

Primljen / Received: 10.8.2021.

Ispravljen / Corrected: 24.1.2022.

Prihvaćen / Accepted: 15.3.2022.

Dostupno online / Available online: 10.6.2022.

# Potresna otpornost postojećih zgrada s dodatnim katovima od laganih drvenih konstrukcija

## Autori:



<sup>1</sup>Jurij Jančar, dipl.ing.građ.  
[jure.jancar@cbd.si](mailto:jure.jancar@cbd.si)



<sup>2</sup>Mr.sc. Trajče Zafirov  
[trajce@iziis.ukim.edu.mk](mailto:trajce@iziis.ukim.edu.mk)  
Autor za korespondenciju



<sup>3</sup>Prof.dr.sc. Miroslav Premrov  
[miroslav.premrov@um.si](mailto:miroslav.premrov@um.si)



<sup>1</sup>Dr.sc. Bruno Dujič  
[bruno.dujic@cbd.si](mailto:bruno.dujic@cbd.si)



<sup>2</sup>Prof.dr.sc. Viktor Hristovski  
[viktor@iziis.ukim.edu.mk](mailto:viktor@iziis.ukim.edu.mk)

<sup>1</sup>CBD građevinski i poslovni dizajn d.o.o., Slovenija

<sup>2</sup>Institut za potresno inženjerstvo i inženjersku seizmologiju, (IZIIS), Skoplje, Sj. Makedonija

<sup>3</sup>Sveučilište u Mariboru, Fakultet za građevinarstvo, promet i arhitekturu, Slovenija

Prethodno priopćenje

[Jurij Jančar, Trajče Zafirov, Miroslav Premrov, Bruno Dujič, Viktor Hristovski](#)

## Potresna otpornost postojećih zgrada s dodatnim katovima od laganih drvenih konstrukcija

U ovom se radu problem vertikalne nadogradnje razmatra u okviru analize potresne otpornosti građevina s dodanim katovima. Provedena je opsežna parametarska studija koja potvrđuje utjecaj broja dodanih katova i promjene njihove krutosti na potresni odziv građevina. Primjeri prikazani u radu pokazuju kako se krutost konstrukcija od laganih drvenih okvira i križno lameliranog drva lako može promijeniti mijenjanjem vrste i rasporeda spojnih sredstava. Poznati se postupci primjenjuju za izračunavanje krutosti zidnih elemenata lakog drvenog okvirnog sustava, a novi je postupak razvijen za određivanje krutosti križno lameliranih drvenih zidnih elemenata. U radu je prikazano kako promjena krutosti vertikalne nadogradnje može bitno utjecati na potresni odziv te da u nekim slučajevima takva nadogradnja može povoljno utjecati na potresnu otpornost, i to bez obzira na manje povećanje težine konstrukcije.

### Ključne riječi:

dodani katovi, potresna otpornost, laka drvena konstrukcija

Research Paper

[Jurij Jančar, Trajče Zafirov, Miroslav Premrov, Bruno Dujič, Viktor Hristovski](#)

## Seismic resistance of existing buildings with added light timber structure storeys

In the presented paper, the problem of vertical expansions is treated in terms of seismic resistance of structures with added storeys. A large parametric study has been performed, confirming the impact of different number of added storeys, and the change of their stiffness, on the seismic response of structures. The paper shows examples of how stiffness in light timber frame and cross laminated timber structures can be easily altered just by changing the type and distribution of fasteners. Known procedures are used to calculate the stiffness of the wall elements of a light timber frame system, and a new procedure is developed for determining the stiffness of cross laminated timber wall elements. The study shows how changing the stiffness of the vertical expansion can have a significant impact on the seismic response and that, in some cases, vertical expansion can have a favourable effect on seismic resistance, despite a minor increase in the mass of the structure.

### Key words:

added storeys, seismic resistance, light timber structure

## 1. Uvod

U građevinskoj praksi često nailazimo na projekte koji se bave postojećim građevinama. U okviru tih projekata obično se provode sanacije, obnove, pojačanja na potres i nadogradnje. Nedostatak novih životnih prostora u središtima gradova, povoljna cijena nadogradnje u usporedbi s cijenom nove gradnje, te mogućnost obnove postojeće građevine za tržišnu cijenu novoizgrađenog prostora, sve su to razlozi zbog kojih se sve češće provode nadogradnje postojećih zgrada. Uz ekonomske razloge, nadogradnje opravdavaju i iznad svega omogućuju razvoj novih konstrukcijskih sustava koji su zbog svoje male težine i brzine izvođenja pogodni upravo za nadogradnje.

Mogućnost nadogradnje bez dodatnih intervencija na postojećoj zgradi najčešće se pojavljuje u slučajevima predimenzioniranja prvobitne građevine ili postojanja dodatnih rezervi nosivosti, zbog kvalitete izvođenja te zbog stupnja oštećenja, tj. stanja građevine. S inženjerskoga gledišta, broj novih katova uglavnom ovisi o nosivosti postojeće građevine, s obzirom da je većina postojećih zgrada projektirana prema starim propisima u kojima se, u usporedbi s Europskom normom, propisuje niža potresna otpornost i manje duktilno ponašanje tijekom potresa.

Međutim, prilikom donošenja odluke u nadogradnji, također je vrlo bitno odabrati ispravan konstrukcijski sustav za dio zgrade koji će se dograditi. Sustave koji su pogodni za nadogradnje karakterizira mala težina, jednostavna ugradnja te najviša razina montažne izvedbe što omogućuje brzo izvođenje radova. Prije se smatralo da su samo čelične konstrukcije pogodne za nadogradnje zbog brzine izvođenja i manje težine u usporedbi s tradicionalnim konstrukcijskim sustavima (zidane i armiranobetonske konstrukcije). Čelične konstrukcije su skeletni sustavi, što znači da se opterećenja prenose na postojeću konstrukciju u točkama u kojima se mogu javiti velika lokalna opterećenja, a ona se teško mogu, a ponekad uopće ne mogu, prenijeti na postojeću konstrukciju. Za nadogradnje bi bilo poželjno primjenjivati sustave koji se mogu jednostavno prilagoditi arhitektonskim zahtjevima i projektu postojeće zgrade, te koji nisu teški i omogućuju prikladno raspoređeno prenošenje opterećenja. Tim zahtjevima udovoljavaju dva moderna sustava drvenih konstrukcija: sustav sastavljen od križno lameliranog drva (Xlam) i drveni okvirni sustav.

U ovom se radu prikazuje novi segment u primjeni drvenih konstrukcija. Radi se o konstrukcijskom sustavu koji se u novije vrijeme sve češće koristi za različite namjene u graditeljstvu. Može se reći da on predstavlja novo poglavlje u primjeni hibridnih ili kombiniranih građevina, koje su se do sada relativno malo koristile u građevinskoj praksi. Različiti materijali od kojih se sastoje spregnute konstrukcije uglavnom se koriste na razini poprečnog presjeka (spoj betona i čelika, spoj betona i drva) a rjeđe na razini čitavih konstrukcija, gdje se u nekim slučajevima kombiniraju beton i čelik ili češće beton i drvo. Takozvane hibridne konstrukcije najviše se koriste na razini pojedinih katova, pri čemu betonska jezgra predstavlja osnovni stabilizirajući element, a čelične ili drvene konstrukcije služe

samo kao elementi za prijenos vertikalnih opterećenja.

U radu se obrađuje područje vertikalne nadogradnje pomoću drvenih konstrukcija, tj. nadogradnja postojećih armiranobetonskih ili zidanih građevina dodavanjem određenog broja novih katova koji se izvode od laganih drvenih konstrukcija. Općenito uzevši, u brojnim se studijama naglašava primjena različitih materijala sa što većim brojem identičnih svojstava, a u ovom se radu naglasak stavlja na upotrebu materijala različite krutosti i mase, pri čemu je cilj utvrditi pozitivne efekte različitih svojstava tj. različitog ponašanja tih materijala.

Do sada se uglavnom istraživalo ponašanje čeličnih nadogradnji [5, 16, 17, 18, 28, 29, 40] i pritom je utvrđeno da se takvim nadogradnjama produžuje prirodni period konstrukcije. To obično dovodi do smanjenja potresnih sila samo na razini prizemlja dok se na ostalim katovima postojeće građevine događa povećanje posmičnih sila i međukatnih pomaka, što negativno utječe na nadogradnju, pa u mnogim slučajevima čak i isključuje mogućnost nadogradnje postojeće građevine. Zbog niže krutosti čeličnih konstrukcija može doći do pojave takozvanog "efekta biča" te se može dogoditi da zbog povećanog odziva nadogradnja ne udovoljava kriterijima dopuštenih međukatnih pomaka. U takvim se slučajevima nadogradnja omogućuje ugradnjom viskoznihih prigušivača koji posljedično umanjuju posmične sile i međukatne pomake na svima katovima građevine. Ekonomična mjera prigušivanja je i postavljanje prigušivača s dodanom masom (eng. tuned mass damper, TMD), pri čemu se masa i opruga kalibriraju tako da prirodna frekvencija prigušivača bude u blizini prve prirodne frekvencije građevine, što dovodi do značajnog prigušivanja oscilacija.

U ovom se radu kao mogući sustavi za nadogradnju postojećih građevina razmatraju drvene okvirne konstrukcije i križno lamelirane drvene konstrukcije. Oba sustava omogućuju jednostavnu promjenu krutosti konstrukcije mijenjanjem sastava elemenata i primjenom drugačijih, tj. drugačije raspoređenih spojnih sredstava. Kako se oba konstrukcijska sustava odlikuju sličnom težinom, u radu je utvrđen mogući raspon variranja krutosti za oba sustava, te su na temelju stečenih spoznaja modelirane različite varijante nadogradnje. Istraživanja opisana u ovom radu provedena su kako bi se odredile mogućnosti postizanja potresne sigurnosti postojeće građevine i nadogradnje bez obzira na povećanje broja katova i težine ukupne konstrukcije. U radu se istražuju utjecaji nadogradnje na postojeću konstrukciju te utjecaji odziva postojeće građevine na nadogradnju. Kako se koriste sustavi koji se bitno razlikuju po težini i krutosti po visini, u radu se razmatraju utjecaji promjene krutosti nadogradnje na odziv čitave konstrukcije. Mijenjanjem krutosti i broja katova nadogradnje provjerena je mogućnost utjecanja na dinamički odziv čitave konstrukcije, s posebnim naglaskom na odziv postojeće građevine.

## 2. Modeliranje drvenog sustava

Što se tiče konstrukcije nadogradnje, može se koristiti montažna konstrukcija u obliku sustava sastavljenog od drvenih okvirnih

zidova i sustava sastavljenog od križno lameliranih panela. U usporedbi s drugim sustavima od drvene građe te drugim konstrukcijskim sustavima sastavljenima od drugih materijala kod kojih je krutost i nosivost uvjetovana dimenzijama poprečnog presjeka, krutost i djelomično nosivost montažnih konstrukcijskih sustava sastavljenih od drvenih okvirnih zidova, tj. križno lameliranih panela može se jednostavno mijenjati uz zadržavanje identičnog izgleda i dimenzija elemenata. To omogućuju spojna sredstva (vijci, čavli, posmični kutni priključak i sidra protiv odizanja) kojima se u velikoj mjeri može definirati ponašanje u oba drvena konstrukcijska sustava. Spojna sredstva zastupljena su sa samo 2-4 % u cijeni izvođenja čitave drvene konstrukcije, što je zanemariv trošak u usporedbi s ukupnim ulaganjem u građevinu.

