

- Mehaničke i deformacijske karakteristike nearmiranih zidova
- Ponašanje pri pritisku
- Čvrstoća zida: priritsak, savijanje, smicanje
- Modul elastičnosti
- Zapreminske deformacije – skupljanje, tečenje i termičko širenje

# MEHANIČKE I DEFORMACIJSKE OSOBINE NEARMIRANIH ZIDOVA

## O Materijalu

Zidarija je u stanju prenijeti srazmjerno velika opterećenja na pritisak, ali njena čvrstoća na zatezanje, ako nije posebno ojačana, znatno je manja negu kod betona i ne prelazi 7% čvrstoće na pritisak.

Nedostaju modeli koji bi jasno predstavili kompleksno ponašanje cjeline: malter, spojnica i zidni element.

Savremena istraživanja zidarije uglavnom se bave reološkim modelima preko kojih bi se, mogao uvesti odgovarajući numerički postupak, sposoban da predvidi ponašanje zidane konstrukcije.

# Zidni elementi

Proizvode se kao puni i šuplji elementi, a oblik i dimenzije su pri tom vrlo raznovrsni. Opeka i blokovi proizvode se u standardnim čvrstoćama na pritisak od 2,0 do 20,0 MPa.

Za izradu nosećih zidova i veznih zidova, prema PZZZ '91, ne smiju se upotrebljavati zidni elementi sa horizontalnim šipljinama, niti druge vrste zidnih elemenata koje imaju manju marku od:

- 10 MPa za elemente od pečene gline i krečno silikatne elemente;
- 7.5 MPa za blokove od betona sa kamenim agregatom i za blokove od lako agregatnog betona;
- 2.5 MPa za aerirani beton.

Za sve ostale vrste zidnih elemenata čvrstoća na pritisak ne smije biti manja od 2.5 MPa.

Zidni elementi, radi obezbijedivanja sigurnosti, stabilnosti i drugih zahtjeva moraju trajno zadržati svoje početne osobine. Izuzetno se može dozvoliti manja promjena boje elementa.

## Najmnaje dozvoljene marke maltera za zidanje su:

- Za opeke i blokove od pečene gline ili krečnog silikata, krečni malter marke M1, produžni malter marke M2 ili cementni malter marke M10;
- Za blokove od betona, lakoagregatnog betona i autoklaviranog gas betona, produžni malter marke M2 ili cementni malter marke M10.

Oznaka M označava srednju čvrstoću na pritisak prizme od maltera dimenzija 4x4x16 cm starosti 28 dana i izražena je u MPa.

Srednju čvrstoću na pritisak određuje se na 3 prizmatična uzorka.

Vrijednost čvrstoće pri pritisku  $f_m$  sračunava se na osnovu obrsca:

$$f_m = P_{gr}/A_0$$

pri čemu je:  $P_{gr}$  sila loma (granična sila pritiska)  
 $A_0$  površina poprečnog presjeka (4x4=16 cm<sup>2</sup>).

Marka maltera je aritmetička sredina čvrstoća na pritisak dobijena na 3 uzorka starosti 28 dana.

Mora biti obezbijeđeno prijanjanje maltera za zidne elemente. Kod elemenata kod kojih je ovo pod sumnjom (glatki zidni elementi) ispitivanjem na centrično zatezanje se mora dokazati vrijednost prijanjanja maltera za zidni element.

## Prionljivost maltera i zidnog elementa

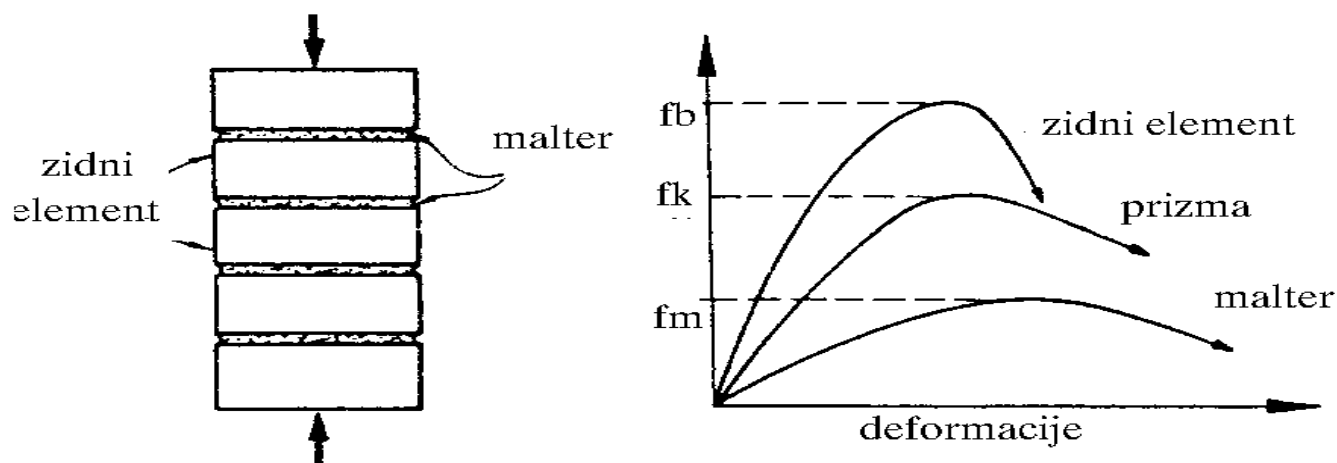
Na fizičko-mehaničke osobine zida kao složenog, kompozitnog, nosivog elementa znatno utiče veza prionljivosti koja se formira u toku otvrdnjavanja maltera u spojnica. Prionljivost je posebno značajna za čvrstoću zida na zatezanje savijanjem, čvrstoću na smicanje i čvrstoću na zatezanje. Na prionljivost zidnog elementa i maltera djeluje više faktora:

- čvrstoća, sastav i konzistencija maltera;
- kvalitet agregata u malteru;
- starost maltera u trenutku ispitivanja;
- apsorbciona svojstava zidnog elementa;
- čistoća kontaktnih površina zidnog elementa;
- hrapavost kontaktne površine malter-zidni element;
- klimatski uslovi.

U praksi se obično preporučuje kvašenje zidnih elemenata prije njihovog postavljanja u malter. Za optimalni postotak vlage u zidnom elementu (5-7%) potrebno vrijeme prethodnog potapanja u vodu je 2,5 min.

## Veza malter-element i mehanizam loma prizmi od zidarije

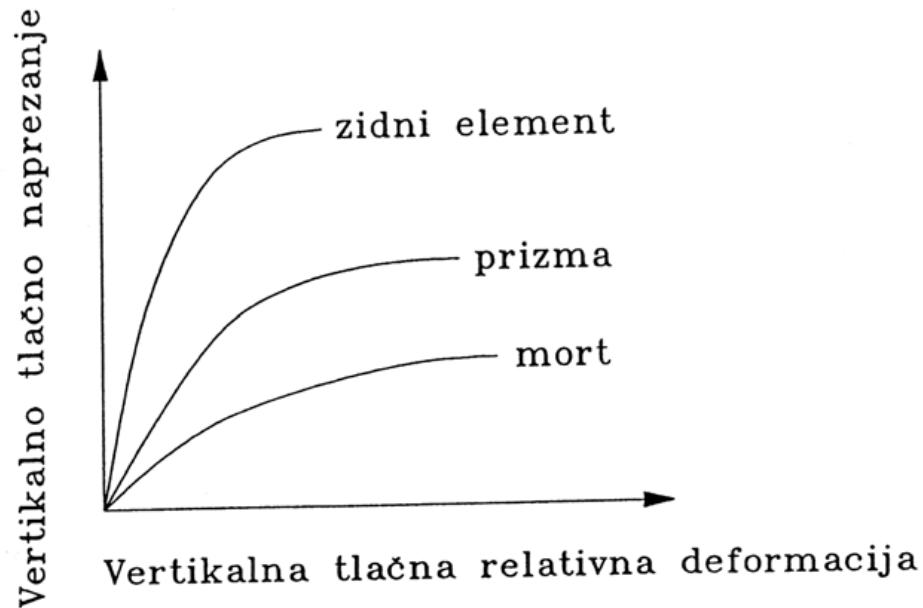
Čvrstoća na pritisak  $f_k$  prizmi od zidnih elemenata vezanih malterom znatno je veća od vrlo male čvrstoće na pritisak maltera  $f_m$ , a manja je od čvrstoće na pritisak zidnog elementa, kao što se vidi na slici (b).



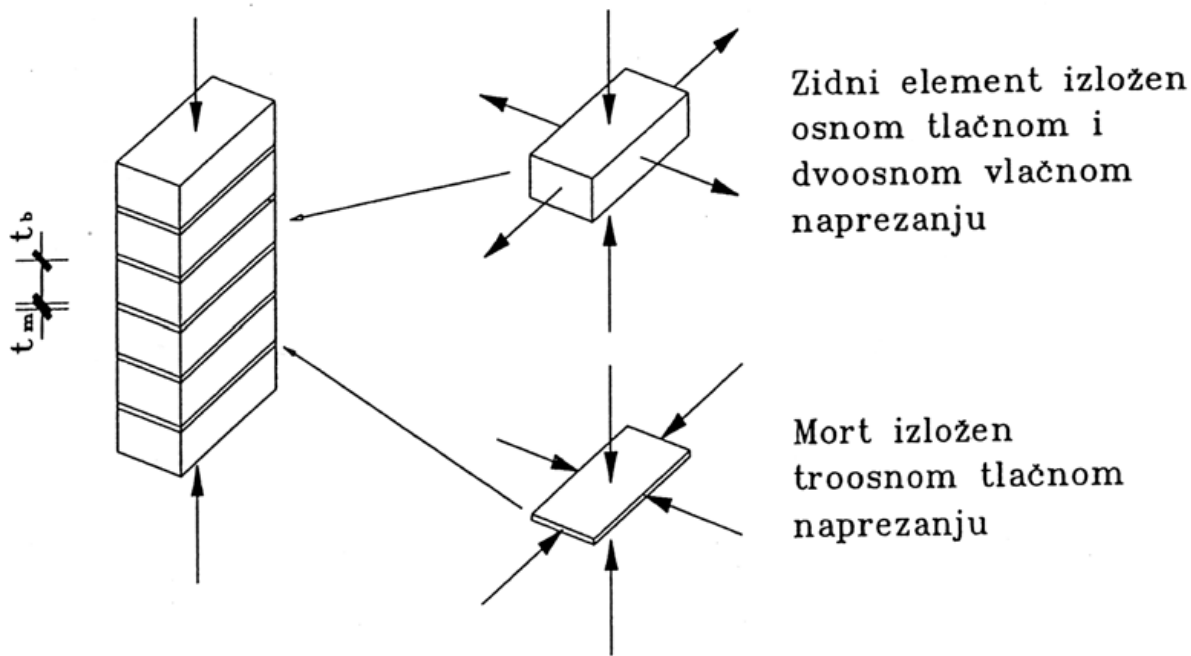
(a) Opterećena prizma (b) Naponsko-deformacijski dijagram

