

Izhodišča za projektiranje potresnoodpornih montažnih hiš

avtorja asist. dr. **Bruno DUJIČ** in izr. prof. dr. **Roko ŽARNIČ**; oba univ. dipl. inž. gradb.

Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova 2, Ljubljana

izvleček

Pri gradnji lahkih montažnih objektov na potresnih območjih se pogosto postavlja vprašanje o varnosti tovrstnih objektov pri potresni obtežbi. Tudi gradbeniki oziroma konstruktorji ne znamo zanesljivo odgovoriti na to vprašanje, če ne poznamo mehanskih lastnosti osnovne enote konstrukcijskega nosilnega sistema, ki jo predstavlja poln segment stene (dolžine okoli 240 cm in etažne višine). Vsak od proizvajalcev montažnih objektov uporablja lasten sistem za izvedbo stenskih elementov, ki se jim zaradi zelo široke izbire različnih materialov in veznih sredstev z računskimi metodami ne da določiti mehanskih lastnosti, ki so potrebne za določitev nosilnosti in stabilnosti objekta. Eksperimentalno določen odziv osnovnega stenskega elementa pri kombinirani navpični in ciklično spreminjajoči se vodoravni obtežbi je tako osnova za izračun celotne konstrukcije, ki ji pri načrtovanju, dimenzioniranju in konstruiranju zagotovimo določeno potresno varnost.

Ključne besede: lahki montažni objekti, stenski elementi, potresna obtežba, potresna varnost, načrtovanje, konstruiranje, dimenzioniranje

Uvod

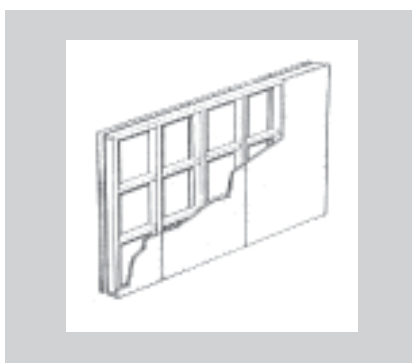
V slovenskem prostoru gradimo vse več montažnih objektov z leseno okvirno konstrukcijo predvsem zaradi ekološke osveščenosti ljudi, ekonomičnosti gradnje pri porabi materiala in časa ter drugih prednosti, ki jih nudijo lahke lesene konstrukcije v primerjav s konstrukcijami iz drugačnih materialov. Proizvajalci in investitorji že kažejo želje po graditvi večnadstropnih objektov in montažnih konstrukcij večjih dimenzij. Nekaj jih je bilo že zgrajenih v zadnjih letih. Pri nas omejitve višine oziroma števila etaž v objektih z leseno okvirno konstrukcijo ni. Večina držav v Evropi in Skandinaviji je to omejitev postavila na osnovi požarne varnosti, v potresno ogroženih državah pa so omejitve v številu etaž določene predvsem zaradi potresnega vpliva na lesene okvirne konstrukcije. Vendar je inženirsko znanje o obnašanju lesenih okvirnih konstrukcij na potresnih področjih nasproti znanju o obnašanju konstrukcij iz drugačnih materialov zelo pomanjkljivo. Pri lesenih okvirnih konstrukcijah kljub natančnemu poznavanju lastnosti uporabljenih materialov (les, vezna sredstva in obložne plošče) ne poznamo lastnosti

sestavljenih elementov. Zato je treba pri lesenih okvirnih konstrukcijah natančno poznati obnašanje stikov, sidrišč in stenskih elementov pri ciklično spreminjajoči se obtežbi, da lahko analiziramo obnašanje celotne lesene konstrukcije. V začetku je nujno eksperimentalno raziskati sistem nosilne konstrukcije, ki jo določen proizvajalec uporablja za izdelavo predizdelanih velikostenskih elementov. Izvesti je treba najosnovnejše eksperimentalne preiskave segmenta stene in tipičnega stika, iz katerih določimo mehanskih lastnosti nosilne konstrukcije.

Potresni vpliv na montažne objekte

Osnovni element konstrukcije pri montažnih hišah je kompozitni stenski element – panel. Stenski element prenaša navpično obtežbo (lastno težo konstrukcije, stalno in občasno obtežbo), hkrati pa pri delovanju potresa ali vetra prevzema vodoravno obtežbo in zagotavlja konstrukciji določeno togost. Panel je sestavljen iz okvira, ki ga sestavljajo medsebojno povezani elementi iz masivnega lesa (pokončniki in prečniki). Leseni okvir je večinoma obojestransko zaprt z različnimi vrstami

obložnih plošč, ki so izdelane na osnovi lesa ali na osnovi drugačnih materialov, kot sta npr. mavec in cement z različnimi dodatki (vezane plošče, OSB plošče, mavčne-kartonске in mavčno-vlaknene plošče, cementno-iverne plošče ter druge). Elementi so v steno (slika 1) povezani z veznimi sredstvi (jeklene sponke, žebliji, vijaki ...), ki se razlikujejo od sistema do sistema.



