
DGKS

**DRUŠTVO GRAĐEVINSKIH
KONSTRUKTERA SRBIJE**

14. KONGRES

NOVI SAD
24-26. SEPTEMBAR

2014.

14

K

O

N

G

R

E

S

2014

U SARADNJI SA:



**GRAĐEVINSKIM FAKULTETOM
UNIVERZITETA U BEOGRADU**

**MINISTARSTVOM PROSVETE,
NAUKE I TEHNOLOŠKOG RAZVOJA
REPUBLIKE SRBIJE**



**INŽENJERSKOM KOMOROM
SRBIJE**

**ZBORNİK
RADOVA**



**CHINA ROAD AND BRIDGE
CORPORATION SERBIA BRANCH**

Izdavač: **Društvo građevinskih konstruktora Srbije**
Beograd, Bulevar kralja Aleksandra 73/1

Urednici: prof. dr **Miloš Lazović**
prof. dr **Boško Stevanović**

Tehnička
priprema: **Saška - Stoja Todorović**

Priprema za
štampu: **Nebojša Ćosić**

Štampa: **DC Grafički centar**

Tiraž: **150 primeraka**

Beograd, septembar 2014.

ORGANIZACIONI ODBOR

PRESEDNIŠTVO DGKS

Prof. dr Miloš LAZOVIĆ, dipl.inž.grad., predsednik
Aleksandar BOJOVIĆ, dipl.inž.grad., potpredsednik
Prof. dr Boško STEVANOVIĆ, dipl.inž.grad., sekretar
Prof. dr Đorđe VUKSANOVIĆ, dipl.inž.grad.
Prof. dr Mihajlo ĐURĐEVIĆ, dipl.inž.grad.
Prof. dr Dragoslav STOJIC, dipl.inž.grad.
Prof. dr Đorđe LADINOVIĆ, dipl.inž.grad.
Prof. dr Snežana MARINKOVIĆ, dipl.inž.grad.
Prof. dr Aleksandar RISTOVSKI, dipl.inž.grad.
Doc. dr Bratislav STIPANIĆ, dipl.inž.grad.
Dr Zoran FLORIĆ, dipl.inž.grad.
Mr Slobodan GRKOVIĆ, dipl.inž.grad.
Branko KNEŽEVIĆ, dipl.inž.grad.
Gojko GRBIĆ, dipl.inž.grad.
Goran VUKOBRATOVIĆ, dipl.inž.grad.
Đorđe PAVKOV, dipl.inž.grad.
Svetislav SIMOVIĆ, dipl.inž.grad.

ČLANOVI ORGANIZACIONOG ODBORA IZVAN PRESEDNIŠTVA

Prof. dr Zlatko MARKOVIĆ, dipl.inž. grad.
Miroslav MIHAJLOVIĆ, dipl.inž.grad.
Aleksandar TRAJKOVIĆ, dipl.inž.grad.

NAUČNO-STRUČNI ODBOR

1. Prof. dr Radenko Pejović, Građevinski fakultet Podgorica, Crna Gora
2. Prof. dr Duško Lučić, Građevinski fakultet Podgorica, Crna Gora
3. Prof. dr Goran Markovski, Univerzitet "Kiril i Metodij" Gradežen fakultet, Skopje, Makedonija
4. Prof. dr Meri Cvetkovska, Univerzitet "Kiril i Metodij" Gradežen fakultet, Skopje, Makedonija
5. Prof. dr Tatjana Isaković, Univerzitet u Ljubljani Fakultet građevinarstva i geodezije, Ljubljana, Slovenija
6. Prof. dr Viktor Markelj, Ponting d.o.o., Maribor, Slovenija
7. Prof. dr Zlatko Šavor, Sveučilište u Zagrebu Građevinski fakultet, Zavod za konstrukcije, Katedra za mostove, Zagreb, Hrvatska
8. Prof. dr Radu Bancila, University "POLYTEHNICA", Temišvar, Rumunija
9. Mr Predrag Popović, Čikago, SAD
10. Prof. dr Kostadin Topurov, Sofija, Bugarska
11. Prof. dr Dušan Najdanović, Univerzitet u Beogradu Građevinski fakultet, Beograd, Srbija
12. Prof. dr Miloš Lazović, Univerzitet u Beogradu Građevinski fakultet, Beograd, Srbija
13. Prof. dr Đorđe Vuksanović, Univerzitet u Beogradu Građevinski fakultet, Beograd, Srbija
14. Prof. dr Dejan Bajić, Univerzitet u Beogradu Građevinski fakultet, Beograd, Srbija
15. Prof. dr Đorđe Ladinović, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija
16. Prof. dr Dragoslav Stojić, Arhitektonsko-građevinski fakultet, Niš, Srbija
17. Doc. dr Bratislav Stipanić, Univerzitet u Beogradu Građevinski fakultet, Beograd, Srbija