U ovom se radu krutost varira na primjeru zidnog elementa dužine 3,4 m i 2,8 m, tj. koriste se iste dužine za sustav Xlam (križno lamelirano drvo) i okvirni drveni sustav. Nadogradnje obrađene u ovom radu sastoje se od jednog, dva ili tri kata.

### 2.1. Okvirni drveni sustav

Kod okvirnog drvenog sustava, krutost konstrukcije varirana je pomoću sidara, posmičnih kutnih priključaka, variranjem razmaka na spoju između drvenog okvira i obložnog panela (OSB), te mijenjanjem debljine obložnog panela i korištenjem jednostruke i dvostruke obloge. Zidni elementi sastavljeni su od drvenih okvirnih elemenata dimenzija 8/10 cm, C 24, gdje su vertikalni elementi postavljeni u rasteru od 62,5 cm, a drveni je okvir obložen jednostranom OSB pločom debljine 12 mm i 15 mm. U slučaju TN\_1, zid je usidren sa samo četiri kutnika tipa ABR 90 koje proizvodi Simpson Strong-Tie te koji su pozicionirani kod svakog drugog vertikalnog elementa. Tip TN\_2 usidren je isključivo pomoću posmičnih kutnih priključaka postavljenih na sredini između dva vertikalna elementa, a krajnji su elementi usidreni priključkom tipa KR 285 proizvođača Simpson Strong-Tie. Sidrenje s 4 priključka ABR 90 korišteno kod TN\_2 također

je primijenjeno i kod TN\_3. U svim su slučajevima korištene skobe tipa Haubold 1.53 / 11/55 mm s  $f_u = 880$  MPa, koje su kod TN\_1, TN\_2 i TN\_3 instalirane na udaljenosti od 7.5 cm po opsegu ploče te na udaljenosti od 5 cm kod tipova TN\_4, TN\_5 i TN\_6. OSB ploča debljine 12 mm korištena je kod TN\_1 do TN\_4, a ostali elementi obloženi su OSB pločom debljine 15 mm, s tim da je kod tipa TN\_6 korištena obostrana obloga. Dakle, pomak zidnog elementa  $\Delta$  suma je pojedinačnih pomaka koji proizlaze iz deformacije spojnih sredstava  $\Delta sh$  (skoba) na spoju između drvenog okvira i obloge, iz rotacije zida kao krutog tijela (aktivacija sidara),  $\Delta h$ , iz klizanja zida kao krutog tijela (deformacija posmičnih nosača), te iz posmične deformacije obložnih ploča  $\Delta p$ . U ovom su radu korištene postavke prikazane u literaturi [3] za izračunavanje različitih krutosti zidnih elemenata. Rezultati su prikazani u tablici 1. Parametri koji se primjenjuju u sljedećim jednadžbama definirani su kako slijedi:  $F_h$  – horizontalna sila,  $H$  – visina zida,  $k_c$  – krutost spojnog sredstva na spoju okvira i obloge,  $x_i$  i  $y_i$  – horizontalna i vertikalna udaljenost spojnih sredstava od središta obloge,  $L$  – dužina zida,  $q_v$  – raspoređeno vertikalno opterećenje zida,  $k_d$  – krutost sidrenog priključka u vlaku,  $k_{s,i}$  – otpornost posmičnih kutnih priključaka na klizanje,  $G_p$  – posmična krutost obloge,  $n$  – broj obloženih strana zida,  $t_p$  – debljina obloge.

$$\Delta = \Delta s_{os} + \Delta o + \Delta a + \Delta p \tag{1}$$

$$\Delta sh = \frac{F_h \cdot H^2}{k_c} \cdot \left[ \frac{1}{\sum_{i=1}^n x_i^2} + \frac{1}{\sum_{i=1}^n y_i^2} \right] \tag{2}$$

$$\Delta_n = \begin{cases} \frac{H}{L} \cdot \left( \frac{F_h \cdot H}{L} \right); q_v = 0 \\ \frac{H}{L} \cdot \left( \frac{F_h \cdot H}{L} - \frac{q_v \cdot L}{2} \right) \cdot \frac{1}{k_d}; 0 < q_v < \frac{F_H \cdot H}{2 \cdot L^2} \\ 0; q_v \geq \frac{F_H \cdot H}{2 \cdot L^2} \end{cases} \tag{3}$$

$$\Delta a = \frac{F_h}{\sum_{i=1}^n k_{s,i}} \tag{4}$$

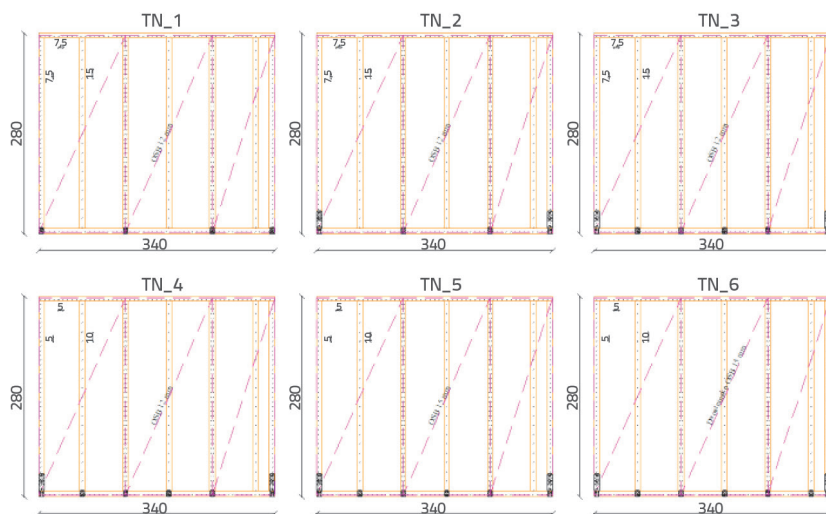
$$\Delta p = \frac{F_h \cdot h}{G_p \cdot n \cdot t_p \cdot L} \tag{5}$$

Ukupna krutost zidnog elementa može se iskazati ovako:

$$\frac{1}{K_{tot}} = \frac{1}{K_{sh}} + \frac{1}{K_p} + \frac{1}{K_a} + \frac{1}{K_h} \tag{6}$$

Pomak zidnog elementa može se iskazati kao:

$$\Delta = \frac{F_H}{K_{tot}} \tag{7}$$



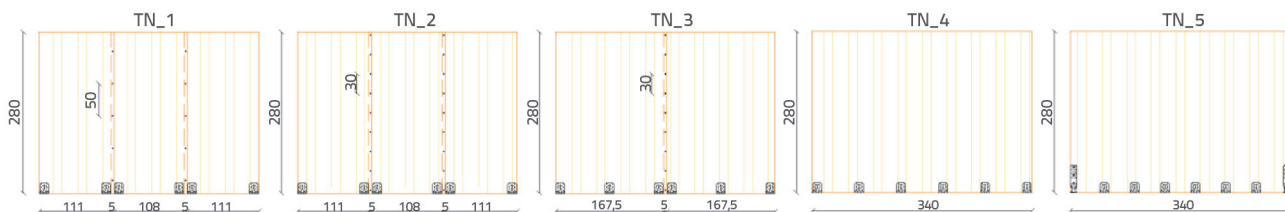
Slika 1. Variranje posmičnih zidova drvene okvirne konstrukcije

Tablica 1. Proračun deformacija i krutosti uzoraka zida drvene okvirne konstrukcije

Deformacija spojnih sredstava (okvir do obloge)												Rotacija zidova				Horizontalno klizanje zidova				Deformacija vanjske obloge				Suma	
Uzorci	F [kN]	q [kN/m]	n <sub>bs</sub>	s <sub>c</sub> [cm]	K <sub>c</sub> [kN/cm]	α	η	ζ	Δsh [cm]	k <sub>sh</sub> [kN/cm]	k <sub>h</sub> [kN/cm]	r <sub>hd</sub> [cm]	Δh	k <sub>h</sub> [kN/cm]	n <sub>sk</sub> [kN/cm]	k <sub>sk</sub> [kN/cm]	Δk <sub>sk</sub> [kN/cm]	K <sub>sk</sub> [kN/cm]	G <sub>p</sub> [kN/cm]	t <sub>p</sub> [cm]	Δh <sub>p</sub> [cm]	K <sub>p</sub> [kN/cm]	Δtot [cm]	K <sub>tot</sub> [kN/cm]	
3-EN	TN_1	27,5	36,3	1,0	7,5	4,2	0,8	0,6	0,5	0,4	104,1	16,0	332,0	0,0	/	4,0	16,0	0,4	93,1	50,0	1,2	0,4	106,0	1,2	23,1
	TN_2	27,5	36,3	1,0	7,5	4,2	0,8	0,6	0,5	0,4	71,5	32,0	332,0	0,0	/	2,0	16,0	0,9	46,5	50,0	1,2	0,4	106,0	1,6	17,0
	TN_3	27,5	36,3	1,0	7,5	4,2	0,8	0,6	0,5	0,4	71,5	32,0	332,0	0,0	/	4,0	16,0	0,4	93,1	50,0	1,2	0,4	106,0	1,2	23,1
	TN_4	27,5	36,3	1,0	5,0	4,2	0,8	0,6	0,5	0,3	107,3	32,0	332,0	0,0	/	4,0	16,0	0,4	93,1	50,0	1,2	0,4	106,0	1,1	25,9
	TN_5	27,5	36,3	1,0	5,0	4,2	0,8	0,6	0,5	0,3	107,3	32,0	332,0	0,0	/	4,0	16,0	0,4	93,1	50,0	1,5	0,3	132,5	1,0	27,8
	TN_6	27,5	36,3	2,0	5,0	4,2	0,8	0,6	0,5	0,3	107,3	32,0	332,0	0,0	/	5,0	16,0	0,3	116,4	50,0	1,5	0,2	264,9	0,8	36,6
2-EN	TN_1	37,5	18,8	1,0	7,5	4,2	0,8	0,6	0,5	0,5	76,3	16,0	332,0	0,0	/	4,0	16,0	0,6	68,3	50,0	1,2	0,5	77,7	1,6	23,1
	TN_2	37,5	18,8	1,0	7,5	4,2	0,8	0,6	0,5	0,5	71,5	32,0	332,0	0,0	/	2,0	16,0	1,2	34,1	50,0	1,2	0,5	77,7	2,2	17,0
	TN_3	37,5	18,8	1,0	7,5	4,2	0,8	0,6	0,5	0,5	71,5	32,0	332,0	0,0	/	4,0	16,0	0,6	68,3	50,0	1,2	0,5	77,7	1,6	23,1
	TN_4	37,5	18,8	1,0	5,0	4,2	0,8	0,6	0,5	0,3	107,3	32,0	332,0	0,0	/	4,0	16,0	0,6	68,3	50,0	1,2	0,5	77,7	1,5	25,9
	TN_5	37,5	18,8	1,0	5,0	4,2	0,8	0,6	0,5	0,3	107,3	32,0	332,0	0,0	/	4,0	16,0	0,6	68,3	50,0	1,5	0,4	97,1	1,3	27,8
	TN_6	37,5	18,8	2,0	5,0	4,2	0,8	0,6	0,5	0,3	107,3	32,0	332,0	0,0	/	5,0	16,0	0,5	85,3	50,0	1,5	0,2	194,3	1,0	36,6
1-EN	TN_1	8,0	8,3	1,0	7,5	4,2	0,8	0,6	0,5	0,1	357,7	16,0	332,0	0,0	/	4,0	16,0	0,1	320,0	50,0	1,2	0,1	364,3	0,3	23,1
	TN_2	8,0	8,3	1,0	7,5	4,2	0,8	0,6	0,5	0,1	71,5	32,0	332,0	0,0	/	2,0	16,0	0,3	160,0	50,0	1,2	0,1	364,3	0,5	17,0
	TN_3	8,0	8,3	1,0	7,5	4,2	0,8	0,6	0,5	0,1	71,5	32,0	332,0	0,0	/	4,0	16,0	0,1	320,0	50,0	1,2	0,1	364,3	0,3	23,1
	TN_4	8,0	8,3	1,0	5,0	4,2	0,8	0,6	0,5	0,1	107,3	32,0	332,0	0,0	/	4,0	16,0	0,1	320,0	50,0	1,2	0,1	364,3	0,3	25,9
	TN_5	8,0	8,3	1,0	5,0	4,2	0,8	0,6	0,5	0,1	107,3	32,0	332,0	0,0	/	4,0	16,0	0,1	320,0	50,0	1,5	0,1	455,4	0,3	27,8
	TN_6	8,0	8,3	2,0	5,0	4,2	0,8	0,6	0,5	0,1	107,3	32,0	332,0	0,0	/	5,0	16,0	0,1	400,0	50,0	1,5	0,0	910,7	0,2	36,6