□ **Slika 1. Stenski element sestavljen iz lesenega okvira in z mehanskimi veznimi sredstvi nanj pritrjenih obložnih plošč**

Objekti z nosilno leseno okvirno konstrukcijo, kot so montažne hiše, so težko izračunljivi zaradi velikega števila mehanskih veznih sredstev, ki se že pri majhnih obtežbah obnašajo nelinearno. V večini primerov se konstrukcije deformirajo in poškodujejo prav zaradi podajnosti stikov med elementi. Do sedaj je slonela presoja o potresni varnosti montažnih objektov predvsem na grobi oceni, da so lahki montažni objekti potresno varni zaradi majhne lastne teže konstrukcije. Vendar je treba kljub precej manjši lastni teži konstrukcije upoštevati, da so stenski elementi montažnih hiš veliko manj nosilni in precej bolj deformabilni, kot pa so masivnejši stenski elementi, ki so izdelani iz drugačnih materialov (kamen, opeka, armirani be-

ton, jeklo). Poleg tega imajo nosilni elementi v lahki montažni konstrukciji v končnem smislu enako vlogo v objektu pri prenosu stalne in koristne obtežbe kot v bolj masivnih konstrukcijah.

Obnašanje posameznih montažnih objektov med potresom je predvsem odvisno od tlorisne zasnove ter zasnove konstrukcije po višini, dimenzij posameznih elementov, vrste uporabljenih materialov in veznih sredstev, konstrukcijskih detajlov, izvedbe stikov med lesenimi elementi, premišljenega načrtovanja nosilne konstrukcije in od kvalitete izdelave. Hkrati pa je glede na lastno nihajno dobo konstrukcije pomemben tudi frekvenčni sestav, pospešek in amplitude potresnega nihanja tal. Če primerjamo lastnosti, ki dobro in slabo vplivajo na njihov odziv, lahko povzamemo, da se v splošnem lesene okvirne konstrukcije obnašajo dobro pri potresni obtežbi, če so pravilno načrtovane. Manjša masa lesene konstrukcije povzroči manjše vztrajnostne sile na nosilni konstrukciji, ki se porazdelijo na veliko število konstrukcijskih sklopov oziroma stikov. Večina mehanskih stikov v lesenih konstrukcijah se obnaša duktilno in so sposobni disipirati veliko količino energije prek histereznega dušenja in trenja. Mehčanje stikov povzroči povečanje lastne nihajne dobe konstrukcije, kar pa posredno vpliva na zmanjšanje sil v konstrukcijskih elementih. Vendar tega ne moremo posplošiti na vse vrste lesenih konstrukcij, saj se lesene okvirne konstrukcije oziroma lahki montažni objekti medsebojno močno razlikujejo že v sami osnovi kompozitnega stenskega elementa zaradi uporabe različnih materialov in veznih sredstev.

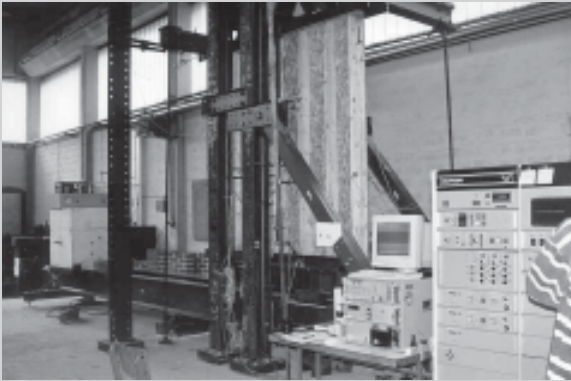
Podatki iz predhodnih potresov ka-

žejo, da so tudi lesene konstrukcije lahko potresno ogrožene, če jim v fazi načrtovanja ne zagotovimo ustrezne nosilnosti in togosti. To pomeni, da je treba na potresno ogroženih področjih, kamor sodi tudi Slovenija, tako lesene konstrukcije kakor tudi druge konstrukcije skrbno načrtovati ter računsko izkazati njihovo potresno varnost.

Trenutno v Sloveniji nobeden od proizvajalcev lahkih montažnih objektov v statični analizi tehnične dokumentacije projekta za izdajo gradbenega dovoljenja ne ovrednoti potresne odpornosti objekta. Dinamična računsko analiza za tovrstne objekte je brez predhodnih eksperimentalnih preiskav stenskih elementov in stikov trenutno neizvedljiva. Zato sta eksperimentalni preiskavi tipskega stika in kompozitnega stenskega elementa, ki ju uporablja določen proizvajalec za izdelavo nosilnih sten, nujno potrebni za možnost izračuna montažnih objektov različnih oblik na potresno obtežbo. Iz eksperimentalno določenega odziva mehanskega stika in stenskega elementa pri ciklično spremenljivi obtežbi izhajajo osnovni parametri, na osnovi katerih z računskimi orodji izračunamo odziv celotnega objekta na vodoravno oziroma potresno obtežbo.

