

ISTRAŽIVANJE PONAŠANJA KOMPONENTI KOMPOZITNOG PANELA S INTEGRIRANOM ČELIČNOM JEZGROM

INVESTIGATION OF BEHAVIOUR OF COMPOSITE PANEL COMPONENTS WITH INTEGRATED STEEL CORE

Paulina Krolo*, **Antonio Bakran***, **Lazar Lukačević***, **Natalija Bede Odorčić***, **Ivan Palijan****, **Tomislav Prlić*****, **Mladen Bulić***

Sažetak

U radu je predstavljeno istraživanje u okviru znanstvenog projekta ZIP UNIRI „Istraživanje ponašanja komponenti kompozitnog panela s integriranom čeličnom jezgrom“. Cilj znanstvenog projekta je pružiti bolje razumijevanje o ponašanju komponenti inovativnog konstruktivnog panelnog sustava kako bi se istražio potencijal njegove primjene u građevinarstvu..

Ključne riječi: *polimerna pjena, tankostijeni čelični C-profil, gipsvlaknasta ploča*

Abstract

The paper presents research conducted as part of the ZIP UNIRI scientific project “Investigation of the behaviour of composite panel components with integrated steel core”. The aim of the scientific project is to better understand the behaviour of the components of the innovative structural panel system in order to investigate the potential of its application in construction.

Key words: *polymer foam, thin-walled steel C-profile, gypsum fiberboard*

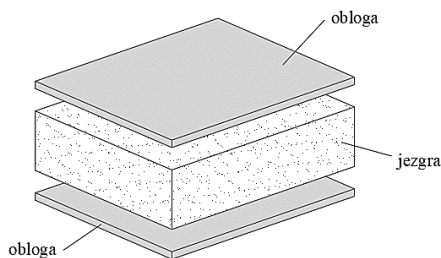
* Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet, Radmile Matejčić 3, 51000 Rijeka
E-mail: [paulina.krolo.abakran.llukacevic.natalija.bede.mladen.bulic}@gradri.uniri.hr](mailto:ipalijan@palijan.hr)

** Palijan d.o.o., Milke Trnine 1, 10 000 Zagreb
E-mail: ipalijan@palijan.hr

*** Tehnoplast profili d.o.o., Obrezina 80, Šćitarjevo, Velika Gorica
E-mail: tomislav.prlic@tehnoplast.hr

1. Uvod

Prefabricirani kompozitni paneli općenito se sastoje od dvije čvrste tanke obložne ploče s jezgrom male gustoće (Slika 1). Takvi elementi nazivaju se sendvič paneli. Mnoge alternativne oblike sendvič panela moguće je izraditi u kombinaciji različitih obloga, materijala jezgre i geometrije kako bi se proizveo optimalan kompozit za specifičnu primjenu. Obloge mogu biti izrađene od metala ili kompozitnih materijala kao što su polimeri ojačani staklenim vlaknima (GFRP), šperploče, cementne ploče, ploče od magnezijevog oksida i druge vrste ploča. Jezgra može imati različite oblike kao što su saće, rebra u obliku slova Z ili I i kruta poliuretanska pjena (PU). Ovi lagani kompozitni paneli predstavljeni su početkom 20. stoljeća i imaju široku uporabu u zrakoplovnoj, automobilskoj i transportnoj industriji. Posljednjih pedeset godina, sendvič panele s metalnom i FRP oblogom eksperimentalno su i analitički istraživali brojni istraživači [1-5].

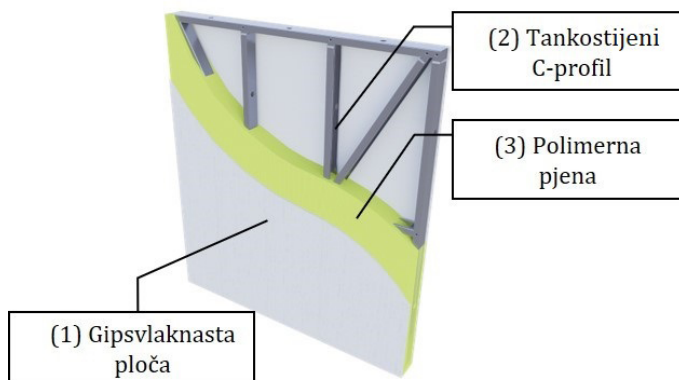


Slika 1. Kompozitni sendvič panel

Konstruktivna primjena kompozitnih sendvič panela u građevinskoj industriji još uvijek je vrlo ograničena. Sendvič paneli se u području visokogradnje mogu koristiti kao nenosive komponente, ali i kao nosivi konstrukcijski elementi. Jedna od njihovih najvećih primjena u visokogradnji, u funkciji nenosivih konstrukcijskih elemenata, su izolacijske ploče, uključujući zidne i krovne izolacijske panele. Energetska učinkovitost, dobra toplinska i akustička svojstva, prihvatljivost po okoliš, visoka specifična čvrstoća i krutost, mala vlastita težina, mogućnost izrade složenih geometrija i visoka trajnost su prednosti panela kao izolacijskog materijala. Glavne slabosti ovih ploča proizlaze iz niske krutosti i čvrstoće jezgre te osjetljivosti obloge na raslojavanje i izvijanje. Bez uporabe jezgre poboljšane krutosti i gustoće, praktična primjena kompozitnih ploča kao nosivih komponenti nije moguća. Do sada je samo nekoliko istraživačkih programa proučavalo sendvič panele, s posebnim naglaskom na zahtjeve u zgradarstvu. Shawkat i sur., 2008. [6] istraživali su sendvič panele s ugljičnim FRP oblogama, koji se proizvode ubrizgavanjem tekuće polimerne pjene u šupljinu između

