

PARAMETARSKA ANALIZA PREVRTANJA ZIDA PROČELJA IZVAN RAVNINE

PARAMETRIC ANALYSIS OF OUT-OF-PLANE FAÇADE OVERTURNING

Ena Škreblin*, Paulo Šćulac**

Sažetak

Zidane konstrukcije pokazuju veliku ranjivost uslijed potresa. U ovom radu naglasak je stavljen na mehanizme otkazivanja zidova izvan ravnine, koji se javljaju zbog nedovoljne povezanosti zidova i stropova. Analizirani su sljedeći mehanizmi otkazivanja zidova izvan ravnine: i) prevrtanje zida pročelja, te ii) prevrtanje zida pročelja s bočnim zidom. Provedena je parametarska analiza te su izrađeni dijagrami faktora aktivacije mehanizma i spektralnog ubrzanja. Analiza se temelji na definiranju geometrije blokova koji su uključeni u mehanizam, rubnim uvjetima i opterećenju zida. Faktor aktivacije mehanizma može se dobiti primjenom principa virtualnog rada ili pomoću uvjeta ravnoteže momenta prevrtanja i stabilizirajućeg momenta. Na temelju faktora aktivacije mehanizma dobiva se vrijednost spektralnog ubrzanja aktiviranja mehanizma koja treba zadovoljiti kriterije graničnih stanja. Razmatran je i učinak stabilizirajućih horizontalnih sila u obliku zatega u ravnini stropne konstrukcije.

Ključne riječi: zidane konstrukcije, potresno opterećenje, otkazivanje zidova izvan ravnine, linearna kinematička analiza

Abstract

Masonry structures show great vulnerability during earthquakes. In this paper, emphasis is placed on the out-of-plane failure mechanisms, which occur due to inadequate wall-to-wall and wall-to-floor connections. The following out-of-plane façade overturning mechanisms are analysed: i) vertical overturning of the façade and ii) overturning of the façade with one side wing. A parametric analysis was

* LMT Čelik, Vidikovački Venac 085, 11000 Beograd

E-mail: enaskreblin@icloud.com

** Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet, Radmile Matejčić 3, 51000 Rijeka

E-mail: paulo.sculac@uniri.hr

carried out and diagrams of the activation factors of the mechanism and spectral acceleration were created. The analysis is based on defining the geometry of the blocks included in the mechanism, the boundary conditions and the loads acting on the wall. The activation factor of the mechanism can be obtained by applying the principle of virtual work or by using the equilibrium equation of the overturning and the stabilizing moment. Based on the activation factor of the mechanism, the value of the spectral acceleration of the activation of the mechanism is obtained, which should meet the criteria of limit states. The effect of stabilizing horizontal forces in the form of ties installed in the floor plane was also considered.

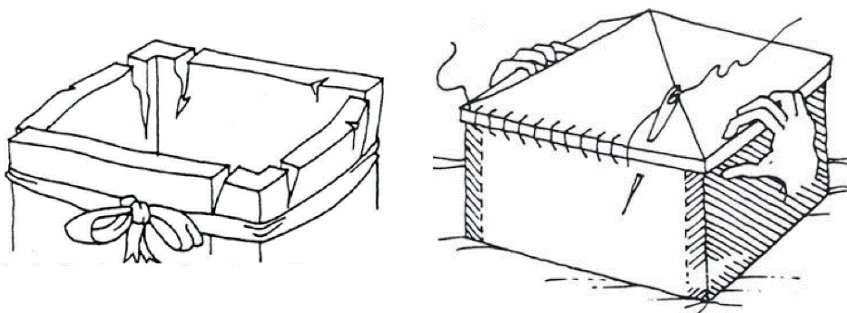
Key words: masonry structures, seismic actions, out-of-plane wall failure, linear kinematic analysis

1. Uvod

Nedavni potresi u Zagrebu i Petrinji ponovno su nas podsjetili kako su povijesne zidane zgrade vrlo ranjive na potresna opterećenja. Općenito, zidovi opterećeni horizontalnim silama mogu otkazati u ravnini ili izvan ravnine. U slučaju nedovoljne povezanosti zidova sa stropnom i krovnom konstrukcijom te s drugim zidovima, najprije dolazi do otkazivanja zidova izvan ravnine, a pritom nosivost zidova u ravnini nije iscrpljena. Najčešće se otkazivanje izvan ravnine pojavljuje kod fasadnih i zabatnih zidova [1].

Kako bi promijenili mehanizam otkazivanja zidova iz nepoželjnog otkazivanja izvan ravnine u poželjni mehanizam otkazivanja u ravnini (pod uvjetom da je zide dobre kvalitete), potrebno je prikladnim vezama osigurati da se cjelokupna konstrukcija ponaša kao cjelina (eng. box-like behaviour), Slika 1. To uključuje detalje poput: većih kamenih blokova na uglovima zgrade, prikladan zidarski vez na spoju zidova, horizontalne vezne grede, upotrebu čeličnih ili drvenih zatega [2,3,4]. Stropna i krovna konstrukcija imaju važnu ulogu u osiguranju cjelovitosti zgrade i prijenosu horizontalnog opterećenja na zidove te je stoga potrebno osigurati da se horizontalne konstrukcije ponašaju kao dijafragme i prikladno povezati zidove s horizontalnom konstrukcijom. Kako su potresi relativno rijetka pojava, toj se vezi često nije pridavalo dovoljno pažnje [5], posebno kod zgrada skromnije izvedbe.