Eksperimentalne preiskave

Na Katedri za preskušanje materialov in konstrukcij na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo v Ljubljani v okviru raziskav potresne odpornosti lesenih objektov izvajamo tudi eksperimentalne preiskave stenskih elementov lesenih okvirnih konstrukcij (slika 2), mehanskih stikov (slika 3) in sidrišč pri ciklično spreminjajoči se obtežbi. Izdelali smo



□ Slika 2. Preiskava tipskega stenskega elementa, sestavljenega iz dveh panelnih enot



□ Slika 3. Preiskava mehanskega stika med obložno ploščo in lesenim okvirom

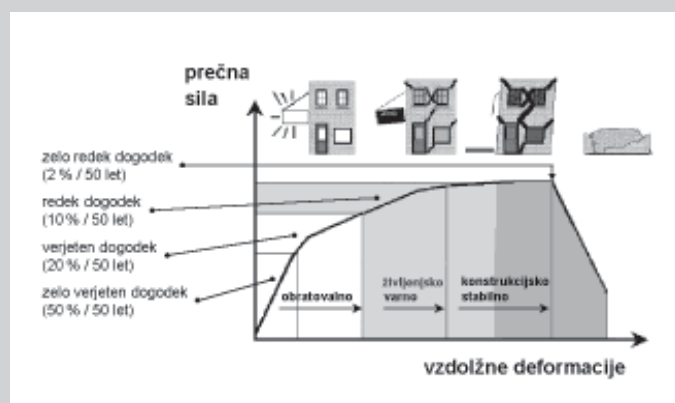
univerzalno napravo, ki je potrebna za eksperimentalne preiskave osnovnih stenskih elementov montažnih hiš pri kombinaciji vodoravne in navpične obtežbe (slika 2). Naprava omogoča preskušanje konzolnih sten. Razlog za izdelavo takšne naprave so konstantna navpična obtežba med vodoravnim obteževanjem in natančno določeni robni pogoji, ki jih moramo zagotoviti preizkušancu med preiskavo. Zagotoviti moramo odziv stenskega elementa z možnostjo deformiranja tako lesenega okvira, obložne plošče kakor tudi mehanskih veznih sredstev. Dejanski odziv pri spremenljivi obtežbi stenskega elementa določa obnašanje mehanskih veznih sredstev, zato je izredno pomembno, da z mehanizmi vpenjanja oziroma sidranja panela v preizkuševalno napravo ne preprečimo možnosti deformacije veznih sredstev in disipacije vnesene energije. Pri določenih preiskavah iz literature je bilo moč zaslediti, da niso bili med preiskavo zagotovljeni omenjeni robni pogoji, kar je pripeljalo do napačnih rezultatov.

Iz eksperimentalnih preiskav osnovnega stenskega elementa določene

sestave dobimo njegov odziv pri kombinaciji navpične in spreminjajoče se vodoravne obtežbe. Iz odziva določimo začetno togost, nosilnost, duktilnost, upadanje togosti pri ponovitvenih ciklih, disipacijo energije ter mehanizem porušitve. Iz ugotovljenih karakteristik obnašanja izdelamo matematični model stika in stenskega elementa, s katerim lahko simuliramo odziv elementa in celotne konstrukcije na potresno obtežbo.

Načrtovanje potresnoodpornih montažnih objektov

Pri projektiranju montažnih objektov na potresnih območjih je treba določiti potresno obtežbo na nosilni konstrukciji zaradi vztrajnostnih sil, ki jih povzroči gibanje temeljnih tal med potresom. Stavbe je treba projektirati na potresno obtežbo, ki lahko na določeni lokaciji z določeno verjetnostjo nastopi na konstrukciji. Pri potresih z veliko verjetnostjo, da se zgodijo v življenjski dobi objekta, je treba dimenzionirati elemente na mejne deformacije konstrukcije, ki jih lahko dopustimo pri nadaljnji uporabi objekta glede na nastalo škodo, ki je še dopustna v primerjavi z vrednostjo objekta. Pri močnejših potresih pa moramo konstrukciji zagotoviti dovolj veliko nosilnost, ki ji zagotavlja varnost pred porušitvijo (slika 4). Pri tem nastanejo določene poškodbe v konstrukciji, ki jih lahko z nekoliko večjimi začetnimi vlaganji bistveno zmanjšamo. V potresnem inženirstvu namreč velja načelo, da se običajni objekti projektirajo tako, da ostanejo v glavnem nepoškodovani med bolj pogostimi šibkejšimi potresi in da se ne porušijo med najmočnejšimi potresi. Tako je treba v fazi načrtovanja objekta z naročniki določiti nivo zaščite objekta. Lastniki se lahko odločijo za večjo zaščito od