Tablica 2. Otpornost na posmik uzoraka zida drvene okvirne konstrukcije

Nosivost posmičnih zidova (metoda A, EN 1995-1)							Posmična nosivost pri korištenju posmičnih nosača	Posmična nosivost pri korištenju sidrenih priključaka	Posmična nosivost	
Uzorci	Razmak spojnih sredstava [cm]	Broj obloženih strana	Debljina obloge [mm]	F <sub>v</sub> , R <sub>k</sub> [kN]	F <sub>v</sub> , R <sub>d</sub> [kN] (I)	F <sub>v</sub> , R <sub>d</sub> [kN/m'] (II)	F <sub>v</sub> , R <sub>d</sub> [kN] (I)	F <sub>v</sub> , R <sub>d</sub> [kN] (II)	F <sub>v</sub> , R <sub>d</sub> min [kN] (I)	
3-EN	TN_1	7,5	1	12	29,4	32,3	9,5	26,0	82,0	9,5
	TN_2	7,5	1	12	29,4	32,3	9,5	21,8	101,5	9,5
	TN_3	7,5	1	12	29,4	32,3	9,5	34,8	101,5	9,5
	TN_4	5,0	1	12	44,1	48,5	14,3	34,8	101,5	14,3
	TN_5	5,0	1	15	44,3	48,7	14,3	34,8	120,3	14,3
	TN_6	5,0	2	15	88,5	97,4	28,6	41,3	120,4	28,6
2-EN	TN_1	7,5	1	12	29,4	32,3	9,5	26,0	55,8	9,5
	TN_2	7,5	1	12	29,4	32,3	9,5	21,8	75,4	9,5
	TN_3	7,5	1	12	29,4	32,3	9,5	34,8	94,1	9,5
	TN_4	5,0	1	12	44,1	48,5	14,3	34,8	94,1	14,3
	TN_5	5,0	1	15	44,3	48,7	14,3	34,8	94,1	14,3
	TN_6	5,0	2	15	88,5	97,4	28,6	41,3	94,2	28,6
1-EN	TN_1	7,5	1	12	29,4	32,3	9,5	26,0	27,8	9,5
	TN_2	7,5	1	12	29,4	32,3	9,5	21,8	47,3	9,5
	TN_3	7,5	1	12	29,4	32,3	9,5	34,8	66,1	9,5
	TN_4	5,0	1	12	44,1	48,5	14,3	34,8	66,1	14,3
	TN_5	5,0	1	15	44,3	48,7	14,3	34,8	66,1	14,3
	TN_6	5,0	2	15	88,5	97,4	28,6	41,3	66,2	28,6



Slika 2. Variranje križno lameliranih drvenih posmičnih zidova

Segmenti zida mogu se modelirati zamjenskim dijagonalama odgovarajuće krutosti. Treba međutim napomenuti da na krutost segmenta zida (aktivaciju sidrenog priključka) također djeluje vertikalno i horizontalno opterećenje.

Nosivost zidova drvenog okvira izračunana je u skladu s normom EN 1995-1-1 i metodom A (tablica 3.), a nosivost učvršćenja zida određena je u skladu s nosivošću kutnika (ETA-07/O285). Krutost i nosivost analiziranih segmenata drvene okvirne konstrukcije prikazana je u izrazu (6) i u tablici 3., iz kojih se vidi da raspon krutosti između zidnih sklopova TN\_1 i TN\_6 varira od 17,0 kN / cm do 36,6 kN / cm te da raspon nosivosti varira od 9,5 kN do 28,6 kN u slučaju kombinacije izvanrednog opterećenja. Kod otprilike dvostrukog variranja krutosti zidnih segmenata, njihova nosivost varira za otprilike tri puta. U svim je slučajevima relevantni kriterij bio mehanizam spojnih sredstava na spoju između drvenog okvira i obložnih panela, a nosivost nosača u posmiku i vlaku bila je veća od nosivosti samog zida. Iako trenje koje se u stvarnosti javlja između zidnog elementa i međukatne konstrukcije također u određenoj mjeri utječe na duktilnost, taj je utjecaj u ovim proračunima zanemaren. To se odnosi i na vertikalno opterećenje koje može ili spriječiti ili umanjiti pojavu uzdizanja na rubovima zidnog elementa. U prikazanom je slučaju vertikalno opterećenje bilo dovoljno veliko pa do aktivacije sidrenog priključka uopće nije ni dolazilo.

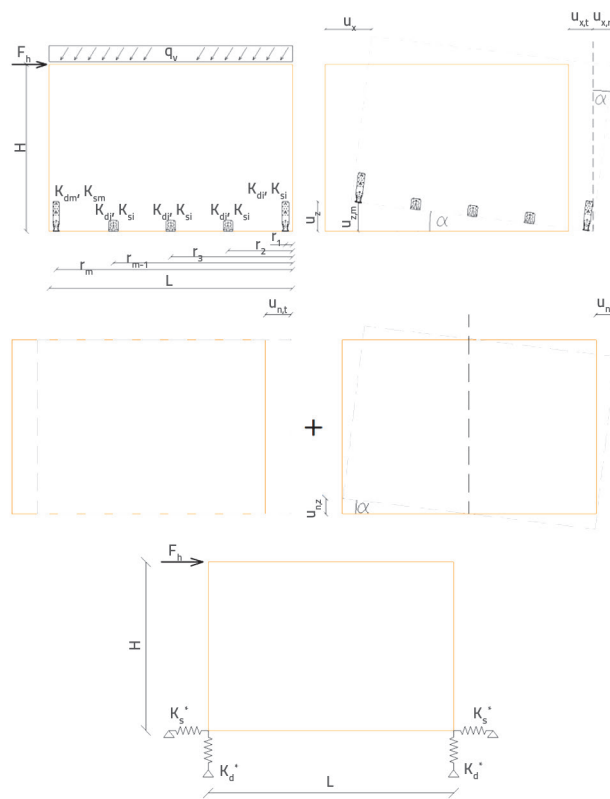
## 2.2. Sustav od križno lamelirane drvene konstrukcije

U slučaju križno lamelirane drvene konstrukcije (Xlam) ili zidnog segmenta Xlam, krutost konstrukcije varirana je pomoću sidrenog priključka, broja preklopnih spojeva u zidnom segmentu te pomoću broja vijaka u preklopnim spojevima. U svim su slučajevima zidni segmenti izrađeni od križno lamelirane građe CLT C3 debljine 100 mm, s vanjskim vertikalnim slojevima debljine 3 cm, te sa središnjim horizontalnim slojem debljine 4 cm. Ti su segmenti učvršćeni priključcima tipa ABR 105 proizvođača Simpson Strong-Tie, a element TN\_5 dodatno učvršćen je sidrima tipa KR 285.

Elementi TN\_1, TN\_2 i TN\_3 sastojali su se od dva ili tri zidna segmenta s tim da je preklopni spoj u elementima TN\_2 i TN\_3 osiguran samoureznim vijcima HBS 8x80 mm na udaljenosti od 30 cm tj. na udaljenosti od 50 cm za element TN\_1.

Zidni su segmenti modelirani kao ortotropni segmenti pomoću programa SAP 2000 (slike 4. i 5.) pri čemu su korišteni koeficijenti smanjenja krutosti [2]. Kao i kod drvenih okvirnih

konstrukcija, pomak zidnog elementa sastojao se od pomaka zbog deformacije križno lameliranog zida, pomaka zbog posmične deformacije nosača, pomaka zbog rotacije zida ili deformacije sidrenih priključaka u vlaku i zbog deformacija preklopnih spojeva uzastopnih zidnih segmenata. Svojstva segmenata Xlam vrlo dobro su prikazana u radu [26].



Slika 3. Proračunski model

Odzivi vijaka i posmičnih nosača simetrični su i to bez obzira na horizontalan smjer opterećenja, a ponašanje sidrenih priključaka u vlaku izrazito je asimetrično pri mehanizmu njihanja jer u slučaju odizanja zidnog segmenta na jednoj strani dolazi do aktivacije sidra u vlaku, dok s druge strane zidnog elementa dolazi do pojave potisnih sila te se u tom slučaju opterećenje prenosi kroz kontakt. U ovom posljednjem slučaju javlja se problem u modeliranju konstrukcija za potrebe modalne analize, gdje se ne dopušta nelinearno modeliranje elemenata. Zbog toga je u analiziranom slučaju postojeći sustav