14. KONGRES JE ORGANIZOVAN U SARADNJI SA:

GRAĐEVINSKIM FAKULTETOM UNIVERZITETA U
BEOGRADU

MINISTARSTVOM PROSVETE, NAUKE I TEHNOLOŠKOG
RAZVOJA REPUBLIKE SRBIJE

INŽENJERSKOM KOMOROM SRBIJE, Beograd

DONATORI SIMPOZIJUMA:

DIJAMANTSKI

CHINA ROAD & BRIDGE CORPORATION, SERBIA BRANCH,
Belgrade

SREBRNI

SIKA d.o.o., Novi Sad

BRONZANI

"POTISJE KANJIŽA" AD, Kanjiža

Mihailo Muravljev¹, Boško Stevanović², Dimitrije Zakić³

ISPITIVANJA OSNOVNIH KARAKTERISTIKA ZIDOVA OD OPEKE U OKVIRU POSTOJEĆIH ZGRADA

Rezime:

U radu je obrađen praktičan pristup određivanju čvrstoća pri pritisku i čvrstoća pri smicanju zidova od opeke u okviru postojećih zidanih zgrada. Na osnovu iskustava autora, a s obzirom da se u takvim slučajevima uvek radi o malom broju rezultata ispitivanja, u radu su dati i predlozi u vezi definisanja tzv. karakterističnih vrednosti navedenih čvrstoća.

Ključne reči: zid od opeke, čvrstoća pri pritisku, čvrstoća pri smicanju, modul smicanja.

IN SITU TESTING OF BASIC PROPERTIES OF MASONRY WALLS

Summary:

A practical approach toward determination of compressive strength and shear strength of brick walls in existing masonry buildings is discussed in this paper. Based on the authors' experience, but also having in mind that in such cases there are always just a few testing results, suggestions how to define so called characteristic values of strength are also given in the paper.

Key words: masonry wall, compressive strength, shear strength, shear modulus.

¹ Red. prof. u penziji, dr, Građevinski fakultet, Bulevar kralja Aleksandra 73, 11000 Beograd

² Red. prof., dr, Građevinski fakultet, Bulevar kralja Aleksandra 73, 11000 Beograd

³ Doc., dr, Građevinski fakultet, Bulevar kralja Aleksandra 73, 11000 Beograd

1 UVOD

Pri sanacijama, rekonstrukcijama i dogradnjama (pod kojima se podrazumevaju i nadzidivanja - nadogradnje) zidanih zgrada, od velikog značaja je poznavanje čvrstoća pri pritisku i pri smicanju postojećih zidova od opeke, pri čemu je do merodavnih vrednosti tih čvrstoća moguće doći jedino direktnim esperimentalnim ispitivanjima.

U daljem će se prikazati metodologija ispitivanja zidova od pune opeke u okviru postojećih zidanih zgrada, što znači da će predmet izlaganja biti ispitivanja na uzorcima-epruvetama "izvađenim" ili izdvojenim iz konkretnih zidova, uz napomenu da se ta ispitivanja načelno mogu vršiti kako u laboratorijskim uslovima, tako i na samim objektima - *in situ*.

S obzirom da se proračuni zidova prema [1] zasnivaju na principima granične nosivosti, neophodno je da se na osnovu rezultata sprovedenih ispitivanja definišu *karakteristične* vrednosti eksperimentalno dobijenih čvrstoća pri pritisku f_{pk} i čvrstoća pri smicanju f_{vk} . Taj problem je u konkretnom slučaju načelno vrlo složen, jer navedene vrednosti u principu treba da budu određene primenom stavova matematičke statistike i teorije verovatnoće - kao veličine koje zadovoljavaju fraktal od 5%. Međutim, pri ispitivanjima o kojima je reč uvek se, logično, radi o relativno malom broju uzoraka-epruveta, pri čemu važi empirijsko pravilo da ta ispitivanja, po mogućstvu, uvek treba vršiti na najmanje dva uzorka-epruvete.