□ Slika 4. Načrtovanje odziva konstrukcije glede na stopnjo tveganja, ki temelji na verjetnosti dogodka v določenem obdobju (povzeto iz PEER Research Plan; <http://peer.berkeley.edu>)

tiste, ki jo ponujajo predpisi, kar pomeni nekoliko večja začetna vlaganja in bistveno zmanjšanje škode med morebitnim potresom. Vendar pa morajo izvajalci in projektanti na vsak način naročniku zagotoviti predpisano varnost, ki jo je treba z veljavnimi računskimi postopki določanja potresnega vpliva na posameznih objektih dokazati.

Sklep

Kot gradbeniki in konstruktorji se

moramo zavedati, da je Slovenija veliko bolj potresno ogrožena kakor področja zahodne in severne Evrope ter Skandinavije. Zato je potrebno tudi lahke objekte z leseno nosilno konstrukcijo skrbno načrtovati, upoštevajoč potresno obtežbo.

S časovno oddaljenostjo potresov v miselnosti ljudi potresna nevarnost izgublja pomen in ljudje niso pripravljene vlagati dodatnih sredstev, ki so povezani s potresno zaščito, vse dokler ponovno ne občutijo posledic

močnejšega potresa. Med proizvajalci montažnih objektov pa je preveč opazna miselnost, ki izvira iz potresno neogroženih področij zahodne in severne Evrope, kamor tudi največ naših proizvajalcev montažnih objektov prodaja svoje izdelke, da je vetrna obtežba prevladujoča v primerjavi s potresno obtežbo ter zaradi tega razloga potresne obtežbe ni **treba** računsko preverjati. Vendar je tudi v primeru računskega preverjanja lahkih lesenih objektov na vetrno obtežbo **treba** poznati osnovne mehanske lastnosti tipskega stika in osnovne panelne enote, ki objektu zagotavlja togost in nosilnost na delujočo vodoravno obtežbo.

Zaradi raznolikosti sistemov gradnje in sestave montažnih stenskih elementov pri različnih proizvajalcih je **treba**, da vsak od proizvajalcev najprej eksperimentalno določi odziv tipskega stika med obložno ploščo in lesenim okvirom ter odziv stenskega elementa v skladu z evropskimi standardi. Velikostenske elemente izdelujejo serijsko, v njih so uporabljeni tipski stiki, vsak stenski element pa je sestavljen iz enakih panelnih enot. Enoto določa širina obložne plošče, ki je z določeno vrsto in razporedom mehanskih veznih sredstev pritrjena na leseni okvir. V primeru lesenih okvirnih konstrukcij je stenski element osnovna enota pri konstruiranju celotne konstrukcije. Tako naj bi vsak izmed proizvajalcev z eksperimentalnimi preiskavami najprej določil mehanske lastnosti svoje karakteristične nosilne konstrukcije, kar je osnova za projektiranje potresnoodpornih montažnih objektov najrazličnejših oblik.



ZVEZA LESARJEV SLOVENIJE

Karlovška 3, Ljubljana, tel: 01/421-46-60, fax: 01/421-46-64
el.pošta: revija.les@zsiol.net, <http://www.zls-zveza.si>

**Skladno s 14. členom pravil ZLS vas vabimo na
vollni občni zbor Zveze lesarjev Slovenije, ki bo
v ponedeljek, 18. marca 2002 ob 12.00 uri v Ljubljani
v prostorih GZS na Dimičevi 13.**

Dnevni red:

1. Otvoritev občnega zbora in izvolitev organov zbora (delovno predsedstvo, volilno komisijo, 2 overoviteljev in zapisnikarja).
2. Pregled zapisnika občnega zbora ZDIT lesarstva Slovenije z dne 21. 11. 2001.
3. Poročilo o delu Zveze lesarjev Slovenije v letu 2001 in zaključni račun za leto 2001.
4. Poročilo nadzornega odbora.
5. Obravnava in potrditev poročil.
6. Razrešitev upravnega odbora, nadzornega odbora in častnega razsodišča.
7. Izvolitev upravnega odbora (predsednika Zveze in upravnega odbora, podpredsednika, blagajnika), predsednika in dveh članov nadzornega odbora, podpredsednika in dveh članov častnega razsodišča, dveh namestnikov članov častnega razsodišča.
8. Obravnava in potrditev programa dela za leto 2002.
9. Obravnava in sprejem sprememb Pravil ZLS.
10. Razno.

Predsednik Zveze lesarjev Slovenije
in predsednik upravnega odbora

Asto DVORNIK, univ.dipl.ing. l.r.