Tablica 3. Proračun krutosti zamjenskih opruga i križno lameliranih elemenata

Opterećenje						Posmični nosač		Sidreni priključak		Krutost zamjenskih opruga		Horizontalni pomak [cm]	K [kN/cm]	
Uzorci	Lw [m]	Fh [kN]	q [kN/m]	Fdv [kN]	Q [kN]	Ks [kN/m]	Kdv [kN/m]	Ks [kN/m]	Kdv [kN/m]	Ks* [kN/m]	Kd* [kN/m]			
3_EN	TN_1	1,13	18,3	36,4	31,7	41,1	2000,0	2000,0	2000,0	2000,0	2000,0	6931,91	3,81	21,0
	TN_2	1,13	18,3	36,4	31,7	41,1	2000,0	2000,0	2000,0	2000,0	2000,0	6931,91	3,24	24,7
	TN_3	1,70	27,5	36,4	29,9	61,8	2000,0	2000,0	2000,0	2000,0	3000,0	13775,09	2,45	32,7
	TN_4	3,40	55,0	36,4	-45,2	123,7	2000,0	2000,0	2000,0	2000,0	6000,0	/	0,99	80,8
	TN_5	3,40	55,0	36,4	-45,2	123,7	2000,0	2000,0	0,0	3200,0	6000,0	/	0,94	85,1
2_EN	TN_1	1,13	12,5	22,8	22,9	25,8	2000,0	2000,0	2000,0	2000,0	2000,0	6537,8	3,53	19,8
	TN_2	1,13	12,5	22,8	22,9	25,8	2000,0	2000,0	2000,0	2000,0	2000,0	6537,8	3,02	23,2
	TN_3	1,70	35,0	22,8	72,1	38,8	2000,0	2000,0	2000,0	2000,0	3000,0	7286,2	2,41	29,0
	TN_4	3,40	37,5	22,8	-19,3	77,5	2000,0	2000,0	2000,0	2000,0	6000,0	/	1,17	59,8
	TN_5	3,40	37,5	22,8	-19,3	77,5	2000,0	2000,0	0,0	3200,0	6000,0	/	1,01	69,3
1_EN	TN_1	1,13	5,3	8,3	10,6	9,3	2000,0	2000,0	2000,0	2000,0	2000,0	5981,5	1,55	19,4
	TN_2	1,13	5,3	8,3	10,6	9,3	2000,0	2000,0	2000,0	2000,0	2000,0	5981,5	1,32	22,7
	TN_3	1,70	6,0	8,3	6,1	14,0	2000,0	2000,0	2000,0	2000,0	3000,0	14805,7	1,08	27,8
	TN_4	3,40	16,0	8,3	0,3	28,1	2000,0	2000,0	2000,0	2000,0	6000,0	1,3 · 10 <sup>6</sup>	0,55	54,5
	TN_5	3,40	16,0	8,3	0,3	28,1	2000,0	2000,0	0,0	3200,0	6000,0	2,1 · 10 <sup>6</sup>	0,47	63,8

prebačen u sustav zamjenskih opruga (slika 3.) uzimajući u obzir odgovarajuću krutost spojnih elemenata (nosača), dok je deformacija zidnih elemenata uzeta u obzir kroz razmatranje karakteristika materijala.

Početna točka transformacije bila je jednakost horizontalnih pomaka stvarnog i alternativnog modela, kao što se to može vidjeti u [20] gdje se horizontalni pomak sastoji od translacije i rotacije krutog tijela:

$$u_x = u_{x,t} + u_{x,r} \tag{8}$$

U nastavku su prikazane zamjenske posmične i "uzdižice ili vertikalne" krutosti zamjenskih opruga [21]:

$$K_s^* = 0,5 \cdot \sum_{i=1}^m K_{s,i} \tag{9}$$

$$K_d^* = \frac{\frac{2}{L^2} \sum_{i=1}^m K_i \langle r_i^2 \rangle}{1 - \frac{q \cdot L^2}{2 \cdot F \cdot H}} \tag{10}$$

Parametri iz izraza (10) definirani su kako slijedi: H – visina zida, K<sub>i</sub> – vlačna krutost sidrenog priključka i posmičnog kutnog priključka, q – raspoređeno vertikalno opterećenje zida, F<sub>h</sub> – horizontalna sila koja djeluje na zid, L – dužina zida, te r<sub>i</sub> – udaljenost nosača od tlačne strane zida. Vijci za drvo u preklopnim spojevima modelirani su pomoću prihvatljive linearne opruge (spoj u dvije točke) s posmičnim odzivom

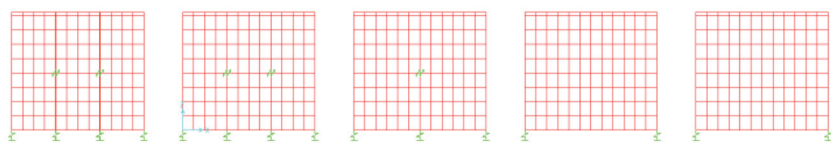
posmičnih vijaka koji je definiran na temelju krutosti prema normi EN 1995-1-1.

$$K_{ser\_TN\_2\&3} = n \cdot \frac{\rho_m^{1,25} \cdot d}{23} = 9 \cdot \frac{420^{1,5} \cdot 8}{23} = 2694,50 \text{ [N/mm]} \tag{11}$$

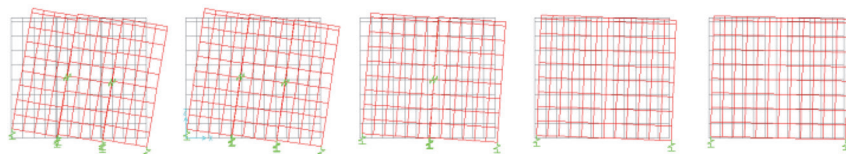
$$K_{ser\_TN\_1} = n \cdot \frac{\rho_m^{1,25} \cdot d}{23} = 5 \cdot \frac{420^{1,5} \cdot 8}{23} = 14969,5 \text{ [N/mm]} \tag{12}$$

Zidni segmenti opterećeni su nanošenjem koncentriranih horizontalnih sila. Zabilježeni odzivi prikazani su u tablici 3., a na slici 5. prikazan je primjer odziva jednokatnih zidnih elemenata tipa Xlam. Kako su svi primjeri zidnih elemenata bili jednake dužine ali su bili izvedeni na drugačiji način, uočeno je naglašeno različitovrsno ponašanje isto kao i različite vrijednosti krutosti zidnih sklopova. Kao što se moglo i očekivati, povećana je krutost zidnih elemenata Xlam od TN\_1 do TN\_5, dok je odziv elemenata varirao od naglašeno savojnog ili "njihajućeg" mehanizma kod zidnih elemenata TN\_1 i TN\_2 gdje je došlo do rotacije zidnih elemenata, pa do dominantno posmičnog odziva ili translacije zidnih elemenata TN\_4 i TN\_5.

Tablica 3. prikazuje proračun krutosti zamjenskih opruga i zidnih segmenata. Kratica 3\_EN označava zidne segmente prvog kata nadogradnje za slučaj nadogradnje od tri dodatna kata, a kratica 2\_EN označava zidne segmente drugog kata nadogradnje kada se nadogradnja sastoji od dva kata. U svim slučajevima nadogradnje, tj. bilo da se radi o jednom, dva ili tri dodatna kata, kratica 1\_EN označava gornji kat nadogradnje.



Slika 4. Numerički modeli križno lameliranog zida sa zamjenskim oprugama (modelirano pomoću programa SAP 2000)



Slika 5. Deformacija numeričkih modela križno lameliranog zida sa zamjenskim oprugama

Krutost zidnih elemenata po pojedinim katovima prikazana je u tablicama 3 i 4. Iz tih se tablica može vidjeti da krutost zidova na prvom katu nadogradnje i za slučaj nadogradnje od tri kata (3\_EN) varira od 21,0 kN/cm do 85,1 kN/cm, a nosivost zidnog segmenta iznosi 33,6 kN, tj. 75,4 kN za najkrući segment (tablica 4.). To znači da se nosivost mijenja otprilike za dva puta ako se krutost zidova promijeni za četiri puta.

### 3. Parametarska studija

U okviru parametarske studije analiziran je najveći mogući niz osnovnih i postojećih građevina, koje su povećane po visini dodavanjem katova, te je definiran odziv različitih

nadogradnji isto kao i njihov utjecaj na postojeće građevine. U tom je smislu varirana krutost i broj katova osnovnih građevina kao i broj dodatnih katova te njihova krutost u pojedinim osnovnim građevinama. Tako je oblikovan niz od 18 različitih osnovnih građevina i 15 različitih nadogradnji, što drugim riječima znači da je nastalo 270 različitih dograđenih građevina, kao što je to prikazano na slici 7.

U niz osnovnih građevina ulaze građevine sastavljene od jednog do šest katova. Za sve su građevine predviđene tri razine krutosti: fleksibilna građevina (označena sa "F"), polukruta građevina (označena sa

"SR") i kruta građevina (označena sa "R"). Kriterij za određivanje krutosti bio je prirodni period ili njegovo povećanje u ovisnosti o broju katova. Mase osnovne građevine nisu mijenjane. Kod fleksibilnih građevina, prirodni period povećavan u koracima od po 0,3 s po katu. Kod polukrutih građevina, prirodni period povećavan je u koracima od po 0,2 s po katu, a kod krutih građevina povećavan je u koracima od po 0,1 s po katu. Tako su prirodni periodi za jednokatne krute, polukrute i fleksibilne osnovne građevine iznosili 0,1 s, 0,2 s i 0,3 s te su stoga prirodni periodi za šesterokatne osnovne građevine iznosili 1,8 s za fleksibilne, 1,2 s za polukrute i 0,6 s za krute osnovne građevine. Zbog šireg raspona krutosti zidova i zbog bitno više nosivosti, u

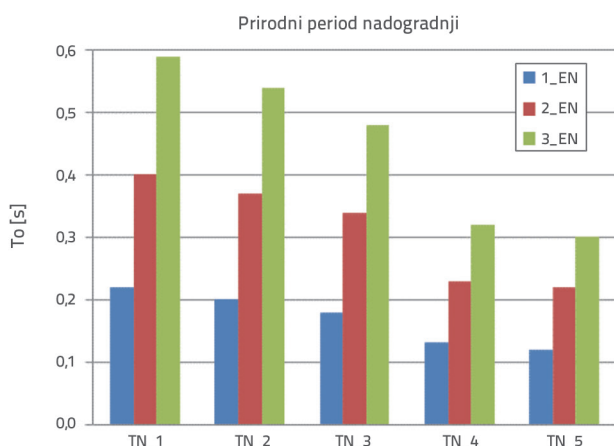
Tablica 4. Posmična nosivost križno lameliranih elemenata

					Karakteristična čvrstoća CLT elemenata		Posmik i savojna čvrstoća CLT zida		Posmična nosivost pri korištenju posmičnih nosača	Posmična nosivost pri korištenju sidrenih priključaka	Rezultirajuća posmična nosivost	
Uzorak	H [m]	L [m]	bef [cm]	n	$f_v, k$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$f_m, k$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$F_v, Rd$ [kN] (I)	$F_m, Rd$ [kN] (I)	$F_v, Rd$ [kN] (I)	$F_v, Rd$ [kN] (I)	$F_v, Rd_{min}$ [kN] (I)	
3_EN	TN_1	3,0	1,13	6,0	0,4	2,4	596,6	337,1	66,6	33,63	33,6	
	TN_2	3,0	1,13	6,0			3	596,6	337,1	66,6	33,63	33,6
	TN_3	3,0	1,7	6,0			2	598,4	508,6	66,6	48,66	48,7
	TN_4	3,0	3,4	6,0			1	598,4	1017,3	66,6	93,49	66,6
	TN_5	3,0	3,4	6,0			1	598,4	1017,3	75,4	130,94	75,4
2_EN	TN_1	3,0	1,13	6,0	0,4	2,4	596,6	337,1	66,6	24,94	24,9	
	TN_2	3,0	1,13	6,0			3	596,6	337,1	66,6	24,94	24,9
	TN_3	3,0	1,7	6,0			2	598,4	508,6	66,6	35,55	35,6
	TN_4	3,0	3,4	6,0			1	598,4	1017,3	66,6	67,28	66,6
	TN_5	3,0	3,4	6,0			1	598,4	1017,3	75,4	104,74	75,4
1_EN	TN_1	3,0	1,13	6,0	0,4	2,4	596,6	337,1	66,6	15,66	15,7	
	TN_2	3,0	1,13	6,0			3	596,6	337,1	66,6	15,66	15,7
	TN_3	3,0	1,7	6,0			2	598,4	508,6	66,6	21,54	21,5
	TN_4	3,0	3,4	6,0			1	598,4	1017,3	66,6	39,25	39,3
	TN_5	3,0	3,4	6,0			1	598,4	1017,3	75,4	76,71	75,4