*Naponsko-deformacijski dijagram prizme od zidarije*

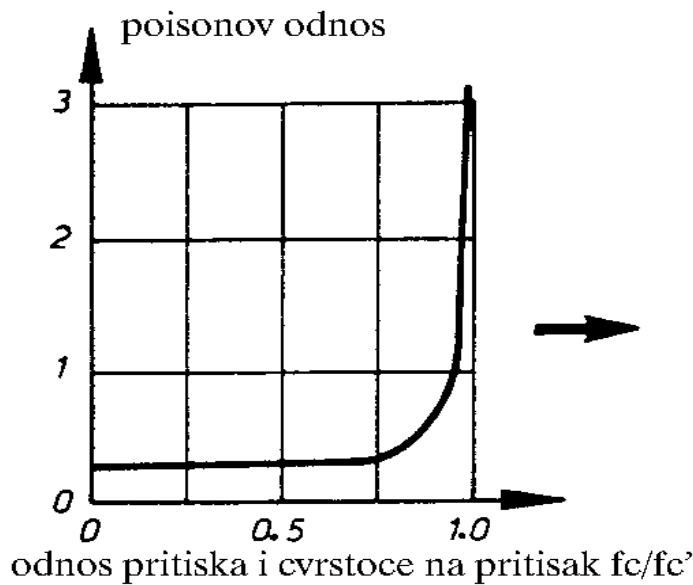
Lom prizme dešava se usljed cijepanja elemenata, a ne kako bi se očekivalo po malterskoj spojnici, koja obično ima od elementa desetostruko manju čvrstoću na pritisak. Ovakvo ponašanje je posljedica neusaglašenih karakteristika elementa i maltera.



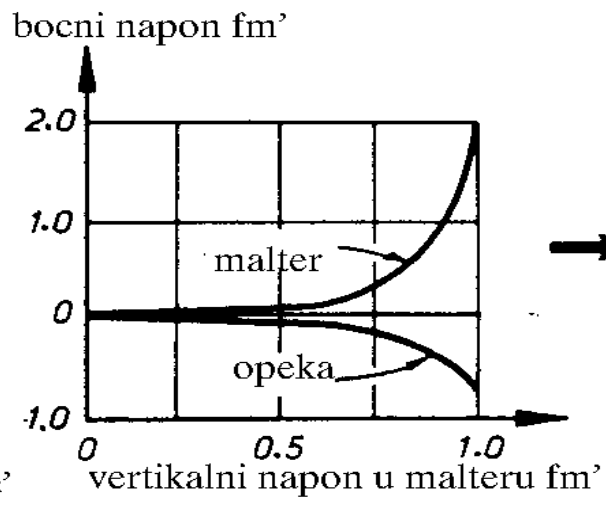
*Dijagrami naprezanje-deformacija*



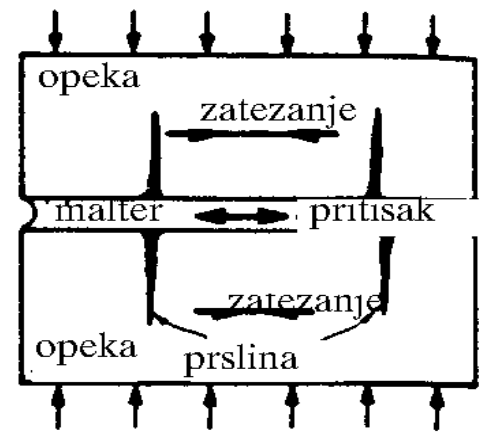
*Stanje naprezanja zidnih elemenata i maltera pri jednoosnom opterećenju na pritisak*



(a) Bočno širenje maltera zavisno od dostignutog napona pritiska



(b) Odnos bočnog i vertikalnog napona u elementu  
Mehanizam loma prizme od zidarije



(c) Prsline usled zatezanja

Malter ima manju čvrstoću na pritisak i otuda niži modul elastičnosti u odnosu na element, ali su aksijalne i transverzalne deformacije u malteru, za ista opterećenja, više nego u elementu.



Ako se aksijalni naponi pritiska približe čvrstoći na pritisak maltera, kao što se vidi na slici (a), bočno širenje maltera prekomjerno se povećava. Kombinacija u malteru niskog modula elastičnosti i visokog Poisonovog efekta proizvodi velike deformacije zatezanja na veznoj površini malter-element. Ovako nastale deformacije uveliko prevazilaze bočne deformacije koje element može da izdrži.

Na sl. (b) vidi se da do određene granice trenje i adhezija na veznoj površini malter element izjednačavaju napone pritiska u malteru i napon zatezanja u elementu.

Kao rezultat triaksijalnog stanja pritiska u malteru, povećava se njegova granična čvrstoća na pritisak i odlaže lom u malteru. U elementu čvrstoća na pritisak se redukuje i usled bočnog zatezanja dolazi do njegovog cijepanja.

Elementi i malter u sklopu zida uvijek imaju složena naponska stanja.

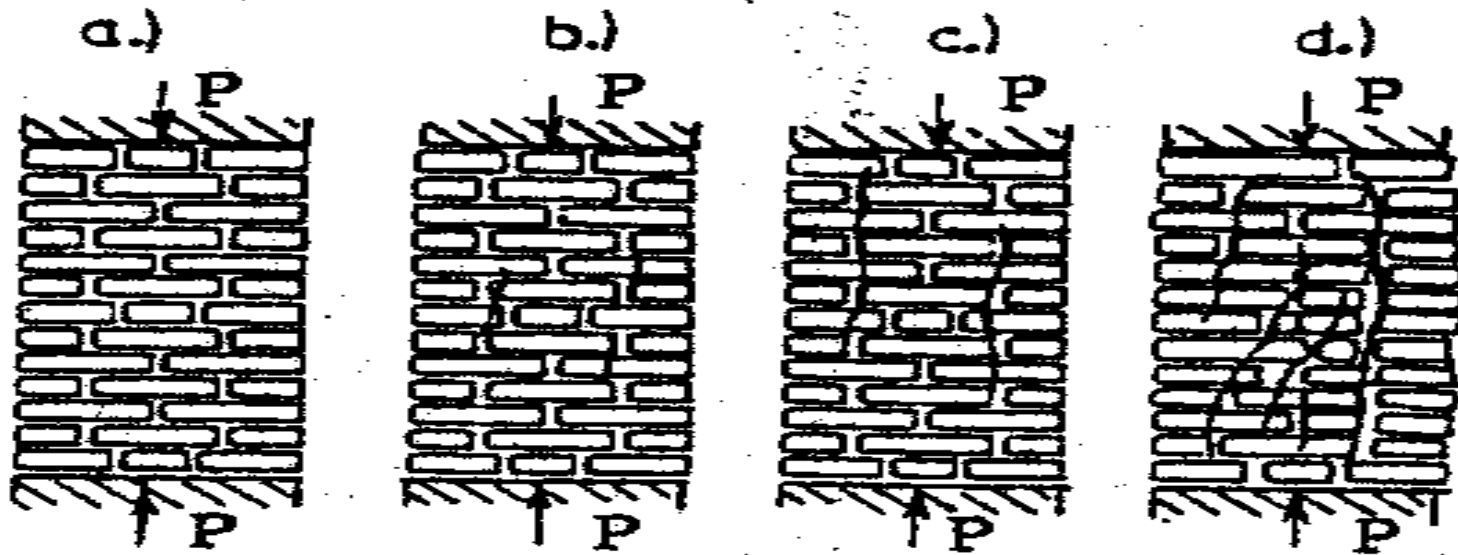
Ovo važi čak i kada je zid opterećen ravnomjernim opterećenjem.

Složeno naponsko stanje u zidu posljedica je:

-nehomogenih karakteristika maltera po površini i debljini spojnice, koje su posljedica neravnomjernog upijanja vode,

- različite zbijenosti ugrađenog maltera, prisustva šupljina u malterskim spojnica (često na vertikalnom spoju elemenata) i dr.

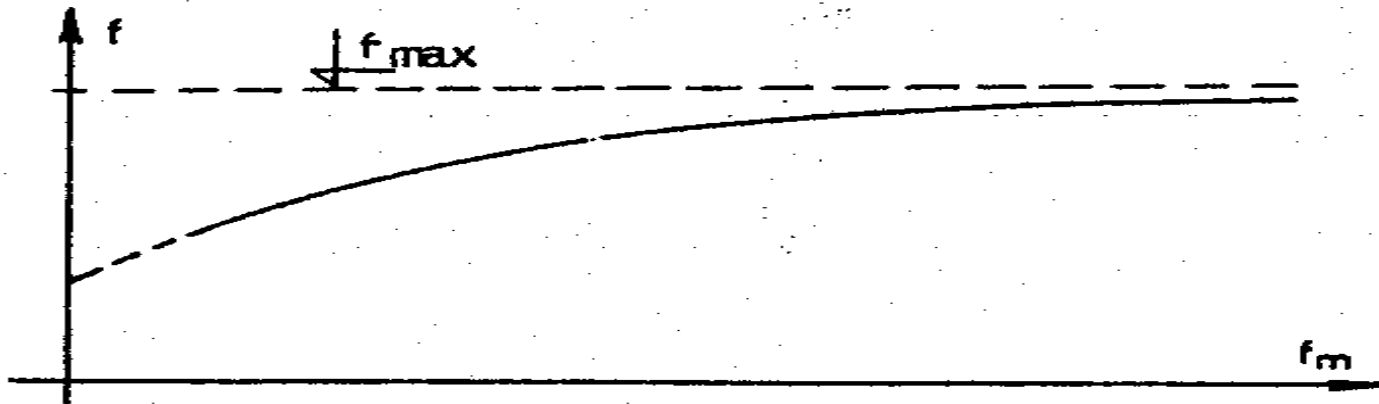
Zato su, mehanizmi loma zida izloženog pritisku, posljedica prekoračenja lokalnih napona zatezanja i savijanja u okolini elemenata, sledeća slika.



