



Primer izvedbe vertikalnih vezi v sodobnih zidnih sistemih Porotherm IZO Profi s pomočjo Dryfix vogalnikov

# OPEČNA GRADNJA IN POTRESI

## OPEKA KOT SODOBEN GRADBENI MATERIAL NA POTRESNO OGROŽENIH OBMOČJIH

Besedilo:  
prof. dr. Miha Tomažević,  
Zavod za gradbeništvo Slovenije

- Sodobni materiali in sistemi zidanja tudi na potresno
- najbolj ogroženih območjih zagotavljajo stavbam
- ustrezno potresno odpornost vsaj do višine 3-4 etaž, če
- so le konstrukcije zasnovane z upoštevanjem osnovnih
- pravil potresno odporne gradnje.

### Namesto uvoda

Potresa, ki sta lani prizadela Zagreb in Petrinjo v sosednji Hrvaški, sta bila dovolj močna, da smo ju čutili tudi pri nas. Po že skoraj pozabljenih potresih v Posočju v letih 1998 in 2004 smo se ponovno zavedli, da živimo na potresno ogroženem območju, in se najprej spraševali, kaj bi se zgodilo, če bi nas, predvsem v Ljubljani, doletelo nekaj podobnega. Povezano s skrbjo, ali so naša bivališča varna, smo se tudi spraševali, kateri materiali oziro-

ma načini gradnje so najbolj primerni na potresnih območjih.

Medtem ko odgovor na prvo vprašanje ni enostaven, je odgovor na drugo bolj ali manj jase. Na prvo vprašanje zadnje čase popularna primerjava magnitud (M), ki jo seizmologi na podlagi meritev izračunajo kot merilo za moč oziroma jakost potresa, ne daje enoznačnega odgovora. Magnituda je merilo za količino sproščene energije med potresom, posledice potresa pa so odvisne od glo-

bine in velikosti žarišča, kjer se energija sprosti.

Če je pri enako močnem potresu žarišče globoko, je vplivno območje na površini večje, vendar se nihanje tal, odvisno od lastnosti zemeljskih slojev, skozi katere se širijo potresni valovi, praviloma uduši in posledice za stavbe so manjše. In narobe: če je potres plitev, je vplivno območje na površini manjše, ker se pa energija sprošča po manjšem volumnu zemljine skorje, je nihanje tal na površini bolj izrazito in posledice za stavbe hujše.

Tudi primerjava s pričakovano stopnjo intenzitete potresa na dveh lokacijah ni enoznačna. Intenziteta potresa (I) je merilo za učinek potresa na objekte, ljudi in okolje. Ocenjuje se na podlagi dejanskih posledic potresa. Jasno je, da enako trenenje tal drugače vpliva na solidno grajene stavbe kot pa na stavbe, pri katerih niso bila spoštovana osnovna pravila potresno odporne gradnje.

Sodobne lestvice potresne intenzitete, kot je evropska makroseizmična lestvica (EMS), vpliv vrste in kakovosti grajenega okolja poskušajo upoštevati tako, da učinke potresa vrednotijo glede na kategorijo potresne ranljivosti stavb ter resnost in obseg po potresu nastalih poškodb [1]. Ker pa lestvice intenzitete niso osnovane na fizikalnih veličinah, predvidevanje posledic na enem območju na podlagi primerjave z intenziteto potresa, ki se je zgodil na drugem – ne da bi dobro poznali sestavo grajenega okolje na primerjanih območjih – kljub temu ni dovolj zanesljivo. Za korektno oceno je treba poznati tudi pospeške tal med referenčnim potresom.

Na podlagi vrednosti pospeškov, ki so jih izmerili na šestih potresnih opazovalnicah v bližini Zagreba, 40-60 km oddaljenih od Petrinje [2], lahko ocenimo, da je bil velikostni red pospeškov tal enak osnovnemu projektnemu pospešku, ki ga na območju Ljubljane predvideva karta potresne ogroženosti Slovenije. Kaj lahko pričakujemo pri tako močnem potresu pri nas, pa povedo rezultati projekta POTROG [3].