U ovom radu razmatrana su dva karakteristična mehanizma otkazivanja pročelja izvan ravnine: i) prevrtanje zida pročelja i ii) prevrtanje zida pročelja s bočnim zidom. Analiza je provedena za pročelje s dva kata. Provedena je parametarska analiza te su izrađeni dijagrami faktora aktivacije mehanizma i spektralnog ubrzanja, koji se mogu koristiti za brzu provjeru otkazivanja pročelja izvan ravnine. Za slučaj prevrtanja zida pročelja razmatran je i učinak stabilizirajućih horizontalnih sila u obliku zatega ugrađenih u ravnini stropne konstrukcije.



Slika 1. Koncept osiguranja cjelovitosti konstrukcije [6]

2. Mehanizmi otkazivanja zidova izvan ravnine

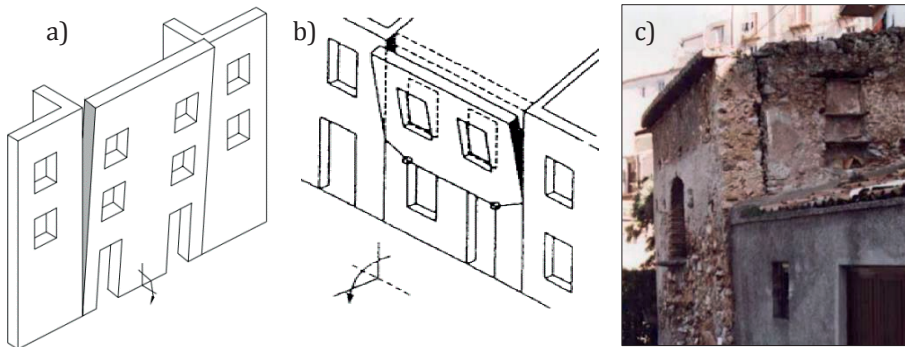
2.1 Analiza lokalnih mehanizama

Budući da u trenutno važećoj normi za ocjenu postojećih zgrada HRN EN 1998-3 [7] nisu definirane preporuke za analizu lokalnih mehanizama, primijenjene su preporuke i zahtjevi prema talijanskom tehničkom propisu za gradnju NTC 2008 [8]. U radu je razmatrana linearna kinematička analiza, koja se temelji na vrijednostima sila.

Za primjenu metode analize pretpostavlja se kako: (i) zide nema vlačnu čvrstoću, (ii) nema klizanja između blokova te (iii) zide ima beskonačnu tlačnu čvrstoću [9]. Najprije je na zgradi potrebno identificirati kruta tijela i definirati ravnine sloma, tj. transformirati dio konstrukcije u mehanizam (ili kinematički lanac).

2.2 Prevrtanje zida pročelja

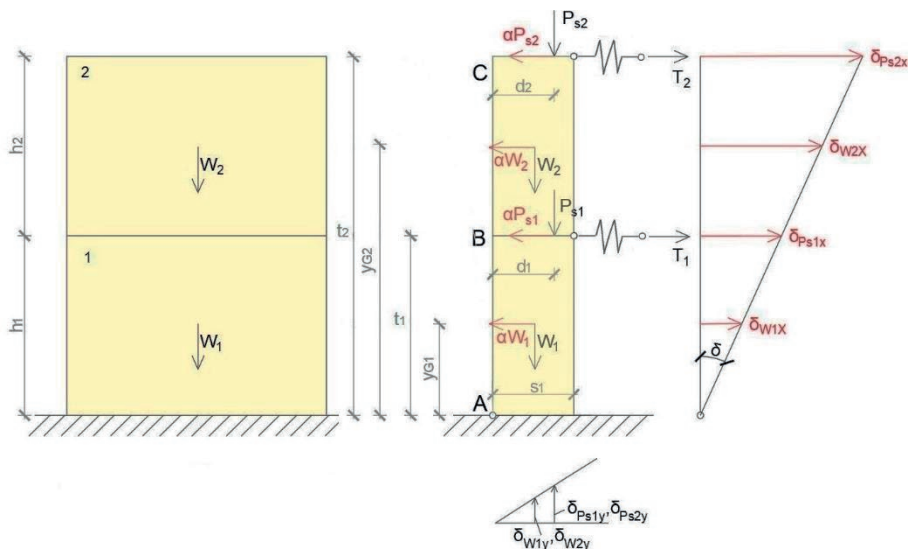
Ovaj mehanizam otkazivanja zidova izvan ravnine odnosi se na prevrtanje zida pročelja bez sudjelovanja bočnih zidova, a prvenstveno se javlja uslijed nepovezanosti pročelja i krovne konstrukcije te bočnih zidova ili ako je postojeća veza nedovoljna [10]. Mehanizam otkazivanja se definira kao rotacija krutog tijela – cijelog pročelja (Slika 2a) ili samo dijela pročelja (Slika 2b) izvan ravnine. Javljaju se vertikalne pukotine na spoju s bočnim zidovima, a u podnožju zida ili u razini otvora formira se horizontalni linijski zglobov oko kojeg se odvija rotacija pročelja. Ostali parametri koji utječu na aktivaciju ovog mehanizma su: nedovoljna povezanost stropne konstrukcije sa zidovima (izostanak zatega i veznih greda), fleksibilne stropne konstrukcije, stropne konstrukcije koje uzrokuju potisak na zidove (npr. od svodova i lukova), loš zidni vez s poprečnim zidovima, dvoslojni zidovi s lošom vezom između slojeva (nedovoljno vežnjaka) [11].