*Mehanizam loma zida opterećenog na centrični pritisak*

Pri ispitivanju nekog zida na pritisak do loma mogu se definisati četiri faze rada:

- a) I faza, faza normalne eksploatacije, nema oštećenja;
- b) II faza je pojava sitnih prslina u manjem broju elemenata za zidanje ili njihovoj okolini. Ovakvo ponašanje zid pokazuje do sile koja je na nivou 60-80% graničnog opterećenja. Ako se opterećenje ne povećava rast prslina se ne nastavlja;
- c) Ako povećavamo opterećenje prsline se uvećavaju, povezuju, i zid se dijeli na nekoliko gotovo nezavisnih djelova. Ovo je III faza. Pri dužem djelovanju opterećenja čak i bez njegovog povećanja prsline se uvećavaju, tako da zid može biti podijeljen na vitke stubove;
- d) Gubitak stabilnosti ovih vitkih djelova zida predstavlja četvrtu fazu rada.



*Zavisnost između čvrstoće zida pri pritisku  $f$  i čvrstoće maltera  $f_m$*

Zavisnost čvrstoće na pritisak zida i čvrstoće na pritisak maltera data je na gornjem dijagramu.

Na dijagramu uočavamo da i ako se čvrstoća maltera povećava do u beskonačnost čvrstoća zida na pritisak teži nekoj asimtotskoj vrijednosti  $f_{\max}$ . Ova vrijednost  $f_{\max}$ , kako pokazuju ispitivanja uvijek je u funkciji čvrstoće na pritisak elementa za zidanje. **Što znači da veći značaj u čvrstoći na pritisak zida ima vrijednost čvrstoće elementa.**

Postoje određene empirijske veze čvrstoće zida od čvrstoća maltera i elemenata, ali je kada je god to moguće najbolje je čvrstoću zida ispitati direktnim ispitivanjem.

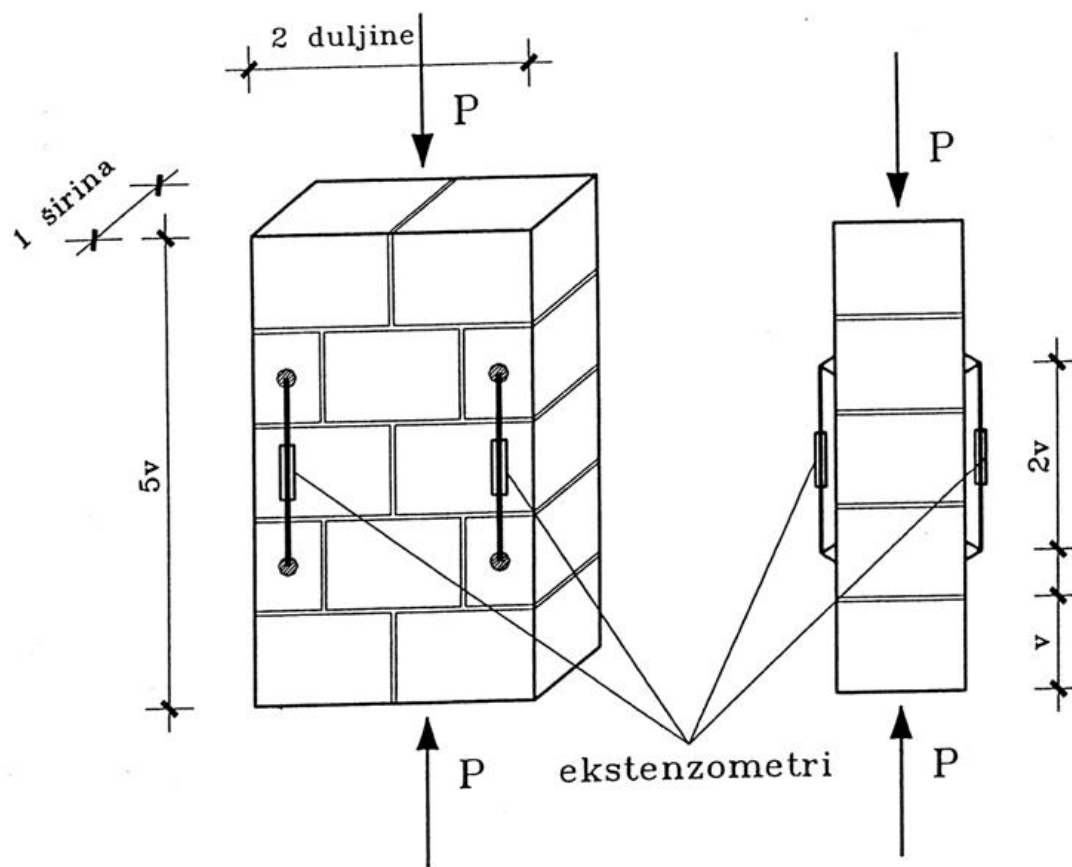
## Mehaničke osobine nearmiranih zidova

Mehaničke osobine nearmiranih zidova definišu se preko sljedećih parametara:

- karakteristične čvrstoće na pritisak  $f_k$ ;
- karakteristične čvrstoće na smicanje  $f_{sk}$  ( $f_{vk}$ );
- karakteristične čvrstoće na savijanje  $f_{x1}$  ( $f_{x2}$ );
- modula elastičnosti  $E$ ;
- modula smicanja  $G$ .

## Zidani zidovi, čvrstoća na pritisak zida pri lomu $f_z$ i MZ

Čvrstoća na pritisak zida pri lomu  $f_z$  određuje se ispitivanjem do loma na najmanje **tri mala uzorka zida**. Primjer kojih minimalno dimenzija mora da bude uzorak i kako se postavlja mjerna oprema prikazan je na slici.



*Ispitivanje čvrstoće na pritisak*

Marka zida MZ određuje se prema izmjerenim vrijednostima čvrstoće na pritisak zida  $f_z$ . Uslovi za određivanje marke zida MZ dati su u sljedećoj tabeli.

*Tabela 5.1. Uslovi za marke zidova i karakteristične čvrstoće pri pritisku  $f_k$*

Marka zida MZ	Čvrstoća pri pritisku $f$ (MPa)	Najmanja pojedinačna vrednost čvrstoće (MPa)	Aritmetička sredina rezultata ispitivanja (MPa)	Karakteristična čvrstoća zida pri pritisku $f_k$ (MPa)
1,5	1,5	1,5	1,8	1,2
2,0	2,0	2,0	2,4	1,6
2,5	2,5	2,5	2,9	2,0
3,5	3,5	3,5	4,1	2,8
5	5,0	5,0	5,9	4,0
6	6,0	6,0	7,0	4,8
7	7,0	7,0	8,2	5,6
9	9,0	9,0	10,6	7,2
11	11,0	11,0	12,9	8,8
13	13,0	13,0	15,3	10,4
16	16,0	16,0	18,8	12,8
20	20,0	20,0	23,5	16,0

Ako se vrijednosti  $f_z$  nalazi između dvije marke zida kao marka zida uzima se manja vrijednost.

## Karakteristična čvrstoća zida, $f_k$ , čvrstoća zida na pritisak

Karakteristična čvrstoća zida je: vrijednost za koju postoji vjerovatnoća od 95 % da neće biti manja od deklarisanе vrijednosti.

$$f_k = 0.80 MZ, \text{ gdje } MZ \text{ marka zida}$$

Ako je karakteristična vrijednost dobijena ispitivanjem na osnovu prethodne tabele odredi se MZ. Marka zida je manja vrijednost od dvije vrijednosti između kojih se nađe ispitivanjem utvrđena karakteristična čvrstoća.

Ako karakteristična čvrstoća zida nije utvrđena ispitivanjem i korišćenjem gornje tabele, može se pretpostaviti da neće biti manja od vrijednosti sračunate pomoću sljedećeg obrasca.

$$f_k = K f_b^\alpha f_m^\beta \quad (\text{MPa}), \text{ važi za } f_b < 50 \text{ N/mm}^2 \text{ i maltere sa pijeskom}$$

Gdje su:

$f_b$  – čvrstoća pri pritisku elementa za zidanje

$f_m$  – čvrstoća maltera pri pritisku

$K$  – konstanta koja zavisi od karakteristika zida. Ako u zidu nema podužne malterske spojnice  $K=0.6$ , a ako je ima  $K=0.55$

Za maltere spravljene sa običnim pijeskom uzima se da su:  $\alpha=0.65$  i  $\beta=0.25$ ,



$f_b = \delta f_{ev}$  – je normalizovana čvrstoća na pritisak u  $N/mm^2$  ;  
 $f_{ev}$  - srednja čvrstoća na pritisak elementa svedena na čvrstoću na vazduhu  
 suvog ekvivalentnog elementa širine 100mm i visine 100mm  
 $\delta$  –korekcionni faktor koji uzima u obzir odnos širine i visine zidnog elementa i dat  
 je u tabeli

Висина зидног елемента, у mm	Ширина зидног елемента у mm				
	90	100	150	200	250
50	0,70	0,65	0,60	–	–
65	0,75	0,70	0,65	0,60	0,55
100	0,90	0,85	0,80	0,70	0,65
150	1,05	1,00	0,95	0,85	0,80
200	1,20	1,15	1,10	1,00	0,90
250 и више	1,25	1,20	1,15	1,05	1,00

*Velčina faktora  
 oblika,  $\delta$ , PZZ*

# EN 1996-1-1 KARAKTERISTIČNE ČVRSTOĆE NA PRITISAK $f_k$

$f_k = K f_b^{0.7} f_m^{0.3}$  za sve grupe elemenata i maltere opšte namjene i lako agregatne maltere

$f_k = K f_b^{0.85}$  elemete iz grupa 1 i 4 i tankoslojne maltere

$f_k = K f_b^{0.7}$  elemete iz grupa 2 i 3 i tankoslojne maltere

Gdje su:

$K$  – konstanta prema tabeli

$f_b$  - normalizovana srednja  
čvrstoća na pritisak  
elementa za zidanje

$f_m$  - čvrstoća na pritisak maltera  
za zidanje

Element za zidanje		Malter opšte namene	Tankoslojni malter (debljina spojnice 0,5-3,0 mm)	Lakoagregatni malter, zapreminske mase	
				$600 \leq \rho_d \leq 800 \text{ kg/m}^3$	$800 \leq \rho_d \leq 1300 \text{ kg/m}^3$
Glina	Grupa 1	0,55	0,75	0,30	0,40
	Grupa 2	0,45	0,70	0,25	0,30
	Grupa 3	0,35	0,50	0,20	0,25
	Grupa 4	0,35	0,35	0,20	0,25
Kalcijum silikat	Grupa 1	0,55	0,80	‡	‡
	Grupa 2	0,45	0,65	‡	‡
Beton	Grupa 1	0,55	0,80	0,45	0,45
	Grupa 2	0,45	0,65	0,45	0,45
	Grupa 3	0,40	0,50	‡	‡
	Grupa 4	0,35	‡	‡	‡
Autoklavirani aerirani beton	Grupa 1	0,55	0,80	0,45	0,45
Veštački kamen	Grupa 1	0,45	0,75	‡	‡
Obrađeni prirodni kamen	Grupa 1	0,45	‡	‡	‡

‡ Kombinacija maltera i elementa za zidanje koja se obično ne koristi.