Odgovor na drugo vprašanje je enostaven: kriteriji varnosti, uporabnosti in trajnosti, ki jih postavljajo evropski standardi za projektiranje potresno odpornih stavb [4], so za vse tipe konstrukcij in vse vrste gradbenih materialov enaki. Seveda pa niso vsi materiali primerni za vse vrste konstrukcij. Tako npr. zidane stavbe ne morejo biti enako visoke kot armiranobetonske ali jeklene, in podobno.

Ne glede na to, ali bo hiša zidana, lesena ali betonska, je treba spoštovati tako splošna določila o zasnovi konstrukcije in kakovosti materialov, kot tudi določila in zahteve, ki so odvisna od tipa konstrukcije in vrste materialov. Zasnova naj bo čim bolj pravilna, porazdelitev nosilnih elementov simetrična v tlorisu, pa tudi brez hitrih sprememb togosti ali celo nosilnega sistema po višini.

Sodobna arhitektura včasih zahteva konstrukcijo z izpusti in s previsi, z zama knjenimi nosilnimi elementi, ali pa le-te postavi na neustrezna mesta oziroma na preveliki medsebojni razdalji. Potres prenosa sil na daljavo ne pozna: če ni stene tam, kjer bi morala biti, konstrukciji niti potresni izračun med potresom ne bo pomagal.

### Zidane stavbe: kakšne so izkušnje po potresih?

Zidanih stavb se po krivici drži sloves, da niso primerne za gradnjo na potresnih območjih. Resda potresi povsod po svetu najhujše prizadenejo prav zidane hiše v starih mestnih in podeželskih jedrih, grajene iz kamna in nežgane opeke. Vendar po vsakem, še tako močnem potresu lahko ugotovimo, da se ni vse podrlo. Nekatere zidane stavbe stoje že tisočletja, pa so v svojem življenju preživele že nekaj rušilnih potresov.

Analize poškodb stavb po potresih, zadnjega pol stoletja pa tudi številne eksperimentalne raziskave in simulacije obnašanja stavb in elementov zidanih konstrukcij v laboratorijih, so pokazale, kaj zidanim stavbam zagotavlja potresno odpornost. Pravila »dobre gradnje«, ki so nastala na tradiciji in izkušnjah graditeljev, in ki so zidanim stavbam omogočila preživetje med rušilnimi potresi, je za zidane stavbe poleg inženirskih zahtev še danes najti v standardih in predpisih.

Celo naj sodobnejši evropski standard, Evrokod [4], še vedno dopušča gradnjo zidanih stavb brez računskih preverjanj, če le izpolnjujejo ta pravila in – seveda – predpisane omejitve. Seveda so tem pravilom danes dodana nova inženirska dognanja, s čimer so tudi zidane konstrukcije postale »inženirske konstrukcije« in se njihova zmogljivost za prevzem potresne obtežbe lahko bolje izkoristi, če se ustrezno računsko oceni in dokaže.

Kljub trdnim dokazom iz preteklosti, da je zidovje material, ki ni nič manj kot drugi primeren za gradnjo na potresnih območjih (slika 1), je pa veliko tudi dokazov, da sodobne, vendar neustrezno zasnovane in z nekakovostnimi materiali sezidane stavbe potresno niso nič manj ranljive kot stare stavbe v mestnih in podeželskih jedrih.

V prvih desetletjih po II. svetovni vojni so bile zaradi pomanjkanja drugih materialov tudi večnadstropne stanovanjske stavbe pri nas zidane. Armirani beton je bil praviloma rezerviran za industrijo in stavbe javnega pomena (šole, bolnišnice in po-



San Francisco, 1906: večina večnadstropnih zidanih stavb v središču mesta med potresom ni bila poškodovana [5]

dobno). V Ljubljani je bilo v šestdesetih letih prejšnjega stoletja sezidano celo nekaj visokih zidanih stolpnih (nekatero so bile sezidane iz betonskih blokov), ki so seveda z današnjega zornega kota potresno problematične. Ne samo zato, ker kasneje pomanjkanja gradbenih materialov ni bilo več, je bila opečna gradnja opuščena najbrž tudi zaradi posledic potresov v takratni skupni državi (Skopje 1963, Banja Luka 1969), ki niso izdali najbolj ugodnega pričevala o obnašanju večnadstropnih stanovanjskih zidanih stavb (slika 2).