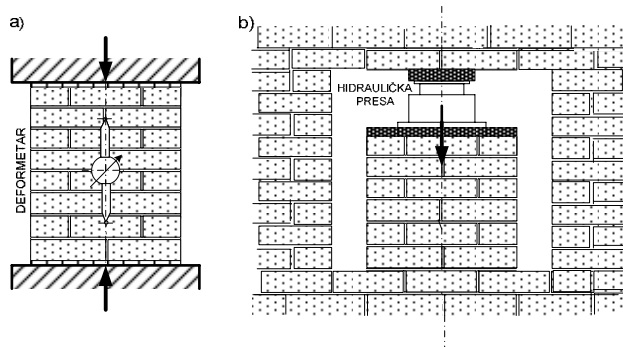
Kako se, strogo uzevši, u konkretnom slučaju u odnosu na rezultate ispitivanja ne mogu primeniti stavovi matematičke statistike i teorije verovatnoće, definisanje karakterističnih čvrstoća zidova f_{pk} i f_{vk} mora se vršiti na neke druge načine. Pri ovome se, logično, osim srednjih vrednosti, u obzir moraju uzeti i najmanje vrednosti rezultata ispitivanja $f_{p,min}$ i $f_{v,min}$. U vezi sa tim u praksi se najčešće usvaja da su predmetne karakteristične čvrstoće zidova određene odnosima $f_{pk}/f_{p,min} = 0,8$, odnosno $f_{vk}/f_{v,min} = 0,8$ (videti [2]). Pored toga, a prema našim iskustvima, pri malom broju rezultata ispitivanja, dovoljno tačna vrednost neke karakteristične čvrstoće zida može se usvojiti i na bazi odnosa *karakteristična čvrstoća/srednja vrednost čvrstoće* = 0,65 - 0,75.

2 ČVRSTOĆE ZIDOVA PRI PRITISKU

2.1 OPŠTE

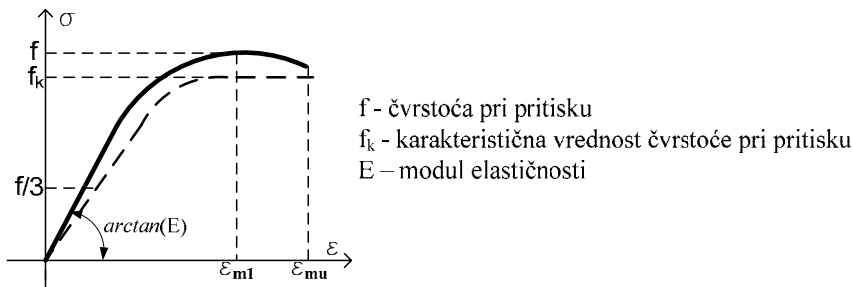
Ispitivanje čvrstoća zidova pri pritisku treba da se izvodi na uzorcima-epruvetama koje imaju određene minimalne dimenzije, a koje prema našim iskustvima treba da budu sledeće: debljina zida treba da predstavlja osnovnu poprečnu dimenziju uzorka, dok ostale dve dimenzije treba da budu najmanje jednake debljini zida ili veće. Ukoliko se poštuje taj uslov, logično je da će se dobiti uzorci oblika prizmi (sa osnovama axb i visinama h) ili kocki (približno) - srazmerno velikih dimenzija - sa kojima je, ukoliko je reč o ispitivanjima u laboratorijskim uslovima, otežano manipulisanje i očuvanje integriteta (intaktnosti) uzoraka. Iz tih razloga često je povoljnije da se ovakva ispitivanja vrše na samom objektu - *in situ*.

Na slici 1 prikazane su dispozicije za ispitivanje čvrstoća zidova pri pritisku u laboratorijskim uslovima (a) i na licu mesta (b), pri čemu zidovi koji se ispituju treba da budu "oslobođeni" eventualnih malterskih obloga. Pored toga, površine uzoraka axb preko kojih će se pri ispitivanju unositi opterećenje treba da budu obrađene cementnim malterom - radi dobijanja ravnih, a u slučaju ispitivanja u laboratoriji i paralelnih naležućih površina.



