 prikazano je ispitivanje na ispitnom mjestu T-2, dok je na slici 60 prikazana pozicija ispitnog mjesta u odnosu na podest stubišta između prvog i drugog kata. Ispitivanje i postavljanje opreme vršili su se na jednak način kao i za prethodnu poziciju.



*Slika 59. Ispitivanje na poziciji T-2*



*Slika 60. Pozicija ispitivanja u odnosu na podest stubišta između prvog i drugog kata*

**Proračun:**

Izmjerene vrijednosti prikazane su u tablici 25.

Tablica 25. Prikaz izmjerenih vrijednosti

<b>p [bar]</b>	<b>d<sub>sr</sub> [mm]</b>
-	<b>44,526</b>
0	44,489
1	44,496
2	44,505
3	44,513
4	44,522
<b>4,5</b>	<b>44,526</b>

Prilikom proračuna koristi se već spomenuta formula:

$$f_m = K_m \cdot K_a \cdot p \quad [8]$$

pri čemu je:

$K_m$ - bezdimenzionalan koeficijent koji je ovisan o geometriji i krutosti plosnate preše.

Određuje se kalibracijom

$K_a$  – bezdimenzionalan koeficijent koji se određuje kao omjer ploštine plosnate preše i ploštine otvora

$p$ - tlak u plosnatoj preši potreban da se mjerna duljina vrati na početnu.

$$K_m = 0,8265$$

$$K_a = 0,9375$$

$$f_m = 0,8265 \cdot 0,9375 \cdot 0,67 = 0,35 \text{ N/mm}^2$$

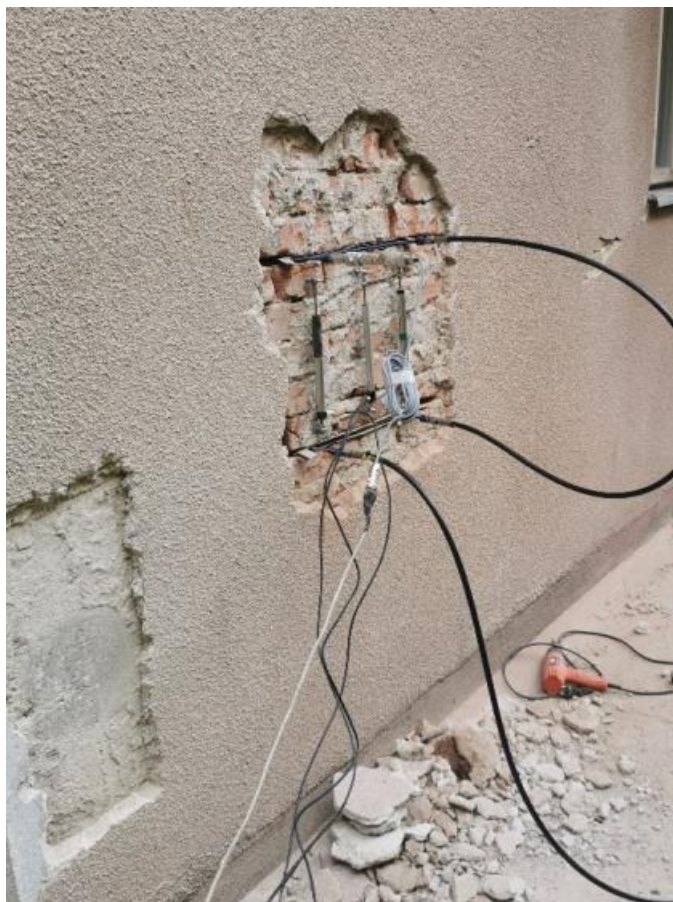


### ***5.3.2. Ispitivanje deformabilnosti zida***

Ispitivanje in-situ svojstava deformabilnosti zida provelo se u skladu s ASTM C1197-14a. U konkretnom slučaju, ispitivanje je provedeno na jednoj poziciji vanjskog zida prizemlja. Koristila se preša flat-jack C358-1 Matest (2 kom). Utor za prešu izrađen je bušenjem svdrlima bez vibracija, a između preše i zida montirani su čelični umetci sa svake strane (d=0,75 mm).

#### ***POZICIJA T-1***

Postavljanje opreme detaljno je opisano u poglavlju 4.6.2, a postupak je jednak onome provedenome u poglavlju 5.1.2 Na slici 61 prikazano je ispitivanje na poziciji T-1.



