

## ЧЕЛИЧНИ ОКВИРИ СА ИСПУНОМ ОД КЛИРИТА ИЛИ СТАКЛА ПОД ЦИКЛИЧНИМ ОПТЕРЕЂЕЊЕМ

Миодраг Несторовић<sup>1</sup>

Јефто Терзовић<sup>2</sup>

Растислав Мандић<sup>3</sup>

УДК: 692.232 : 691.618.5

DOI:10.14415/konferencijaGFS 2016.021

*Резиме:* Фасада од стакла се традиционално третира као неконструктивни елемент код зграда у сеизмичким условима. Истраживања аутора посвећена су могућности интегрисања испуне од стакла или клирита у носећи систем конструкције. У овом раду приказује се део резултата експерименталног истраживања композитних понела изложених дејству цикличног оптерећења. Композитни панели су формирани од челичног рама са испуном од ламелираног стакла или клирита и интермедијалног слоја од гуме. Кроз приказане резултате сагледава се понашање композитних склопова при различитим амплитудама и фреквенцијама оптерећења.

**Кључне речи:** оквири са испуном, стакло, клирит, циклично оптерећење

### 1. УВОД

Фасада од стакла се традиционално третира као неконструктивни елемент код зграда изложених сеизмичким дејствима. Велике штете које су настале при земљотресима на стакленим површинама, иницирале су истраживања у два правца.

Први од њих има за циљ да се минимизује штета на стакленој површини.

Други правац истраживања води ка укључивању стаклене испуне у основну носећу конструкцију у циљу њене стабилизације при пријему сеизмичких сила.

У раду [1] дат је општи преглед примене стакла као контрукцијског материјала. Утицај сеизмичког оптерећења на стаклену фасаду са појединачним панелима дат је у [2]. Аналитички је анализирано понашање стакле испуне у равни и управно на раван испуне.

Уочен је механизам понашања стакленог панела у његовој равни при међуспратним померањима: деформација флексибилног оквира која доводи до контакта панела и оквира и појава ротирајућег мода (обртање панела) који води ка

<sup>1</sup> Миодраг Несторовић, проф. др, дипл. инж. арх., Универзитет у Београду, Архитектонски факултет, Булевар краља Александра 73, 11000 Београд, email: enestorm@arh.bg.ac.rs

<sup>2</sup> Јефто Терзовић, дипл. инж. арх., студент докторских студија, Универзитет у Београду, Архитектонски факултет, Булевар краља Александра 73, 11000 Београд, email: terzovic@gmail.com

<sup>3</sup> Растислав Мандић, проф. др, дипл. инж. грађ., Универзитет у Београду, Грађевински факултет, Булевар краља Александра 73, 11000 Београд, email: rale@grf.bg.ac.rs

формирању притиснуте дијагонале у испуни. На бази међуспратних померања, добијених на основу еквивалентног статичког оптерећења, дата је процена потребног зазора између панела и оквира која омогућава да се избегне пуцање стакла. У раду [3], експериментално је анализирана могућност примене стаклених панела у стабилизацији целокупне челичне фасаде. Оптерећење је посматрано као статичко. Тестиран је утицај више врста веза са различитим начином ослањања - директно чеоно ослањање, бочно обострано и бочно једнострано ослањање. У чланку [4], стаклени панели се користе за укрућење дрвених оквира. Веза између панела и оквира је епокси, силиокон или полиуретан.

Спроведено је експериментално и нумеричко истраживање (МКЕ). У раду [5], велики дрвени оквири ( $3.2\text{ m} \times 2.7\text{ m}$ ) са испуном од стакла испитивани су под сеизмичким оптерећењем. За сеизмичку побуду су усвојена четири различита акцелерограма. На тај начин анализиран је одговор модела у функцији максималног убрзања тла, дужине трајања акцелерограма и његовог фреквентног састава.

У овом раду се приказује део резултата експерименталног истраживања композитних панела изложених дејству цикличног оптерећења.