Slika 1 - Dispozicije za ispitivanje čvrstoće zida pri pritisku

Pri ovakvim ispitivanjima, osim čvrstoće pri pritisku $f = f_p$, ukoliko postoji mogućnost, može se definisati i radni σ - ε dijagram zida (sl. 2), što podrazumeva da na uzorku budu postavljeni i odgovarajući instrumenti za merenje deformacija. Iz dobijenog radnog dijagrama, pak, može se, saglasno slici 2, odrediti i modul elastičnosti ispitivanog zida E .



Slika 2 - Veza napon-dilatacija (σ - ε) za zid izložen pritisku

Kao što pokazuje slika 2, modul elastičnosti E definiše se u području napona manjih od trećine čvrstoće zida $f = f_p$, u kome σ - ε dijagram uvek u dovoljnoj meri odgovara pravoj liniji.

2.2 REZULTATI NEKIH KONKRETNIH ISPITIVANJA ZIDOVA NA PRITISAK

2.2.1. Ispitivanje I

Predmetno ispitivanje se odnosilo na jedan zid izveden od opeka "starog" formata dimenzija 30x15x7cm, pri čemu su silama pritiska do loma izlagana dva uzorka "isečena" iz tog zida:

- mali uzorak-epruveta dimenzija $a \times b \times h = 15 \times 30 \times 26$ cm i
- veliki uzorak-epruveta dimenzija $a \times b \times h = 30 \times 30 \times 26$ cm.

Ovi uzorci-epruvete su u laboratoriji izlagani silama pritiska P do loma, kojom prilikom su dobijeni sledeći rezultati:

- mali uzorak-epruveta: $P_{gr} = 268\text{kN}$, $f_p = 2680/(15 \times 30) = 5,96\text{MPa}$;
- veliki uzorak-epruveta: $P_{gr} = 540\text{kN}$, $f_p = 5400/(30 \times 30) = 6,00\text{MPa}$.

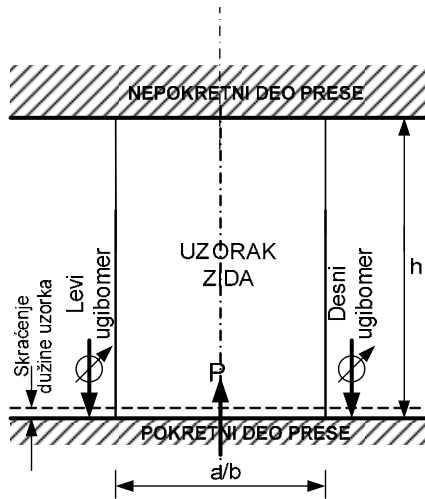
Na osnovu prikazanih rezultata može se usvojiti da za predmetni zid karakteristična vrednost čvrstoće pri pritisku iznosi $f_{pk} \approx 0,8 \cdot 5,96 = 4,77\text{MPa}$.

2.2.2. Ispitivanje II

Predmetno ispitivanje takođe se odnosilo na zid izveden od opeka "starog" formata, pri čemu je i ono sprovedeno u laboratorijskim uslovima - na dva uzorka-epruvete "isečene" iz zidne mase.

Uzorci-epruvete o kojima je reč imali su sledeće dimenzije:

- uzorak-epruveta I: $axb \times h = 30 \times 35 \times 35\text{cm}$,
- uzorak-epruveta II: $axb \times h = 34 \times 30 \times 35\text{cm}$.



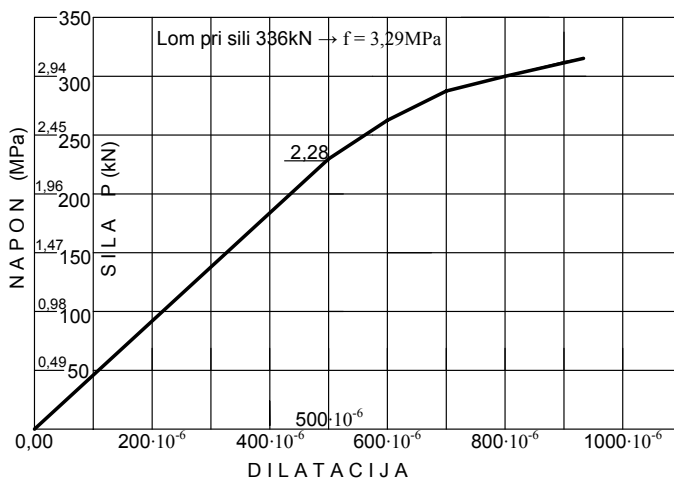
Slika 3 - Dispozicija ispitivanja uzoraka-epruveta I i II

Ispitivanje je sprovedeno je saglasno dispoziciji prikazanoj na slici 3 koja pokazuje da su na predmetnim uzorcima-epruvetama, putem dva naspramno postavljena ugibomera, sprovedena i merenje skraćanja visina ("dužina") uzoraka h , čime je omogućeno da se, osim čvrstoća pri pritisku f_p , odrede i zavisnosti *napon-deformacija* (σ - ε) koje odgovaraju pojedinim uzorcima-epruvetama.