*Slika 61. Ispitivanje na poziciji T-1*

**Proračun:**

Proračun se vrši prema idućem izrazu:

$$E_t = \frac{\delta f_m}{\delta \varepsilon_m} \quad [9]$$

$$f_m = K_m \cdot K_a \cdot p \quad [8]$$

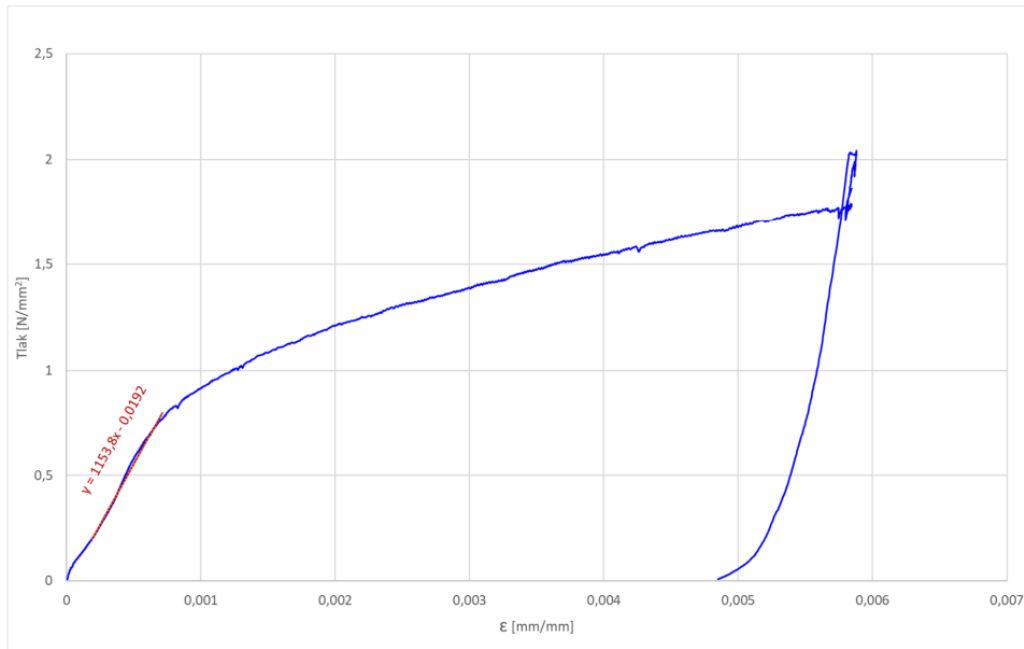
pri čemu je:

$$K_m = 0,8265$$

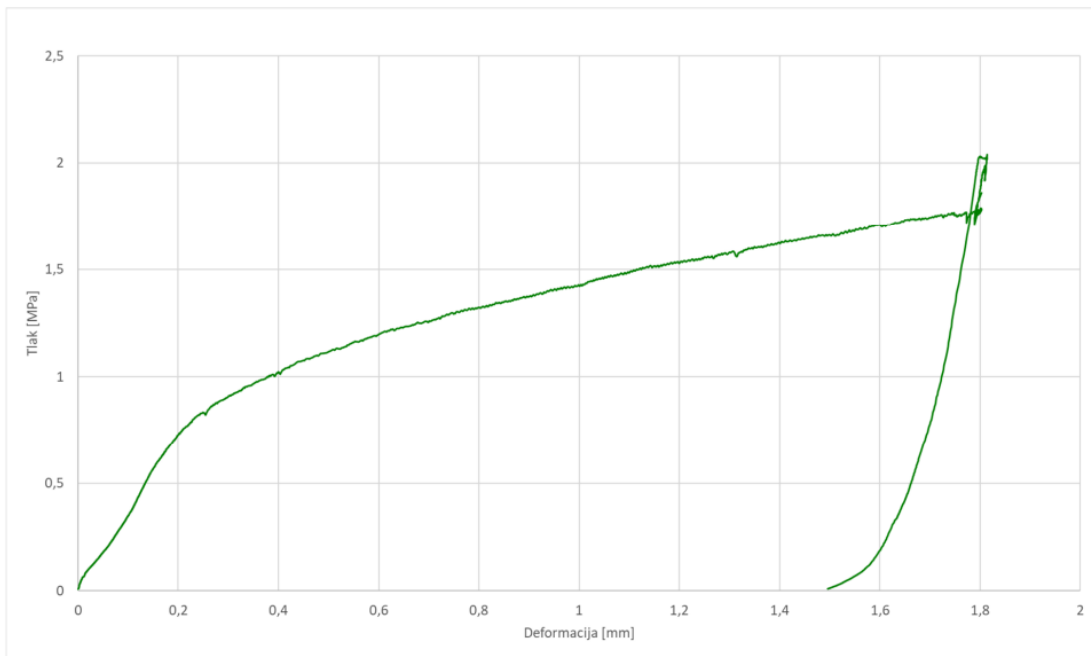
$$K_a = 0,9180$$

$$E_t = 1153 \text{ MPa}$$

Na slikama 62 i 63 grafički su prikazani rezultati ispitivanja na poziciji T-1. Na grafikonima prikazanim na slikama 62 i 63 nalazi se samo jedan inkrement opterećenja jer gledajući krivulju uočavamo da je došlo do loma na krivulji, što možemo protumačiti kao slom zida između 2 plosnate preše.