Slika 2. Prevrtnanje zida pročelja: a) shema aktivacije cijelog pročelja [10], b) shema aktivacije samo dijela pročelja [11], c) primjer [11]

U nastavku je analiziran zid pročelja koji se sastoji od prizemlja i kata; promatra se kao kruti blok koji je od ostatka konstrukcije odvojen s dvije vertikalne pukotine (Slika 3 i objašnjenja u Tablici 1). Rotacija pročelja odvija se oko horizontalnog linijskog zgloba u podnožju (oko točke A). Uz vlastitu težinu zidova W_1 i težinu stropnih konstrukcija P_{s1} bit će razmatrane i horizontalne sile u zategama T_i , postavljene u ravnini stropne konstrukcije (u točkama B i C).

Linearna kinematička analiza temelji se na određivanju horizontalnih ekvivalentnih statičkih sila $\alpha \cdot W_i$ i $\alpha \cdot P_{si}$ koje će aktivirati prevrtanje zida izvan ravnine [1,9]. Pritom α , s kojim se množe sve vertikalne sile težina, predstavlja faktor aktivacije mehanizma.



Slika 3. Geometrija zida, oznake sila te plan virtualnih pomaka

Tablica 1. Objašnjenje oznaka sa Slike 3

Oznaka	Objašnjenje
i	broj kata ($i = 1, \dots, n$)
n	ukupan broj katova uključenih u mehanizam
W_i	vlastita težina zida na katu i koja djeluje u težištu bloka i
P_{si}	težina stropne konstrukcije koja djeluje na zid na katu i
T_i	sila u zategi koja se nalazi u ravnini stropne konstrukcije na katu i
s_i	debljina zida na katu i
h_i	visina zida na katu i
d_i	horizontalna udaljenost hvatišta sile P_{si} od linijskog zgloba
y_{Gi}	vertikalna udaljenost hvatišta sile W_i od linijskog zgloba
$\delta_{wi,x} \delta_{psi,x}$	virtualni horizontalni pomak sila W_i te P_{si} i T_i
$\delta_{wi,y} \delta_{psi,y}$	virtualni vertikalni pomak sila W_i i P_{si}

Prema Slici 3 može se definirati stabilizirajući moment [11]:

$$M_S = \sum_{i=1}^n W_i \cdot \frac{s_i}{2} + \sum_{i=1}^n P_{si} \cdot d_i + \sum_{i=1}^n T_i \cdot t_i, \quad (1)$$

te moment prevrtanja:

$$M_P = \alpha \cdot [\sum_{i=1}^n W_i \cdot y_{Gi} + \sum_{i=1}^n P_{si} \cdot t_i]. \quad (2)$$

Izjednačavanjem izraza (1) i (2) dobivamo faktor aktivacije mehanizma:

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^n W_i \cdot \frac{s_i}{2} + \sum_{i=1}^n P_{si} \cdot d_i + \sum_{i=1}^n T_i \cdot t_i}{\sum_{i=1}^n W_i \cdot y_{Gi} + \sum_{i=1}^n P_{si} \cdot t_i}, \quad (3)$$

odnosno, u ovom slučaju za dva kata ($n=2$):

$$\alpha = \frac{W_1 \cdot \frac{s_1}{2} + W_2 \cdot \frac{s_2}{2} + P_{s1} \cdot d_1 + P_{s2} \cdot d_2 + T_1 \cdot t_1 + T_2 \cdot t_2}{W_1 \cdot y_{G1} + W_2 \cdot y_{G2} + P_{s1} \cdot t_1 + P_{s2} \cdot t_2}. \quad (4)$$

Faktor aktivacije mehanizma može se dobiti i primjenom principa virtualnog rada, izjednačavanjem rada vanjskih sila na virtualnim pomacima i rada unutarnjih sila na virtualnim deformacijama. Budući da promatramo kruta tijela, rad unutarnjih sila jednak je nuli, tj. analizira se samo rad vlastite težine zida, opterećenja koja djeluju na zid (u ovom slučaju težine stropne konstrukcije), zatega te horizontalnih sila $\alpha \cdot W_i$ i $\alpha \cdot P_{si}$, koje su proporcionalne vertikalnom opterećenju. Zadaje se virtualni pomak na način da se kruti blok zarotira za jedinični kut δ (Slika 3).