Композитни панели су формиран од челичног рама са испуном од ламелираног стакла или клирита и интермедијалног слоја од гуме и представљају елемент роштиља формираног од низа панела, који треба да омогући стабилизацију конструкције изложене сеизмичком оптерећењу.

На тај начин, класична стаклена фасада направљена од витких профила, која формира мрежу (роштиљ) у коју су смештена окна од обичног прозорског стакла, може да се замени роштиљем и испуном од конструкцијског стакла, односно клирита.

Тако формиран систем се интегрише у носећи систем конструкције и омогућава његову стабилизацију са гледишта хоризонталних померања као и пријема сеизмичких сила.

## 2. ОПИС ЕКСПЕРИМЕНТАЛНОГ ИСТРАЖИВАЊА

Експериментална испитивања су изведена на моделу основног појединачног елемента конструкције, који је формиран од трослојног ламелираног клирита или трослојног ламелираног стакла, укупне дебљине 60 mm, уоквиреног челичним рамом, са слојем тврде гуме (кедера) на контакту стакла / клирита и челика. Својства ламелираног стакла и клирита одређена су лабораторијским испитивањем [6]. Део резултата овог испитивање дат је у табели 1.

Табела 1. Механичка својства стакла и клирита [6]

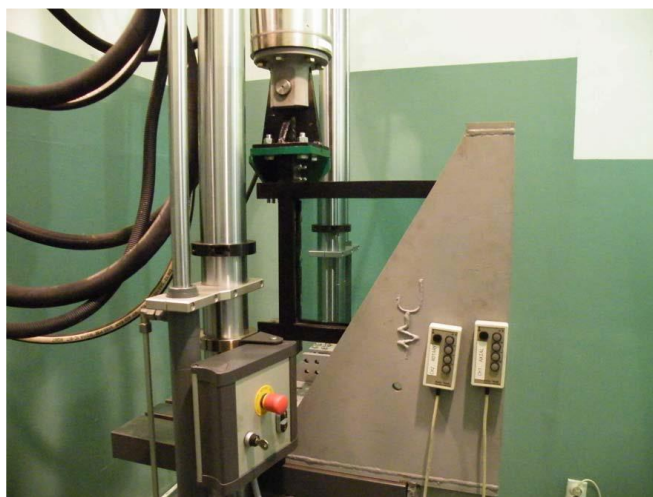
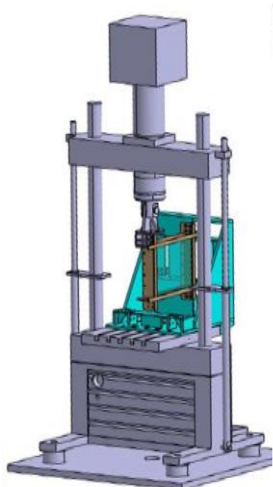
Испитивано својство	Ламелирано стакло	Ламелирани клирит
Густина [ $\text{kg/m}^3$ ]	2300	1170
Чврстоћа на притисак [MPa]	177	122
Чврстоћа на затезање [MPa]	15	45.8
Модул еластичности [GPa]	68	3.8

Челични оквир (S235) је састављен од две вертикале, на међусобном осном растојању 400 mm и две хоризонтале на осном растојању 500 mm.

Ови елементи оивичавају правоугаоно поље, чије су унутрашње светле димензије 355 × 455 mm. Челични оквир је “Т” пресека, у коме су димензије ребра 100 × 10 mm, а димензије ножице су 45 × 10 mm. Ламеле од стакла су спојене у пакет постављањем двоструке ПВБ фолије између две суседне ламеле.

Пакет је обрађен у АУТОКЛАВ уређају како би дошло до приањања, односно спрезања ламела. На бочне површине панела ширине 60 mm након ламелирања залепљене су траке од гуме – кедера.

Посредством гуме, панел од ламелираног стакла, односно клирита, налаже на ребра хоризонталних и вертикалних штапова. Гумена трака има дебљину 5 mm, тврдоћу 75 шора и армирана је текстилном мрежом у два слоја. У смислу трајности, врста гуме је квалитета ЕПДМ (Етилен Пропилен Дуен Мономер). Испитивано је укупно десет панела, од чега је пет панела са испуном ламелираног стакла и пет панела са испуном од ламелираног клирита.

