

# Mehanička svojstva nearmiranog zida

Zorislav Sorić

## Ključne riječi

*nearmirano zide, zidni elementi, mort, tlačna čvrstoća zida, posmična čvrstoća, čvrstoća zida na savijanje, referentna vlačna čvrstoća*

## Key words

*nonreinforced masonry walls, wall elements, mortar, compressive strength of walls, shear strength, bending strength of walls, reference tensile strength*

## Mots clés

*maçonneries non armées, éléments des murs, résistance à la compression des maçonneries, résistance au cisaillement, résistance des maçonneries à la flexion, résistance à la traction de référence*

## Schlüsselworte:

*unbewehrte Mauerwerke, Mauerdelemente, Mörtel, Druckfestigkeit des Mauerwerks, Scherfestigkeit, Biegefestigkeit des Mauerwerks, referente Zugfestigkeit*

Z. Sorić

Stručni rad

## Mehanička svojstva nearmiranog zida

*Dan je pregled mehaničkih svojstava nearmiranog zida. Opisana su ispitivanja za određivanje čvrstoća. Objasnjen je mehanizam sloma zida pod tlačnim opterećenjem. Dani su matematički izrazi za određivanje tlačnih i posmičnih čvrstoća na temelju poznatih karakterističnih čvrstoća zidnih elemenata i morta. Navedene su granične vrijednosti kao i postupci ispitivanja posmičnih čvrstoća te čvrstoća na savijanje. Definirani su odnosi modula elastičnosti i tlačne čvrstoće zida.*

Z. Sorić

Professional paper

## Mechanical properties of nonreinforced masonry walls

*A review of mechanical properties of nonreinforced masonry walls is presented. Tests used for strength determination are described. The mechanism of wall failure under compressive load is explained. Mathematical expressions for determining compressive and shear strengths, based on known strength properties of wall elements and mortar, are given. Limit values and procedures for determining shear strength and bending strength are provided. Relationships between the modulus of elasticity and compressive strength of walls are defined.*

Z. Sorić

Ouvrage professionnel

## Propriétés mécaniques des maçonneries non armées

*L'article donne un aperçu des propriétés mécaniques des maçonneries non armées. On décrit les essais de détermination des résistances. On explique le mécanisme de rupture de maçonnerie sous l'effet d'une compression. On fournit également des expressions mathématiques pour la détermination de la résistance à la compression et au cisaillement à partir des résistances caractéristiques connues des éléments des murs et du mortier. On indique les valeurs limites, ainsi que les modes opératoires des essais des résistances au cisaillement et des résistances à la flexion. On définit les rapports entre le module d'élasticité et de la résistance à la compression des maçonneries.*

Z. Sorić

Fachbericht

## Mechanische Eigenschaften unbewehrter Mauerwerke

*Vorgelegt ist ein Überblick der mechanischen Eigenschaften unbewehrter Mauerwerke. Es sind Untersuchungen beschrieben für die Bestimmung der Festigkeiten. Der Mechanismus des Mauerwerkbruchs unter Druckbelastung ist erklärt. Vorgelegt sind mathematische Gleichungen für die Bestimmung von Druck- und Zugfestigkeiten auf Grund bekannter charakteristischer Festigkeiten der Mauerwerkelemente und Mörtel. Angeführt sind Grenzwerte sowie auch Verfahren für die Untersuchung der Schub- und Zugfestigkeiten. Definiert sind die Beziehungen zwischen Elastizitätsmodul und Druckfestigkeit des Mauerwerks.*

Autor: Prof. dr. sc. **Zorislav Sorić**, dipl. ing. građ., Izvanredni član Akademije tehničkih znanosti Hrvatske, Sveučilište u Zagrebu Građevinski fakultet,

## 1 Uvod

Zidane konstrukcije su one koje su izvedene od zidnih elemenata (opeke ili blokova) povezanih mortom ili nekim sličnim materijalom i koje su zidane na gradilištu ili su izvedene u obliku predgotovljenih zidova u tvornici i spojene na gradilištu u konstrukcijsku cjelinu. Europske prednorme ENV 1996-1-1, za zidane konstrukcije, Eurocode 6 (EC6) [19], donose preporuke, zahtjeve i matematičke izraze za određivanje mehaničkih svojstava zida. Posebno se naglašavaju zahtjevi za svojstva nearmiranog zida te njegovih komponenata, zidnih elemenata i morta. Čvrstoće zida ovise o zidnim elementima kod kojih osim njihove čvrstoće treba uzeti u obzir njihov postotak šupljina i omjer vanjskih dimenzija. Mort, kao vezno sredstvo, dijeli se prema svom sastavu, čvrstoći i prema debljini i širini rasprostiranja te neposredno utječe na mehanička svojstva zida. Normiranim eksperimentalnim ispitivanjem mogu se odrediti mehanička svojstva kao što su: modul elastičnosti zida,  $\sigma-\epsilon$  dijagram, tlačna čvrstoća, posmična i referentna vlačna čvrstoća te čvrstoća na savijanje. Ako se ne raspolože eksperimentalno dobivenim rezultatima mehaničkih svojstava, EC6 [19] preporučuje matematičke izraze za određivanje istih.

## 2 Zidni elementi

### 2.1 Vrste zidnih elemenata

Danas u svijetu postoji na tisuće raznih oblika zidnih elemenata. Zidni se elementi mogu podijeliti prema vrsti materijala od kojeg su izrađeni: glineni (pečena glina, opeka), kalcijско-silikatni, betonski, betonski od lakog agregata, porasti betonski (sadrži pore), kameni.

Prema kontroli proizvodnje zidni se elementi dijele na kategorije I. i II. Zidni elementi kategorije I. su oni za koje je proizvođač osigurao stalnu kontrolu kakvoće i koji u pošiljci imaju deklariranu tlačnu čvrstoću s 5% fraktila, dok su elementi kategorije II. oni koji imaju srednju vrijednost tlačne čvrstoće jednaku deklariranoj. Zidni elementi od prirodnog kamena svrstani su u kategoriju II.

Prema postotku šupljina u volumenu zidnih elemenata oni se dijele na grupu 1, 2a, 2b i grupu 3 (tablica 1.). Debljina vanjskih stijenki zidnih elemenata ne bi smjela biti manja od 15 mm.

### 2.2 Svojstva zidnih elemenata

Među osnovna svojstva zidnih elemenata ubrajaju se njihova tlačna čvrstoća [27] i trajnost. Tlačna čvrstoća zidnih elemenata koja se uzima u proračunu jest tzv. normalizirana tlačna čvrstoća  $f_b$ . To je tlačna čvrstoća zidnog elementa prevedena na tlačnu čvrstoću na zraku sušenoga zidnog elementa širine 100 mm i visine 100 mm, dok duljina nije definirana normom.

Da bi se srednja tlačna čvrstoća dobivena eksperimentalno, ispitivanjem uzoraka koji su bili 24 sata uronjeni u vodu, pretvorila u normaliziranu čvrstoću za suhe zidne elemente, treba za zidne elemente od pečene gline rezultate srednje tlačne čvrstoće pomnožiti sa 1,1, a za sve ostale elemente sa 1,2. Zatim se takva vrijednost množi s faktorom oblika zidnog elementa  $\delta$ . Faktor oblika  $\delta$  prikazan je u tablici 2., a ovisi o širini i visini zidnog elementa.