Virtualni rad vanjskih sila može se definirati kao:

$$\alpha \cdot (\sum_{i=1}^n W_i \cdot \delta_{wix} + \sum_{i=1}^n P_{si} \cdot \delta_{psix}) - \sum_{i=1}^n W_i \cdot \delta_{wi y} - \sum_{i=1}^n P_{si} \cdot \delta_{psiy} - \sum_{i=1}^n T_i \cdot \delta_{psix} = 0, \quad (5)$$

iz čega se dobiva faktor aktivacije mehanizma:

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^n W_i \cdot \delta_{wiy} + \sum_{i=1}^n P_{si} \cdot \delta_{psiy} + \sum_{i=1}^n T_i \cdot \delta_{psix}}{\sum_{i=1}^n W_i \cdot \delta_{wix} + \sum_{i=1}^n P_{si} \cdot \delta_{psix}}. \quad (6)$$

U slučaju malenih pomaka, virtualni pomaci jednaki su:

$$\delta_{wix} = \delta \cdot y_{Gi}, \delta_{psix} = \delta \cdot t_i, \delta_{wiy} = \delta \cdot \frac{s_i}{2}, \delta_{psiy} = \delta \cdot d_i, \quad (7)$$

koji za jedinični kut $\delta=1$ postaju

$$\delta_{wix} = y_{Gi}, \delta_{psix} = t_i, \delta_{wiy} = \frac{s_i}{2}, \delta_{psiy} = d_i, \quad (8)$$

čime izraz (6) postaje jednak izrazu (4) dobivenom iz uvjeta ravnoteže momenta prevrtanja i stabilizirajućeg momenta.

Za slučaj kada su zidovi u prizemlju i na katu jednake visine i debljine ($h_2=h_1$, $s_2=s_1$, odnosno $W_2=W_1$), stropne konstrukcije jednake težine ($P_{s2}=P_{s1}$) te hvatište sila P_{si} iznosi $d_2=d_1=3/4 \cdot s_1$, bez razmatranja zatega ($T_1=T_2=0$), izraz (3) tada postaje:

$$\alpha = \frac{W_1 \cdot s_1 + P_{s1} \cdot \frac{3}{2} s_1}{W_1 \cdot 2h_1 + P_{s1} \cdot 3h_1} = \frac{s_1}{2 \cdot h_1}, \quad (9)$$

tj. faktor aktivacije mehanizma ovisi samo o vitkosti zida.

Dijagram faktora aktivacije mehanizma u ovisnosti o vitkosti zida jedne etaže h_1/s_1 prikazan je na Slici 4a.

Razmatramo li i utjecaj zatega u razini stropa iznad prizemlja ($T_1 \neq 0$), iz izraza (3) dobivamo:

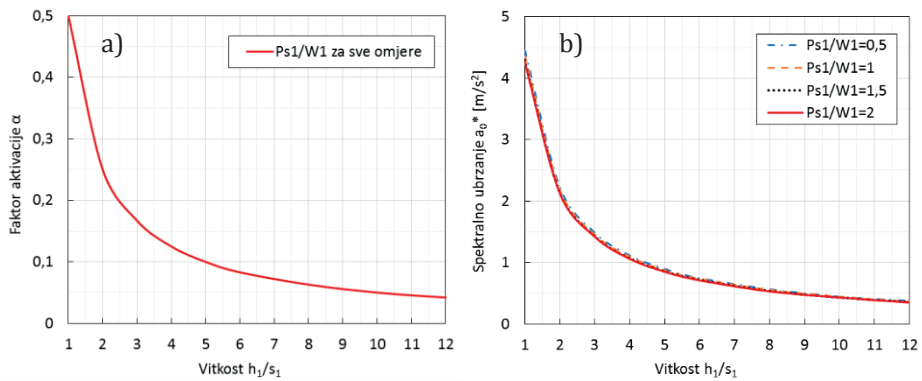
$$\alpha = \frac{W_1 \cdot s_1 + P_{s1} \cdot \frac{3}{2} s_1 + T_1 \cdot t_1}{W_1 \cdot 2h_1 + P_{s1} \cdot 3h_1}, \quad (10)$$

dok u slučaju postojanja zatega u razini stropa iznad kata ($T_2 \neq 0$) faktor aktivacije mehanizma postaje:

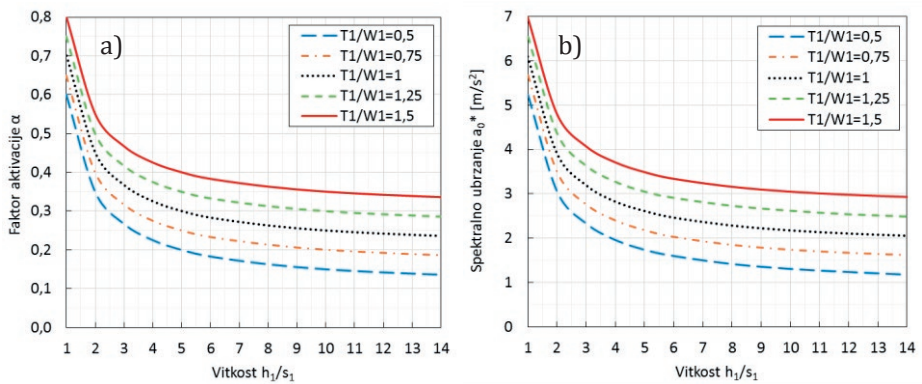
$$\alpha = \frac{W_1 \cdot s_1 + P_{s1} \cdot \frac{3}{2} s_1 + T_2 \cdot t_2}{W_1 \cdot 2h_1 + P_{s1} \cdot 3h_1}. \quad (11)$$