Parametri se definišu različito za različite grupe elemenata za zidanje, pa je važno da prvo definišemo grupe zidnih elemenata prema EC6.

Prema kontroli proizvodnje EC6 zidne elemente dijele na kategorije (razrede) I i II.

Zidni elementi kategorije I su oni za koje je proizvođač osigurao stalnu kontrolu kvaliteta i koji u pošiljci imaju deklarisanu čvrstoću na pritisak sa 5% fraktila.

Elementi kategorije II su oni koji imaju srednju vrijednost čvrstoće na pritisak jednaku deklarisanjoj.

Zidni elementi od prirodnog kamena svrstani su u kategoriju II.

Prema postotku šupljina u zapremini zidni elementi se dijele na Grupu 1, 2, 3, te Grupu 4 (vidjeti tablicu). Debljina vanjskih zidova zidnih elemenata ne bi smjela biti manja od 15 mm.

**Tabela 3.1: Geometrijski zahtevi za grupe elemenata za zidanje**

	Materijali i ograničenja za elemente za zidanje				
	Grupa 1 (svi materijali)	Materijal	Grupa 2	Grupa 3	Grupa 4
			Vertikalne šupljine		Horizontalne šupljine
Zapremina svih šupljina (% bruto zapremine)	≤ 25	glina	> 25; ≤ 55	≥ 25; ≤ 70	≥ 25; ≤ 70
		kalcijum silikat	> 25; ≤ 55	ne koristi se	ne koristi se
		beton <sup>b</sup>	> 25; ≤ 60	≥ 25; ≤ 70	≥ 25; ≤ 50
Zapremina pojedinačne šupljine (% bruto zapremine)	≤ 12,5	glina	svaka od pojedinačnih šupljina ≤ 2; šupljine za manipulaciju (ručke) ≤ 12,5	svaka od pojedinačnih šupljina ≤ 2; šupljine za manipulaciju (ručke) ≤ 12,5	svaka od pojedinačnih šupljina ≤ 30
		kalcijum silikat	svaka od pojedinačnih šupljina ≤ 15; šupljine za manipulaciju (ručke) ≤ 30	ne koristi se	ne koristi se
		beton <sup>b</sup>	svaka od pojedinačnih šupljina ≤ 30; šupljine za manipulaciju (ručke) ≤ 30	svaka od pojedinačnih šupljina ≤ 30; šupljine za manipulaciju (ručke) ≤ 30	svaka od pojedinačnih šupljina ≤ 25

*Geometrijski zahtjevi za grupe zidnih elemenata*

Deklarisane vrednosti debljine pregrada i omotača (mm)	Nema zahteva		pregrada	omotač	pregrada	omotač	pregrada	omotač
		glina	≥ 5	≥ 8	≥ 3	≥ 6	≥ 5	≥ 6
		kalcijum silikat	≥ 5	≥ 10	ne koristi se		ne koristi se	
		beton <sup>b</sup>	≥ 15	≥ 18	≥ 15	≥ 15	≥ 20	≥ 20
Deklarisane vrednosti kombinovanih debljina <sup>a</sup> pregrada i omotača (% ukupne širine)	Nema zahteva	glina	≥ 16		≥ 12		≥ 12	
		kalcijum silikat	≥ 20		ne koristi se		ne koristi se	
		beton <sup>b</sup>	≥ 18		≥ 15		≥ 45	
<p><sup>a</sup> Kombinovana debljina je ukupna debljina pregrada i omotača, merena horizontalno u relevantnom pravcu. Provera je zamišljena kao kvalifikacioni test i potrebno ju je ponoviti jedino u slučaju bitnih promena dimenzija elemenata za zidanje.</p> <p><sup>b</sup> U slučaju konusnih ili čelijskih šupljina, treba koristiti srednju vrednost debljine pregrada i omotača.</p>								

### *Geometrijski zahtjevi za grupe zidnih elemenata*

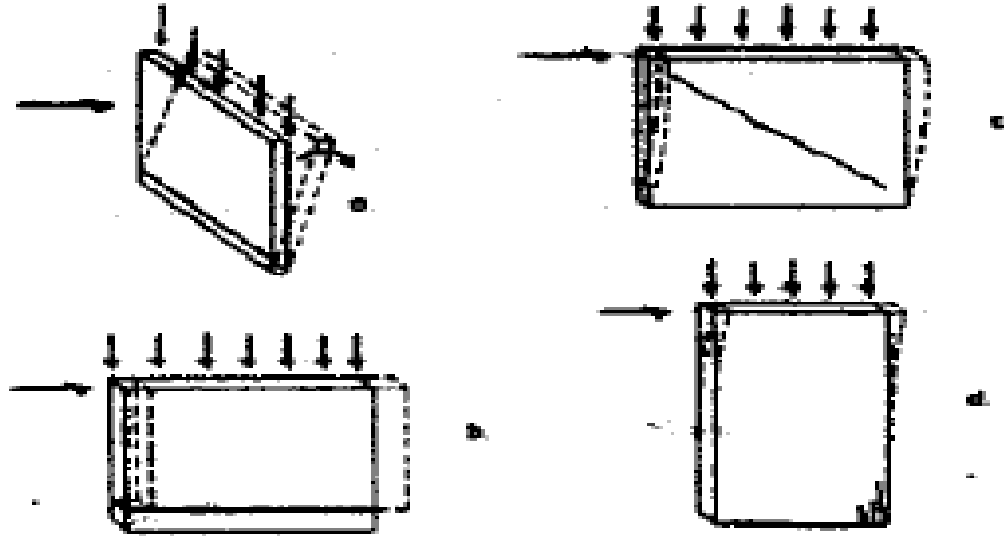
Visina <sup>1)</sup> zidnog elementa(mm)	Najmanja horizontalna dimenzija zidnog elementa (mm)				
	50	100	150	200	≥250
40	0,80	0,70	-	-	-
50	0,85	0,75	0,70	-	-
65	0,95	0,85	0,75	0,70	0,65
100	1,15	1,00	0,90	0,80	0,75
150	1,30	1,20	1,10	1,00	0,95
200	1,45	1,35	1,25	1,15	1,10
≥250	1,55	1,45	1,35	1,25	1,15

<sup>1)</sup> Visina uzorka nakon pripreme površine.

*Veličina faktora oblika,  $\delta$ , 3.E4*

*Faktorom oblika obuhvata se uticaj oblika elementa, tačnije odnos dimenzija elementa*

# Mehanizam loma zidanih zidova



*Mehanizam rušenja slobodnostojećeg zida usled dejstva horizontalnih seizmičkih sila*

Usljed horizontalnog dejstva seizmičkih sila mogu nastati sljedeći mehanizmi loma zidanih zidova:

- a) lom van ravni zida,
- b) od klizanja po horizontalnoj malterskoj spojnici,
- c) od otvaranja dijagonalnih pukotina u vertikalnim i horizontalnim materskim spojnicaama ili raspucavanja zida po zidnim elementima,
- d) od savijanja





$$f_{vk} = f_{vko} + \eta \mu \sigma_n \leq K f_b$$

Gdje su:

$f_{vko}$  – čvrstoća pri čistom klizanju ( $\sigma_n = 0$ )

$\sigma_n$  – normalni napon

$\eta$  – parametar koji uzima u obzir upotrijebljene vrste elemenata kreće se od 0.4-0.8

$\mu$  – koeficijent trenja po horizontalnoj spojnici  $\mu=0.7$ ,

$K$  – za elemete za zidanje sa manje od 25% šupljina  $K=0.05$ , a za elemente sa više od 25% šupljina  $K=0.04$ .

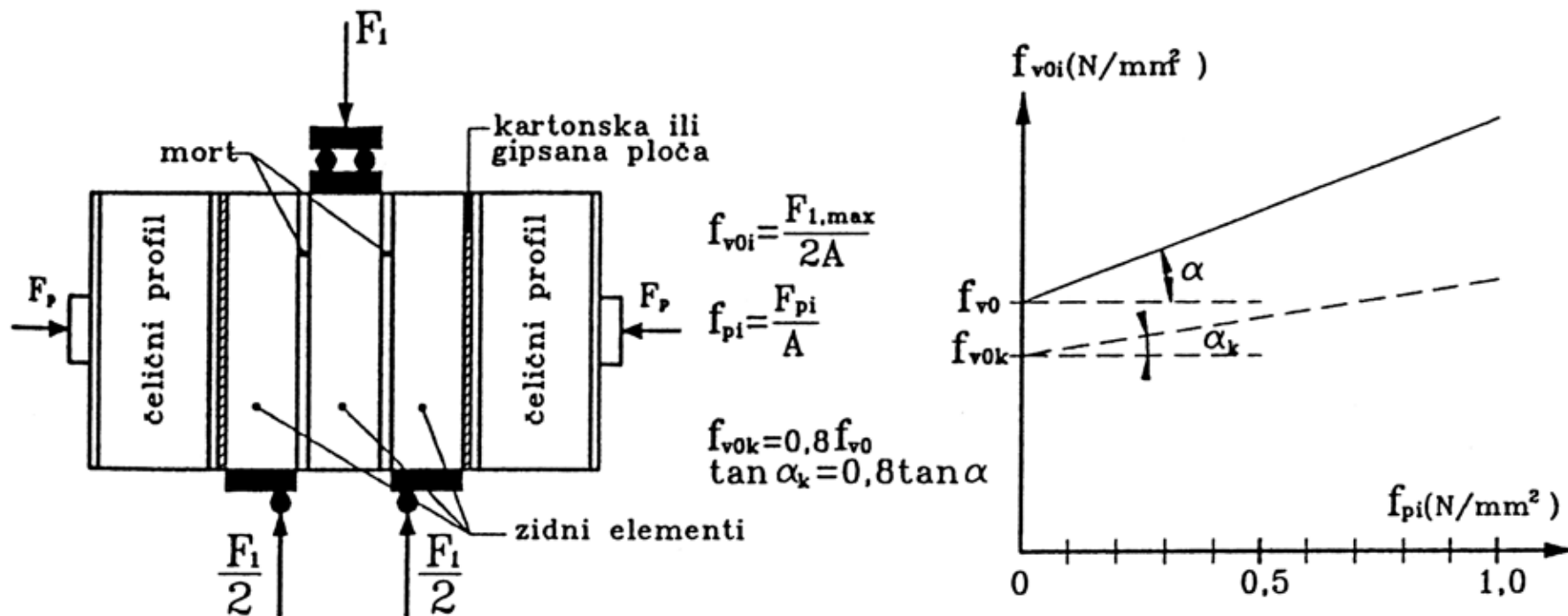
$f_b$  – čvrstoća pri pritisku elementa za zidanje

Uslovljeno je da veličina izračunate karakteristične čvrstoće na klizanje ne smije da bude veća od propisane granične vrijednosti. Ove vrijednosti, kao i vrijednosti  $f_{vko}$ , koje se odnose na zidove zidane različitim vrstama elemenata za zidanje i od različitih marki maltera dati su u sljedećoj tabeli.