Tablica 1. Zahtjevi koje grupe zidnih elemenata moraju ispuniti [19]

	Grupa 1	Grupa 2a	Grupa 2b	Grupa 3
Volumen šupljina (% od bruto volumena) <sup>1)</sup>	≤ 25	25-45 za zidne elemente od pečene gline i 25-50 za betonske zidne elemente	45-55 za zidne elemente od pečene gline i 50-60 za betonske zidne elemente <sup>2)</sup>	≤ 70
Volumen bilo koje šupljine (% od bruto volumena)	≤ 12,5	≤ 12,5 za zidne elemente od pečene gline i ≤ 25 za betonske zidne elemente	≤ 12,5 za zidne elemente od pečene gline i ≤ 25 za betonske zidne elemente	Ograničen površinom (vidjeti dolje)
Površina bilo koje šupljine	Ograničen volumenom (vidjeti gore)	Ograničen volumenom (vidjeti gore)	Ograničen volumenom (vidjeti gore)	≤ 28 cm <sup>2</sup> osim za zidne elemente s jednom šupljinom kad je šupljina ≤ 80 cm <sup>2</sup>
Kombinirana debljina (% od ukupne širine) <sup>3)</sup>	≥ 37,5	≥ 30	≥ 20	Nema posebnih zahtjeva

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

Tablica 2. Vrijednosti faktora oblika  $\delta$ 

Visina zidnog elementa [mm]	Najmanja horizontalna dimenzija zidnog elementa [mm]				
	50	100	150	200	≥250
50	0,85	0,75	0,70	-	-
65	0,95	0,85	0,75	0,70	0,65
100	1,15	1,00	0,90	0,80	0,75
150	1,30	1,20	1,10	1,00	0,95
200	1,45	1,35	1,25	1,15	1,10
≥250	1,55	1,45	1,35	1,25	1,15

Zidni elementi moraju imati srednju čvrstoću na tlak okomito na naližeću površinu (vertikalno) barem 2,5 N/mm<sup>2</sup>. U horizontalnom smjeru tlačna čvrstoća mora biti barem 2,0 N/mm<sup>2</sup> [24].

Slovenski je prijedlog [23] da najmanja normalizirana tlačna čvrstoća zidnih elemenata od pečene gline treba iznositi 10 N/mm<sup>2</sup>, a za betonske elemente 7,5 N/mm<sup>2</sup>.

### 3 Mort

To je materijal koji se sastoji od mješavine anorganskog veziva, agregata i vode, a može sadržavati i dodatke. Rabi se za povezivanje zidnih elemenata. Mort za zidanje razvrstava se prema sastojcima i prema mehaničkim svojstvima.

#### 3.1 Vrste mortova

U gradnji se najčešće rabi jedna od sljedećih vrsta morta: cementni mort, cementno-vapneni mort, vapneni mort, tankoslojni mort (1 do 3 mm), unaprijed pripremljeni mort, lakoagregatni mort. Mort se klasificira prema svojoj računskoj tlačnoj čvrstoći, a označava se slovom M nakon kojeg slijedi broj koji predstavlja tlačnu čvrstoću u N/mm<sup>2</sup>. U većini propisa u svijetu odnos komponenta morta određuje se volumenski. No, ističe se da su omjeri po težini (masi) svakako točniji nego volumenski. Sastavi mortova prema europskoj normi [19], prikazani su u tablici 3.

Tablica 3. Volumni sastav morta prema EC 6 [19]

Vrst morta	Najmanja tlačna čvrstoća nakon 28 dana (N/mm <sup>2</sup> )	Približni sastav		
		cement	hidratizirano vapno	pijesak
M20	20	treba odrediti ispitivanjem		
M15	15	1	0 - 1/4	3
M10	10	1	1/4 - 1/2	4 - 4 1/4
M5	5	1	1/2 - 1 1/4	5 - 6
M2	2	1	1 1/4 - 2 1/2	8 - 9

#### 3.2 Tlačna čvrstoća morta

Tlačna čvrstoća morta,  $f_m$ , mora se ispitati u skladu s normom [28] ili [11]. U slučajevima kad je čvrstoća

manja ili značajno veća nego ona u tablici 3., dopušteno je da se mijenjaju omjeri cementa, vapna i pijeska, kako bi se postigla zahtijevana čvrstoća. Drugačiji omjeri ovih sastojaka mogu se upotrebljavati ako je to dokazano ispitivanjem. Laboratorijska ispitivanja takvih mješavina trebaju dati čvrstoću na tlak najmanje 20% veću nego one iz tablice 3, ali druga svojstva kao što su prionljivost, obradljivost i trajnost također mogu biti važna. Uzorci za ispitivanje su prizme 160 mm x 40 mm x 40 mm ili kocke sa stranicom 70,7 mm ili 100 mm. Najmanje su potrebne 3 prizme ili 6 kocaka.

### 4 Mehanička svojstva nearmiranog žida

Mehanička svojstva žida mogu se dobiti normiranim ispitivanjem, a ona su:

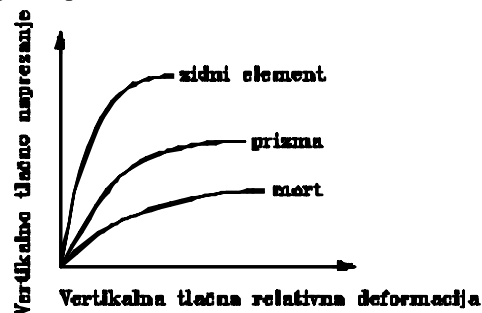
- tlačna čvrstoća ( $f_k$ )
- posmična čvrstoća ( $f_v$ )
- čvrstoća pri savijanju ( $f_x$ )
- referentna vlačna čvrstoća ( $f_t$ )
- odnos naprezanje - relativna deformacija ( $\sigma$ - $\epsilon$ ) i modul elastičnosti ( $E$ ).

#### 4.1 Mehanizmi sloma žida pod tlačnim naprezanjem

Mehanizmom sloma zidanih prizmi na kojima se ispituju tlačne čvrstoće bavili su se razni autori te su opisani na više mjesta [4, 14, 16, 17 i 25]. Ovdje će se prikazati općeprihvaćeno objašnjenje mehanizma sloma kada je tlačna čvrstoća zidnog elementa veća od čvrstoće morta. Obrnuti slučaj, kada je tlačna čvrstoća zidnog elementa manja od čvrstoće morta, može dovesti do potpuno različitog ponašanja, ali je taj slučaj u praksi vrlo rijedak (npr. kod zidnih elemenata od porastog betona).

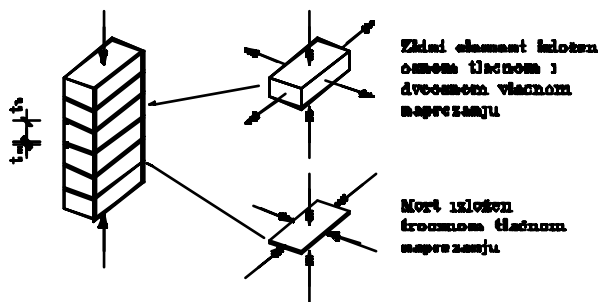
##### 4.1.1 Prizme sastavljene od punih zidnih elemenata sa sljubnicama potpuno ispunjenim mortom

Tlačne čvrstoće zidanih prizmi najčešće su veće (ali često i manje) od tlačnih čvrstoća morta, ali uvijek manje od čvrstoća zidnih elemenata (slika 1.). Ovaj je fenomen objašnjen uzimajući u obzir različitosti dvaju materijala od kojih su prizme zidane.



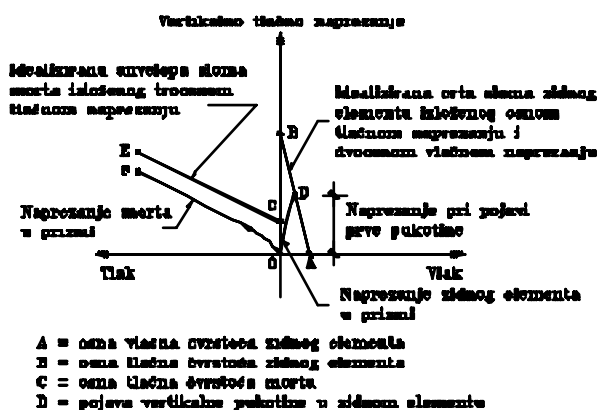
Slika 1. Dijagrami naprezanje - relativna deformacija materijala prizme

Pod tlakom se slabiji materijal, mort, nastoji više bočno širiti negoli zidni element. Na slici 2. prikazano je da zidni element sprječava bočno širenje morta, stvarajući u mortu stanje troosnog tlaka koje omogućuje mortu preuzimanje mnogo većih tlačnih naprezanja od njegove jednoosne tlačne čvrstoće.