Slika 62. Grafički prikaz rezultata ispitivanja



Slika 63. Grafički prikaz rezultata ispitivanja

### ***5.3.3. Ispitivanje in-situ posmične čvrstoće morta u sljubnici zida***

Ispitivanje se provelo u skladu s normom ASTM C1531-16 na jednoj poziciji unutarnjeg zida stubišta. Prilikom samog ispitivanja koristila se preša flat-jack C358-01 Matest, a utor za nju izrađen je bušenjem svrdlima bez vibracija (tlak u zidu ostvaren je pomoću jedne preše s obzirom na otežane okolnosti ugradnje druge na predmetnoj poziciji). Između preše i zida montirani su čelični umetci sa svake strane ( $d=0,75$  mm). Za nanos sile koristila se hidraulična preša kapaciteta 7 tona, umetnuta u utor nakon uklanjanja opeke.

#### ***POZICIJA T-2***

Postavljanje opreme i samo ispitivanje detaljno je opisano u poglavlju 4.5.2., a ispitivanje se vršilo na jednak način koji je prethodno opisan u poglavlju 5.1.3 Na slici 64 prikazano je ispitivanje na predmetnoj poziciji.



*Slika 64. Ispitivanje na poziciji T-2*

**Proračun:**

Proračun se vrši prema idućem izrazu:

$$f_{v0} = f_v - \mu \cdot \sigma_0 \quad [8]$$

gdje je:

$\mu$  – koeficijent trenja za zid

$\sigma_v - j \cdot \sigma_{ij}$

$j$  – faktor za normalno naprezanje na ispitnoj jedinici

Površina sljubnica,  $A = 59994 \text{ mm}^2$

$j = 1,5$

$\mu = 0,5313$

$$f_{v0} = 0,402 - 0,5313 \cdot 0,15$$

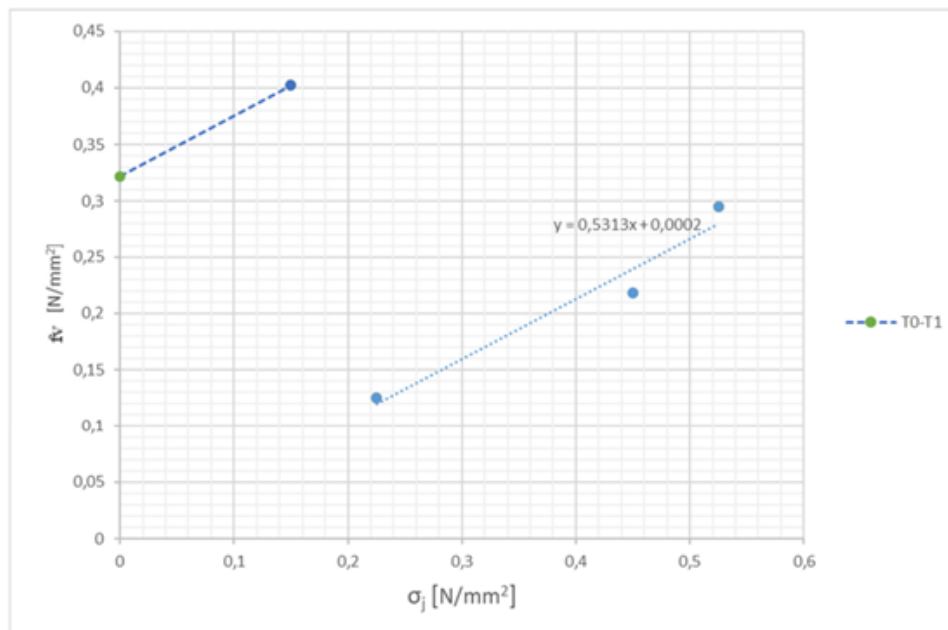
$$f_{v0} = 0,32 \text{ N/mm}^2$$

U tablici 26 prikazani su rezultati ispitivanja. Oznaka F predstavlja silu prilikom koje je uočen pomak opeke pri vertikalnom tlaku  $f_v$ .

Tablica 26. Rezultati ispitivanja

	<b>F</b> [kN]	<b>f<sub>v</sub></b> [N/mm <sup>2</sup> ]	<b>σ<sub>j</sub></b> [N/mm <sup>2</sup> ]	<b>σ</b> [N/mm <sup>2</sup> ]
<b>0</b>	24,1	0,402	0,15	0,1
<b>1</b>	7,5	0,125	0,225	0,15
<b>2</b>	13,1	0,218	0,45	0,3
<b>3</b>	17,7	0,295	0,525	0,35

Na slici 65 grafički su prikazani rezultati ispitivanja.



Slika 65. Grafički prikaz rezultata ispitivanja

#### 5.3.4. Ispitivanje tlačne čvrstoće opeke

Tlačna čvrstoća opeke ispitana je prema normi HRN EN 772-1 na uzorcima izvađenima iz konstrukcije na poziciji T-1. Uzeta su 2 uzorka opeke koji su kondicionirani u laboratoriju u skladu s normom. Uzorci za ispitivanje tlačne čvrstoće opeke izrađeni su piljenjem prizmi 50x50 mm, a ispitna ploha uređena je mortom. Visina samog uzorka određena je debljinom opeke, koja iznosi 65 mm. Kao faktor oblika odabran je iznos 0,85 u skladu s tablicom A1 norme.