Slika 4 - Uzorak-epruveta I (slika levo) i uzorak-epruveta II (slika desno) u fazi ispitivanja

Na slici 4 prikazane su fotografije uzoraka-epruveta I i II u fazi ispitivanja, dok su rezultati sprovedenog ispitivanja za uzorak-epruvetu II, u vidu dijagrama *napon-deformacija* (σ - ϵ), prezentirani na slici 5.



Slika 5 - Zavisnost napon-deformacija (σ - ϵ) za uzorak-epruvetu II

Rezultati predmetnog ispitivanja bili su sledeći:

Uzorak-epruveta I: Sila loma 408kN, čvrstoća pri pritisku $f_p = 4080/(30 \times 35) = 3,88\text{MPa}$
 Modul elastičnosti $E = 2,38/(500 \cdot 10^{-6}) = 4760\text{MPa}$

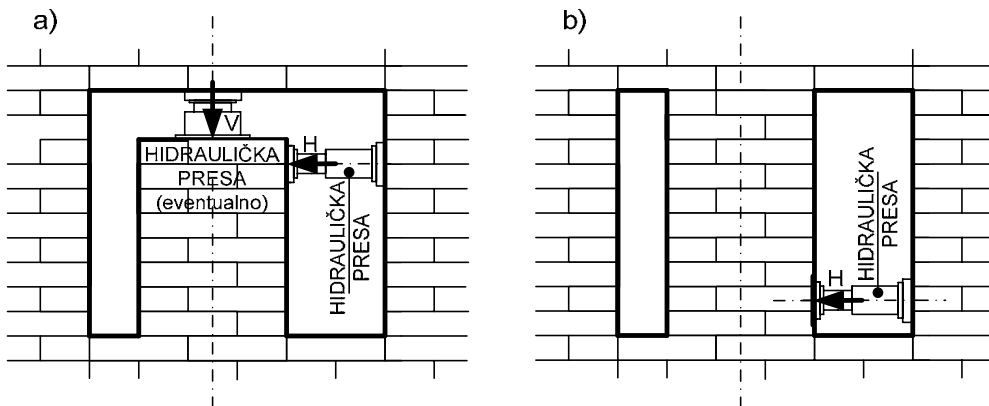
Uzorak-epruveta II: Sila loma 336kN, čvrstoća pri pritisku $f_p = 3360/(34 \times 30) = 3,29\text{MPa}$
 Modul elastičnosti $E = 2,28/(500 \cdot 10^{-6}) = 4560\text{MPa}$.

Na bazi dobijenih vrednosti čvrstoća pri pritisku, prozilazi da u konkretnom slučaju karakteristična vrednost čvrstoće zida pri pritisku iznosi $f_{pk} \approx 0,8 \cdot 3,29 = 2,63\text{MPa}$.

3 ČVRSTOĆE ZIDOVA PRI SMICANJU

3.1 OPŠTE

Ispitivanje čvrstoća zidova pri smicanju u opštem slučaju može se vršiti u laboratorijskim uslovima, ali je najcelishodnije da se takva ispitivanja sprovode na samim objektima (*in situ*), a prema dispozicijama prikazanim na slici 6.