Slika 2. Stanja naprezanja zidnih elemenata i morta u prizmi

Crtom CE na slici 3. predočena je anvelopa sloma morta pod troosnim stanjem tlačnih naprezanja. Točka C označuje njegovu jednoosnu tlačnu čvrstoću. Dijagram dvoosnoga bočnoga vlačnog naprezanja s povećanjem jednoosnoga vertikalnoga tlačnog naprezanja u zidnom elementu prikazan je crtom OD na slici 3. Kada kombinacija vertikalnoga tlačnog i dvoosnog vlačnog naprezanja dosegne točku D na idealiziranoj anvelopi sloma zidnog elementa AB, nastaju vertikalne pukotine kroz prizmu. To pokazuje da se unutar prizme oblikuje nekoliko vertikalnih stupaca odvojenih pukotinama koji imaju svoju čvrstoću do trenutka dok se ne pojavi neka kritična kombinacija pukotina koja dovodi do sloma.



Slika 3. Mehanizam sloma zidane prizme

4.1.2 Prizme sastavljene od šupljih zidnih elemenata sa sljubnicama morta u uskim trakama uz oba lica zida

U prizmama koje su zidane mortom samo u uskim trakama uz oba lica zida nastaju, zbog vertikalnih opterećenja, vertikalne pukotine kroz hrptove zidnih eleme-

nata. Proučavanjem stanja naprezanja došlo se do zaključka da prijenos opterećenja na vanjske stijenke šupljih zidnih elemenata izaziva nejednolika vertikalna tlačna naprezanja po širini i visini elementa. Učinak takvog stanja jest koncentracija horizontalnih vlačnih naprezanja na dnu hrpta zidnog elementa, slično kao kod visokostijenog nosača. Ova je pojava uočena i kada se uspoređivala čvrstoća zidnih elemenata i prizmi sastavljenih od takvih elemenata. Naime ako su zidni elementi, puni i oni sa šupljinama imali istu tlačnu čvrstoću, tlačne čvrstoće prizmi zidanih posebno od punih i posebno od šupljih elemenata imali su različite čvrstoće. Pri tome su prizme zidane od šupljih elemenata imale manje tlačne čvrstoće nego prizme od punih elemenata. Taj se fenomen pripisuje jakim bočnim vlačnim silama u zidnim elementima, a šuplji zidni elementi jednostavno imaju manje poprečne površine pa time i veća naprezanja i zato prije doživljavaju slom.

4.1.3 Prizme sastavljene od šupljih zidnih elemenata ispunjenih betonom

Rezultati ispitivanja prizmi zidanih od šupljih zidnih elemenata od betona ili pečene gline, naknadno ispunjenih betonom pokazali su da zbrajanje čvrstoća prizmi bez betonske ispune i čvrstoće betonskog stupca koji odgovara onom koji se stvara u šupljini zidnog elementa ne daje pravu čvrstoću. Zbroj čvrstoća precjenjuje pravu vrijednost, tj. daje veću čvrstoću od stvarne čvrstoće prizme s šupljinama ispunjenim betonom. Razlozi su tome: nedovoljna zbijenost betona ispune, skupljanje betona, nespojivost (nekompatibilnost) svojstava dvaju materijala, nejednako bočno širenje (različiti Poissonovi koeficijenti), neistovjetno ponašanje pri naprezanju i deformaciji. Ako su šupljine takve da se debljina vanjskih stijenki i hrptova smanjuje po visini zidnog elementa, tada betonska ispuna može djelovati kao klin i uzrokovati prerani tlačni slom poradi bočnih vlačnih naprezanja. To je tzv. učinak geometrije zidnih uzoraka.

4.2 Ostali čimbenici koji utječu na čvrstoću i nosivost zida

Na tlačnu čvrstoću i nosivost zida utječu: dimenzije i geometrijski odnosi zidnih elemenata, ispunjenost horizontalnih i vertikalnih sljubnica mortom, omjer volumena i rasporeda šupljina i vanjskih dimenzija zidnih elemenata, visina prizmi to jest ziđa, čvrstoća morta, čvrstoća zidnih elemenata, odabrani zidni vez, debljina sljubnica morta, čvrstoća betona kod ziđa s betonskom ispunom.

Čvrstoća se izračunava s obzirom na ukupnu (bruto) površinu, pa prema tome veću čvrstoću i nosivost imaju puni zidni elementi od onih zidanih od šupljih elemenata, pod uvjetom da su izrađeni od istog materijala. Ras-

pored šupljina mora biti simetričan. Čvrstoća će biti mala ako je omjer volumena šupljina i bruto volumena zidnih elemenata velik.

Visina prizmi, tj. ziđa i njihov omjer s debljinom ziđa ima važnu ulogu. Što je taj omjer veći, to je manja čvrstoća.

Čvrstoće morta i zidnih elemenata neposredno djeluju na ukupnu nosivost i čvrstoću ziđa. Taj odnos nije linearan, tj dvostruko veća čvrstoća morta i zidnog elementa ne će ostvariti dvostruko veću čvrstoću ziđa, nego nešto manju od toga.

Pravilan zidni vez veoma je važan za nosivost ziđa, jer nepravilni vez kao onaj s vertikalnim sljubnicama koje tvore ravninu po cijeloj visini zida dovodi do smanjene nosivosti. Debljina sljubnica morta utječe na čvrstoću tako da se s povećanjem debljine smanjuje čvrstoća ziđa.

#### 4.3 Karakteristična tlačna čvrstoća ziđa ( $f_k$ )

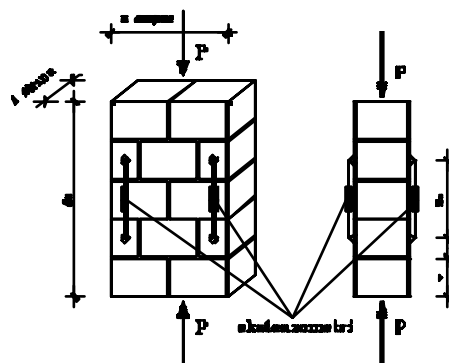
Karakteristična tlačna čvrstoća uzorka ziđa ( $f_k$ ) jest čvrstoća ispod koje se, bez učinaka ekscentričnosti, vitkosti ili spriječenost horizontalnog pomaka pločama preko kojih se prenosi tlak, ne očekuje više od 5% rezultata. Karakterističnu tlačnu čvrstoću,  $f_k$ , treba odrediti eksperimentalno ili iz prikladnog odnosa te čvrstoće s čvrstoćom zidnog elementa i čvrstoćom morta. Koeficijent varijacije tlačne čvrstoće ziđa ne bi smio biti veći od 25%. Ako karakterističnu tlačnu čvrstoću ziđa nije moguće odrediti pokusom, svakako treba eksperimentalno odrediti tlačne čvrstoće morta i zidnog elementa. Izrazi prikazani dalje u tekstu empirijske su formule za određivanje karakteristične tlačne čvrstoće ziđa na temelju tlačnih čvrstoća morta i zidnog elementa, dobivene ispitivanjem više stotina uzoraka.