U tablici 27 prikazani su rezultati ispitivanja.

Tablica 27. Prikaz rezultata

Ozna- ka uzorka	Dimenzije uzorka [mm]			m [g]	Gustoća [kg/m <sup>3</sup> ]	F [kN]	Ispitana tlačna čvrstoća [N/mm <sup>2</sup> ]	Normalizirana tlačna čvrstoća f <sub>b</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]
	a	b	h					
N-A-1	47,53	54,95	67,93	308,6	1741	16,7	6,4	5,5
	47,73	54,27	68,39					
N-A-2	53,8	53,17	67,89	347,3	1771	18,4	6,4	5,4
	54,49	53,32	68,14					
N-A-3	51,22	54,13	68,6	327,9	1755	20,3	7,4	6,3
	49,48	54,23	68,36					
N-A-4	51,5	53,22	67,99	330,5	1765	17,1	6,2	5,3
	51,36	53,45	68,55					
N--5	51,48	52,88	67,02	322,5	1767	21,2	7,8	6,6
	50,76	53,37	67,4					
N-B-6	49,99	51,48	66,79	295,2	1739	15,4	6,1	5,2
	49,53	50,53	66,99					
N-B-7	51,74	54,19	68,26	337,2	1744	21,3	7,6	6,4
	51,51	54,6	69,46					
SREDNJA VRIJEDNOST					1755		6,8	5,8

### 5.3.5. Pregled ispitivanja zida

Tablica 28. Rezultati ispitivanja provedenih na stambenoj zgradi u Novakovoj ulici 7, Zagreb

Pozicija	Opis	Tlačno naprezanje [MPa]	Modul zid [MPa]	Posmik mort [N/mm <sup>2</sup> ]	Opeka tlak [N/mm <sup>2</sup> ]
1	Prizemlje – vanjski zid	0,45	1153	-	5,8
2	Stubište – podest između 1. i 2. kata	0,35	-	0,32	-



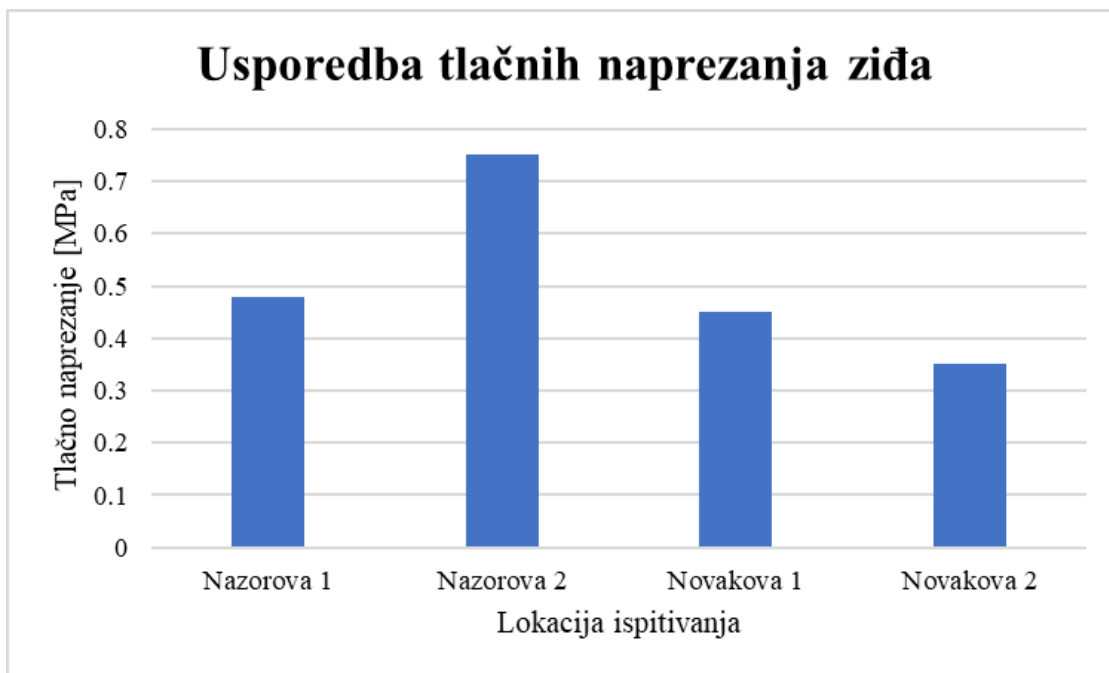
## 5.4. ANALIZA I USPOREDBA REZULTATA

Svi objekti na kojima su se vršila ispitivanja imali su žutu naljepnicu, dobivenu nakon pregleda statičara nakon potresa u Zagrebu. Na svim objektima su bile vidljive pukotine na zidovima koji su bili građeni od sitne cigle. Svaki objekt je sadržavao horizontalne i vertikalne serklaže, a ispuna je od sitne cigle. U tablici 29 prikazani su ukupni rezultati ispitivanja na sve tri ispitne lokacije te na svim ispitnim pozicijama.