Dijagrami faktora aktivacije mehanizma u ovisnosti o vitkosti zida jedne etaže h_1/s_1 za slučaj postojanja zatega T_1 ili T_2 prikazani su redom na Slikama 5a i 6a, za različite vrijednosti sila u zategama. Pritom je usvojeno $P_{s1}=P_{s2}=W_1=W_2$.

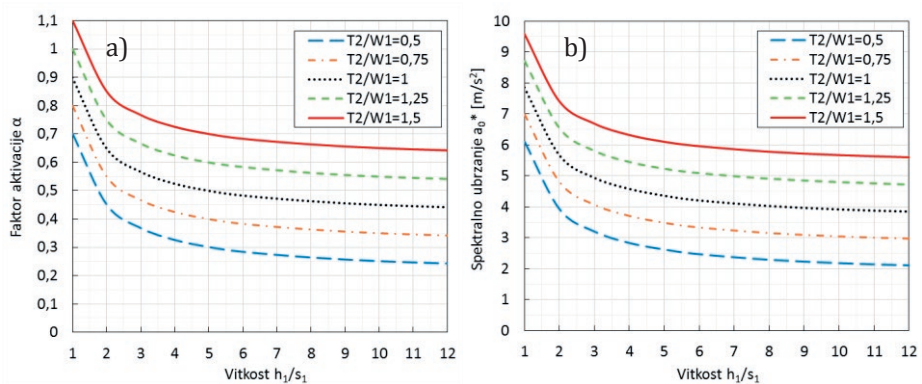
Već je jasno vidljivo iz izraza (10) i (11) kako će učinak zatega značajno utjecati na povećanje faktora aktivacije budući da se u brojniku javlja dodatni doprinos $T_i \cdot t_i$ (veća vrijednost stabilizirajućeg momenta). Za jednake vrijednosti sila T_1 i T_2 , učinak će biti veći kod postojanja zatega T_2 budući da je krak sile t_2 veći od t_1 (usporediti Slike 5a i 6a).



Slika 4. Dijagrami: a) faktora aktivacije i b) spektralnog ubrzanja za $T_1=T_2=0$



Slika 5. Dijagrami: a) faktora aktivacije i b) spektralnog ubrzanja za $T_1 \neq 0$



Slika 6. Dijagrami: a) faktora aktivacije i b) spektralnog ubrzanja za $T_2 \neq 0$

Za provjeru zahtjeva s obzirom na potresnu situaciju djelovanja potrebno je na osnovu dobivenog faktora aktivacije mehanizma odrediti pripadajuće spektralno ubrzanje ekvivalentnog sustava s jednim stupnjem slobode [9,1]:

$$a_0^* = \frac{\alpha \cdot g}{e^* \cdot FP}, \quad (12)$$

gdje je g ubrzanje sile teže, e^* faktor udjela modalne mase, a FP faktor povjerenja. U slučaju kada se za proračun faktora aktivacije ne uzima u obzir tlačna čvrstoća zida (tj. uz pretpostavku krutih blokova), preporuča se koristiti faktor povjerenja koji se odnosi na razinu znanja RZ1 (ograničeno znanje) koji iznosi 1,35.

Faktor udjela modalne mase računa se uzimanjem u obzir svih sila težina koje imaju inercijalni učinak (u ovom slučaju W_i i P_{si}):

$$e^* = \frac{g \cdot M^*}{\sum_{i=1}^n W_i + \sum_{i=1}^n P_{si}}, \quad (13)$$

pri čemu je modalna masa M^* definirana kao:

$$M^* = \frac{(\sum_{i=1}^n W_i \cdot \delta_{wix} + \sum_{i=1}^n P_{si} \cdot \delta_{psix})^2}{g \cdot (\sum_{i=1}^n W_i \delta_{wix}^2 + \sum_{i=1}^n P_{si} \delta_{psix}^2)}. \quad (14)$$

Provjera sigurnosti prema graničnim stanjima bit će zadovoljena ako je spektralno ubrzanje aktivacije mehanizma a_0^* veće od vršnog ubrzanja potresnog zahtjeva. U Tablici 2 prikazane su vrijednosti vršnog ubrzanja s kojima se provodi provjera sigurnosti u slučaju kada se provjera odnosi na izolirani element ili dio konstrukcije koji je uglavnom oslonjen na tlo [9].