##### 4.3.1 Eksperimentalno određivanje tlačne čvrstoće ziđa

Karakteristična tlačna čvrstoća ziđa,  $f_k$ , može biti određena ili iz granične čvrstoće ziđa visine kata ispitanoj do sloma ili iz tlačne čvrstoće manjih uzoraka ziđa. Rabe se materijali, zidanje i vez onako kako se oni primjenjuju i u praksi. Zapiše se količina vlage zidnog elementa u vrijeme polaganja u sloj morta (zidanja). Odredi se normalizirana tlačna čvrstoća  $f_b$ , zidnog elementa. Ako se čvrstoća zidnih elemenata s vremenom mijenja, njihova tlačna čvrstoća ispitivat će se na dan kad se ispituje i žide. Rabi se mort koji treba pripremiti tako da mu se sastojci važu, a odrede se na osnovi volumenskih omjera suhog materijala koji odgovaraju određenoj vrsti morta. Prema publikacijama [11] ili [24], ispituje se najmanje 3 uzorka oblika prikazanog na slici 4. Visina uzorka treba biti barem pet puta veća od njegove širine. Da bi se spriječilo isušivanje, rabe se prikladne mjere pa

se zbog toga uzorci za ispitivanje pokriju, i to prva 3 dana nakon zidanja, npr. polietilenskom folijom, a nakon toga se ostavljaju otkriveni u laboratorijskoj kontroliranoj okolini (15°C do 25°C, 60% ±10% vlage). Dok se ne izvede ispitivanje, uzorci moraju biti u suhim uvjetima. Prije ispitivanja, na gornjoj opterećenoj površini zida, razastre se mort a na njega se postavi čelična ploča donja ploha koje treba biti obrađena tako da bude ravna ili se na mort stavi čvrsta opteretna greda. Ako se ploča ili opteretna greda nije postavila u isto vrijeme kad se zidao uzorak, nego kasnije, mort rabljen na gornjoj opterećenoj površini mora imati barem istu čvrstoću kao i mort u židu u vrijeme kada se žide ispituje. Plohe na koje se raspodjeljuje opterećenje trebaju biti paralelne i pod pravim kutem na uzdužnu (vertikalnu) os uzorka.

Zidovi se ispituju ili nakon 7 ili nakon 28 dana starosti ili kada je postignuta neka određena čvrstoća morta. Uzorak se postavi centrično da se uzdužna os uzorka i uzdužna os stroja za ispitivanje poklope. Opterećenje se nanosi jednoliko po cijeloj površini na vrhu i na dnu zida. Neprekidno se povećava opterećenje tako da se slom dosegne nakon 15 do 30 minuta. Ploče preko kojih se nanosi opterećenje trebaju biti učvršćene u stroj za nanašanje sile, kako bi osigurale ravninske uvjete (bez ekscentričnosti).



Slika 4. Mali uzorci ziđa (ispitivanja je tlačne čvrstoće)

Slika 4. prikazuje uzorak zida kojem se osim tlačne čvrstoće,  $f_k$ , mjeri relativna deformacija radi određivanja modula elastičnosti. Prema europskoj normi EN 1052-1 [24] opterećenje valja nanašati u tri jednaka koraka do približno polovice slomnog. Nakon svakog koraka treba tlačnu silu ostaviti nepromjenjivom  $2 \pm 1$  min. Nakon toga se opterećenje do tlačnog sloma uzorka nanaša nepromjenjivom brzinom tako da ukupno ispitivanje traje 15 do 30 minuta. S pomoću četiri elektronska uređaja, ekstenzometra, mjere se deformacije uzorka u vertikalnom smjeru. Ekstenzometri se postavljaju po dva na svaku plohu zida, a kao relativna deformacija uzorka uzima se srednja vrijednost od sva četiri očitavanja. Potrebno je izdvojiti vrijednost izmjerene relativne deformacije,  $\epsilon_{1/3}$ , pri sili jednakoj trećini maksimalne zbog određivanja

modula elastičnosti  $E$ . Izračuna se tlačna čvrstoća za svaki uzorak zida,  $f_1, f_2, f_3$ , u  $\text{N/mm}^2$  primjenom izraza:

$$f_i = \frac{F_{i,\max}}{A_i} \quad (1)$$

gdje je:

$F_{i,\max}$  - maksimalna sila  $i$ -tog uzorka određena ispitivanjem

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

Srednja vrijednost,  $f'$ , tlačnih čvrstoća svih uzoraka zida se zaokružuje na najbližu vrijednost do  $0.1 \text{ N/mm}^2$ .

Ako visina zida (između ravnih krajeva) prelazi dvadeseterostruku debljinu zida, učinci vitkosti mogu značajno smanjiti rezultate ispitivanja, prema onima koji se očekuju od zida koji je unutar visine preporučenog područja. Ovaj učinak može se približno predvidjeti mjereći najveći bočni progib zida u sredini visine za vrijeme ispitivanja. Ako je  $y_u$  progib mjeren upravo prije maksimalnog opterećenja, bilo bi pogodno povećati ispitivanu vrijednost  $f_i$  množeći je s faktorom  $[t/(t-y_u)]$ , ako povećanje nije veće od 15%, gdje je  $t$  = debljina zida.

Karakteristična tlačna čvrstoća tada je:

$$f_k = f'/1,2 \text{ ili } f_k = f_{i,\min} \quad (2)$$

gdje je:

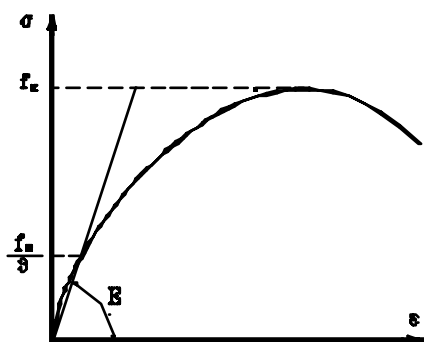
$f_{i,\min}$  - najmanja pojedinačna vrijednost čvrstoće ispitanih uzoraka,

$f'$  - srednja vrijednost čvrstoće ispitanih uzoraka.

U izrazu (2) mjerodavna je manja vrijednost.

#### 4.3.2 Modul elastičnosti, $E$ , i posmični modul, $G$

Modul elastičnosti  $i$ -tog uzorka jednak je:  $E_i = (f_i/3)/\varepsilon_{i/3}$ , a izračunava se za sve uzorke tako što se zaokružuje na najbližu vrijednost od  $100 \text{ N/mm}^2$ . Ovdje je  $f_i/3 = 1/3$  čvrstoće pri slomu, a  $\varepsilon_{i/3}$  pripadna relativna deformacija; vidjeti  $\sigma$ - $\varepsilon$  dijagram zida na slici 5.



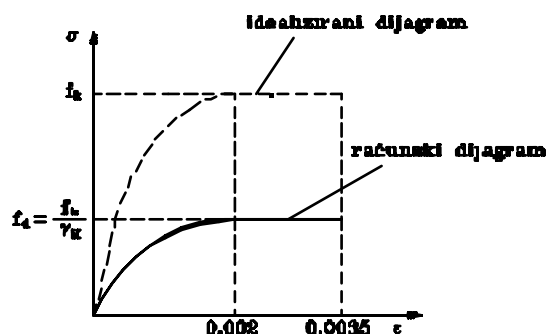
Slika 5. Dijagram naprezanje ( $\sigma$ ) - relativna deformacija ( $\varepsilon$ ) tlačno opterećenog zida

U nedostatku eksperimentalnih ispitivanja, sekantni modul elastičnosti za sve vrste zida može se uzeti sa  $E = 1000 f_k$  gdje je  $f_k$  karakteristična tlačna čvrstoća zida. Kada se modul elastičnosti primjenjuje za granična stanja uporabljivosti, preporučuje se uzeti:  $E = 600 f_k$ .

Posmični modul treba uzeti  $G = 0,4 E$ .

Pri proračunu na djelovanje potresa uzima se  $G = 0,167 E$ , ili manje.

U proračunu se  $\sigma$ - $\varepsilon$  dijagram može uzeti kao ploština ispod dijagrama parabola+pravokutnik, kao što je prikazano na slici 6., za verifikaciju presjeka kod graničnog stanja nosivosti. Valja imati na umu da zidni elementi s velikim šupljinama (grupe 2b i 3; tablica 1.) mogu imati krhki slom već kod relativne deformacije  $\varepsilon = 2\text{‰} = 0,002$  (EC6, [19]), dakle prije dosezanja horizontalnog dijela dijagrama.