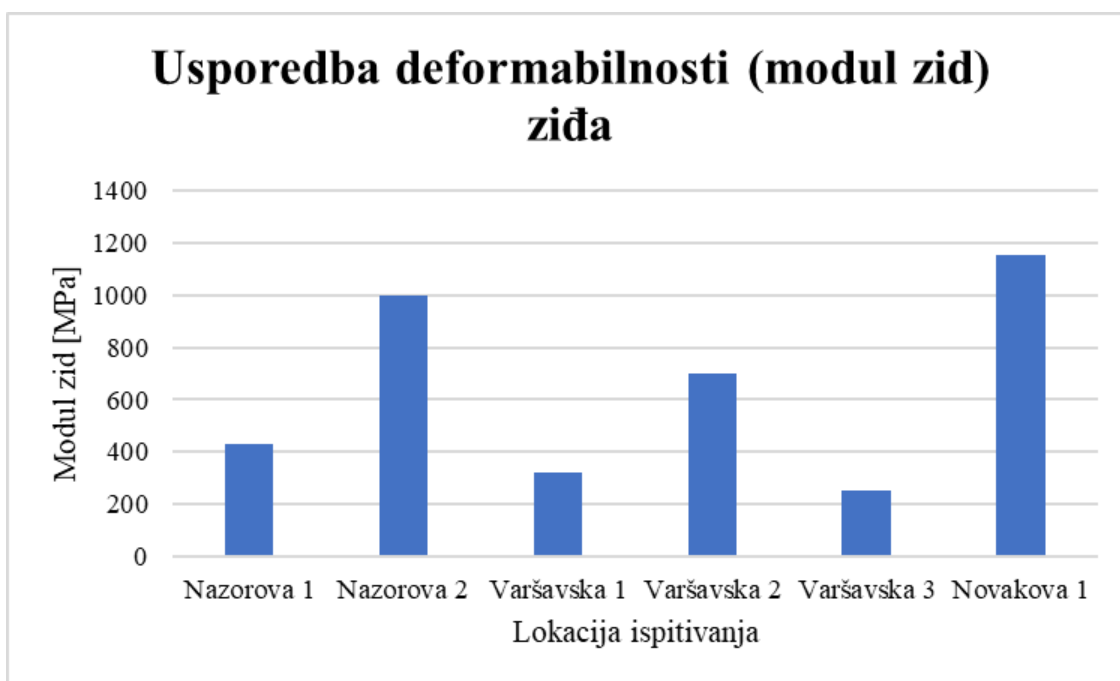
Tablica 29. Usporedba rezultata sa svih lokacija ispitivanja

LOKACIJA	POZICIJA	ISPITIVANJA			
		TLAČNO NAPREZANJE [MPa]	MODUL ZID [MPa]	POSMIK MORT [N/mm <sup>2</sup> ]	OPEKA TLAK [N/mm <sup>2</sup> ]
NAZOROVA	1	0,48	430	0,27	9,8
	2	0,75	1000	0,31	9,8
VARŠAVSKA	1	-	318	0,28	6,7
	2	-	700	0,23	5,7
	3	-	250	0,18	4,4
NOVAKOVA	1	0,45	1153	-	5,8
	2	0,35	-	0,32	-

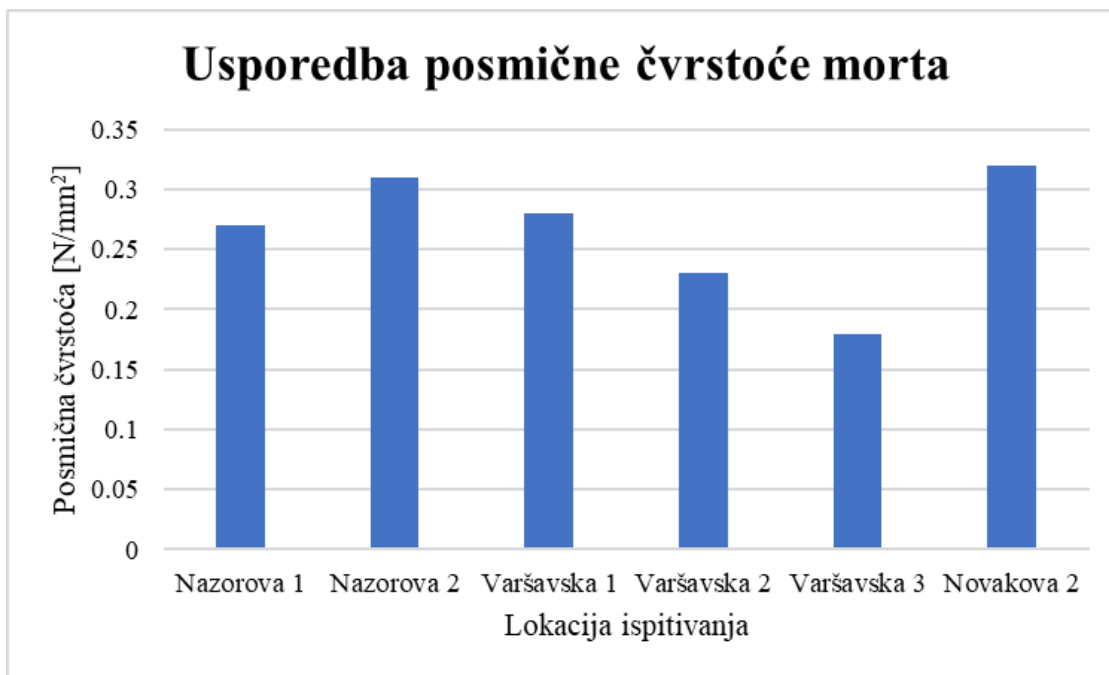
Na slikama 66-69 grafički su prikazani tablični rezultati, odnosno njihove usporedbe.