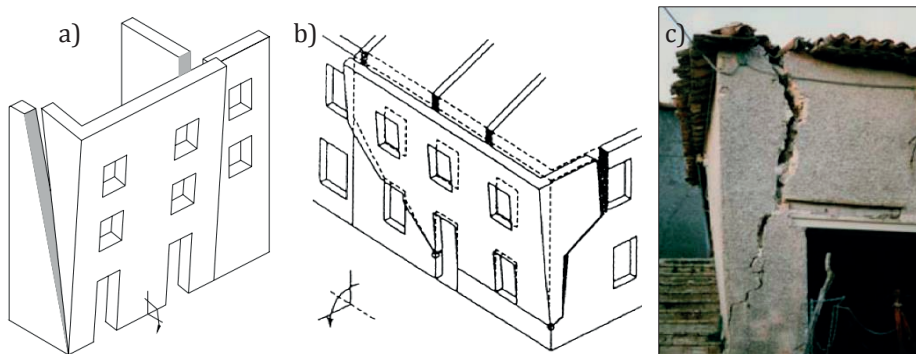
Tablica 2. Provjera sigurnosti prema graničnom stanju [9]

Granično stanje oštećenja	Krajnje granično stanje
$a_0^* \geq a_g(P_{VR}) \cdot S$	$a_0^* \geq \frac{a_g(P_{VR}) \cdot S}{q}$
$a_g(P_{VR})$ – vršno ubrzanje tla koje se određuje na temelju vjerojatnosti prekoračenja promatranog graničnog stanja i referentnog vijeka zgrade S – faktor tla q – faktor konstrukcije (može se usvojiti vrijednost $q=2$)	

Na Slikama 4b, 5b i 6b prikazani su dijagrami spektralnog ubrzanja u ovisnosti o vitkosti zida jedne etaže h_1/s_1 . Vidljivo je kako zatege značajno doprinose stabilnosti zida jer povećavaju spektralno ubrzanje.

2.3 Prevrtanje zida pročelja s bočnim zidom

U usporedbi s prethodno razmatranim mehanizmom, ovaj će se mehanizam pojaviti u slučaju postojanja učinkovite veze između zida pročelja i bočnih zidova [10]. U bočnim se zidovima javljaju kose pukotine te se formira kruto tijelo koje se sastoji od pročelja i dijela bočnih zidova u obliku klina (Slika 7). Pritom mogu biti uključeni samo jedan ili oba bočna zida, ovisno o kvaliteti zida i rasporedu otvora u bočnim zidovima. Rotacija krutog tijela se odvija oko horizontalnog linijskog zgloba koji se pojavljuje na pročelju (ne nužno u podnožju). Razvoju ovog mehanizma doprinose otvori u blizini ugla te žiđe slabijih mehaničkih svojstava [11].



Slika 7. Prevrtanje zida pročelja s bočnim zidom: a) shema aktivacije cijelog pročelja [10], b) shema aktivacije dijela pročelja [11], c) primjer [11]

U ovom slučaju analiziramo kruto tijelo koji se sastoji od zida pročelja (prizemlja i kata) te dijela bočnog zida u obliku klina, koje je od ostatka konstrukcije odvojeno jednom vertikalnom i jednom kosom pukotinom (Slika 8). Kut nagiba klina označen je s β , W_{oi} predstavlja vlastitu težinu klina na katu i , dok su x_{GOi} i y_{GOi} redom horizontalna i vertikalna udaljenost hvatišta sile W_{oi} do linijskog zgloba u točki A. U ovom mehanizmu nije razmatran učinak zatega.

Analogno kao u izrazu (3), uz uključenje težine bočnog zida W_{oi} , izvodi se faktor aktivacije mehanizma:

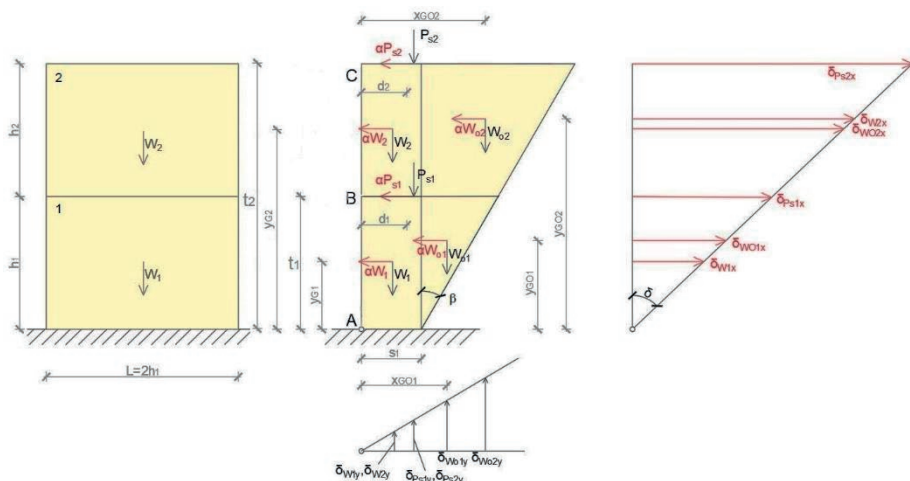
$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^n W_i \cdot \frac{s_i}{2} + \sum_{i=1}^n W_{oi} \cdot x_{GOi} + \sum_{i=1}^n P_{si} \cdot d_i}{\sum_{i=1}^n W_i \cdot y_{GOi} + \sum_{i=1}^n W_{oi} \cdot y_{GOi} + \sum_{i=1}^n P_{si} \cdot t_i} \quad (15)$$