Slika 6. Računski dijagram naprezanje ( $\sigma$ ) - relativna deformacija ( $\varepsilon$ )

#### 4.4 Određivanje karakteristične tlačne čvrstoće zida iz tlačne čvrstoće zidnih elemenata i morta

##### 4.4.1 Računsko određivanje karakteristične tlačne čvrstoće zida

Ako se ne raspolaze eksperimentalno dobivenim podacima o tlačnoj čvrstoći zida, karakteristična tlačna čvrstoća zida zidanog u mortu opće namjene može se odrediti iz sljedeće jednadžbe prema EC6 [19]:

$$f_k = K f_b^{0,65} f_m^{0,25} \quad [\text{N/mm}^2] \quad (3)$$

samo ako tlačna čvrstoća morta,  $f_m$  nije veće od  $20 \text{ N/mm}^2$  niti veće od  $2f_b$ , a mjerodavna je manja vrijednost;

$f_b$  - normalizirana tlačna čvrstoća zidnog elementa  $[\text{N/mm}^2]$

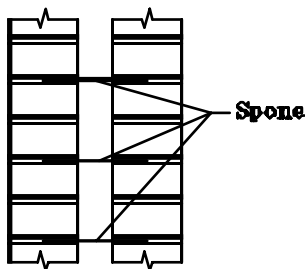
$f_m$  - nazivna tlačna čvrstoća morta  $[\text{N/mm}^2]$

$K$  - konstanta dana u jedinicama  $[\text{N/mm}^2]^{0,10}$ .

EkspONENT 0,10 uz  $K$ , te 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 ga država može mijenjati i prilagoditi svojim uvjetima, a prema EC6 može se za određene grupe zidnih elemenata uzeti:

[0,60] za grupu 1, [0,55] za grupu 2a, [0,50] za grupu 2b zidnih elemenata kada je debljina žiđe jednaka širini ili duljini zidnih elemenata tako da nema uzdužne vertikalne sljubnice morta kroz cijeli zid ili kroz jedan dio duljine zida (slike 8.a i b). Isto vrijedi i za jedan zid dvostrukog zida (slika 7.). Objašnjenja za grupe zidnih elemenata nalazi se u tablici 1.

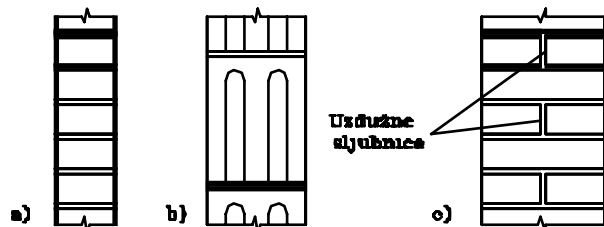


Slika 7. Presjek kroz šuplji zid (dvostruki zid sa šupljinom)

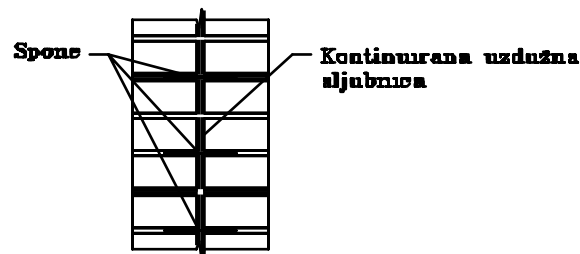
[0,50] za grupu 1, [0,45] za grupu 2a, [0,40] za grupu 2b zidnih elemenata kada je vertikalna sljubnica morta prisutna kroz cijeli zid ili kroz jedan dio duljine zida (slike 8.c, 9. i 10.).

[0,40] za grupu 3 zidnih elemenata.

Izraz (3) ne vrijedi za žiđe od kamenih ili porastih (beton koji sadrži pore) zidnih elemenata.



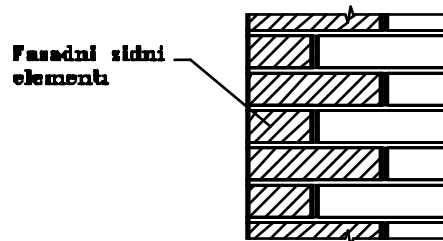
Slika 8. Presjek kroz jednostruki zid



Slika 9. Presjek kroz dvostruki zid bez šupljine između dva sloja

Ako se betonski zidni element grupe 2 s vertikalnim šupljinama ispunjava betonom na mjestu (*in situ*), vrijednost  $f_b$  treba odrediti tako da se pretpostavi da je to zidni element grupe 1. Tada se tlačna čvrstoća zidnog elementa

osniva na neto plošini, uz uvjet da tlačna čvrstoća betona nije manja od te veličine. Ako je tlačna čvrstoća betona manja od tlačne čvrstoće zidnog elementa, vrijednost  $f_b$  treba odrediti tako da se pretpostavi kako je zidni element pun (bez šupljina) a da mu je tlačna čvrstoća jednaka karakterističnoj tlačnoj čvrstoći betona.



Slika 10. Presjek kroz jedno slojni zid s fasadnim zidnim elementima

#### 4.5 Karakteristična posmična čvrstoća žiđe ( $f_{vk}$ )

Karakteristična posmična čvrstoća nearmiranog žiđe,  $f_{vk}$ , jest ona čvrstoća ispod koje se ne očekuje da će pasti više od 5% rezultata ispitivanja te čvrstoće. Ova čvrstoća može se dobiti iz odgovarajućeg ispitivanja uzoraka [26]. Oblik uzorka s vertikalnim i horizontalnim opterećenjem i dijagram posmičnih čvrstoća prikazuje slika 11.a i b. Potrebno je izraditi 9 uzoraka od kojih se po 3 ispituju do posmičnog sloma pri vertikalnom naprezanju od 0,2, 0,6 i 1,0 N/mm<sup>2</sup>. Duljina uzorka treba da je između 40 i 70 cm, dok omjer visine i debljine treba biti veći od 2. U svakom sloju treba biti barem jedna vertikalna sljubnica morta. Vertikalno naprezanje,  $f_{pi}$ , računa se iz izraza (4), a posmična čvrstoća,  $f_{vi}$ , iz izraza (5):

$$f_{pi} = \frac{F_{pi}}{A_i} \tag{4}$$

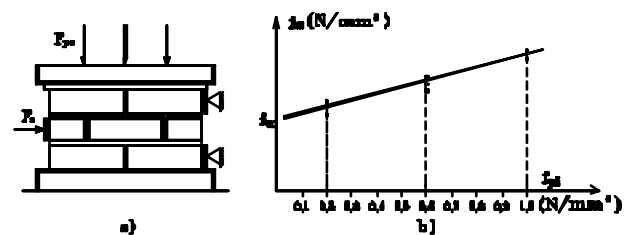
$$f_{vi} = \frac{F_{i,max}}{2A_i} \tag{5}$$

gdje je:

$A_i$  - površina horizontalnog presjeka uzorka koji se ispituje

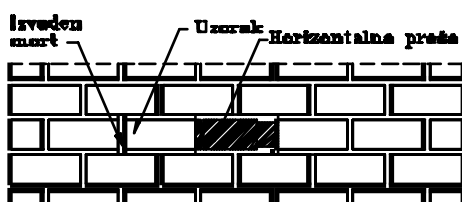
$F_{pi}$  - vertikalna sila

$F_{i,max}$  - najveća horizontalna posmična sila (pri posmičnom slomu)



Slika 11. Uzorak za određivanje posmične čvrstoće a); dijagram posmičnih čvrstoća b)

Za određivanje posmične čvrstoće zida neke postojeće građevine treba iz zida odstraniti barem jedan zidni element i na njegovo mjesto postaviti uređaj za nanošenje sile. Takvo ispitivanje prikazano je na slici 12. Zidnom elementu na koji se nanosi sila, i koji će se posmiknuti, odstranjuju se vertikalne sljubnice morta, ispred i iza, dok se bočna vertikalna sljubnica (ako je ima) ne dira i ne uzima u obzir pri određivanju posmične čvrstoće. Sila se postupno povećava do posmičnog sloma. Naprezanja okomito na horizontalnu sljubnicu morta treba izračunati poznavajući opterećenja i statički sustav konstrukcije.