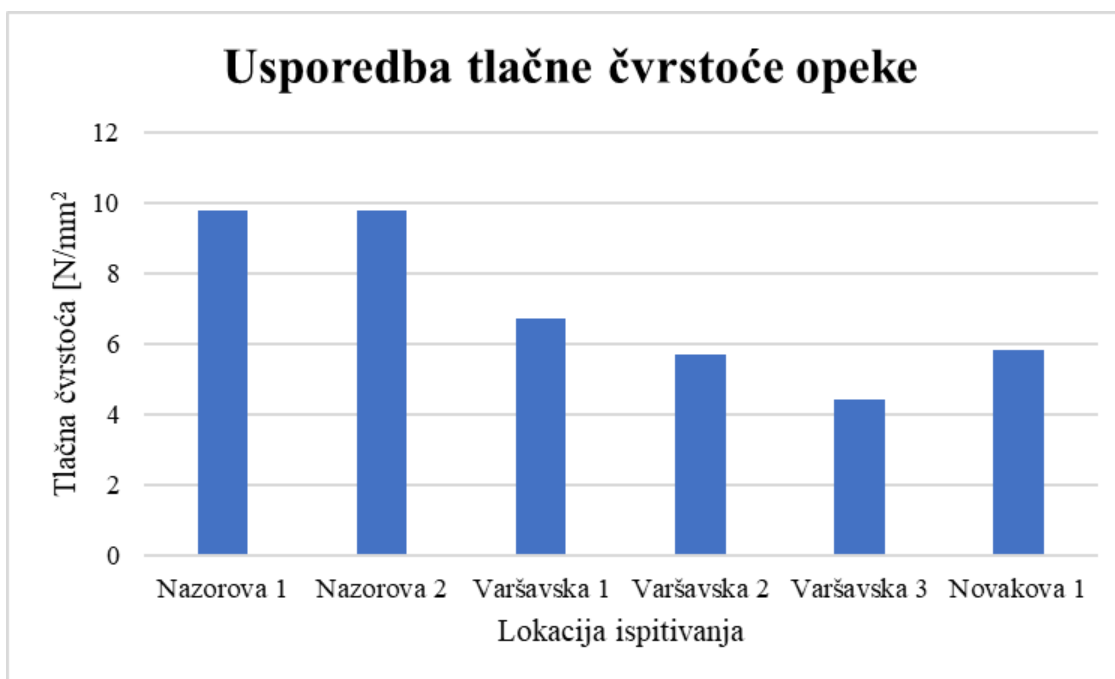
Slika 66. Grafički prikaz usporedbe tlačnih naprezanja zida



Slika 67. Grafički prikaz usporedbe deformabilnosti zida



Slika 68. Grafički prikaz usporedbe posmične čvrstoće morta



Slika 69. Grafički prikaz usporedbe tlačne čvrstoće opeke

Iz dobivenih rezultata na 3 objekta u Zagrebu uočavamo kako se svugdje ponavljaju slične ili jednake vrijednosti posmične čvrstoće morta i tlačne čvrstoće opeke. Što se tiče tlačnog naprezanja u zidu, čak ni njegove vrijednosti ne odstupaju drastično od lokacije do lokacije i od ispitivanja do ispitivanja. Modul, odnosno rezultati ispitivanja deformabilnosti su najproblematičnije vrijednosti, čiji iznosi značajno variraju. Kada bismo imali veći uzorak ispitivanja na području Zagreba, vrlo vjerojatno bismo mogli koristiti tablične vrijednosti. Prvi korak ka smanjenju troškova ispitivanja mehaničkih svojstava zida jest davanje prednosti ispitivanju deformabilnosti, odnosno smatram da se potrebno više posvetiti njenom ispitivanju nego ispitivanju ostalih spomenutih parametara s obzirom da njihove vrijednosti ne predstavljaju problem.