Tako je postala, ne le pri nas, pač pa tudi drugod po svetu, že od sedemdesetih let prejšnjega stoletja nosilna konstrukcija večstanovanjskih stavb praviloma armiranobetonska. Opečni zidaki, ki jih včasih zamenjajo lahki zidaki iz avtoklavianega aeriranega betona, se praviloma uporabljajo le za zidanje družinskih hiš (kjer jih danes izrivajo t.i. »zeleni« materiali), pri večstanovanjskih, večnadstropnih hišah pa se uporabljajo za zidavo predelnih sten in polnilnih ter fasadnih zidov.



Skopje, 1963. Šibki zidovi pritličja v vzdolžni smeri večnadstropnega stanovanjskega bloka so se med potresom porušili (arhiv ZAG)



Čeprav nosilnost zidovja pri omejenem številu nadstropij ne bi smela biti problematična, in kljub bistveno boljšim bivalnim pogojem, ki jih nudi v primerjavi z armiranim betonom, je bila opeka opuščena. Zaradi zamudnosti in cene gradnje niti spodbudni rezultati številnih eksperimentalnih raziskav, tudi domačih, niso uspeli prepričati investitorjev, da bi za gradnjo uporabljali opeko. Tudi poskusi industrijske, prefabricirane opečne gradnje, oziroma izboljšanja mehanskih lastnosti z armiranjem, se niso obnesli.

### Sodobne zidane stavbe in potresna odpornost

Opeka je naraven material z odličnimi gradbeno-fizikalnimi lastnostmi. Opečni zid je toplotno in zvočno izolativen, odporen tudi na požar. Bivalno počutje v opečni zidani stavbi je ugodno in ga niti sodobni »zeleni« materialni še ne znajo prekositi. Opeka je tudi dovolj odporna in trajna, da zagotavlja stavbam dolgo življenjsko dobo. Sodobna opečna gradnja se uspešno prilagaja vsem zahtevam evropske uredbe o gradbenih proizvodih [6], v okviru svojih mehanskih lastnosti pa je konkurenčna drugim tehnologijam gradnje tudi na potresnih območjih.

Zidovje je kompoziten material, ki ga sestavljajo zidaki in malta (lepilo), po potrebi pa še armatura in zalivni beton. Zato je zidovje že po naravi nehomogen in anizotropen, pa tudi neelastičen material, ki dobro prenaša tlačne obremenitve, precej manj dobro pa strige in natege, ki v zidanih konstrukcijskih elementih nastanejo med potresom.

Zidana konstrukcija je stenasta konstrukcija škatlastega tipa, ki te pomanjkljivosti premaguje s tem, da pri prevzemu potresnih sil deluje kot sistem med seboj dobro povezanih zidov, s čimer se lokalni vplivi strigov in nategov porazdelijo po celotni konstrukciji. Sodobne zidane konstrukcije si zato ne moremo predstavljati brez stropnih konstrukcij, ki med potresom nastale vztrajnostne sile porazdelijo na zidove, in sistema vodoravnih in navpičnih vezi, ki celotno konstrukcijo spremeni v sistem, s katerim jo v računih idealiziramo.