Tablica 5. Mase osnovnih i nadograđenih građevina

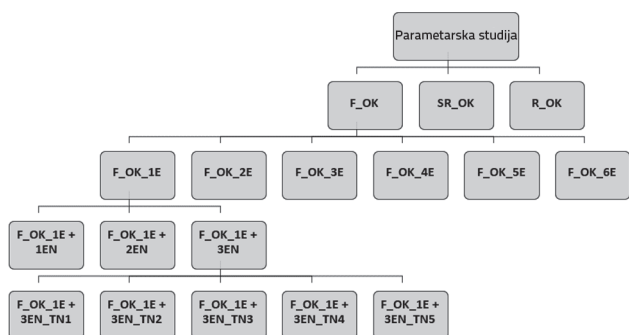
	OK	OK + 1EN		OK + 2EN		OK + 3EN	
	M [(Ton]	M [(Ton]	ΔM [%]	M [(Ton]	ΔM [%]	M [(Ton]	ΔM [%]
1 E_OK	7,9	13,1	65,8 %	17,7	124,1 %	22,3	182,3 %
2 E_OK	19,9	24,7	24,1 %	29,3	47,2 %	33,9	70,4 %
3 E_OK	31,5	36,3	15,2 %	40,9	29,8 %	45,5	44,4 %
4 E_OK	43,1	47,9	11,1 %	52,5	21,8 %	57,2	32,7 %
5 E_OK	54,7	59,5	8,8 %	64,1	17,2 %	68,8	25,8 %

parametarskoj studiji nadogradnji korišten je križno lamelirani sustav prikazan u točki 2.2. Slika 6 prikazuje prirodne periode samih nadogradnji za sklopove TN\_1, TN\_2, TN\_3, TN\_4 i TN\_5 kod jednokatnih, dvokatnih i trokatnih nadogradnji s odgovarajućim krutostima. Za sve slučajeve nadogradnji s istim brojem katova zabilježen je gotovo dvostruki odnos vremenskih perioda između sklopova TN\_1 i TN\_5.



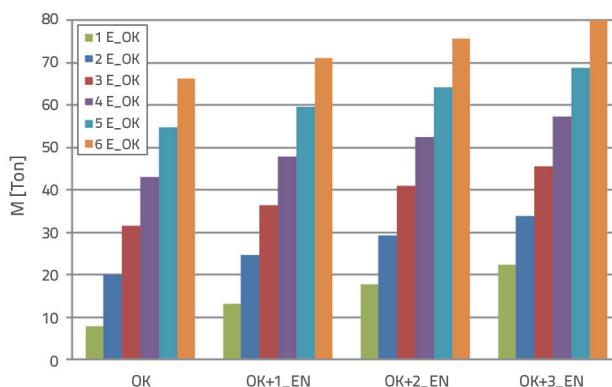
Slika 6. Prirodni periodi nadogradnji od križno lameliranih elemenata

Na primjeru su prikazana značenja kratica i simbola, a detaljniji opis konstrukcija daje se u točkama koje slijede:  
 R\_OK\_5E + 1EN\_TN1: Kruta petokatna osnovna građevina s jednokatnom nadogradnjom krutosti 1



Slika 7. Djelomični prikaz niza nadograđenih građevina uključenih u parametarsku studiju

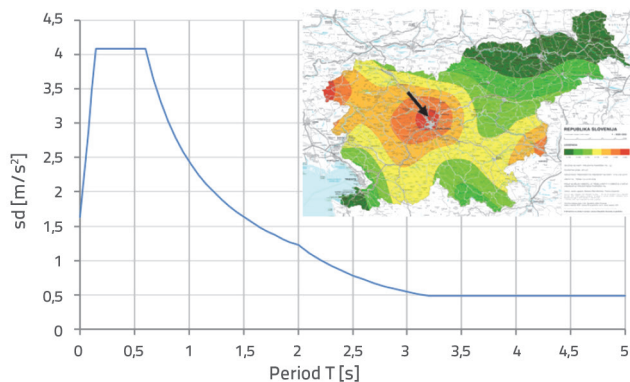
U parametarskoj su studiji razmatrani dijelovi građevine, ali ne i čitava građevina. Razmatran je dio konstrukcije duge 3,4 m baš kao i kod segmenata drvenih zidova prikazanih u točki o modeliranju konstrukcije. Mase postojećih i nadograđenih građevina izračunane su za slučaj širine utjecaja od 3,5 m, kao što je to prikazano u tablici 5 i slici 8.



Slika 8. Usporedba između masa osnovnih i nadograđenih građevina

U parametarskoj su studiji potresne analize provedene pomoću programa SAP 2000. Kako bi se pokrile sve razine krutosti različitih konstrukcijskih sustava i materijala, osnovne su građevine modelirane zamjenskim dijagonalama koje odgovaraju poželjnom povećanju prirodnih perioda na svakom katu. Križno lamelirane drvene nadogradnje modelirane su kako je to prikazano u točki 2.2. Mase su modelirane kao mase koncentrirane na razinama pojedinačnih katova. Za sve primjere osnovnih i nadograđenih građevina i nadogradnji provedena je modalna analiza sa spektrom odziva, i to za tlo tipa A ( $S = 1,0$ ), za ubrzanje tla od  $a_g = 0,25$  g (povratno razdoblje: 475 godina) i za faktor ponašanja  $q = 1,5$ . Spektar odziva odabran je za Ljubljanu, glavni grad Slovenije (slika 9.). Prema zahtjevima norme EN 1998-1, suma efektivnih modalnih masa razmatranih oblika trebala je iznositi barem 90 % od ukupne pobuđene mase. Međutim, kod svih oblika koji su analizirani u ovom radu usvojeno je 100 % pobuđene mase. Ako bi se zanemarila ukupna pobuđena masa, to bi dovelo do neusklađenosti u usporedbi rezultata modalne analize spektra odziva.





Slika 9. Krivulja spektra odziva

### 3.1. Rezultati parametarske studije

Rezultati parametarske studije analizirani su za sve katove osnovnih građevina (fleksibilni, polukruti i kruti) ovisno o broju nadograđenih katova i krutosti nadogradnje. Rezultati su uspoređeni u funkciji  $T_0/T_n$ , gdje je  $T_0$  prirodni period osnovne građevine, a  $T_n$  je prirodni period same nadogradnje. Odnos je niži kod fleksibilnijih nadogradnji s višim periodima. Sljedeće su vrijednosti definirane i uspoređene ovisno o odnosu prirodnih perioda: posmik na kontaktu s temeljem, pomak na vrhu osnovne građevine, promjene u poprečnoj/posmičnoj sili na najgornjem katu postojeće građevine, te ukupna poprečna sila nadogradnje. Kako bi rezultati bio što razumljiviji te kako bi se postiglo što obuhvatnije praćenje odziva, rezultati su prikazani i u obliku dijagrama međukatnih pomaka i poprečnih sila na svakom katu [21].

### 3.2. Rezultati nadogradnje osnovne fleksibilne građevine

Osim u slučaju jednokatnih građevina, osnovne fleksibilne građevine nalaze se izvan platoa spektra ubrzanja pa stoga imaju relativno nisku razinu potresnih sila u usporedbi s krućim građevinama koje se analiziraju u sljedećim podtočkama. Potresno se djelovanje smanjuje izvan ili iznad područja maksimalnog odziva (plato u spektru odziva).

Na temelju rezultata o ukupnim potresnim silama te o povećanju međukatnih pomaka, utvrđeno je da u većini slučajeva vrijednosti rastu. U slučaju nadogradnje dvokatnih i trokatnih osnovnih građevina (F\_OK\_2E i D\_OK\_3E), na prizemlju je uočen blagi pad poprečne sile u podnožju i međukatnog pomaka pri određenim razinama krutosti nadogradnje. Općenito uzevši, svi rezultati (ukupne potresne sile, poprečne sile na razinama katova i katni pomak) svjedoče o utjecaju krutosti nadogradnje na potresna opterećenja. U ta dva slučaja, situacija je takva da variranje krutosti može povoljno ili nepovoljno utjecati na postojeću građevinu ili na njezine (niže) katove. Općenito se može reći da je u svim slučajevima zabilježen povoljniji utjecaj fleksibilnih nadogradnji.

U nekim se slučajevima bilježe povoljni utjecaji zbog povoljnog odnosa smanjenja vrijednosti u spektru odziva kao posljedice povećanja prirodnih perioda građevine te ograničenog povećanja mase. Taj je utjecaj uočljiv u slučajevima najnižega pada vrijednosti u spektru odziva. U slučajevima nadogradnje osnovnih višekatnih građevina, nadogradnja nije upućivala na povoljne utjecaje unatoč manjem postotku povećanja mase. Takav je primjer nadogradnja šesterokatnice, gdje je promjena vrijednosti u utjecajnom dijelu spektra odziva nadograđene šesterokatnice vrlo mala te je stoga utjecaj vrlo nizak.



Slika 10. Variranje sume poprečnih sila za sve katove postojeće fleksibilne građevine

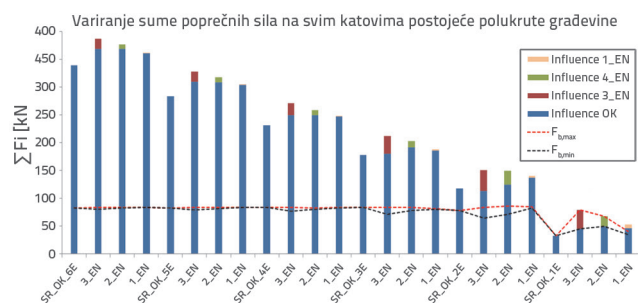
### 3.3. Rezultati nadogradnje polukrutih osnovnih građevina

Prirodni periodi svih osnovnih građevina polukrutog tipa, osim jednokatnih i dvokatnih građevina, nalaze se izvan ili iznad platoa spektra odziva, ali su više pozicionirane u spektru ubrzanja od fleksibilnih građevina (F\_OK). Stoga su potresna opterećenja nešto viša od vrijednosti zabilježenih kod osnovnih fleksibilnih građevina.

Kada se nadograđuju građevine s 2, 3, 4, 5 i 6 katova, mogu se uočiti povoljni učinci nadogradnje i to naročito na prizemlju, a isto vrijedi i za prvi kat osnovnih građevina s 3, 4, 5 i 6 katova. Ako se nadogradnja provodi na postojećim građevinama s 2, 3 i 4 kata, može se uočiti da je utjecaj nadogradnje s dva ili tri dodatna kata čak povoljniji od utjecaja pri dodavanju samo jednog kata, i to bez obzira na veću dodatnu težinu. Pad poprečnih sila na nižim katovima može se objasniti padom vrijednosti u spektru odziva, koji je jasno dominantan u odnosu na dodatnu masu zbog dodavanja više katova. Poprečne sile logično rastu zbog dodatne mase postojeće građevine i to na gornjem postojećem katu u svim slučajevima, a ponekad i na nižim katovima.