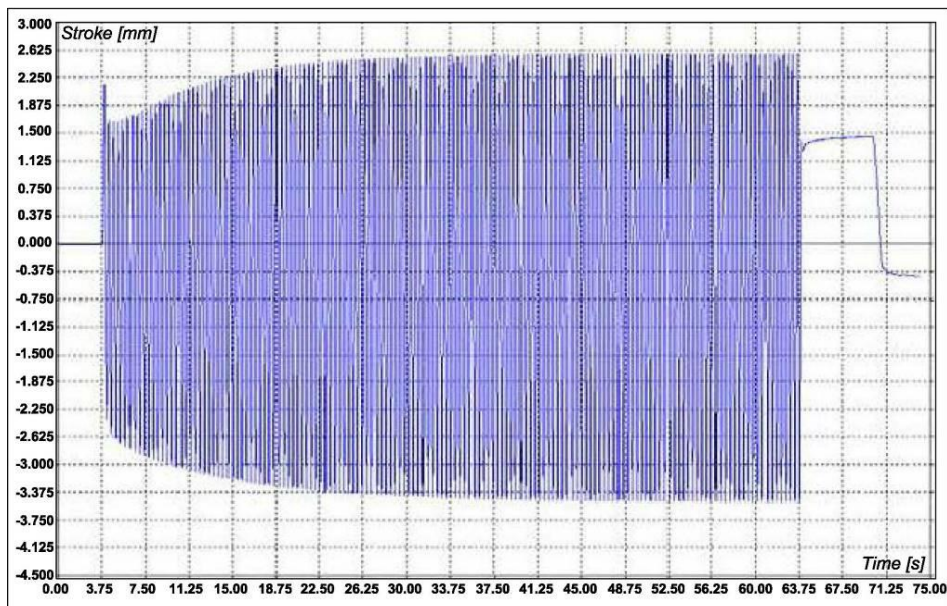


Слика 1. Експериментални модел непосредно пре испитивања

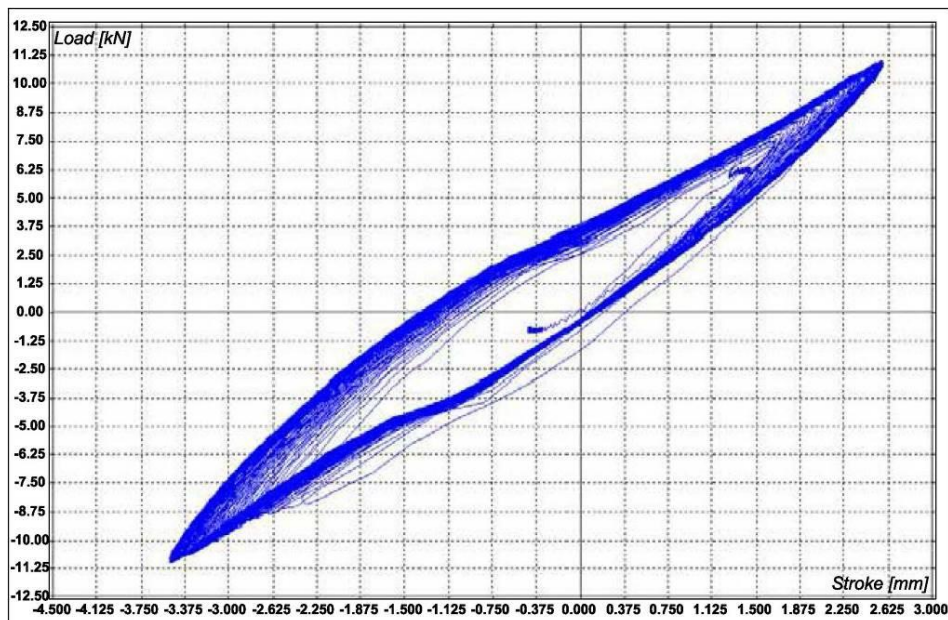
Динамичко испитивање експерименталних композитних панела од оба материјала, обављена су на серво хидрауличној машини за динамичко и статичко испитивање материјала ZWICK Roell HB – 250 (*пулзатор*) на Катедри за опште машинске конструкције Машинског факултета Универзитета у Београду, у акредитованој Лабораторији за Испитивање Машинских Елемената и Система – ЛИМЕС (ATS 31-304 SRPS ISO/IEC 17025:2006).