Slika 12. Ispitivanje posmične čvrstoće zida neke postojeće građevine

#### 4.5.1 Računsko određivanje karakteristične posmične čvrstoće zida

Ako se ne raspolaže eksperimentalnim podacima, računska karakteristična posmična čvrstoća nearmiranog zida,  $f_{vk}$ , uz uvjet da su horizontalne i vertikalne sljubnice potpuno ispunjene mortom, može se uzeti kao manja vrijednost od:

$$f_{vk} = f_{vko} + 0,4 \sigma_d \text{ ili } f_{vk} = 0,065 f_b \quad (6)$$

ali ne manje od  $f_{vko}$ , i ne veće od granične vrijednosti iz tablice 4.

gdje je:

$f_{vko}$  - posmična čvrstoća kad je  $\sigma_d = 0$ , za obične mortove bez aditiva, kao što je to prikazano u tablici 4. Ako ne postoje eksperimentalno dobiveni podaci za  $f_{vko}$ , tada treba uzeti  $f_{vko} = 0,1 \text{ N/mm}^2$

$\sigma_d$  - računsko vertikalno tlačno naprezanje u zidu u razini koja se promatra uzimajući kombinaciju opterećenja koja daje najmanje vertikalno opterećenje;

$f_b$  - normalizirana tlačna čvrstoća zidnog elementa.

Računska karakteristična posmična čvrstoća nearmiranog zida,  $f_{vk}$  ako vertikalne sljubnice nisu ispunjene mortom, ali su susjedne plohe zidnih elemenata postavljene jedna uz drugu, može se uzeti kao najmanja vrijednost od:

$$f_{vk} = 0,5 f_{vko} + 0,4 \sigma_d \quad (7)$$

ili  $f_{vk} = 0,045 f_b$ , ali ne manje od  $f_{vko}$  ili = 70% granične vrijednosti iz tablice 4.

Ako ne postoje eksperimentalno dobiveni podaci za  $f_{vko}$ , tada treba uzeti  $f_{vko} = 0,1 \text{ N/mm}^2$ .

Za zide s uskim trakama morta, od barem 30 mm širine u horizontalnim sljubnicama na oba ruba zidnog elementa, uz vertikalne sljubnice potpuno ispunjene mortom, računska karakteristična posmična čvrstoća zida zidanog u običnom mortu može se odrediti kao najmanja vrijednost:

$$f_{vk} = (g/t) f_{vko} + 0,4 \sigma_d \quad (8)$$

ili  $f_{vk} = 0,05 f_b$  ili 70% granične vrijednosti tablice 4. ali ne manje od  $f_{vko}$

gdje je:

$g$  = ukupna širina dviju traka morta

$t$  = širina zida.

Ako ne postoje eksperimentalno dobiveni podaci za  $f_{vko}$ , tada treba uzeti  $f_{vko} = 0,1 \text{ N/mm}^2$ .

Tablica 4. Granične vrijednosti karakteristične posmične čvrstoće zida,  $f_{vko}$  i  $f_{vk}$  za mort opće namjene [19]

Zidni element	Mort	$f_{vko}$ (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		1,0
grupa 2a, zidni elementi koji nisu od pečene gline i grupe 2b, zidni elementi od pečene gline	M10 do M20,	0,2	(vidjeti napomenu) dolje) ili	1,4
	M2,5 do M9	0,15		1,2
	M1 do M2	0,1		1,0
grupa 3, zidni elementi od pečene gline	M10 do M20,	0,3	Bez drugih ograničenja osim onih danih uz izraz (6)	
	M2,5 do M9	0,2		
	M1 do M2	0,1		
<i>Napomena:</i> 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.				

Za tankoslojne mortove, koji se rabe uz zidne elemente od porastog betona, kalcijско-silikatne ili betonske, mogu se primjenjivati vrijednosti  $f_{vk}$  iz navedenih izraza



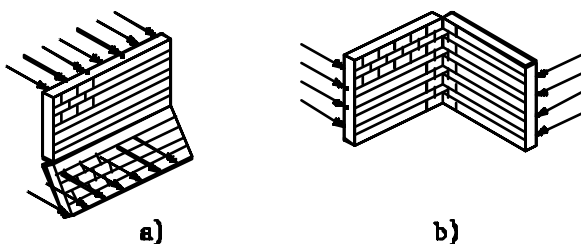
rabeći ograničenja iz tablice 4. za elemente od pečene gline istih grupa te za mortove M10 do M20.

Za lakoagregatne mortove, mogu se primjenjivati vrijednost  $f_{vk}$  iz navedenih izraza i ograničenja iz tablice 4. za mort M5.

#### 4.6 Karakteristična čvrstoća na savijanje nearmiranog žiđe

Karakterističnu čvrstoću na savijanje nearmiranog žiđe,  $f_{xk}$  treba odrediti eksperimentalno, a to je ona čvrstoća ispod koje ne pada više od 5% rezultata. Kao alternativa tome, u zemljama s iskustvom i rezultatima eksperimentalnih istraživanja koji to iskustvo potvrđuju, mogu se primijeniti vrijednosti iz tablice 5. Ako eksperimentalni podaci nisu na raspolaganju, tada se mogu primijeniti tek polovice vrijednosti iz tablice 5.

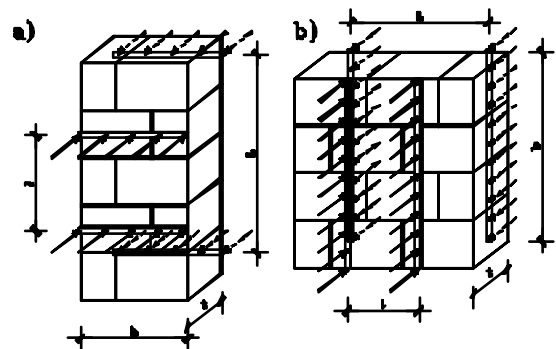
Karakteristične vrijednosti čvrstoće na savijanje žiđe određuju se na uzorcima koji daju ravninu sloma paralelnu horizontalnim sljubnicama morta,  $f_{xk1}$ , i onih koji daju ravninu sloma okomitu na horizontalne sljubnice morta,  $f_{xk2}$ , kako je prikazano na slici 13.



Slika 13. Čvrstoća žiđe na savijanje: a) ravnina sloma paralelna horizontalnim sljubnicama morta,  $f_{xk1}$ , b) ravnina sloma okomita na horizontalne sljubnice morta,  $f_{xk2}$

Čvrstoća žiđe na savijanje  $f_{xk1}$ , može se primijeniti samo pri proračunu zidova na kratkotrajno (prolazno) opterećenje (kao što je npr. vjetar) koje djeluje okomito na njihovu površinu. Vrijednost  $f_{xk1}$  treba pretpostaviti da je jednaka nuli kada bi lom žiđe doveo do potpunog rušenja ili gubitka stabilnosti cijele konstrukcije. Također, navodi se u EC6 [19], pri proračunu seizmičke otpornosti treba pretpostaviti da je vrijednost  $f_{xk1}$  jednaka nuli. U tablici 5. čvrstoća žiđe na savijanje razvrstana je prema kategoriji morta, vrsti zidnih elemenata i postotku upijanja vode.

Ispitivanje karakteristične čvrstoće zidića na savijanje prikazano je na slici 14.