Općenito uzevši, sve uočene promjene (ukupne potresne sile, katne poprečne sile i katni pomaci) pokazuju da promjena krutosti nadogradnje može bitno utjecati na potresno opterećenje. U nekim je slučajevima zabilježen povoljan utjecaj promjene krutosti nadograđene konstrukcije na poprečnu silu u podnožju, a taj je utjecaj ponekad iznosio i do 25 %. Utjecaj promjene krutosti nadogradnje smanjivao se sa smanjivanjem broja dodatnih katova. U svim slučajevima nadogradnje postojeće jednokatnice, utjecaj promjene krutosti nadogradnje

bio je logično najveći. Kao i u prethodnoj podtočki, u svim je slučajevima zabilježen povoljniji utjecaj fleksibilnijih nadogradnji. Povoljan utjecaj koji se javlja pri nadograđivanju postojećih građevina s 2, 3, 4, 5 i 6 katova može se objasniti povoljnim odnosom pada vrijednosti u spektru odziva, što je posljedica povećanja prirodnih perioda građevine te relativno malog porasta težine. Taj je utjecaj uočen u slučajevima najvećega pada u vrijednostima spektra odziva. Kod nadograđivanja osnovnih građevina s više postojećih katova nije zabilježen povoljan utjecaj nadogradnje unatoč malom postotku povećanja mase, a razlog tome je minimalno smanjenje spektra odziva.



Slika 11. Variranje sume poprečnih sila na svim katovima postojeće polukrute građevine

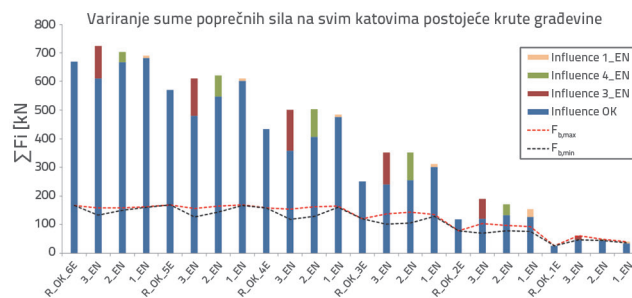
### 3.4. Rezultati nadogradnje krutih osnovnih građevina

Sve krute osnovne građevine, osim jednokatnih i šesterokatnih, nalaze se u rasponu spektra odziva. Zbog toga su razine horizontalnih opterećenja u tim slučajevima najviše. Nakon dodavanja novih katova dolazi do porasta prirodnih perioda, a taj porast ovisi o broju dodanih katova, krutosti nadogradnje te o dodatnoj težini. Ako se nadogradnja sastoji od tri nova kata, utjecaj je takav da se novi prirodni periodi u svim slučajevima nalaze izvan raspona maksimalnog potresnog djelovanja. Utjecaj na povećanje prirodnih perioda smanjuje se usporedo sa smanjivanjem broja dodanih katova.

U slučaju nadogradnje osnovnih građevina sastavljenih od 2, 3, 4, 5 i 6 katova, povoljni učinci nadogradnje uočavaju se na svim katovima osim na razini najvišega kata postojeće građevine. Smanjenje poprečnih sila i međukatnog pomaka na nižim katovima može se objasniti, kao i u prethodne dvije točke, smanjivanjem vrijednosti spektra ubrzanja, što je očito dominantno povezano s povećanjem mase zbog dodavanja novih katova. Smanjenje ukupne potresne sile u svim je slučajevima, osim kod nadogradnje postojećih jednokatnica, u najpovoljnijim slučajevima variralo od 15 % do 25 %, a povoljniji su rezultati u svim slučajevima zabilježeni kod fleksibilnijih nadogradnji. Utjecaj krutosti na nadograđenu konstrukciju najviši je u slučaju nadogradnje krutih osnovnih građevina, a u slučaju nadogradnji od tri kata taj utjecaj dovodi do promjene ukupne potresne sile i to u rasponu od 15 % do otprilike 50 %. Utjecaj je manji kod nadogradnji koje se sastoje od 1 ili 2 nova kata.

Na dijagramima međukatnog pomaka može se uočiti da u

slučaju fleksibilnijih nadogradnji dolazi do izrazitijeg porasta krutosti između osnovne građevine i nadogradnje, a kod krutih nadogradnji oblici su deformacija ravnomjerniji. Kako su križno lamelirane drvene konstrukcije uglavnom relativno krute (kod zidnih segmenata uobičajenih veličina), deformacije na razini gornjih katova ni u kojem slučaju ne prelaze 1 % visine kata, što je u skladu s najstrožim zahtjevima norme EN 1998-1 u kojoj se za provjeru deformacija propisuje primjena faktora umanjenja pomaka v.



Slika 12. Variranje sume poprečnih sila na svim katovima krute postojeće građevine

### 4. Analiza rezultata parametarske studije

U provedenoj parametarskoj studiji mijenjane su razine krutosti i broj katova kako bi se obuhvatio što veći raspon potencijalnih građevina koje bi se mogle izvesti dodavanjem katova na postojeće građevine. Građevine su dograđivane dodavanjem jednog, dva ili tri kata, a za sve je nadogradnje definirano pet različitih razina krutosti. Odabran je sustav nadogradnje Xlam jer omogućuje značajnije variranje krutosti, a ujedno se i odlikuje većom nosivošću zidnih elemenata. Ovo istraživanje pokazuje da se krutost elemenata Xlam može jednostavno i ekonomično u velikoj mjeri promijeniti samim mijenjanjem sastava i konfiguracije spojnih elemenata, a da se pritom uopće ne mijenja globalna geometrija tih elemenata. Mijenjanjem krutosti mijenja se i nosivost čitavih zidnih sklopova ali se, prema navodima inozemnih autora, kod fleksibilnijih sustava manje nosivosti mogu usvojiti viši faktori umanjenja potresne sile, te stoga i manje horizontalne sile.

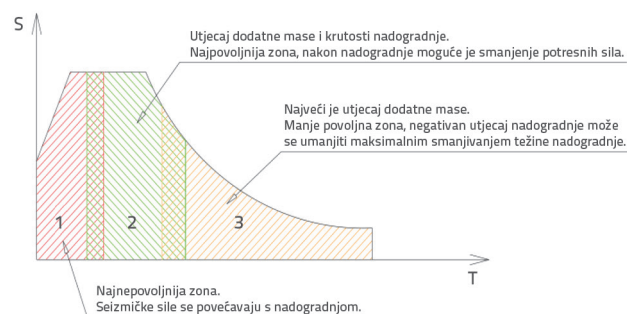
Promjene prirodnih perioda, potresnih sila, pomaka i međukatnih pomaka praćene su na temelju modalne analize spektra odziva, ovisno o broju dograđenih katova i variranju krutosti nadograđene konstrukcije. Bez obzira na krutost, povećava se udio u masi građevine. Na slikama 10., 11. i 12. prikazane su sume katnih poprečnih sila za postojeći dio građevine ( $S_{Qi}$ ) u primjerima postojećih i nadograđivanih građevina, sa smeđim (utjecaj 1\_EN), zelenim (utjecaj 2\_EN) i crvenim (utjecaj 3\_EN) dijelovima stupova koji pokazuju moguću razliku u poprečnim silama u odnosu na stupanj krutosti. Na dijagramima su također prikazane maksimalne ( $F_{b,max}$ ) i minimalne ( $F_{b,min}$ ) vrijednosti ukupne potresne sile (poprečna sila u podnožju) koje su dobivene na bazi variranja krutosti nadograđene konstrukcije. Prikazani

dijagrami pokazuju promjenu ukupne potresne sile ovisno o prirodnim periodima nadograđene konstrukcije, a iz njih se može zaključiti da utjecaj krutosti nadograđene konstrukcije raste s porastom krutosti osnovne građevine. Kada se nadogradnja fleksibilne osnovne građevine sastoji od tri dodana kata, maksimalni raspon promjene ukupne posmične sile iznosi više od 10 %. U slučaju srednje krute osnovne građevina taj raspon varira do 25 %, dok se u slučaju krute osnovne građevine bilježi variranje raspona do otprilike 45 %. Slučaj nadogradnje dodavanjem jednog kata nije uključen jer u tom slučaju ukupne potresne sile rastu znatno i to zbog značajnog povećanja mase. Na gornjem postojećem katu poprečne sile rastu u svim slučajevima, što je logična posljedica dodavanja mase na postojeću građevinu.

Rezultati detaljne parametarske studije pokazuju da krutost nadograđenog dijela građevine u svim slučajevima bitno utječe na odziv građevine. Fleksibilne nadogradnje povoljnije djeluju na promjene potresnih sila i pomake osnovne građevine, pri čemu variranje krutosti kod većeg broja dodatnih katova više utječe na odziv građevine u usporedbi s manjim brojem nadograđenih katova. U većini slučajeva, promjena krutosti nadograđenog dijela građevine utječe ili povoljno ili nepovoljno na promjenu potresnog opterećenja, što upućuje na važnost određivanja odgovarajuće krutosti nadograđenog dijela građevine.

Povoljniji utjecaj fleksibilnijih nadogradnji može se u većini slučajeva objasniti padom vrijednosti spektra odziva jer prirodni periodi najviše rastu kod fleksibilnih nadogradnji. Najveći pozitivni učinci zabilježeni su kod građevina kod kojih su se prirodni periodi u početku nalazili na platou spektra ubrzanja te su se nakon nadogradnje najviše udaljili od tog platoa (slika 13. – zona 2). Takve građevine su uglavnom polukrute osnovne građevine s 2, 3 i 4 kata te krute građevine s 3, 4, 5 i 6 katova. U vezi sa spomenutim građevinama, na slikama 11. i 12. uočava se pad ukupne potresne sile, dok u slučaju nadogradnje krutih osnovnih građevina dolazi do ravnomjernog smanjenja sume svih katnih poprečnih sila u postojećem dijelu građevine. U tim slučajevima, osim kod gornjeg postojećeg kata, nadograđeni dio građevine povoljno utječe na potresno opterećenje postojeće građevine u smislu općeg smanjenja tog opterećenja. U praksi su takvi primjeri građevina obično armiranobetonske građevine ili zidane građevine izvedene s relativno velikim udjelom zidnih elemenata ili stupova u odnosu na podnu površinu. Uz povoljan utjecaj smanjenja potresnog opterećenja na nižim katovima takvih građevina, na nosivost elemenata također povoljno utječe povećanje vertikalnog opterećenja nakon dogradnje. Savojna i posmična čvrstoća armiranobetonskih zidova ili stupova i stupova zidova raste s povećanjem vertikalnog opterećenja. Jedini izuzeci su slučajevi kada je takvo opterećenje tako veliko da elementi gube na duktilnosti, te je moguće popuštanje poprečnog presjeka zbog jakih tlačnih opterećenja. Takvi su slučajevi obično karakteristični za armiranobetonske stupove, a nisu tako česti kod zidnih elemenata.