За амплитуде динамичке силе усвојене су вредности:  $F_1 = \pm 11 \text{ kN}$ ,  $F_2 = \pm 22 \text{ kN}$  и  $F_3 = \pm 33 \text{ kN}$  ( $\pm 50 \text{ kN}$ ). За сваку од амплитуда вариране су фреквенције промене силе:  $f_1 = 0,5 \text{ Hz}$ ,  $f_2 = 1,6 \text{ Hz}$  и  $f_3 = 2,5 \text{ Hz}$  у временском интервалу дужине од 30 до 60 секунди.



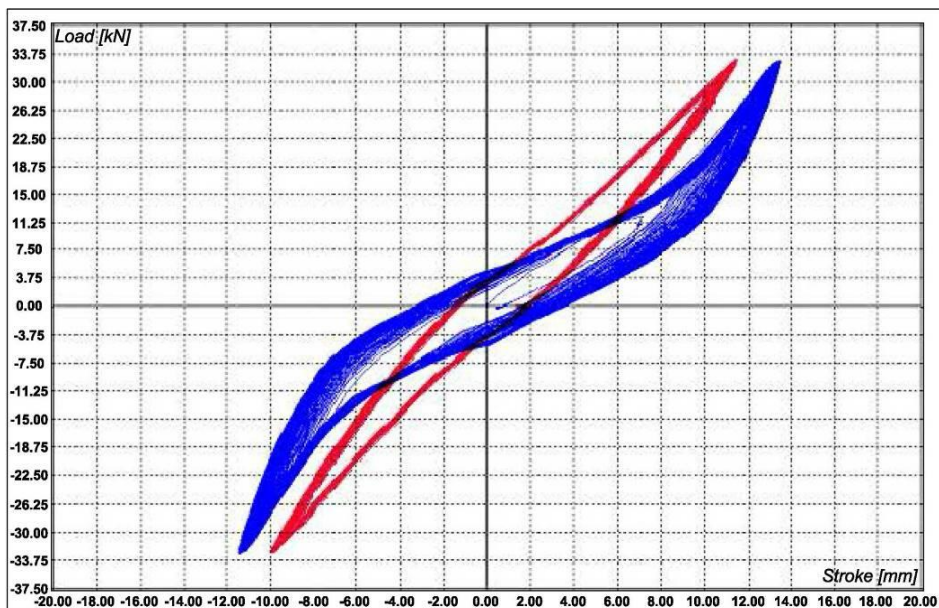


Слика 4. Померање (mm) на месту деловања силе у функцији времена. Панел је са испуном од клирита,  $f=2.5\text{Hz}$ ,  $F = \pm 11\text{kN}$ ,  $n=150$  циклуса