*Tabela 5.3. Najveće dozvoljene vrednosti čvrstoće  $f_{vk}$  i vrednosti čvrstoće  $f_{vko}$*

Elementi za zidanje	Marke maltera	$f_{vko}$ (MPa)	Najveće dozvoljene vrednosti $f_{vk}$ (MPa)
Sve vrste elemenata sa 25% i više vertikalnih šupljina	M15,M10,M5,M2	0,2-0,1	0,8, ali ne više od podužne pritisne čvrstoće elementa za zidanje <sup>*)</sup>
Elementi od betona, ćelijastog betona i krečnog silikata sa manje od 25% vertikalnih šupljina	M15,M10,M5,M2	0,2-0,1	0,8
Elementi od gline sa $f_b \leq 15$ MPa	M15,M10,M5,M2	0,3-0,1	1,0
Elementi od gline sa $f_b > 15$ MPa	M15,M10,M5,M2	0,3-0,1	1,5
<sup>*)</sup> Podužna pritisna čvrstoća elementa za zidanje je čvrstoća koja se dobija pri ispitivanju koje podrazumeva dejstvo sile u pravcu dužine elementa $l$ . Ako su oblik i raspored šupljina u elementu za zidanje takvi da je ta pritisna čvrstoća veća od 0,15 pritisne čvrstoće u vertikalnom pravcu, granična vrednost za $f_{vk}$ je 0,8 MPa.			

## U skladu sa pravilnikom EC6



*Uzorak i dijagram za određivanje čvrstoće na smicanje*

Karakteristična čvrstoća na klizanje nearmiranog zidanog zida  $f_{vk}$  je ona čvrstoća ispod koje se ne očekuje da će pasti više od 5% rezultata ispitivanja te čvrstoće.

Karakteristična čvrstoća na klizanje nearmirane zidane konstrukcije  $f_{vk}$  može se dobiti iz odgovarajućeg ispitivanja uzoraka.

Oblik uzoraka i dijagram smicanje-klizanja u odnosu na naprezanje normalno na malterske spojnice prikazan je na gornjoj slici. Dodavanjem normalnog napona pritiska horizontalnom silom ( $F_p > 0$ ) povećava se čvrstoća na smicanje-klizanje.

Računska karakteristična čvrstoća na smicanje nearmiranog zidanog zida,  $f_{vk}$ , uz uslov da su horizontalne i vertikalne spojnice potpuno ispunjene malterom, može se uzeti kao najmanja vrijednost od:

**$f_{vk} = f_{vko} + 0.4\sigma_d$  ili  $f_{vk} = 0.065f_b$** , ali ne manje od  $f_{vko}$  i ne više od granične vrijednosti iz tablice, a mjerodavna je najmanja vrijednost.

Gdje je:

-  $f_{vko}$  – čvrstoća na smicanje bez pritiska normalno na malterske spojnice za obične maltere bez aditiva. Ako ne postoje ekperimentalni podaci za  $f_{vko}$ , EC 6 preporučuje da se uzme  $f_{vko}=0.1$ ;

-  $\sigma_d$  - računski vertikalni napon pritiska u zidu u novou koja se posmatra uzimajući kombinaciju opterećenja koja daje najmanje vertikalno opterećenje.

U obzir se uzima stalno opterećenje  $N_g$  s povoljnim učinkom, tj.  $\gamma_G=1.0$  i  $\gamma_Q=1.0$ . Prema tome:  $\sigma_d = \gamma_g N_g / (t L) = N_g / (t L)$ ;

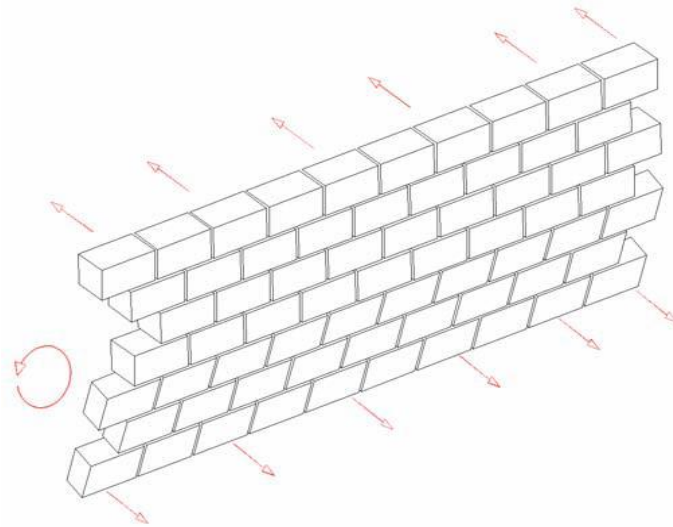
-  $f_b$  - čvrstoća na pritisak zidnog elementa.

Proračunska karakteristična čvrstoća na smicanje nearmiranog zidanog zida,  $f_{vk}$ , ako vertikalne malterske spojnice nisu ispunjene malterom, ali su susjedne površine zidnih elemenata postavljene jedna uz drugu, može se uzeti kao najmanja vrijednost od:

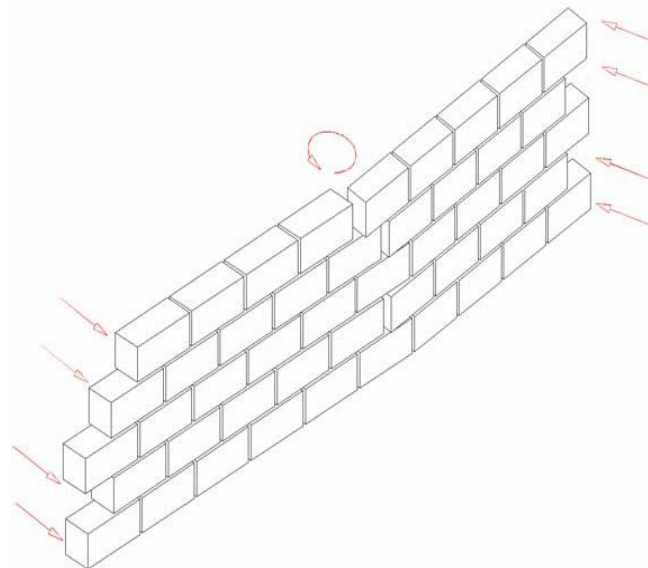
**$f_{vk} = 0.5 f_{vko} + 0.4\sigma_d$** , ili  **$f_{vk} = 0.045f_b$** , ali ne manje od 70% granične vrijednosti iz tablice. Ako ne postoje ekperimentalni podaci za  $f_{vko}$ , EC 6 preporučuje da se uzme  $f_{vko}=0.1$ .

Element za zidanje	$f_{vko}$ (N/mm <sup>2</sup> )			
	Malter opšte namene, klase čvrstoće	Tankoslojni malter (debljina spojnice 0,5-3,0 mm)	Lakoagregatni malter	
Glina	M10 - M20	0,30	0,30	0,15
	M2,5 - M9	0,20		
	M1 - M2	0,10		
Kalcijum silikat	M10 - M20	0,20	0,40	0,15
	M2,5 - M9	0,15		
	M1 - M2	0,10		
Beton	M10 - M20	0,20	0,30	0,15
Autoklavirani aerirani beton	M2,5 - M9	0,15		
Veštački kamen i obrađeni prirodni kamen	M1 - M2	0,10		

*Vrijednosti početne čvrstoće na smicanje zida  $f_{vko}$ , EC6*



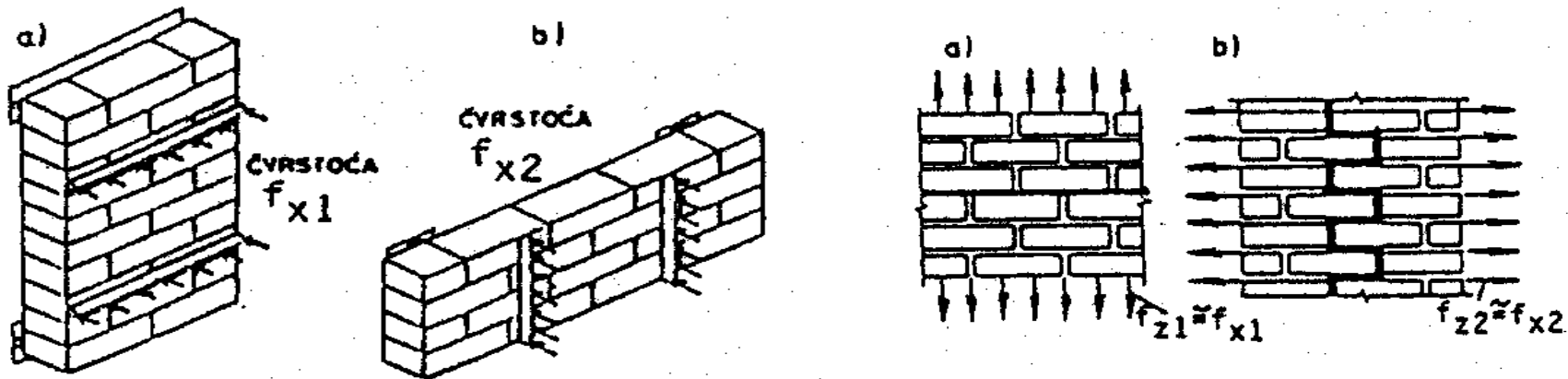
*Lom zida izazvan savijanjem van ravni zida – ravan loma je paralelna horizontalnim malterskim spojnicama*



*Lom zida izazvan savijanjem van ravni zida – ravan loma je upravna na horizontalne malterske spojnice*

# Čvrstoća pri savijanju $f_x$

Čvrstoća zida na savijanje eksperimentalno se određuje saglasno dispoziciji opterećenja datoj na prvoj slici. Čvrstoća zida na savijanje još u većem stepenu, nego prethodne, zavisi od svojstava upotrijebljenih elemenata za zidanje i maltera. PZZ -om nisu definisane. Ovo što slijedi je premema Evrokodu EC6.