Da bi poenostavili analizo in projektiranje, ponavadi vrednosti notranjih sil v prerezi, napetosti in deformacije določimo z upoštevanjem bruto geometrije prereza zidov (nominalnih dimenzij), in pri tem predpostavimo, da je zidovje elasti-

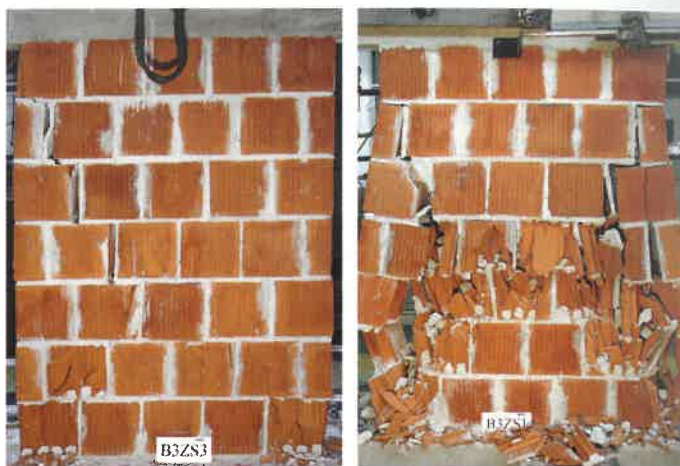
čen, homogen in izotropen konstrukcijski material. Te predpostavke nam omogočijo, da tudi za preverjanje potresne odpornosti zidanih konstrukcij uporabljamo poznane metode in enačbe, ki so osnovane na enostavni teoriji elastičnosti. Seveda pa moramo te enačbe prilagoditi lastnostim zidovja in dejanskemu obnašanju zidov in celotnih konstrukcij med potresom, kar storimo na podlagi rezultatov eksperimentalnih raziskav.

Sodobni materiali in tehnologije zidanja so bili praviloma razviti na območjih, kjer potresna nevarnost ni merodajna za njihove lastnosti, zato jih je bilo treba pred uporabo na potresno ogroženih območjih primerno prilagoditi ali pa njihovo uporabo ustrezno omejiti. Tudi v tem primeru so bile eksperimentalne raziskave neizogibna pomoč.

Cilj razvoja votlakov je bil predvsem povečati toplotno izolativnost in s tem pri enaki debelini zidu zmanjšati morebitno zunanjo izolacijo na najmanjšo možno mero. Porozirana opeka z visoko stopnjo luknjičavosti ima odlično toplotno izolativnost, dosega tudi visoko tlačno trdnost, žal pa se izkaže, da je, dodatno obremenjena s strižnimi silami, ki nastanejo med potresom, razmeroma krhka.

Čeprav standard za gradnjo na potresnih območjih ne kvantificira »zadostne robustnosti« (zidaki morajo biti dovolj robustni, da med potresom ne pride do lokalnih krhkih porušitev) so eksperimentalne raziskave, ki smo jih pred leti izvedli na ZAG [7], pokazale, da se krhkost pri potresni obtežbi zmanjša (oziroma robustnost poveča) na sprejemljivo (zahtevano) raven, če nosilnosti takšne opeke na tlak ne izkoristimo v celoti.

Na podlagi rezultatov eksperimentov smo priporočili, naj tlačne napetosti v zidovih iz votlakov, ki jih standard za projektiranje zidanih konstrukcij [8] razvrsti v skupino 2, ne presežejo 15-20 % vrednosti tlačne trdnosti. Če je zid iz takšnih votlakov bolj obremenjen, njegova sposobnost deformiranja in sipanja energije



Porušitev votlakov pri končani preiskavi zidov pri nizki (0,15 fc, levo) in visoki (0,28 fc, desno) stopnji tlačnih napetosti

med potresom ne bo dosegla zahtevane ravni, ki se skriva v faktorju obnašanja konstrukcije, s katerim določamo projektne potresne sile. Raziskave so tudi pokazale, da se robustnost votlakov poveča, če votline zapolnimo z izolacijskim materialom, saj ta preprečuje izbočenje notranjih sten.

Hitremu in natančnemu načinu zidanja se je prilagodila tudi tehnologija. Tako so v nasprotju s preteklostjo, ko se je zahtevala popolna zapolnitev navpičnih reg med zidaki, danes te rege lahko le delno zapolnjene z malto, lahko pa ostanejo celo suhe, če so navpični stiki izvedeni na pežo in utor.