Slika 14. Ispitivanje karakteristične čvrstoće zidića na savijanje: a) ravnina sloma paralelna horizontalnim sljubnicama morta, b) ravnina sloma okomita na horizontalne sljubnice

Čvrstoća na savijanje svakog zidića izračunava se u  $N/mm^2$  prema izrazu:

$$f_x = \frac{3W(L-l)}{2bt^2} \quad (9)$$

Tablica 5. Vrijednosti karakteristične čvrstoće žiđe pri savijanju,  $f_{xk}$  poduprte eksperimentalno dobivenim podacima [2]

Ravnine sloma Mort i zidni elementi	Ravnina sloma paralelna horizontalnim sljubnicama $f_{xk1}$ [ $N/mm^2$ ]			Ravnina sloma okomita na horizontalne sljubnice $f_{xk2}$ [ $N/mm^2$ ]		
	M15 M20	M10 M5	M2	M15 M20	M10 M5	M2
Zidni elementi od pečene gline s upijanjem vode: - manje od 7%	0,7	0,5	0,4	2,0	1,5	1,2
- između 7% i 12%	0,5	0,4	0,35	1,5	1,1	1,0
- više od 12%	0,4	0,3	0,25	1,1	0,9	0,8
Kalcijsko-silikatni	0,3		0,2	0,9		0,6
Betonski zidni elementi ili jako perforirani zidni elementi od pečene gline s karakterističnom tlačnom čvrstoćom $\geq 3.5 N/mm^2$						
rabljeni u zidovima debljine*: do 10 cm	0,25		0,2	0,45		0,4
do 25 cm	0,15		0,1	0,25		0,2
* Za jednoslojni zid to je debljina zida. Za dvoslojni zid to je debljina sloja izloženog opterećenju. Dopusštena je linearna interpolacija između vrijednosti prikazanih u gornjoj tablici za zidove čija je debljina između 10 i 25 cm						

gdje je:

- $f_x$  - čvrstoća na savijanje ( $N/mm^2$ );
- $W$  = nanijeto opterećenje u (N);
- $L$  - razmak vanjskih ležajeva (mm);
- $\lambda$  = razmak linija opterećenja (mm);  $b$  = širina zida (okomito na razmak ležajeva, u mm),
- $t$  = debljina zida (mm).

Pri proračunu se ne uzima u obzir oblik sloma izvan linija opterećenja. Potrebno je 10 pojedinačnih rezultata da bi se dobila karakteristična čvrstoća na savijanje koja služi kao referenca, no i uz manji broj rezultata (najmanje 8) mogu se primijeniti prikladne statističke metode za dobivanje usporednih rezultata ispitivanja: [2 i 11].

Ako su dobivene čvrstoće na savijanje:  $f_{x1}, f_{x2}, f_{x3}, \dots, f_{xv}$  izračunavaju se vrijednosti  $y_1, y_2, y_3, \dots, y_v$

gdje je:  $y_i = \log(f_{xi})$ , dok je  $v$  = broj uzoraka (replika)

Tada je:  $y_c = y_{sred} - k s$ ,

gdje je:  $y_{sred}$  = srednja vrijednost od  $y_i$ ;

za broj istih uzoraka  $v = 8, k = 2,01$ ; za  $v = 9, k = 1,96$ ; za  $v = 10, k = 1,92$ ;  $s$  = standardna devijacija od  $y_i$ .

Karakteristična čvrstoća na savijanje:  $f_x = \text{antilog}(y_c)$

#### 4.7 Referentna vlačna čvrstoća zida, $f_t$

Referentna vlačna čvrstoća zida je ona kod koje dolazi do vlačnog otkazivanja kada je zid opterećen istodobno vertikalnim i horizontalnim opterećenjem. Vertikalno je opterećenje stalno prisutno, a horizontalno je povremeno uzrokovano, vjetrom ili potresom.

Referentna vlačna čvrstoća može se odrediti ispitivanjem zida opterećenog nepromjenljivim vertikalnim opterećenjem, silom  $N$ , i postupno rastućom horizontalnom silom  $H$ , [8]. To ispitivanje prikazano je na slici 15.a). Referentna vlačna čvrstoća prema autorima Turnšek i Čačoviću [1], prikazana je izrazom:

$$f_t = -\frac{\sigma_d}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_d}{2}\right)^2 + (k\tau)^2} \quad (10)$$

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 najvećega i prosječnoga posmičnoga naprezanja ( $k \approx 1,5$ )

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

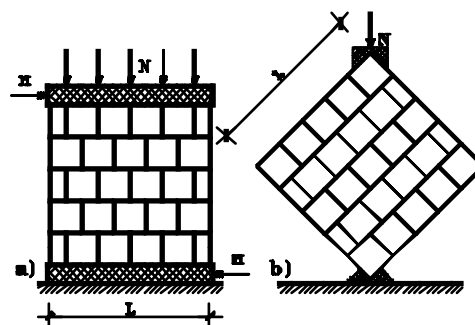
$L$  - duljina zida

$t$  - debljina zida.

Drugačije ispitivanje prikazano je na slici 15 b), a postže se postupnim povećanjem vertikalne tlačne sile duž jedne dijagonale. Referentna vlačna čvrstoća prikazana je izrazom:

$$f_t = \frac{2N}{\pi t L \sqrt{2}} \approx 0,45 \frac{N}{A_m} \quad (11)$$

gdje je  $N = N_{max}$ , tj. sila pri slomu.



Slika 15. Ispitivanje referentne vlačne čvrstoće zida

Karakteristične vrijednosti referentnih vlačnih čvrstoća zida,  $f_t$ , i ostalih navedenih svojstava, od raznih vrsta zidnih elemenata i morta, prema ispitivanjima Zavoda za raziskavo materijala in konstrukcij (ZRMK, Ljubljana) i Građevinskog instituta (GI, Zagreb), [5] i [8], prikazane su u tablici 6. Kad nema vlastitih eksperimentalno dobivenih rezultata preporučuje se podatke iz tablice 6, uzeti s polovicom vrijednosti.

Tablica 6. Karakteristične vrijednosti mehaničkih svojstava zida, u  $[N/mm^2]$  [5 i 8]

Zidni element	f	f <sub>m</sub>	f <sub>k</sub>	G	E	f <sub>t</sub>
Puna opeka	10	0,5	2,0	40	250	0,04
Puna opeka	15	2,5	2,5	200	800	0,18
Laki keramički blok	7,5	2,0	5,0	500	4500	0,30
Opečni blok	15	2,5	2,5	300	5000	0,12
Opečni blok	15	5	3,0	300	5000	0,18
Keramzični blok	7,5	5	3,5	500	5000	0,27
Betonski blok	7,5	5	4,0	600	6000	0,27
Puna opeka - stari zid	10	1,0	2,0	50	800	0,09
Dvoslojni kameni zid u slabom vapnenom mortu	-	-	0,3	65	200	0,02
Dvoslojni kameni zid u vapnenom mortu	-	-	0,5	90	3000	0,08
Miješani zid u vapnenom mortu	-	-	0,9	50	1000	0,08
Plinobeton	3,5	2,5	-	-	-	0,10

Oznake i vrijednosti iz tablice 6:

$f$  - tlačna čvrstoća zidnog elementa  $[N/mm^2]$

$f_m$  - tlačna čvrstoća morta  $[N/mm^2]$

$f_k$  - karakteristična tlačna čvrstoća žiđe [N/mm<sup>2</sup>]  
 $G$  - modul posmika žiđe [N/mm<sup>2</sup>]  
 $E$  - modul elastičnosti žiđe [N/mm<sup>2</sup>]  
 $f_t$  - karakteristična referentna vlačna čvrstoća žiđe [N/mm<sup>2</sup>].

#### 4.8 Puzanje, skupljanje i toplinsko širenje

Deformacijska svojstva trebalo bi odrediti eksperimentom. U nedostatku takvih ispitivanja, vrijednosti iz tablice 7, mogu se uzeti kao računске vrijednosti za puzanje, skupljanje i toplinsko širenje, a odnose se na deformacijska svojstva žiđe. Te vrijednosti su izvedene za određene vrste zidnih elemenata. Deformacijska svojstva žiđe mogu varirati značajno i zato se mora očekivati da će neke vrijednosti biti iznad, a neke ispod onih koje su dane u tablici 7.

Napomene:

1. Konačni koeficijent puzanja  $\phi_{\infty} = \varepsilon_{c\infty} / \varepsilon_{el}$   
gdje je  $\varepsilon_{c\infty}$  krajnja relativna deformacija od puzanja, a  $\varepsilon_{el} = \sigma / E$ .

4. Vrijednost je iskazana za agregate plovuće i ekspanđiranu glinu.
5. Vrijednost je iskazana za laki agregat koji nije plovuće niti ekspanđirana glina
6. Vrijednosti su obično vrlo niske.