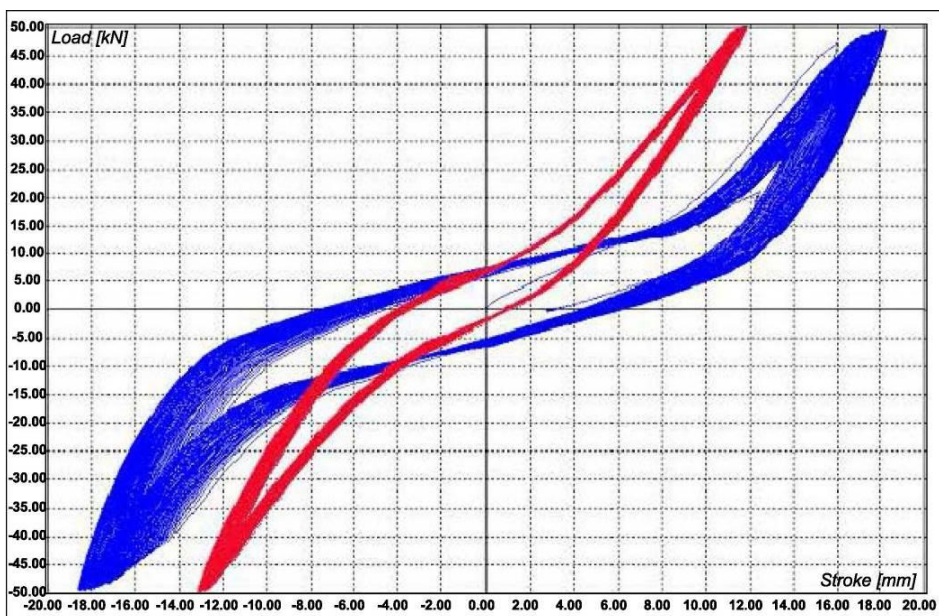


Слика 5. Одговор панела (сила (kN) – померање (mm)). Панел је са испуном од клирита,  $f=2.5\text{Hz}$ ,  $F = \pm 11\text{kN}$ ,  $n=150$  циклуса

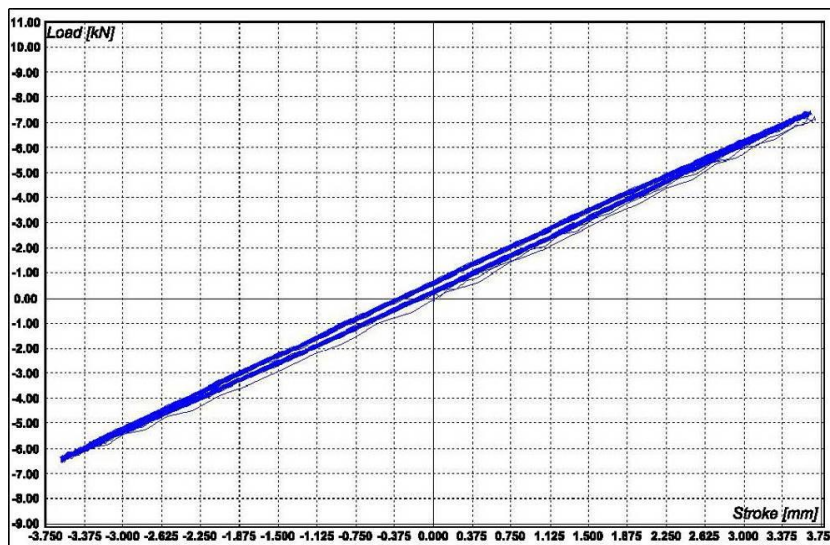




Слика 6. Одговор панела са испуном од стакла (плава) и клирита (црвена), под дејством динамичке силе  $F = \pm 33 \text{ kN}$ , са фреквенцијом 2,5 Hz



Слика 7. Одговор панела са испуном од стакла (плава) и клирита (црвена), под дејством динамичке силе  $F = \pm 50 \text{ kN}$ , са фреквенцијом 1,6 Hz.



Слика 8. Оквир без испуне изложен дејству цикличног померања са, фреквенцијом 1,6 Hz. Задате амплитуде померања +3.6 mm / -3.60 mm