Raziskave, ki smo jih izvedli tudi pri nas, so pokazale, da v teh primerih popolna zapolnjenost navpičnih reg ni potrebna, še posebej, če se stavba sezida v sistemu povezanega zidovja, t.j. zidovja, povezanega z navpičnimi vezmi. Pri klasičnem načinu zidanja se zaradi morebitnih s standardom sicer dovoljenih neravnin naležnih površin zidaki polagajo v ustrezno debelo malto. Napredovanje zidanja je zamudno, saj je treba čakati, da se malta strdi, poleg tega pa debeli sloji malte v pogledu toplotne izolacije predstavljajo tudi mrežo toplotnih mostov v zidovju.

Danes se za zidanje uporabljajo votlaki z brušeno naležno površino, pri katerih se namesto klasične malte za zlepljenje uporabljata tankoslojna malta ali poliuretansko lepilo. Rešitev bistveno pospeši napredovanje zidanja in zmanjša toplotni pretok skozi zid, povrh tega pa je tehnologija tudi čistejša od klasičnega načina zidanja.

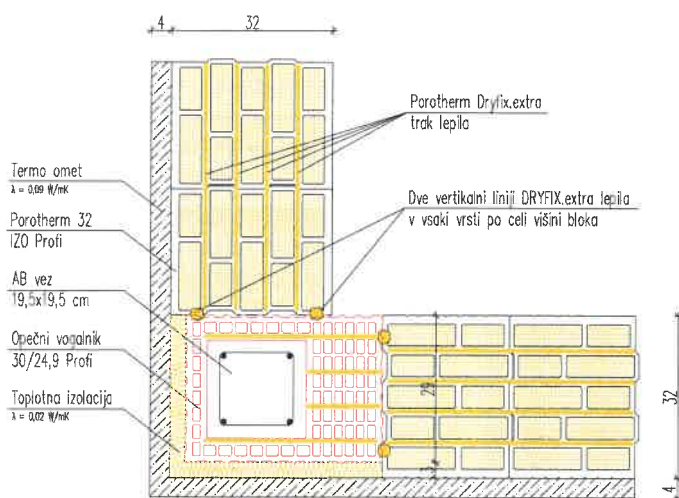
Na potresnih območjih, razen na tistih, kjer je pričakovani pospešek tal najnižji,

morajo biti zidovi med seboj povezani z navpičnimi zidnimi vezmi. Armiranobetonske zidne vezi, ki povezujejo zidovje v celoto in zagotavljajo, da se med potresom izkoristi odpornost celotne konstrukcije, predstavljajo neugodne toplotne mostove. Zato se te vezi vgrajujejo v posebej prilagojene votlake, beton, s katerim se zalije armatura, pa se lahko nadomesti z opeki prijaznejšo malto (slika 4).

Kot so nakazale številne eksperimentalne raziskave, je treba optimizirati tudi količino oziroma število navpičnih vezi, saj se zidana konstrukcija, povezana strogo po zahtevah standarda, že približuje armiranobetonski okvirni konstrukciji z zidanimi polnili (slika 5). Eksperimentalne raziskave kažejo, da bi bilo praviloma dovolj, če bi bile navpične vezi vgrajene le na vogalih in na sečiščih nosilnih in veznih (vzdolžnih in prečnih) zidov.



Sodobna družinska opečna zidana hiša (e4 hiša Wienerberger)



Zasnova tipične vogalne navpične vezi v enem od sodobnih sistemov zidanja

## Namesto sklepa

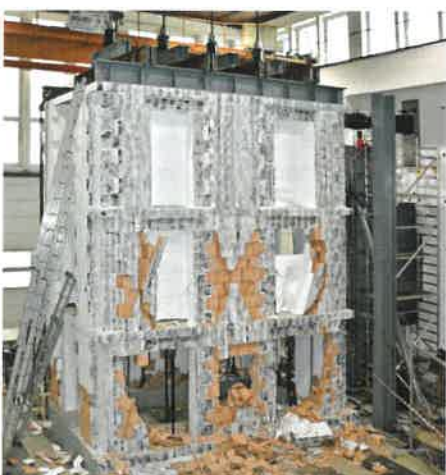
Eksperimentalne raziskave kažejo, da sodobni materiali in sistemi zidanja tudi na potresno najbolj ogroženih območjih zagotavljajo stavbam ustrezno potresno odpornost vsaj do višine 3-4 etaž, če so le konstrukcije zasnovane z upoštevanjem osnovnih pravil potresno

prevzemanju potresne obtežbe. Govorimo o armiranobetonskih (včasih tudi jeklenih) okvirih z zidanimi polnili.