## 6. ZAKLJUČAK

U ovome su radu opisane metode ispitivanja nekih od najvažnijih mehaničkih svojstava zida, a koja su neophodna i trebala bi biti nezaobilazan dio za kvalitetno projektiranje i izradu projekata sanacije i obnove građevina. Ispitivanja su se vršila na 3 lokacije u Zagrebu, u ulici Vladimira Nazora 20, u Varšavskoj ulici 14 te u Novakovoj ulici 7. Uz ispitivanja opisana u radu, na spomenutim lokacijama radile su se i druge nedestruktivne metode, a koje služe kao pomoćni alat za postavljanje dodatnih tehničkih karakteristika (npr. raspored i duljina armature). Neke od tih metoda su sklerometar te mjerenje brzine prolaska ultrazvuka. Važno je spomenuti kako su sva ispitivanja u radu vrlo brza te se prilikom njih ne nanosi šteta na objektu, tako da je moguće obuhvatiti veći broj lokacija ispitivanja bez ikakvih problema. Ukoliko se usporede rezultati ispitivanja na svim lokacijama uočavamo kako vrijednosti rezultata posmične čvrstoće morta, tlačne čvrstoće opeke i tlačnog naprezanja u zidu nemaju značajna odstupanja, dok se isto ne uočava s deformabilnošću. Ispitivanje deformabilnosti je najproblematičnije ispitivanje što se tiče usporedbe rezultata i smatram da bi se njemu trebalo više posvetiti, odnosno da bi se za svaku lokaciju ispitivanja ostalih svojstava trebalo ispitati nekoliko lokacija više za deformabilnost. S vremenom kada bi se skupio dovoljno velik uzorak rezultata ispitivanja na različitim objektima, čak bi se mogle koristiti i tablične vrijednosti, međutim kao prvi korak ka smanjenju troškova ispitivanja trebala bi biti posveta ispitivanju deformabilnosti i davanje prednosti u odnosu na ostala ispitivanja.

## 7. LITERATURA

- [1] Centar građevinskog fakulteta d.o.o., Institut IGH d.d., Zagreb, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu (2022). Opći tehnički uvjeti za radove u vodnom gospodarstvu, 8.poglavlje, Zidarski radovi.
- [2] Radnić, J., Harapin, A., Matešan, D., Trogrlić, B., Smilović, M., Grgić, N. I Baloević, G. (2021). Numerički model za statički i dinamički proračun zidanih konstrukcija. *Građevinar*, 63 (06.), 529-546.
- [3] Sorić, Z. (2000). Mehanička svojstva nearmiranog zida. *Građevinar*, 52 (02.), 67-78.
- [4] Špišić, A. (2012). Mort u građevinarstvu. *Tehnički glasnik*, 6 (1), 54-59.
- [5] Grandić, D. (2005). Osnove proračuna zidanih konstrukcija, nearmirano zide
- [6] Krolo, J., Damjanović, D., Duvnjak, I., Frančić Smrkić, M., Bartolac M., Koščak, J. (2021). Metode određivanja mehaničkih svojstava zida. *Građevinar*, 73 (02.), 127-140.
- [7] ASTM C1531-16, Standard Test Methods for In Situ Measurement of Masonry Mortar Joint Shear Strength Index
- [8] ASTM C1196 – 20, Standard Test Method for In Situ Compressive Stress Within Solid Unit Masonry Estimated Using Flatjack Measurements
- [9] ASTM C1194-14a, Standard Test Method for In Situ Measurement of Masonry Defomability Properties Using the Flatjack Method

## **8. POPIS SLIKA**

- Slika 1. Omeđeno ziđe
- Slika 2. Nearmirano ziđe
- Slika 3. Armirano ziđe
- Slika 4. Eksperimentalno određivanje tlačne čvrstoće ziđa
- Slika 5. Ravnine sloma
- Slika 6. Prikaz uklonjene opeke prije početka ispitivanja
- Slika 7. Prikaz uklonjene opreme prije početka ispitivanja
- Slika 8. Ispitivanje posmične čvrstoće ziđa in situ
- Slika 9. Ispitivanje posmične čvrstoće ziđa in situ
- Slika 10. Ispitivanje posmične čvrstoće ziđa in situ
- Slika 11. Shematski prikaz oblika plosnatih preša
- Slika 12. Plosnate preše i čelične podložne ploče
- Slika 13. Hidraulični sustav za nanošenje tlaka
- Slika 14. Prijenosni komparator
- Slika 15. Ekscentrična prstenasta pila
- Slika 16. Shematski prikaz kalibracije plosnate preše
- Slika 17. Određivanje postojećeg tlačnog naprezanja u ziđu
- Slika 18. Određivanje postojećeg tlačnog naprezanja u ziđu
- Slika 19. Određivanje postojećeg tlačnog naprezanja u ziđu
- Slika 20. Ispitivanje posmične čvrstoće uz kontrolu vertikalnog naprezanja
- Slika 21. Ispitivanje posmične čvrstoće uz kontrolu vertikalnog naprezanja
- Slika 22. Određivanje deformabilnosti ziđa
- Slika 23. Prikaz ispitnih mjesta u prizemlju stambene zgrade
- Slika 24. Prikaz ispitnih mjesta u podrumu stambene zgrade
- Slika 25. Ispitivanje na poziciji T-1
- Slika 26. Ispitivanje na poziciji T-2
- Slika 27. Ispitivanje na poziciji M-1
- Slika 28. Grafički prikaz odnosa tlaka i deformacija
- Slika 29. Grafički prikaz odnosa tlaka i deformacija