Slika 6 - Dispozicije za ispitivanje čvrstoća zidova pri smicanju *in situ*

U nedostatku vrednosti određenih direktnim ispitivanjima, dovoljno tačne veličine karakterističnih čvrstoća zidova pri smicanju f_{vk} , koje su neophodne pri proračunima graničnih nosivosti zidova, prema EVROKODU 6 mogu se odrediti preko izraza

$$f_{vk} = f_{vko} + 0,4\sigma_d$$

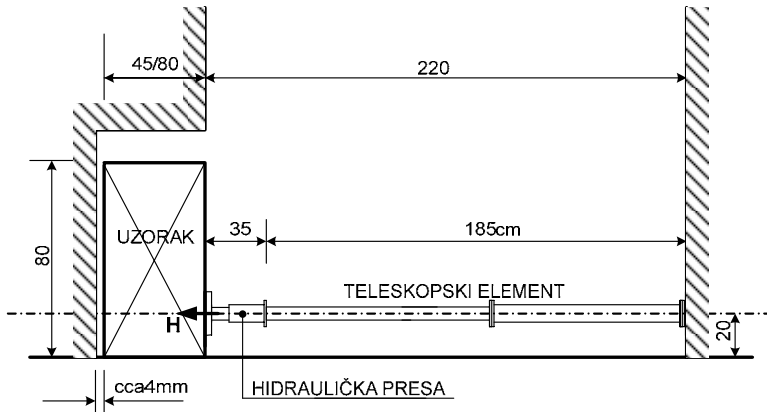
gde je:

f_{vko} - karakteristična vrednost čvrstoće zida na smicanje pri nultom naponu pritiska,
 σ_d - proračunska vrednost napona pritiska u zidu.

3.2 REZULTATI NEKIH KONKRETNIH ISPITIVANJA ZIDOVA NA SMICANJE

3.2.1 Ispitivanje I

Element-uzorak za predmetno ispitivanje *in situ* dobijen je izdvajanjem-isećanjem putem testere sa dijamatskim kronicama iz zida debljine 80cm prizmatičnog uzorka sa osnovom 45x80cm i sa visinom cca 80cm (sl. 7). Taj element-uzorak je, kao što pokazuje slika 7, pri dnu bio izložen rastućoj horizontalnoj sili H sve do loma. Mada se u konkretnom slučaju radilo o elementu-uzorku koji je, strogo uzevši, osim sile H , bio izložen i uticaju sopstvene težine predmetnog elementa zida, taj uticaj je, s obzirom na vrlo malu veličinu normalnog napona koji se usled toga javlja, zanemaren. Drugim rečima, pri predmetnom ispitivanju faktički je dobijena vrednost $f_v = f_{vo}$.



Slika 7 - Dispozicija ispitivanja zida na smicanje

Lom na slici 7 prikazanog elementa-uzorka izloženog horizontalnoj sili H nastupio je pri vrednosti sile $H_{gr} \approx 62,2\text{kN}$, pri čemu je do njegovog "otkaza" došlo usled smicanja po jednoj od horizontalnih spojnica u donjoj zoni zida.

Na osnovu date sile $H_{gr} \approx 62,2\text{kN}$ dobija se da je

$$f_{vo} = 622 / (45 \times 80) = 0,173\text{MPa}.$$

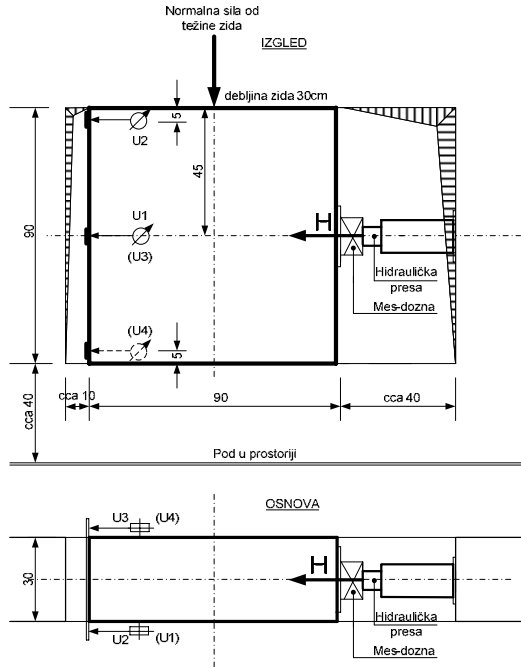
3.2.2 Ispitivanje II

Element-uzorak na kome je *in situ* sprovedeno predmetno ispitivanje formiran je postupkom "isećanja" iz zida debljine 30cm, tako da je dobijen element-uzorak sa osnovom 30x90cm i sa visinom 90cm, koji je predviđen za ispitivanje na smicanje prema dispoziciji prikazanoj na slici 8. Kao što se vidi, element-uzorak o kome je reč bio je, osim rastućoj horizontalnoj sili H , izložen i delovanju normalne sile od sopstvene težine zida.