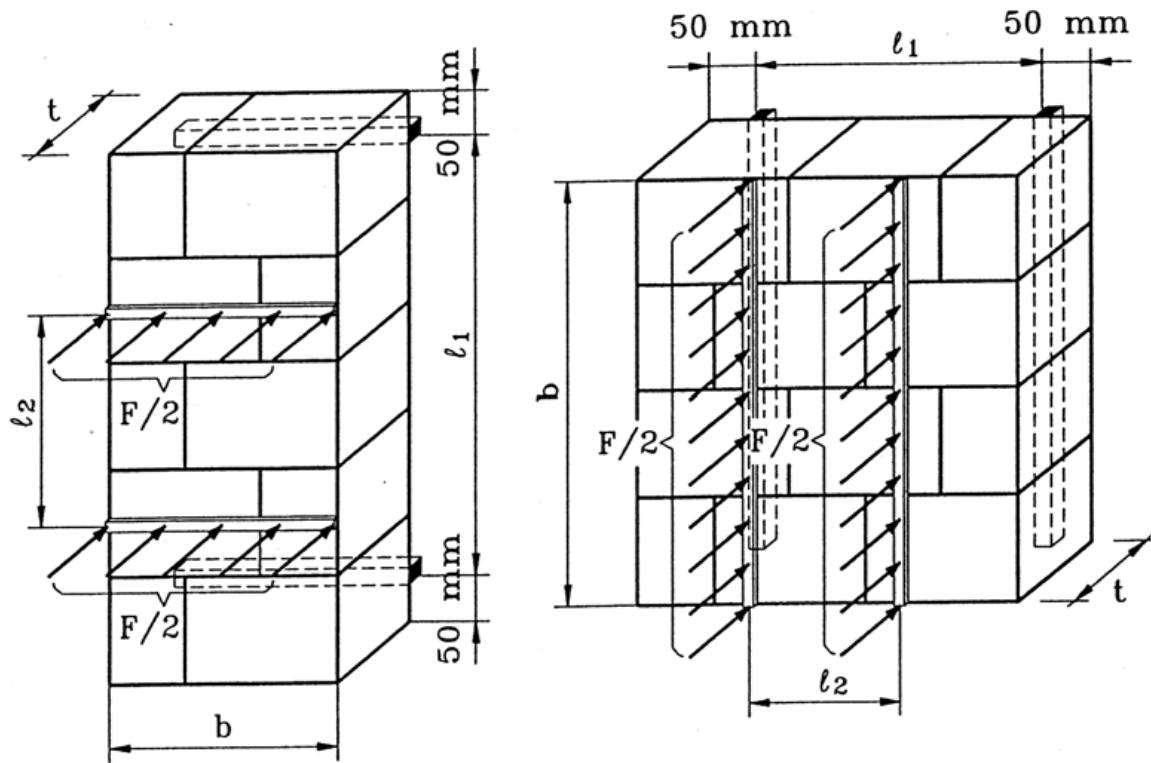


6. Ispitivanje čvrstoća zidova pri savijanju Čvrstoće zidova pri čistom zatezanju  $f_{z1}$  i  $f_{z2}$

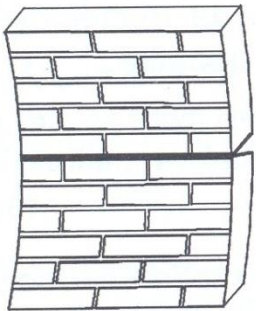
$$f_{x1} \approx 0.5 f_{x2} \approx 0.72 / (1 + 5/f_m)$$

Najčešće se računa da se dvije karakteristične čvrstoće na savijanje, zavisne od oblika zida, nalaze u odnosu kao što je dato u gornjoj jednačini.

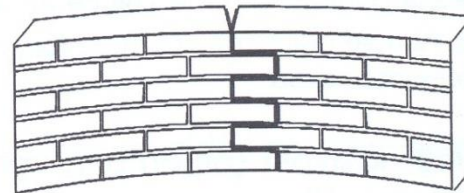
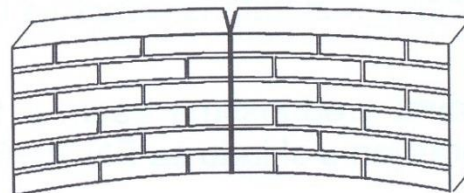
Veličine  $f_{x1}$  i  $f_{x2}$  su gotovo identične čvrstoćama zidova na čisto zatezanje u slučaju da su zidovi napregnuti opterećenjem kao što je prikazano na drugoj slici.



*Ispitivanje čvrstoće zida pri savijanju*



a) ravan loma paralelna horizontalnim spojnica



b) ravan loma upravna na horizontalne spojnice

*Ravni loma zidova izloženih savijanju*



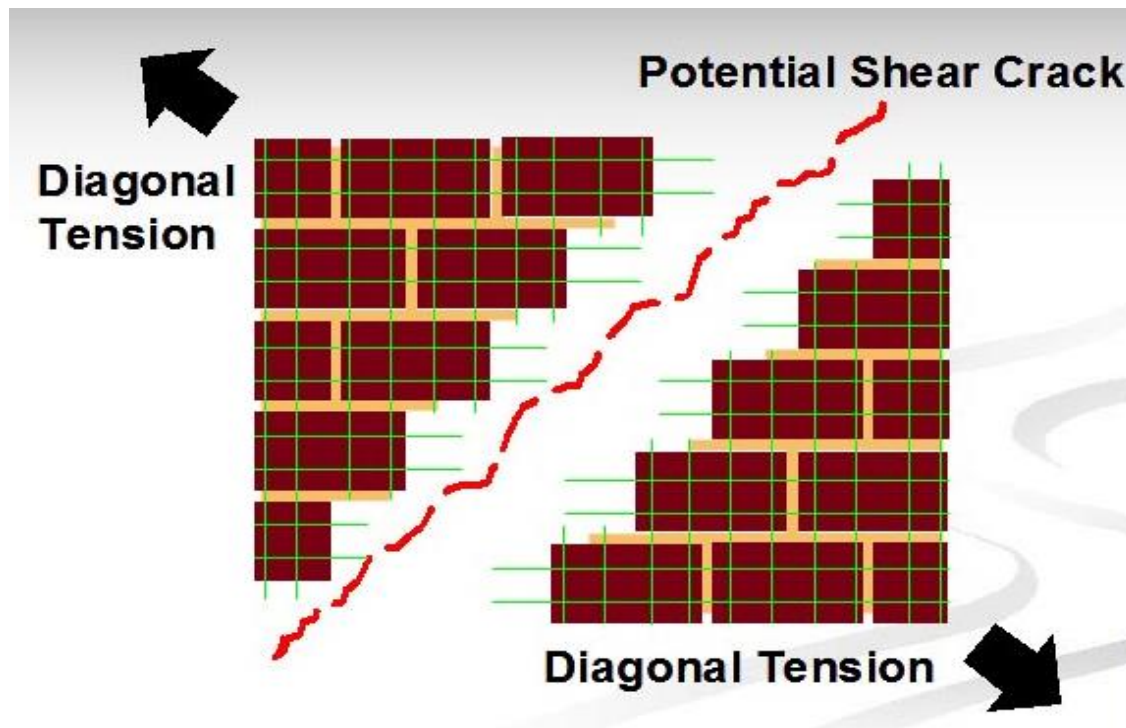
**Vrednosti za  $f_{xk1}$  (ravan loma paralelna horizontalnim spojnica)**

Element za zidanje	$f_{xk1}$ (N/mm <sup>2</sup> )			
	Malter opšte namene		Tankoslojni malter	Lakoagregatni malter
	$f_m < 5$ N/mm <sup>2</sup>	$f_m \geq 5$ N/mm <sup>2</sup>		
Glina	0,10	0,10	0,15	0,10
Kalcijum silikat	0,05	0,10	0,20	ne koristi se
Beton	0,05	0,10	0,20	ne koristi se
Autoklavirani aerirani beton	0,05	0,10	0,15	0,10
Veštački kamen	0,05	0,10	ne koristi se	ne koristi se
Obrađeni prirodni kamen	0,05	0,10	0,15	ne koristi se

Vrednosti  $f_{xk2}$  (ravan loma upravna na horizontalne spojnice)

Element za zidanje		$f_{xk2}$ (N/mm <sup>2</sup> )			
		Malter opšte namene		Tankoslojni malter	Lakoagregatni malter
		$f_m < 5$ N/mm <sup>2</sup>	$f_m \geq 5$ N/mm <sup>2</sup>		
Glina		0,20	0,40	0,15	0,10
Kalcijum silikat		0,20	0,40	0,30	ne koristi se
Beton		0,20	0,40	0,30	ne koristi se
Autoklavirani aerirani beton	$\rho < 400$ kg/m <sup>3</sup>	0,20	0,20	0,20	0,15
	$\rho \geq 400$ kg/m <sup>3</sup>	0,20	0,40	0,30	0,15
Veštački kamen		0,20	0,40	ne koristi se	ne koristi se
Obrađeni prirodni kamen		0,20	0,40	0,15	ne koristi se

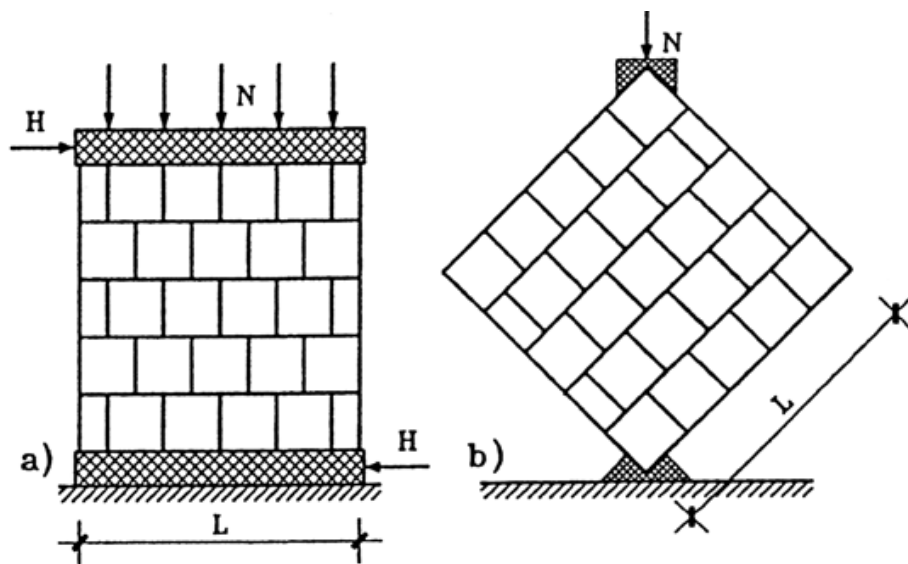
**Napomena 4:** Vrednosti  $f_{xk2}$  ne treba da budu veće od vrednosti čvrstoće na savijanje elementa za zidanje.