U slučaju nadogradnje fleksibilnih osnovnih građevina, povoljan utjecaj nadogradnje je manji jer se vrijednosti bazirane na prirodnim periodima u ravnom dijelu spektra ubrzanja smanjuju u manjoj mjeri u odnosu na udio povećanja mase (slika 13. – zona 3). U većini se slučajeva potresni utjecaji bitno povećavaju u slučaju dograđivanja jednokatnih i dvokatnih krutih građevina. U slučaju jednokatnih građevina, prirodni periodi pomiču se u plato, a u slučaju dvokatnih osnovnih građevina prirodni periodi ostaju unutar platoa. Zadržavanje vrijednosti u spektru ubrzanja i povećanje mase građevine dovodi do bitnog povećanja potresnih utjecaja (slika 13. – zona 1). Na temelju rezultata parametarske studije, postojeće se građevine mogu shematski podijeliti u tri područja spektra ubrzanja, i to prema prikladnosti za nadograđivanje u smislu povećanja potresnog opterećenja i utjecaja svojstava nadograđene konstrukcije na potresna opterećenja (dodatna težina i krutost nadogradnje).



Slika 13. Prikladnost građevina za nadograđivanje ovisno o položaju u spektru ubrzanja

Rezultati parametarske studije dokazuju da promjena krutosti nadograđenog dijela građevine može utjecati na potresni odziv novih nadograđenih građevina. Može se uočiti da se u nekim slučajevima, ili u kombinacijama povoljnih osnovnih građevina i pogodnih nadogradnji, potresna sigurnost građevine može čak i poboljšati sa stajališta potresne izdržljivosti, a najveći povoljni učinci mogu se uočiti na kritičnim nižim katovima. U većini je slučajeva manje povećanje potresnog opterećenja uzrokovano primjenom fleksibilnijih nadogradnji, a u nekim su slučajevima ti učinci čak bili povoljni jer su doveli do smanjenja potresnog opterećenja i pomaka građevine. Slična je situacija uočena tijekom ispitivanja na vibracijskom stolu i to naročito u slučaju nadogradnje krutih osnovnih građevina s lakom i fleksibilnom čeličnom konstrukcijom [21] gdje su se pomaci u osnovnoj građevini smanjili nakon dodavanja novih katova. Ovo istraživanje pokazuje da na koristi od nadogradnje utječu dodatna težina nadogradnje i promjene u vrijednosti spektra ubrzanja. Zato se pri projektiranju takvih zahvata svaka nadogradnja treba analizirati kao zaseban slučaj. Naime, krutost i odnosi masa osnovnih građevina i dodanih konstrukcija razlikuju se od slučaja do slučaja, a oblik spektra ubrzanja definiran je i vrstom tla.

## 5. Umjesto zaključka - primjer iz projektantske prakse

Kada se pojavi ideja o nadogradnji neke postojeće građevine, projektanti najprije trebaju iznaći odgovor na sljedeća pitanja: koje materijale koristiti u gradnji dodatnog dijela građevine, te kada je izgrađena građevina koja se namjerava nadograditi. U radu su već navedeni razlozi zbog kojih se drvene okvirne konstrukcije ili konstrukcije Xlam smatraju pogodnima za izvođenje nadogradnji. Odgovor na drugo pitanje omogućuje nam da barem okvirno procijenimo način na koji je izvedena osnovna građevina u pogledu detalja i njenog ponašanja u smislu otpornosti na djelovanje potresa.

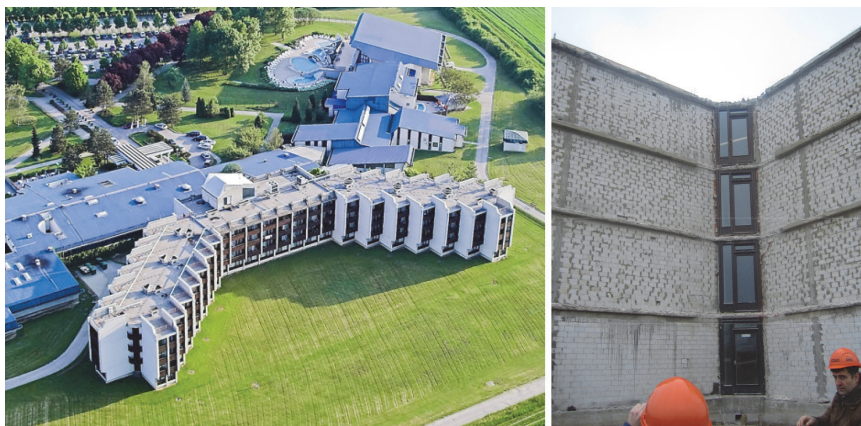
U Sloveniji i bivšoj Jugoslaviji prvi propisi o potresnim djelovanjima objavljeni su 1963. godine [37, 38]. 1981. godine na snagu su stupili propisi koji su se po zahtjevima prilično približili Eurokod normama [39]. Izmjene i dopune tih propisa objavljene su 1985. godine a njihova primjena trajala je sve do 2008. godine kada je uvedena obvezna primjena današnjih europskih normi. Sa svakom promjenom propisa dolazilo je do povećanja potresnih opterećenja, ali isto tako i do uvođenja sve strožih zahtjeva u pogledu što duktilnijega ponašanja građevina. U radu [21] prikazana je usporedba potresnih propisa u bivšoj Jugoslaviji, a taj prikaz uključuje potresna opterećenja i zahtjeve duktilnosti te usporedbu nosivosti.

U svakom slučaju, za samo projektiranje i analizu potrebni su dostatni ulazni podaci o postojećoj građevini, tj. potrebna je analiza nacрта na temelju kojih je izvedena građevina, pregled nacрта izvedenog stanja, inspekcija sadašnjeg stanja građevine, definiranje eventualnih oštećenja te, ako je moguće, analiza ugrađenih materijala i pojačanja poprečnog presjeka građevine. U nekim se slučajevima mjere i okolne vibracije te se dobiveni podaci koriste kao podloga za određivanje stanja građevine. Na postojećim građevinama se obično provode sljedeće analize: detaljna analiza nosivosti temelja, analiza nosivosti elemenata u pogledu preuzimanja vertikalnih opterećenja te potresna analiza. Ako su rezultati tih analiza povoljni, provodi se analiza građevine za stanje nakon nadogradnje. Kako bi se postigli što točniji rezultati u pogledu potresne otpornosti, provodi se i složena nelinearna analiza. U usporedbi s rezultatima jednostavnijih analiza, takvom se analizom dobivaju bolji rezultati, što se i postavlja kao cilj u nadogradnjama građevina [30]. U fazi projektiranja posebno se treba usmjeriti na nadogradnju, a naročito na potrebu zadržavanja niske dodatne težine (analizom konstrukcije i sastava katova, zidova i krovova) te na usklađivanje katnih nacрта s donjim dijelom građevine. Zidane konstrukcije, tj. konstrukcije od betonskih zidova pokazale su se kao najprikladnija podloga za nadograđivanje. Zbog velikog udjela zidnih elemenata može se očekivati dostatna potresna otpornost, a mala

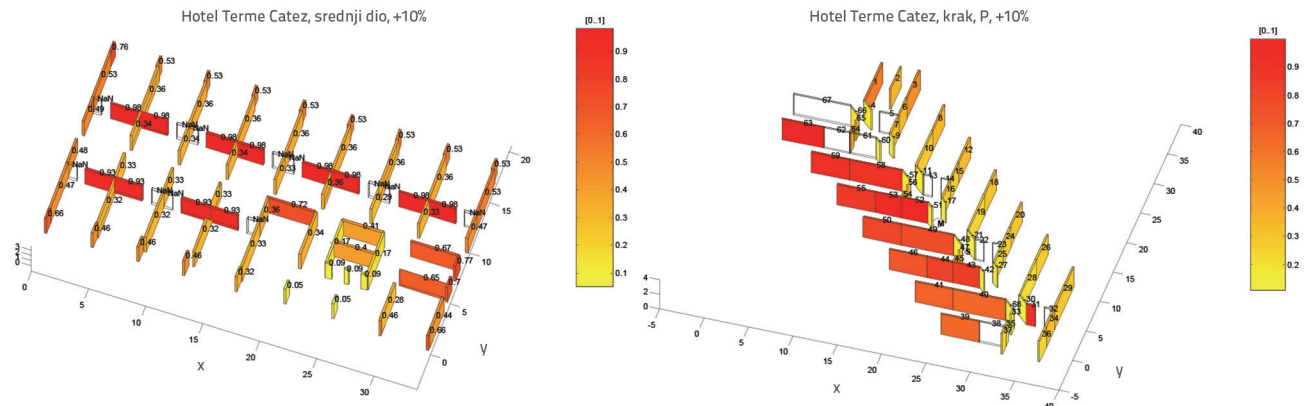
dodatna masa predstavlja vrlo mali udio u odnosu na težinu postojeće građevine. Kada se u nadogradnji koriste konstrukcije sa zidovima, prijenos opterećenja obično nije problematičan jer se opterećenja prenosi duž elemenata, što nije slučaj kod okvirnih konstrukcija. U nekim je slučajevima kritičan točkasti prijenos opterećenja, a to se naročito odnosi na prijenos horizontalnih opterećenja kada se trebaju upotrijebiti odgovarajuća spojna sredstva, te se treba dokazati dostatna nosivost osnovne građevine. Kada se radi o krutim osnovnim građevinama koje se nadograđuju primjenom fleksibilnijih građevina, a to su primjerice čelične konstrukcije s okvirima otpornima na savijanje, različiti dijelovi građevine (posebno nadograđeni dio i posebno prvobitna građevina) mogu se pobuditi primjenom različitih frekvencija pobuđivanja [19, 21]. Može se očekivati povećan odziv dograđene konstrukcije (takozvani "efekt biča"). U praksi se svaki slučaj treba razmotriti zasebno, a zahtjevi se trebaju razmatrati iznimno brižljivo i oprezno.

U nastavku je prikazan primjer nadogradnje Hotela Terme koji se nalazi u mjestu Brežice u Sloveniji. Hotel je izgrađen 1977. godine a projektiran je u skladu s potresnim propisima iz 1963. godine [37, 38] pri čemu je primijenjena metoda analize bočnih sila. Postojeća trokatna konstrukcija hotela (prizemlje + 3 kata) leži na trakastim temeljima, a vertikalna se konstrukcija sastoji od silikatnih zidova koji su obavijeni vertikalnim i horizontalnim sponama. Debljina armiranobetonskog krova i međukatnih konstrukcija iznosi 15 cm. Brojni armiranobetonski zidovi nalaze se u prizemlju središnjeg dijela građevine. Građevina se sastoji od tri dijela (lijevo krilo, središnji dio i desno krilo) koji su na svim katovima odvojeni dilatacijskim spojnica.