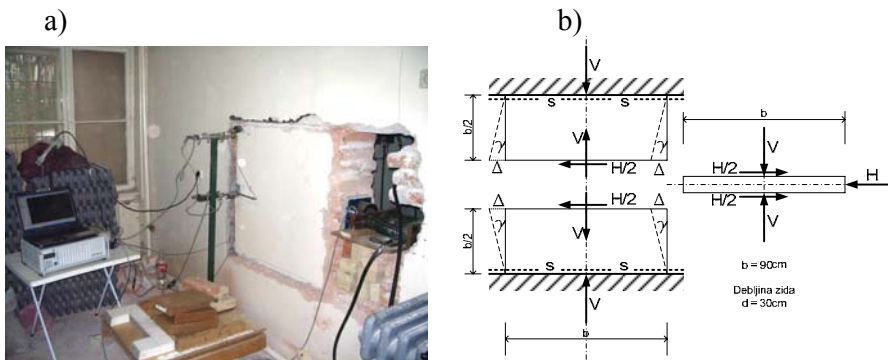
U konkretnom slučaju procenjeno je da na predmetni element-uzorak zida prikazan na sl. 8 deluje normalna sila $N = V \approx 99,22\text{kN}$, pa je na bazi toga dobijen napon pritiska u zidu veličine

$$\sigma_d = 992,2 / (30 \times 90) \approx 0,37\text{MPa}.$$

Pri datom ispitivanju, kao što pokazuje slika 8, osim postupka merenja horizontalne sile H , sproveden je i postupak merenja deformacija, pri čemu je primenom odgovarajućih mernih instrumenata bilo je omogućeno da se pri ispitivanju automatski dobiju potrebni grafički zapisi, odnosno funkcionalne zavisnosti: "ugibi" (horizontalna pomeranja) na mernim mestima $U1$, $U2$, $U3$ i $U4$ - sila H .



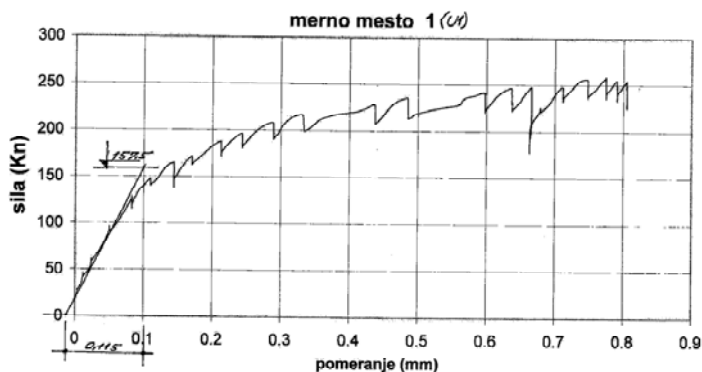
Slika 8 - Dispozicija ispitivanja elementa - uzorka zida na smicanje



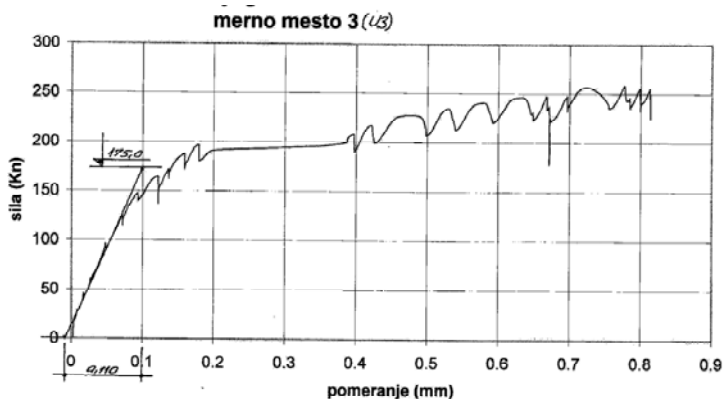
Slika 9 - Foto-snimak načinjen pri ispitivanju predmetnog elementa-uzorka zida (a) i proračunski model za obradu rezultata merenja (b)

Na slici 9a prikazan je foto-snimak načinjen pri predmetnom ispitivanju, dok je na slici 9b predstavljen proračunski model na kome je zasnovan primenjeni postupak ispitivanja. Kao što se vidi, taj postupak je zasnovan na sledećim pretpostavkama:

- na "polutke" elementa-uzorka deluju sile V i $H/2$,
- pod dejstvom sile $H/2$ svaka "polutka" se deformiše tako da dolazi do pojave horizontalnih pomeranja Δ , čijim se merenjem ostvaruje mogućnost izračunavanja ugla klizanja-smicanja γ ,
- lom elementa-uzorka nastupa po linijama-ravnima smicanja s-s.