*Lom na smicanje - otvaranje dijagonalnih pukotina u zidu usljed prekoračenja glavnih napona*

## Referentna čvrstoća na zatezanje $f_t$ ili glavni napon smicanja $\tau$ (ft)

Glavni zatežujući napon u zidu je napon usljed kojeg dolazi do otkazivanja zida po dijagonali. Nastaje kada je zid opterećen istovremeno vertikalnim i horizontalnim opterećenjem. Vertikalno je opterećenje stalno prisutno, a horizontalno samo povremeno i uzrokovano je dejstvom vjetra ili zemljotresa.



*Ispitivanje čvrstoće zidanog zida  
na glavne napone zatezanja,  
smicanje*

Referentna čvrstoća na zatezanje može se odrediti ispitivanjem zida opterećenog nepromjenljivim vertikalnim opterećenjem, silom  $N$ , i postepeno rastućom horizontalnom silom  $H$  do dijagonalnog sloma.

Ispitivanje prikazano je na slici a) gdje se u trenutku loma uočava pukotinama u smjeru pritisnute dijagonale. Referentna čvrstoća na zatezanje  $f_t$ , i iz naprezanje na smicanje  $\tau$ , prema autorima Turnšek i Čačoviču, prikazani su izrazima:

$$f_t = -\frac{\sigma_0}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_0}{2}\right)^2 + (k \cdot \tau)^2}$$

$$\tau = \frac{f_t}{k} \sqrt{1 + \frac{\sigma_0}{f_t}}$$

gdje je:

- $\sigma_0$  - prosječno normalno naprezanje ( $\sigma_0 = N/A_m$ ). U obzir se uzima stvarno opterećenje bez množenja s faktorom sigurnosti,
- N - stvarno vertikalno opterećenje,
- $\tau$  - prosječno smičuće naprezanje ( $\tau = H/A_m$ ) pri slomu, što je manja vrijednost od čvrstoće na klizanje zida  $f_{vk}$
- H - horizontalna sila pri slomu na zatezanje
- k - odnos najvećega i prosječnoga naprezanja na smicanje ( $k = 1.5$ )
- $A_m$  – površina presjeka zida u osnovi ( $A_m = t L$ )
- L - dužina zida
- t – debljina zida

Karakteristične vrijednosti referentne čvrstoće na zatezanje zida,  $f_t$ , i ostalih svojstava, od raznih vrsta zidnih elemenata i maltera, prema ispitivanjima od prije 20-tak godina prikazane su u tablici.

Kada nema sopstvenih eksperimentalno dobijenih rezultata preporučuje se vrijednosti iz tablice uzeti sa 50% njihove vrijednosti , (prema Soriću).

**Tablica 1.7. Karakteristične vrijednosti svojstva zida**

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
Keramzitni 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
Kameni zid grubo klesan, t=60 cm	-	5,0	-	-	-	0,30
Plinobeton	3,5	2,5	-	-	-	0,10

Oznake i vrijednosti iz tablice 3.10:

- f tlačna čvrstoća zidnog elementa (N/mm<sup>2</sup>)
- f<sub>m</sub> srednja tlačna čvrstoća morta (N/mm<sup>2</sup>)
- f<sub>k</sub> karakteristična tlačna čvrstoća zida (N/mm<sup>2</sup>)
- G modul posmika zida (N/mm<sup>2</sup>)
- E modul elastičnosti zida (N/mm<sup>2</sup>)
- f<sub>t</sub> karakteristična (referentna) vlačna čvrstoća zida (N/mm<sup>2</sup>).

*Karakteristične vrijednosti svojstva zida , Sorić*

# PRORAČUNSKA ČVRSTOĆA ZIDANOG ZIDA

Proračunsku čvrstoću zidanog zida treba uzeti kao karakterističnu čvrstoću podijeljenu sa parcijalnim koeficijentom sigurnosti  $\gamma_m$ .

Proračunska čvrstoća zida je prikazana sljedećim izrazima:

- pritisak:  $f_d = f_k / \gamma_m$
- klizanje:  $f_{vd} = f_{vk} / \gamma_m$
- na savijanje:  $f_{xd} = f_{xk} / \gamma_m$
- smicanje:  $f_{td} = f_t / \gamma_m$

gdje je  $\gamma_m$  parcijalni koeficijent sigurnosti za materijale.

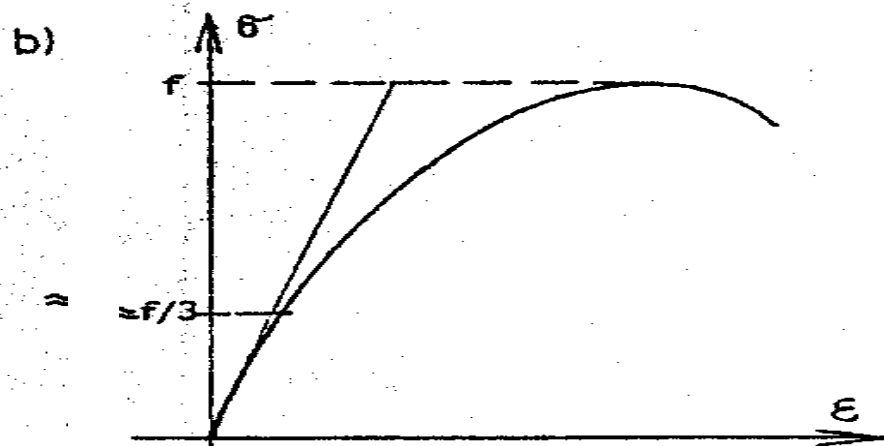
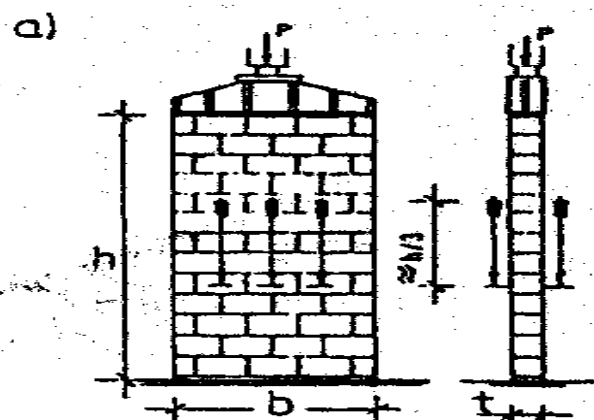


# Modul elastičnosti i modul klizanja, PZZZ

$$E_z = 1000 f_k \text{ (MPa)}$$

$$G_z = 0.12 E_z \text{ ili } E_z/G_z \approx 6$$

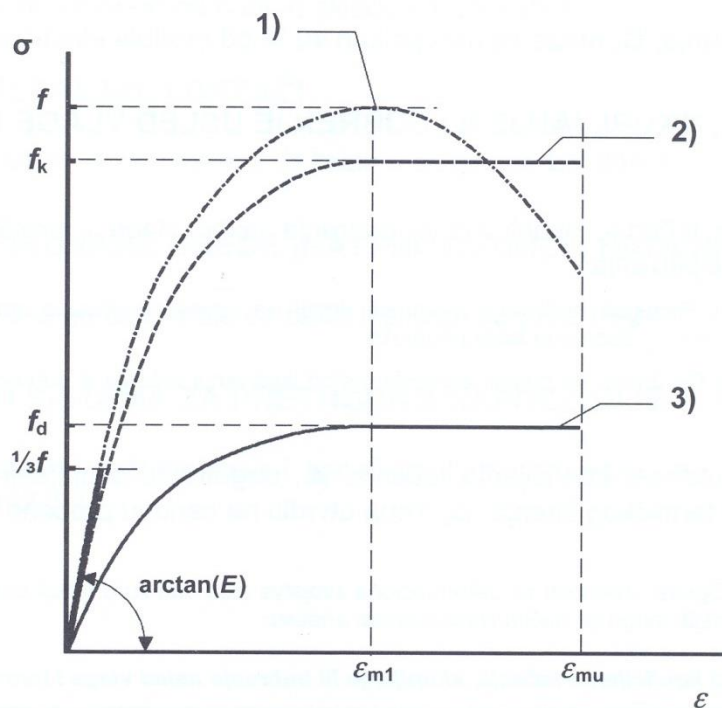
$\mu$  Koeficijent trenja između ravne površine betona i zida uzima se da je  $\mu = 0.6$ .



a) Ispitivanje čvrstoće pri pritisku zida    b) dijagram dilatacija-naponi

# Modul elastičnosti E

## Modul klizanja G, EC6



Legenda:

- 1) tipičan dijagram
- 2) idealizovani dijagram (parabola - prava)
- 3) proračunski dijagram