Faktor udjela modalne mase računa se uzimanjem u obzir svih sila težina koje imaju inercijalni učinak (W_i , W_{oi} i P_{si}):

$$e^* = \frac{g \cdot M^*}{\sum_{i=1}^n W_i + \sum_{i=1}^n W_{oi} + \sum_{i=1}^n P_{si}}, \quad (16)$$

pri čemu je modalna masa M^* jednaka:

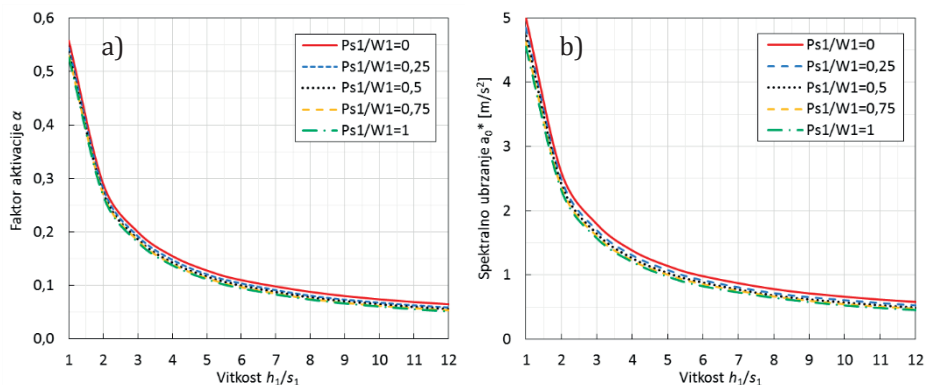
$$M^* = \frac{(\sum_{i=1}^n W_i \cdot \delta_{wix} + \sum_{i=1}^n W_{oi} \cdot \delta_{woix} + \sum_{i=1}^n P_{si} \cdot \delta_{psix})^2}{g \cdot (\sum_{i=1}^n W_i \delta_{wix}^2 + \sum_{i=1}^n W_{oi} \delta_{woix}^2 + \sum_{i=1}^n P_{si} \delta_{psix}^2)} \quad (17)$$



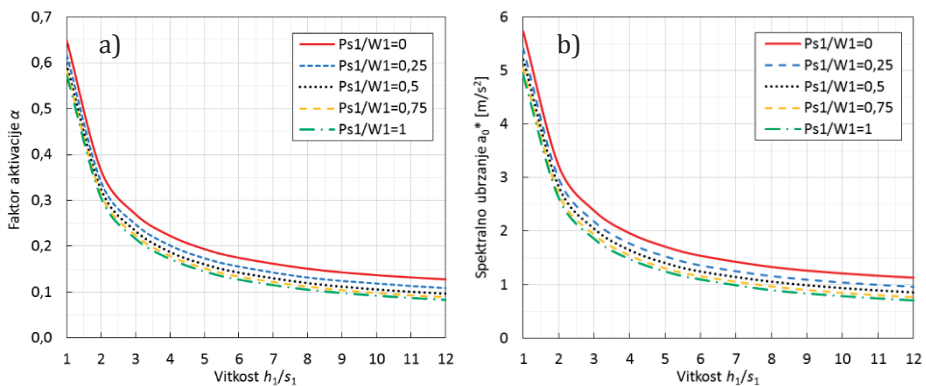
Slika 8. Geometrija zida, oznake sila te plan virtualnih pomaka

Na Slikama 9, 10 i 11 prikazani su dijagrami faktora aktivacije mehanizma i spektralnog ubrzanja redom za kut nagiba klina β od 15° , 30° i 45° u ovisnosti o vitkosti zida jedne etaže h_1/s_1 . Pretpostavljena je jednaka visina i debljina zidova u prizemlju i na katu ($h_2=h_1$, $s_2=s_1$), stropne konstrukcije jednake težine ($P_{s2}=P_{s1}$) te hvatište sila P_{si} na udaljenosti $d_2=d_1=3/4 \cdot s_1$.

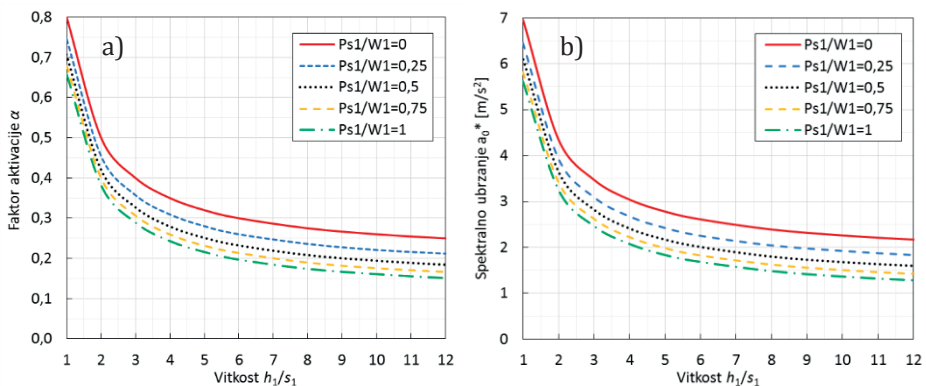
Ovaj mehanizam s dodatnim bočnim klinom daje veće vrijednosti faktora aktivacije u usporedbi s pročeljem bez klina. Veći nagib klina β daje veći volumen bočnog klina, koji djeluje stabilizacijski, te se s povećanjem nagiba klina povećava i faktor aktivacije mehanizma.