Slika 30. Ispitivanje na poziciji M-2  
Slika 31. Grafički prikaz odnosa tlaka i deformacija  
Slika 32. Grafički prikaz odnosa tlaka i deformacija  
Slika 33. Ispitivanje na poziciji P-1  
Slika 34. Grafički prikaz rezultata  
Slika 35. Ispitivanje na poziciji P-2  
Slika 36. Grafički prikaz rezultata  
Slika 37. Prikaz ispitnih pozicija u prizemlju stambene zgrade  
Slika 38. Prikaz ispitnih mjesta na 1. katu stambene zgrade  
Slika 39. Ispitivanje na poziciji M-1  
Slika 40. Grafički prikaz rezultata  
Slika 41. Grafički prikaz rezultata  
Slika 42. Ispitivanje na poziciji M-2  
Slika 43. Grafički prikaz rezultata  
Slika 44. Grafički prikaz rezultata  
Slika 45. Ispitivanje na poziciji M-3  
Slika 46. Grafički prikaz rezultata  
Slika 47. Grafički prikaz rezultata  
Slika 48. Ispitivanje na poziciji P-1  
Slika 49. Grafički prikaz rezultata  
Slika 50. Ispitivanje na poziciji P-2  
Slika 51. Grafički prikaz rezultata  
Slika 53. Ispitivanje na poziciji P-3  
Slika 54. Grafički prikaz rezultata  
Slika 55. Ispitne pozicije u prizemlju stambene zgrade  
Slika 56. Ispitne pozicije na podestu između 1. i 2. kata  
Slika 57. Ispitivanje na poziciji T-1  
Slika 58. Pozicija ispitivanja u odnosu na kut zgrade  
Slika 59. Ispitivanje na poziciji T-2  
Slika 60. Pozicija ispitivanja u odnosu na podest stubišta između prvog i drugog kata



- Slika 61. Ispitivanje na poziciji T-1
- Slika 62. Grafički prikaz rezultata ispitivanja
- Slika 63. Grafički prikaz rezultata ispitivanja
- Slika 64. Ispitivanje na poziciji T-2
- Slika 65. Grafički prikaz rezultata ispitivanja
- Slika 66. Grafički prikaz usporedbe tlačnih naprežanja ziđa
- Slika 67. Grafički prikaz usporedbe deformabilnosti ziđa
- Slika 68. Grafički prikaz usporedbe posmične čvrstoće morta
- Slika 69. Grafički prikaz usporedbe tlačne čvrstoće opeke

## 9. POPIS TABLICA

Tablica 1. Zahtjevi koje grupe zidnih elemenata moraju ispuniti

Tablica 2. Vrijednosti fakotora oblika  $\delta$

Tablica 3. Volumni sastav morta prema Eurokodu 6

Tablica 4. Klase mortova za zidanje prema čvrstoći

Tablica 5. Granične vrijednosti karakteristične posmične čvrstoće zida  $f_{vk0}$  i  $f_{vk}$  za mort opće namjene

Tablica 6. Vrijednosti karakteristične čvrstoće zida pri savijanju poduprte eksperimentano dobivenim podacima

Tablica 7. Deformacijska svojstva nearmiranog zida u mortu opće namjene

Tablica 8. Brzina opterećenja uzoraka prilikom ispitivanja

Tablica 9. Vrste i oznake ispitivanja provedenih na stambenoj zgradi u ulici V.Nazora 20, Zagreb

Tablica 10. Prikaz rezultata

Tablica 11. Prikaz rezultata

Tablica 12. Prikaz rezultata

Tablica 13. Prikaz rezultata

Tablica 14. Rezultati ispitivanja provedenih na stambenoj zgradi u ulici V.Nazora 20, Zagreb

Tablica 15. Vrste i oznake ispitivanja provedenih na stambenoj zgradi u Varšavskoj ulici 14, Zagreb

Tablica 16. Rezultati ispitivanja

Tablica 17. Rezultati ispitivanja

Tablica 18. Rezultati ispitivanja

Tablica 19. Rezultati ispitivanja

Tablica 20. Rezultati ispitivanja

Tablica 21. Rezultati ispitivanja

Tablica 22. Pregled rezultata ispitivanja provedenih na stambenoj zgradi u Varšavskoj ulici 14, Zagreb

Tablica 23. Vrste i oznake ispitivanja provedenih na stambenoj zgradi u Novakovoj ulici 7, Zagreb

Tablica 24. Prikaz izmjerenih vrijednosti

Tablica 25. Prikaz izmjerenih vrijednosti

Tablica 26. Rezultati ispitivanja

Tablica 27 . Prikaz rezultata

Tablica 28. Rezultati ispitivanja provedenih na stambenoj zgradi u Novakovoj ulici 7, Zagreb

Tablica 29. Usporedba rezultata sa svih lokacija ispitivanja