Slika 10 – Dijagram sila-pomeranje pri ispitivanju na smicanje – merno mesto 1 (U1)



Slika 11 – Dijagram sila-pomeranje pri ispitivanju na smicanje – merno mesto 3 (U3)

Rezultati sprovedenog ispitivanja, u vidu automatski dobijenih grafičkih zapisa, odnosno funkcionalne zavisnosti: "ugibi" (horizontalna pomeranja) na mernim mestima U1 i U3 - sila H , prikazani su na slikama 10 i 11, pri čemu se napominje da na mernim mestima U2 i U4, praktično do samog "otkaza" elementa-uzorka, nisu registrovana nikakva pomeranja.

Kao što pokazuju slike 10 i 11, lom elementa-uzorka, istovremeno izloženog sili $V = 99,22$ kN i horizontalnoj sili H , nastupio je pri vrednosti $H_{gr} \approx 250$ kN, pri čemu je sam "otkaz", kao što je i pretpostavljeno, nastupio po linijama-ravnima smicanja s-s

Na osnovu napred rečenog sledi da čvrstoća zida pri smicanju, izloženog istovremenom delovanju sila V i H , ima vrednost

$$f_v = 0,5 \times 2500 / (30 \times 90) = 0,463 \text{ MPa},$$

odnosno da se može usvojiti vrednost

$$f_{vk} \approx 0,8 \cdot 0,463 = 0,370 \text{ MPa}.$$

Saglasno slikama 10 i 11 dobija se sledeće:

- na bazi merenja na mernom mestu 1 (U1):
 $\tau = 0,5 \times 1575 / (30 \times 90) = 0,292 \text{ MPa}$, $tg\gamma \approx \gamma = 0,115 / 450 = 2,556 \times 10^{-4}$,
 $G = 0,292 / (2,556 \times 10^{-4}) = 1143 \text{ MPa}$;
- na bazi merenja na mernom mestu 3 (U3):
 $\tau = 0,5 \times 1750 / (30 \times 90) = 0,324 \text{ MPa}$, $tg\gamma \approx \gamma = 0,110 / 450 = 2,444 \times 10^{-4}$,
 $G = 0,324 / (2,444 \times 10^{-4}) = 1325 \text{ MPa}$.

Prema tome, može se usvojiti da je $G = (1143 + 1325) / 2 = 1234 \text{ MPa}$.

4 ZAKLJUČAK

Na osnovu svega napred rečenog proizilazi zaključak da je do merodavnih vrednosti čvrstoća pri pritisku i čvrstoća pri smicanju postojećih zidova od opeke moguće doći jedino direktnim esperimentalnim ispitivanjima. Ova ispitivanja, pak, mogu se načelno vršiti kako u laboratorijskim uslovima, tako i na samim objektima - *in situ*.

S obzirom da je na osnovu rezultata sprovedenih ispitivanja uvek potrebno definisati tzv. *karakteristične* vrednosti čvrstoća pri pritisku f_{pk} i čvrstoća pri smicanju f_{vk} , u radu je navedeno sa se u vezi sa tim u praksi može usvojiti da su predmetne karakteristične čvrstoće određene odnosima $f_{pk} / f_{p,min} = 0,8$, odnosno $f_{vk} / f_{v,min} = 0,8$, gde su $f_{p,min}$ i $f_{v,min}$ minimalne vrednosti rezultata ispitivanja. Pored toga, dovoljno tačna vrednost neke karakteristične čvrstoće zida može da se usvoji i na bazi odnosa *karakteristična čvrstoća/srednja vrednost čvrstoće* = 0,65 - 0,75.

LITERATURA

- [1] EVROKOD 6, *Proračun zidanih konastukacija*, novembar 2005. god.
- [2] *Pravilnik o tehničkim normativima za zidane zidove*, 1991. god.
- [3] Muravljov, M., Stevanović, B.: *Zidane i drvene konstrukcije zgrada*, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 1999. god.
- [4] Izveštaji o ispitivanju zidova u okviru većeg broja zidanih zgrada, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Institut za materijale i konstrukcije – IMK.