Slika 9. Dijagrami: a) faktora aktivacije i b) spektralnog ubrzanja za $\beta=15^\circ$



Slika 10. Dijagrami: a) faktora aktivacije i b) spektralnog ubrzanja za $\beta=30^\circ$



Slika 11. Dijagrami: a) faktora aktivacije i b) spektralnog ubrzanja za $\beta=45^\circ$

3. Zaključak

U ovom radu promatran je model dvokatnog jednoslojnog zida na otkazivanje prevrtanjem izvan ravnine. Provedena je parametarska analiza u kojoj su varirani omjeri težina stropne konstrukcije u odnosu na težinu zida, vitkost zida, učinak zatega i nagib kosog bočnog klina. Dobiveni dijagrami faktora aktivacije mehanizma i spektralnog ubrzanja mogu se koristiti za brzu provjeru otkazivanja pročelja izvan ravnine.

Pokazano je kako se faktor aktivacije mehanizma smanjuje s povećanjem vitkosti zida. Osim vitkosti, bitan čimbenik ima prisutnost zatega. Mala vrijednost sile u zatezi može povoljno djelovati na mehanizam te osigurati pridržanje zida i cjelovitost konstrukcije. Za dobivanje realnijih vrijednosti faktora aktivacije u budućem se radu planira uzeti u obzir učinak trenja između blokova te ograničenu tlačnu čvrstoću zida na način da se zglobovi ne nalaze točno na rubu poprečnog presjeka zida.

Zahvala. Rad je proizašao iz diplomskog rada Ene Škreblin „Analiza mehanizama otkazivanja zidova izvan ravnine na višekatnoj zgradi“, te je *rezultat rada na projekta „Razrada metodologije za ocjenu potresne otpornosti postojećih zidanih građevina na Kvarnerskom Primorju (uniri-iskusni-tehnic-23-198)“* provedenog uz potporu Sveučilišta u Rijeci.

Literatura

- [1] Demšić, M., Uroš, M., Šavor Novak, M., Atalić, J., Baniček, M. (2021) Otkazivanje zidova izvan ravnine. U: Uroš, M., Todorić, M., Crnogorac, M. i dr., ur. POTRESNO INŽENJERSTVO – Obnova zidanih zgrada, Zagreb: Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
- [2] M. Tomažević, M. (1999) Earthquake-Resistant Design of Masonry Buildings (Series on Innovations in Structures and Construction, Vol 1), Imperial College Press.
- [3] D'Ayala, D., Paganoni, S. (2011) Assessment and Analysis of Damage in L'Aquila Historic City Centre after 6th April 2009, Bulletin of Earthquake Engineering, 9, str. 81-104. doi: <https://doi.org/10.1007/s10518-010-9224-4>
- [4] Šćulac, P., Galjanić, K., Grandić, D., Mihaljević, J., Smolčić, Ž. (2025) Ties in Unreinforced Masonry Structures: Case study in Krk. U: Atalić, J., Torić, N., Šavor Novak, M. i dr., ur. 3rd Croatian Conference on Earthquake Engineering - Conference Proceedings, Sveučilište u Zagrebu i Sveučilište u Splitu.
- [5] Belamarić, J. ur. (2007) Pouke baštine: za gradnju u hrvatskom priobalju, Zagreb, Hrvatska gospodarska komora.
- [6] Toulaitos, P.G. (1996) Seismic Behaviour of Traditionally-Built Constructions. U: Petrini, V., Save, M., ur. Protection of the Architectural Heritage Against Earthquakes. Vienna: International Centre for Mechanical Sciences, vol 359. Springer, str. 57-69.
- [7] HRN EN 1998-3:2008 Eurokod 8: Projektiranje konstrukcija otpornih na potres - 3. dio: Ocjenjivanje i obnova zgrada (EN 1998-3:2005), Hrvatski zavod za norme, 2008.
- [8] Norme tecniche per le costruzioni NTC 2008 – DM 14 gennaio 2008, Ministero delle infrastrutture, Roma, 2008.
- [9] CIRCOLARE 2 febbraio 2009 , n. 617, Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008. Ministero delle infrastrutture e dei trasporti, Roma, 2009.
- [10] D'Ayala, D., Speranza, E. (2002) An Integrated Procedure for the Assessment of Seismic Vulnerability of Historic Buildings, 12th European Conference on Earthquake Engineering, Paper 561.
- [11] Repertorio dei meccanismi di danno, delle tecniche di intervento e dei relativi costi negli edifici in muratura. Sisma Marche 1997, Tipografia Grafiche Scarponi s.r.l., Osimo (AN).