Če so polnilni zidovi pravilno povezani z osnovno konstrukcijo in če njihov vpliv na osnovno konstrukcijo tudi upoštevamo pri dimenzioniranju le-te, dobimo mešano konstrukcijo, kjer s polnili zmanjšamo prevelike deformacije okvirov med potresnim nihanjem in povečamo sposobnost konstrukcije, da uduši potresno energijo. Pri zidanih polnilih pa moramo biti previdni: če jih ne vgradimo na pravilen način, med potresom lahko polnila tudi poškodujejo osnovno konstrukcijo, ki je potres same ne bi poškodoval.

## Literatura

1. EMS European Macroseismic Scale 1998. Ur. G. Grünthal, European Seismological Commission, Luxembourg (1998).
2. Analiza akcelerograma za potrese kod Petrinje. S. Prevolnik (2021). ([https://www.pmf.unizg.hr/geof/seizmoloska\\_sluzba/potresi\\_kod\\_petrinje\\_2020](https://www.pmf.unizg.hr/geof/seizmoloska_sluzba/potresi_kod_petrinje_2020))
3. Potresna ogroženost Slovenije za potrebe civilne zaščite. (<http://potrog.vokas.si/>)
4. SIST EN 1998-1:2005. Evrokod 8. Projektiranje potresnoodpornih konstrukcij - 1. del: Splošna pravila, potresni vplivi in pravila za stavbe, 2005.
5. S. Tobriner. An EERI Reconnaissance Report: Damage to San Francisco in 1906 - A Centennial Perspective. Earthquake Spectra 22, S2 (2006), str. S11-S32
6. Uredba (EU) št. 305/2011 Evropskega Parlamenta in Sveta o določitvi usklajenih pogojev za trženje gradbenih proizvodov in razveljavitvi Direktive Sveta 89/106/EGS (<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SL/TXT/HTML/?uri=CELEX:32011R0305&from=SL>)
7. M. Tomažević, P. Weiss. Robustnost kot merilo za uporabo opečnih votlakov na potresnih območjih. Gradbeni vestnik 59 (2010) str. 162-175.
8. SIST EN 1996-1:2006. Evrokod 6. Projektiranje zidanih konstrukcij - 1. del: Splošno - pravila za armirano in nearmirano zidovje, 2006.



Model trinadstropne hiše v naravnem merilu, sezidane v sistemu povezanega zidovja z navpičnimi vezmi po določilih standarda, po končani ciklični preiskavi. Čeprav so se zidovi strižno porušili, se hiša ni podrla, saj so navpične obremenitve prevzele navpične zidne vezi

odporne gradnje. Nosilnostni parametri, ki smo jih ugotovili s preiskavami zidov in modelov stavb v naravnem merilu, to potrjujejo. Hujše poškodbe v zidovih so med preiskavo nastale šele pri obremenitvah, ki jih med projektnim potresom pravilno zasnovane konstrukcije v elementih sploh ne moremo pričakovati.

Danes je zazidljivo zemljišče drago, ne samo v mestih, tudi drugod postaja vse dražje. Zato stavbe silijo v višino, ki je z zidovjem zaradi njegovih trdnostnih lastnosti seveda ne moremo doseči. Vendar je tudi v armiranobetonskih, manj v jeklenih visokih stavbah, zidovje zelo uporaben material, predvsem za predelne stene in zapiranje fasad. Pri tem pa ni nujno, da je kot nekonstrukcijski element zid le dodatna obtežba konstrukcije, lahko se vključi tudi kot njen sestavni del in sodeluje pri