Код модела са испуном од стакла, испуна се касније укључи у пријем силе него код модела са испуном од клирита, што је последица проклизавања између гуме и оквира. Ефекат ојачања у одговору модела са стаклом (слике 6 и 7), представља тренутак активације притиснуте дијагонале у испуни. Овај ефекат се уочава код излагања модела сили једнакој или већој од 22 kN. Код већине експериментално испитиваних узорака циклична сила је постепено достигала максималну вредност (слика 4). По достизању максималне силе, хистерезисне петље су углавном стабилне и није уочена систематска деградација крутости у току времена. Челични оквир у току испитивања показује делимична оштећења на угловима, што је код неких узорака довело до одређеног пада крутости, али не и до лома. Оштећења су настала јер заварени спој није показао потребну жилавост при великом броју циклуса, што је у великој мери последица изабране технологије заваривања. Амплитуде померања су углавном симетричне у односу на средњу вредност  $x_0 = (x_{max} + x_{min}) / 2$ . Вредност  $x_0$  није увек једнака нули и последица је калибрисања опреме. Максимално добијено померања за силу  $F=50$  kN је око 16 mm, што за осну висину склопа  $H = 500$  mm даје релативно померање  $\Delta = 0,032$ . За  $F = 33$  kN тај однос је  $\Delta = 0,020$ . У испитиваном домену део силе који преузима испуна од клирита износи око 58% за амплитуду силе од 11 kN, око 60% за амплитуду силе од 22 kN и око 67% за силу од 33 kN. Утицај фреквенције на амплитуде померања око средње вредности је мали. Поред формирања роштиља одређене крутости, приказани композитни панели омогућавају уношење додатног пригушења у конструкцијски систем. Пригушење се пре свега реализује кроз дисипацију енергије у интермедијалном слоју између испуне и оквира. Хистерезисне петље код панела са стаклом показују већу дисипацију енергије. При истом оптерећењу повећање дисипације енергије по једном циклусу код панела са стаклом у односу на панел са клиритом је од 30% до 80%.

## ЗАХВАЛНОСТ

Рад је урађен у оквиру технолошког пројекта ТПЗ6008 који је финансиран од стране Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Heldimann, M., Luible, A., Overend, M., *Structural use of glass*, Structural engineering document No. 10, IABSE, Zürich, **2008**.
- [2] Socuoglu, H., Vallabhan, C.V.G., Behaviour of windows glass panels during earthquakes, *Engineering structures*, **1997.**, Vol. 19, No. 8, pp. 685-694.
- [3] Huveners E. M. P., Herwijnen, van F., Soetens, F., Hofmeyer, H., Glass panes acting as shear wall, *Heron*, **2007.**, Vol. 52, No. 1/2, pp. 1-29.
- [4] Štrukelj, A., Ber, B., Premrov, M., Racking resistance of timber-glass wall elements using different types of adhesives, *Construction and building materials*, **2015.**, Vol. 93, pp. 130-143.
- [5] Krstevska, L., Tashkov, L.J., Rajcic, V., Zarnic R., Seismic behaviour of composite panel composed of laminated woods and bearing glass – experimental investigation, *Advanced material research*, **2013.**, Vol. 778, pp. 698-705.
- [6] Jeftić, D., Muravljev, M., *Izveštaj o laboratorijskim ispitivanjima fizičko-mehaničkih svojstava lameliranog stakla i klirita*, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Institut za materijale i konstrukcije, Beograd, **2013**.
- [7] Terzović, J., *Projektovanje seizmički otpornih arhitektonskih objekata korišćenjem konstrukcionog stakla i polikarbonata*, Doktorska disertacija prijavljena na Arhitektonskom fakultetu Univerziteta u Beogradu, **2011**.

## STEEL FRAMES WITH KLIRIT OR GLASS INFILL SUBJECTED TO CYCLIC LOADING

**Summary:** *Glass facade is traditionally considered as non structural element in buildings subjected to earthquake loading. Severe earthquake damage of windows glass panels initiated the research in this area in two directions. The first approach tends to minimize damage of glass panes as non structural elements. The second approach integrates glass panes in structural system in order to stabilize main bearing elements. In this paper the results of experimental investigation of composite panels subjected to in-plane cyclic loadings is presented. The panels are formed of steel frames, laminated glass or polycarbonate (klirit) infill and rubber joints. The presented results demonstrate the response of composite panels due to various load levels and frequencies.*

**Keywords:** *infilled frames, glass, klirit, cyclic loading*