Potresnu otpornost postojeće građevine bez nadogradnje provjerila je u fazi projektiranja tvrtka CBD d.o.o. u suradnji s Građevinskim institutom ZRMK d.o.o. Nakon toga je provedena analiza s desetopostotnim povećanjem potresne mase, simuliranjem Xlam nadogradnje sastavljene od dva kata i tavana. Potresna otpornost analizirana je pomoću programa SREMB koji je osmišljen na Građevinskom institutu ZRMK. Program se temelji na metodi graničnih stanja i u njemu se analizira nelinearni odnos između opterećenja i deformacija. Na temelju rasporeda zidova i njihovih mehaničkih karakteristika,



Slika 14. Hotel Terme prije nadogradnje



Slika 15. Nosivost prvog kata (lijevo) i nosivost prizemlja (desno)



Slika 16. Montaža Xlam konstrukcije

tim se programom određuje histerezna anvelopa kritičnog kata. Proračun je pokazao da i postojeća građevina i građevina s dodatnim desetopostotnim povećanjem mase udovoljavaju uvjetima potresne otpornosti prema zahtjevima norme EN 1998-1. Analiza je pokazala da bi se u nekim zidovima pojavile velike pukotine tijekom očekivanog potresa (vršno ubrzanje tla od 0,225 g s povratnim razdobljem od 475 godina) ali da bi građevina ipak ostala stabilna, tj. ne bi došlo do njenog rušenja. Zbog armiranobetonskih zidova u središnjem dijelu prizemlja, pokazalo se da je u središnjem dijelu kritičan prvi kat, a u lijevom i desnom krilu kritično je prizemlje, kao što se uostalom moglo i očekivati. Za dokazanu dostatnu potresnu otpornost ove građevine zaslužan je relativno velik broj zidnih elemenata, u kombinaciji s dobrim stanjem konstrukcije (nema pukotina) i dostupnim podacima o konstrukciji i ugrađenim materijalima. Nakon što je donesena odluka o nadogradnji, provedena je modalna analiza spektra odziva čitave nadograđene građevine i u tu je svrhu korišten program ETABS. Postojeći zidani dio građevine modeliran je zamjenskim dijagonalama, a elementi Xlam modelirani su ljuskastim elementima. Rezultati analize pokazuju povećanje

prirodnih perioda te blago smanjenje potresnih sila bez obzira na povećanje mase. Promjena krutosti uzrokovala je promjenu spektra odziva i to od maksimuma prema nižim vrijednostima. Tijekom projektiranja posebno se pazilo o svođenju na minimum dodatne mase postojeće građevine, što je uključivalo i uklanjanje AB parapeta na krovu postojeće građevine, koji su predstavljali značajan dio mase u odnosu na drvenu nadogradnju. U fazi građenja je utvrđeno da se kosi beton ne može ukloniti s krova postojeće građevine. Težina tog betonskog dijela bila je jednaka težini drvenog tavanskog kata, te je na kraju odlučeno da se nadogradnja provede sa samo dva dodatna kata. Zgrada hotela u fazi montaže Xlam konstrukcije prikazana je na slici 16., a sa završenom nadogradnje na slici 17.



Slika 17. Dvršeni hotel s dva dodatna kata

## LITERATURA

- [1] Barner, C.: Blue Cross' Vertical Extension, *Midwest Construction*, 5 (2008).
- [2] Blass, H.J., Fellmøster, P.: Design of Solid Wood Panels with Cross Layers, *Proceedings of the 8<sup>th</sup> World Conference on Timber Engineering*, Lahti, Finland, 2004.
- [3] Casagrande, D., Rossi, S., Sartori, T., Tomasi, R.: *Analytical and Numerical Analysis of Timber Framed Shear Walls*, WCTE, Auckland, New Zealand, 2012.
- [4] Ceccotti, A., Lauriola, M., Pinna, M., Sandhaas, C.: SOFIE Project – Cyclic Tests on Cross-Laminated Wooden Panels, *Proceedings of the 9<sup>th</sup> World Conference on Timber Engineering*, Portland, Oregon, USA.
- [5] Cheng, Y., Jia, C., Zhang, Y.: Seismic Responses of an Added-Story Frame Structure with Viscous Dampers, *Mathematical Problems in Engineering*, 2014., Article ID: 468672.
- [6] Computers & Structures Inc.: *SAP2000 – Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures*, Berkeley, California, USA.
- [7] Dujic, B., Pucelj, J., Zarnic, R.: Testing of Racking Behavior of Massive Wooden Wall Panels, *Proceedings of the 37<sup>th</sup> CIB-W18 Meeting*, Edinburgh, Scotland, 2004.
- [8] Dujic, B., Aicher, S., Zarnic, R.: Testing of Wooden Wall Panels Applying Realistic Boundary Conditions, *Proceedings of the 9<sup>th</sup> World Conference on Timber Engineering*, Portland, Oregon, USA, 2006.
- [9] Eurocode 5, EN 1995-1-1: *Design of Timber Structures - Part 1-1: Common Rules and Rules for Buildings*, CEN, Brussels, Belgium, 2004.
- [10] Eurocode 8, EN 1998-1: *Design of Structures for Earthquake Resistance - Part 1: General Rules, Seismic Actions and Rules for Buildings*, CEN, Brussels, Belgium, 2004.
- [11] European Technical Assessment, ETA-14/0349: *OIB Austrian Institute of Construction Engineering*, Vienna, Austria, 2014.
- [12] European Technical Assessment, ETA-07/0285: *ETA-Danmark A/S, Göteborg, Denmark*, 2015.
- [13] Fragiocomo, M., Dujic, B., Sustersic, I.: Elastic and Ductile Design of Multi-Storey Crosslam Masive Wooden Buildings under Seismic Action, *Engineering Structures*, 33 (2011) 11, pp. 3043-3053
- [14] Gavric, I., Fragiocomo, M., Ceccotti, A.: Cyclic Behavior of CLT Wall Systems: Experimental Tests and Analytical Prediction Models, *J. Struct. Eng.*, 141 (2015) 11.
- [15] Gavric, I., Fragiocomo, M., Ceccotti, A.: Cyclic Behavior of Typical Screwed Connections for Cross-Laminated (CLT) Structures, *Eur. J. Wood Prod.*, 73 (2015), pp. 179–191
- [16] Guo, R., Zhao, S.W., Liu, K.: Experimental Study on Seismic Behavior of Strengthening Joints in Light Steel Adding Storey, *Advanced Materials Research*, 671 (2013) 1, pp. 1480-1483
- [17] Guo, R., Du, C., Yin, C.L.: Study on Seismic Behavior of Transformed-Connection Joint in Light Steel Adding Storey, *Advanced Materials Research*, 671 (2013) 1, pp. 1490-1493
- [18] Guo, Y., Cao, X., Wang, L.: Study on Seismic Resistant Properties of the Integral Structure after Adding Steel Storey on Top of the Multistoried Brick-Concrete Architecture, *Applied Mechanics & Materials*, 576 (2014), pp. 81-85
- [19] Hristovski, V., Jančar, J., Dujic, B., Garevski, M.: Comparative Shaking-Table Tests of Various Upgrade Systems Applied on Existing Two-Storey RC Structures with and without Masonry Infill – Preliminary Results, *Proceedings of the 2<sup>nd</sup> European Conference on Earthquake Engineering and Seismology*, Istanbul, Turkey, 2014., pp. 24–29
- [20] Jančar, J.: *Nadgradnje obstoječih stavb z lahkimi lesenimi konstrukcijami s stališča potresne odpornosti*, Doktorska disertacija, Maribor, Univerza v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo, prometno inženirstvo in arhitekturo, 2016.
- [21] Jančar, J.: *Analiza možnosti nadgradnje obstoječih stavb s stališča potresne odpornosti*, Diplomaska naloga, Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 2008.
- [22] Jančar, J., Dujič, B.: *Možnosti nadgradnje obstoječih stavb s stališča potresne odpornosti*, Prispevek na 31. zborovanju gradbenih konstruktorjev, Rogaška Slatina, 2009.
- [23] Jančar, J., Dujič, B.: *Seismic Analysis of Existing Buildings with Different Construction Upgrades*, WCTE, Riva del Garda, Italy, 2010.
- [24] Jančar, J., Dujič, B., Premrov, M.: *Seismic Response of Buildings Upgraded with the X-Lam Timber Superstructure*, WCTE, Auckland, New Zealand, 2012.
- [25] Jančar, J., Šušteršič, I., Dujič, B.: *Upgrading of Structures in Seismically Active Areas*, *Earthquake Engineering Conference*, Skopje, Macedonia, 2013.
- [26] Jeleč, M., Varevac, D., Rajčič, V.: *Cross-Laminated Timber (CLT) – a State of the Art Report*, *Građevinar*, 70 (2018) 2, pp. 75-95
- [27] Kitek Kuzman, M., Brezar, V.: *Model tipološke analize lesene nadgradnje: inteligentne preнове, učinkovita nadgradnja*, *AR Arhitektura*, 2009., pp. 10-13
- [28] Liu, Y., Gao, X.W., Zhang, T.: *Analysis of Seismic Performance of the Story-Adding Structures of Light-Weight Steel Based on SAP2000*, *Earthquake Resistant Engineering and Retrofitting*, 30 (2021) 6, pp. 100–104
- [29] Ning, S., Ganping, S., Zhiming W.: *The Scheme Comparison of Integral Structure after Adding Steel Storey to Concrete Frame*, *Advanced Materials Research*, 936 (2014), pp. 1506-1510
- [30] Perić, L., Matorič, I.: *Reliability of traditional timber-floor masonry buildings to seismic action*, *GRAĐEVINAR*, 72 (2020) 10, pp. 869-893, <https://doi.org/10.14256/JCE.2965.2020>
- [31] Popovski, M., Schneider, J., Schweinsteiger, M.: *Lateral Load Resistance of Cross-Laminated Wood Panels*, *Proceedings of the 11<sup>th</sup> World Conference on Timber Engineering*, Riva del Garda, Italy, 2010.
- [32] Pozza, L., Scotta, R.: *Influence of Wall Assembly on Q-factor of XLam Buildings*, *Proceedings of the Institution of Civil Engineers Journal Structures and Buildings*, 168 (2015) 4, pp. 275-286, <https://doi.org/10.1680/stbu.13.00081>.
- [33] Schmitt Rivera, C.: *Expanding Opportunities for Mid-Rise Buildings in Chile through the Application of Timber Panel Systems*, *Magisterska naloga*, University of British Columbia, Vancouver, Kanada. 2012.

- [34] Stepišnik, Ž.: Eksperimentalne preiskave nosilnosti kotnih sider pri sidranju lesenih masivnih stenastih elementov, Diplomski naloga, Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 2005.
- [35] Šušteršič, I., Dujič, B., Gostič, S.: Timber Upgrade of Structures in Seismically Active Areas, Proceedings of the 11<sup>th</sup> World Conference on Timber Engineering, Riva del Garda, Italy, 2010.
- [36] The Porter House, <http://www.nyc-architecture.com/CHE/CHE-036.htm>, 5.10.2014.
- [37] Uradni list SFRJ 1963: Odredba o dimenzioniranju in izvedbi gradbenih objektov v potresnih območjih, pp. 239-243
- [38] Uradni list SFRJ 1964: Pravilnik o tehničnih predpisih za grajenje na potresnih območjih, pp. 1-23
- [39] Uradni list SFRJ 1981: Pravilnik o tehničnih normativih za graditev objektov visoke gradnje na seizmičnih področjih, pp. 31/81, 49/82, 29/83, 21/88, 52/90
- [40] Uwimana, L.: Adding Storeys on Top of the Existing Building by Using Steel Structures, Case study: Dillenburgsingel Project in Leidschendam, Master thesis, TU Delft, Netherlands, 2011.