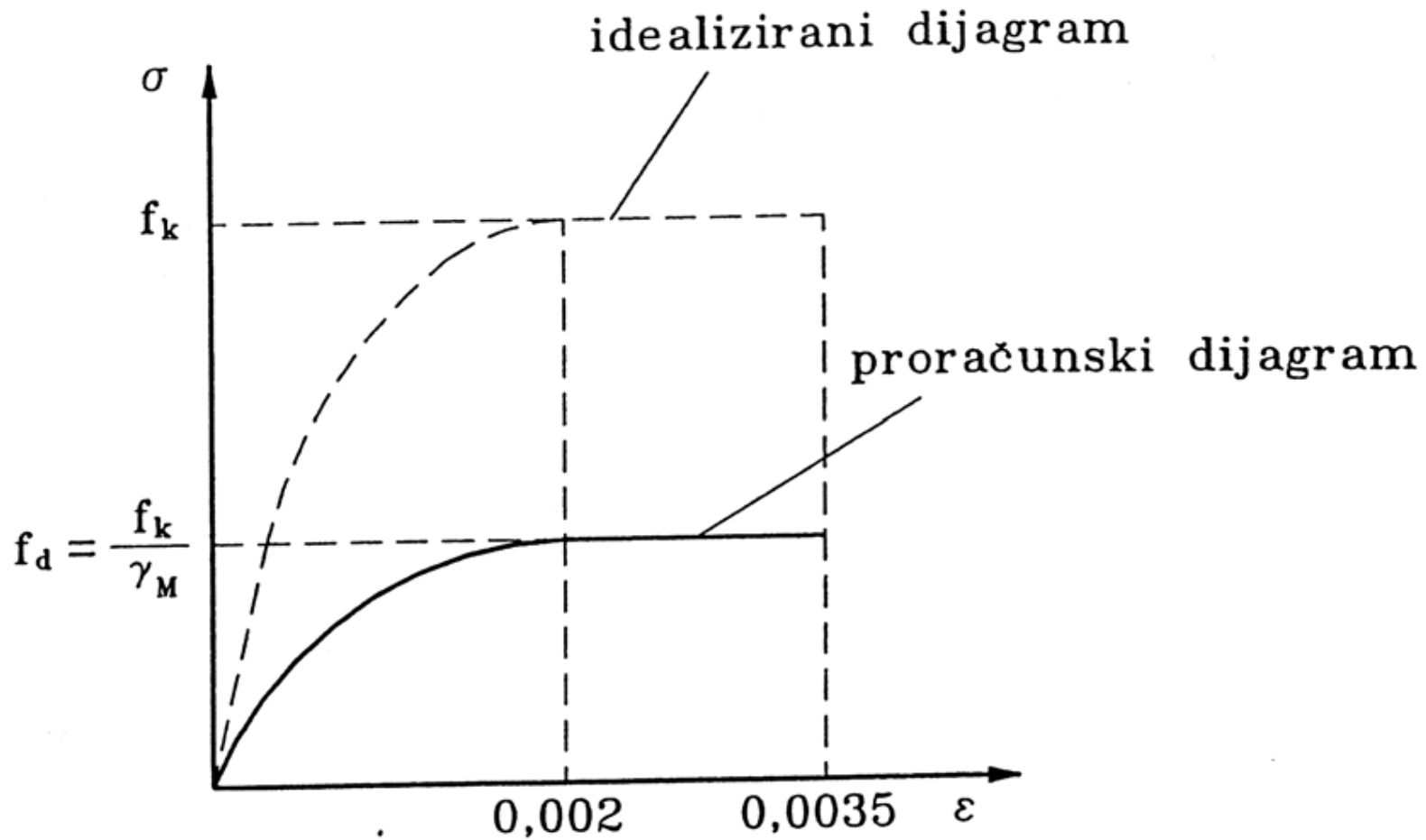
*Veza napon-dilatacije za zid izložen pritisku*

U nedostatku eksperimentalnih ispitivanja uzima se sekantni modul elastičnosti pod opterećenjem (do 1/3 opterećenja loma, vidjeti radni dijagram zidanog zida na slici).

Za sve vrste zidova može se uzeti  **$E = 1000f_k$** , gdje je  $f_k$  karakteristična čvrstoća zida na pritisak.

Kada se modul elastičnosti primjenjuje za granična stanja upotrebljivosti,  $E = E / (1 + \phi_\infty)$ ,  $\phi_\infty$  je konačna vrijednost koeficijenta tečenja. Za modul klizanja, G, preporučuje se uzeti 40%E ili  **$G = 600 f_k$** .

Pri proračunu na djelovanje zemljotresa preporučuje se uzimati vrijednost modula smicanja  $G = 0.167 E$  ili manje.



*Proračunski dijagram naprežanje-deformacija*

## **Zapreminske deformacije - skupljanje, tečenje i termičko širenje, PZZ**

Zidane zidove karakterišu zapreminske deformacije: skupljanja, bubrenje i tečenje.

Ove deformacije su posljedica različitih procesa koji se odvijaju u elementima za zidanje i u malteru.

Deformacije skupljanja i tečenja mahom se dešavaju u malteru, a bubrenja u elementima.

Ispitivanja pokazuju da krečni malteri imaju najmanje deformacije skupljanja.

Najveće deformacije registruju se u cementnim malterima ( i do nekoliko puta u odnosu na krečni malter).

U elementima za zidanje, zavisno od materijala od kojeg su napravljeni, mogu biti značajne deformacije bubrenja, tako za elemente od gline registruju se sljedeće vrijednosti,  $0.1 \text{ mm/m'}$  (skupljanje) i  $-1.0 \text{ mm/m'}$  (širenje).

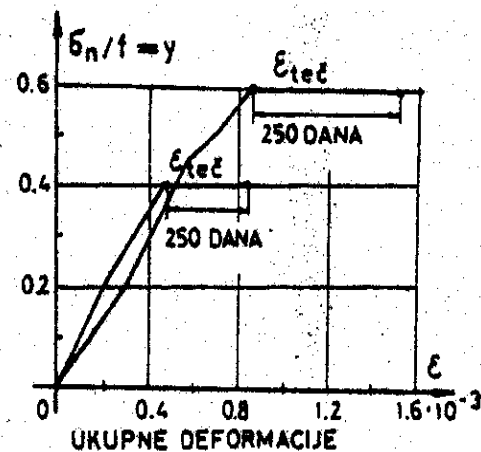
Karakter tečenja zidova sličan je tečenju u cementnom kamenu. Deformacije tečenja zidova su veće što je manja starost zidova u trenutku nanošenja opterećenja.

Табела 6 – Пројектне вредности за скупљање, течење и топлотну дилатацију

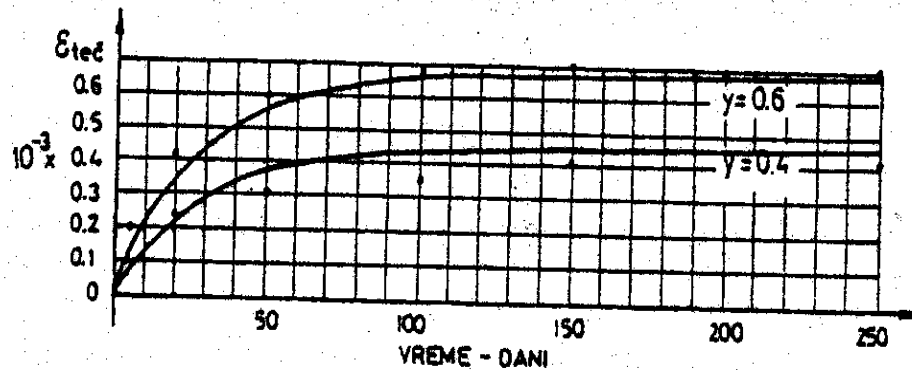
Врста зидних елемената	Скупљање $\frac{\epsilon_{h\infty}}{mm/m}$ <sup>1)</sup>	Течење $\phi_{\infty}$ <sup>2)</sup>	Топлотна дилатација $\frac{\alpha T}{10^{-6/0}} K$ <sup>3)</sup>
Печена глина	- 0,1 до + 0,2	0,7	6
Калцијум-силика-ти	- 0,2	1,5	8
Аутоклавирани гасбетон	- 0,5	1,5	8
Бетон	- 0,2	1,5	10
Лакоагрегатни бетон	- 0,3	2,5	10

1)  $\epsilon_{h\infty}$  је коначна вредност скупљања или ширења услед влаге; минус означава скупљање, а плус ширење

2)  $\phi_{\infty}$  је коначни коефицијент течења.



Sl. 5.9. Ukupne deformacije zida pri delovanju dugotrajnih opterećenja



Sl. 5.10. Deformacije tečenja zida

Na gornjoj slici prikazane su ukupne deformacije zida u produžnom malteru, pri djelovanju dugotrajnih opterećenja, za dva slučaja opterećenja izloženog dvijema vrstama naprezanja,  $\sigma_n/f=0.6$  i  $\sigma_n/f=0.4$ , pri trajanju opterećenja od 250 dana.

Na drugoj slici se vidi da u oba slučaja dijagram deformacija tečenja u funkciji vremena nema prirast deformacija nakon oko 100 dana od nanošenja opterećenja.

# Zapreminske deformacije - skupljanje, tečenje i termičko širenje, EC6

Opsezi za koeficijente tečenja, skupljanje ili bubrenje usled vlage i termička svojstva zida

Vrsta elementa za zidanje		Konačna vrednost koeficijenta tečenja <sup>a</sup> $\phi_{\infty}$	Konačne vrednosti skupljanja ili bubrenja usled vlage <sup>b</sup> mm/m	Koeficijent termičkog širenja $\alpha_t, 10^{-6}/K$
Glina		0,5 do 1,5	-2,0 do +1,0	4 do 8
Kalcijum silkat		1,0 do 2,0	-0,4 do -0,1	7 do 11
Beton i veštački kamen		1,0 do 2,0	-0,6 do -0,1	6 do 12
Lakoagregatni beton		1,0 do 3,0	-1,0 do -0,2	6 do 12
Autoklavirani aerirani beton		0,5 do 1,5	-0,4 do +0,2	7 do 9
Prirodni kamen	magmatski	c	-0,4 do +0,7	5 do 9
	sedimentni			2 do 7
	metamorfni			1 do 18

<sup>a</sup> Konačna vrednost koeficijenta tečenja  $\phi_{\infty} = \varepsilon_{c\infty} / \varepsilon_{el}$ , gde je  $\varepsilon_{c\infty}$  konačna vrednost dilatacije tečenja, a  $\varepsilon_{el} = \sigma / E$ .

<sup>b</sup> Negativna vrednost označava skupljanje, a pozitivna bubrenje.

<sup>c</sup> Ove vrednosti su obično veoma niske.

Svojstva zida mogu varirati značajno i zato se mora očekivati da će neke vrijednosti biti iznad, a neke ispod onih koje su date u tablici