#### 5 Zaključak

Pri proračunu zidanih konstrukcija potrebno je poznavati mjerodavna mehanička svojstva žiđe. Ova svojstva su: tlačna čvrstoća žiđe, posmična čvrstoća, čvrstoća žiđe na savijanje, referentna vlačna čvrstoća, modul elastičnosti žiđe, deformacijska svojstva žiđe. Određivanje mehaničkih svojstava žiđe kompleksan je zadatak, a najbolje ih je odrediti eksperimentalno. No, to nije uvijek moguće. Zbog toga su nakon brojnih ispitivanja zidnih elemenata, mortova i žiđe, u europskoj normi ENV 1996-1-1 [19] dani matematički izrazi i tablice kojima se pojedina svojstva mogu odrediti. Izrazi prikazani u tekstu daju približne, ali

Tablica 7. Deformacijska svojstva nearmiranog žiđe zidanog u mortu opće namjene (obični mort) [19]

Vrsta zidnog elementa	Konačni koeficijent puzanja $\phi_{\infty}$ (vidjeti napomenu 1)		Krajnje širenje ili skuplj. uslijed vlage (mm/m) (vidjeti napomenu 2)		Koeficijent toplinskog širenja $10^{-6} / ^{\circ} K$	
	Područje	Računske vrijednosti	Područje	Računske vrijednosti	Područje	Računske vrijednosti
Od pečene gline	0,5 do 1,5	1,0	-0,2 do + 1,0	(vidjeti pod 3)	4 do 8	6
Kalcijsko-silikatni	1,0 do 2,0	1,5	-0,4 do - 0,1	-0,2	7 do 11	9
Obični beton i umjetni kamen	1,0 do 2,0	1,5	-0,6 do -0,1	-0,2	6 do 12	10
Lakoagregatni beton	1,0 do 3,0	2,0	-1,0 do -0,2	-0,4 (vidjeti pod 4) -0,2 (vidjeti pod 5)	8 do 12	10
Porasti beton	1,0 do 2,5	1,5	-0,4 do + 0,2	-0,2	7 do 9	8
Prirodni kamen	(vidi pod 6)	0	-0,4 do + 0,7	+0,1	3 do 12	7

2. Krajnja vrijednost širenja ili skupljanja uslijed vlage. Minus u gornjoj tablici označuje skraćivanje a plus širenje.
3. Vrijednosti ovise o vrsti materijala pa se određena računska vrijednost ne može dati.

za praksu dovoljno dobre vrijednosti. Zaključuje se da zidane konstrukcije treba proračunavati prema europskim normama, pa stručnu javnost treba upoznati s tim normama. a dostupna literatura [25] i ovaj članak mogu u tome pomoći.

#### LITERATURA

[1] Turnšek, V.; Čačovič, F.: *Some Experimental Results on the Strength of Brick Masonry Walls*, Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Brick Masonry Conference Stoke-on-Trent, (1971),149.-156.

[2] British Standards Institution, Code of practice for Structural use of masonry, Part 1, Unreinforced masonry, BS 5628, (1978).

[3] Schneider, R., R., Dickey, W., L., "Reinforced Masonry Design", Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, (1980).

- [4] Atkinson, R., H., Noland, J., L.: *A Proposed Failure Theory for Brick Masonry in Compression*. Proceedings of the Third Canadian Masonry Symposium, Edmonton, (1983), Paper No. 5.
- [5] Tomažević, M.: *Eksperimentalne osnove za proračun seizmičke otpornosti zidanih zgrada*. Naše građevinarstvo 42, br. 7-8, Beograd, (1988), 661.-672.
- [6] Aničić, D.; Sorić, Z.; Morić, D.; Macan, H.: *Mechanical Properties of Stone Masonry Walls - Laboratory Investigation*, Proceedings of STREMA 89, First International Conference on Structural Studies, Repairs and Maintenance of Historical Buildings, (1989), Florence Italy, 95.-103.
- [7] Aničić, D., Tomažević, M., *Konstruiranje i proračun zidanih zgrada*, Građevinski kalendar, SGITJ, Beograd, (1990), I dio, 112.-181.
- [8] Aničić, D., Tomažević, M., *Konstruiranje i proračun zidanih zgrada*, Građevinski kalendar, SGITJ, Beograd, (1991), II dio, 9.-109.
- [9] Uniform Building Code standards, Commentary to Chapter 24, Masonry, The Masonry Society, Boulder, Colorado, USA, (1991).
- [10] Uniform Building Code standards, Commentary to Chapter 24, Masonry (1991) Edition, The Masonry Society, Boulder, Colorado, USA
- [11] ISO/DIS 9652-4, Masonry - Part 4: Test methods. Draft international standard, (1993).
- [12] Sorić, Z.: *Eurocode-6, Europski propisi za zidane konstrukcije*. Zbornik radova simpozija: Opeke i zgrade od opeka u obnovi Hrvatske. Zagreb, Savez energetičara Hrvatske, (1993), 225.-234.
- [13] Sorić, Z.: *Zgrade od opeke - gospodarski opravdane građevine*. Zbornik radova drugog radnog sabora "Graditelji u obnovi Hrvatske", Brijunski otoci, Društvo hrvatskih građevinskih konstruktora, Zagreb, (1993), 297.-304,
- [14] Abrams, D., P., *Masonry Structures, A Set of Classnotes*, Second Edition, The Masonry Society, Boulder, Colorado, USA, (1993).
- [15] Sorić, Z.: *Generalna obnova i razvojni trendovi zidanih konstrukcija*, Zbornik radova, Sabor hrvatskih graditelja '93, Crikvenica, Hrvatsko društvo građevinskih inženjera, (1993), 325.-335.
- [16] Drysdale, R., G., Hamid, A., A., Baker, L., R.: *Masonry Structures, Behavior and Design*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, (1994).
- [17] Bosiljkov, V., Žarnić, R.: *Določanje tlačne trdnosti zidja*. 17. zborovanje gradbenih konstrukterjev Slovenije, Bled, (1995), 255.-262.
- [18] DIN1053 Teil 1, Abschn. 12.3.2 bis A.2.4, Mauermörtel. Mauerwerk-Kalender 1995., Ernst & Sohn Verlag GmbH, Berlin, (1995), 405.-410.
- [19] ENV 1996-1-1: Design of masonry structures - Part 1-1: General rules for buildings - Rules for Reinforced and Unreinforced Masonry. EC6. European Committee for Standardization, Bruxelles, (1995).
- [20] Mann, W.: *Zahlenbeispiele zur Bemessung von druck- und schub-beanspruchten gemauerten Wänden nach DIN 1053 Teil 2 für Mauerwerk nach Eignungsprüfung und für Rezeptmauerwerk*, Mauerwerk Kalender 1995., Ernst & Sohn Verlag GmbH, Berlin, (1995), 45.-56.
- [21] Tomažević, M., *EUROCODE 6 - projektiranje zidanih konstrukcij: splošna pravila za stavbe*. Zbornik seminarja: "Uvajanje sodobnih evropskih standardov Eurocode v Sloveniji, Urednik M. Fischinger, Postojna, (1995), 115.-136.
- [22] Sorić, Z.: *Proračun nearmiranih zidanih zidova*. Zbornik radova: IV Kongresa Društva hrvatskih građevinskih konstruktora, Zamah graditeljstva - temelj razvitka Hrvatske, Cavtat, (1996), 461.-468.
- [23] Slovenski predstandard, OSIST ENV 1996-1-1, DSIST, (1997), (u izradi).
- [24] EN 1052-1: Methods of test for masonry - Part 1: Determination of compressive strength. European Committee for Standardization, Bruxelles, (September, 1998).
- [25] Sorić, Z.: *Zidane konstrukcije I*, Prvo izdanje, Hrvatski savez građevinskih inženjera, Zagreb, (1999).
- [26] prEN 1052-4: Methods of test for masonry - Part 4: Determination of shear strength including damp proof course. European Committee for Standardization, Bruxelles, (December, 1999).
- [27] prEN 772-1: Methods of test for masonry units - Part 1: Determination of compressive strength. European Committee for Standardization, Bruxelles, (February, 1999).
- [28] prEN 1015-11: Methods of test for mortar for masonry - Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar. European Committee for Standardization, Bruxelles, (March, 1999).