dvije obložne ploče kako bi se nakon stvrdnjavanja formirala čvrsta jezgra. Međutim, ova tehnika je pokazala lošu kontrolu kvalitete i nepravilnost u jezgri zbog zračnih džepova. Stoga je preporučljivo laminirati FRP oblogu na gotove blokove jezgre. Sharaf i sur., 2010. [7] proučavali su utjecaj gustoće jezgre poliuretanske pjene na savojnu čvrstoću i krutost sendvič panela. Reis i Rizkalla su 2008. [8] predstavili i testirali različite ploče s 3D ojačanjem, koje se sastoji od GFRP laminiranih obloga povezanih međusobno prošivenim vlaknima kroz debljinu unutar jezgre.

U sklopu ranije završenog industrijskog projekta PoC7 (2019.), tvrtka Tehnoplast profili d.o.o., Palijan d.o.o i Građevinski fakultet u Rijeci predložili su prototip novog i inovativnog panelnog konstruktivnog sustava zgrada (Slika 2). Kompozitna ploča sastoji se od tri osnovne komponente: (1) obloge izrađene od montažnih gipsvlaknastih ploča i jezgre kao (2) čelične konstrukcije izrađene od otvorenih tankostijenih C-profila ispunjenih (3) polimernom pjenom. Glavna razlika između gore navedenih ploča i ovdje predložene kompozitne ploče je u konstrukcijskoj primjeni. Postojeći sendvič paneli koriste se kao sekundarni konstrukcijski elementi, dok se predloženi kompozitni panel može koristiti kao glavni nosivi konstrukcijski element zgrade. Tijekom jednogodišnjeg PoC7 programa potvrđen je kompozitni učinak svih komponenti panela, čime je dokazan inovativni koncept.



Slika 2. Prototip panelnog sustava

Kako bi se omogućila daljnja praktična primjena prototipa panelnog sustava kao nosivog konstruktivnog elementa zgrade, potrebno je definirati proračunski model otpornosti. Radi toga je neophodno utvrditi mehanička svojstva komponenti panela i svojstva prionjivosti na kontaktu polimerne pjene i čeličnih profila te između polimerne pjene i obložnih ploča. Glavni cilj je odrediti parametre materijala te odgovarajuće konstitutivne modele za daljnju primjenu u proračunima i numeričkim simulacijama.

2. Metodologija istraživanja

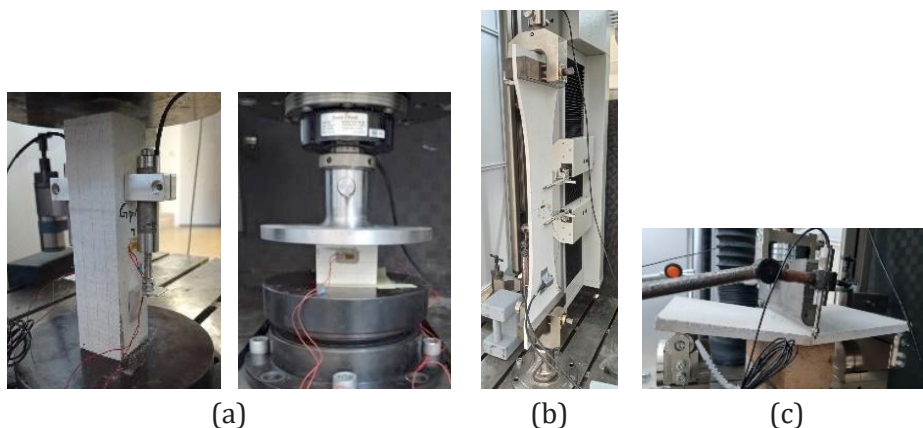
Istraživanje je provedeno primjenom eksperimentalnih i numeričkih metoda. Kako bi utvrdili mehanička svojstva materijala korištenih u kompozitnom panelu, provedena su opsežna laboratorijska ispitivanja. Numeričke simulacije ponašanja materijala provedene su primjenom računalnog programa Simulia ABAQUS baziranog na metodi konačnih elemenata, a s ciljem određivanja adekvatnih konstitutivnih materijalnih modela. Zbog ograničenosti duljine rada, u nastavku su prikazana samo provedena laboratorijska ispitivanja te dobiveni rezultati komponenti koje će biti korištene u budućim istraživanjima panela.

2.1. Laboratorijska ispitivanja

Laboratorijska ispitivanja provedena su u Laboratoriju za konstrukcije na Građevinskom fakultetu u Rijeci. Ispitivanja uzoraka provedena su na univerzalnom tlačno-vlačnom stroju (kidalici) Zwick/Roell Z600, primjenom mjerne doze maksimalnog kapaciteta od 50 kN.

2.1.1. Ispitivanje gipsvlaknastih ploča

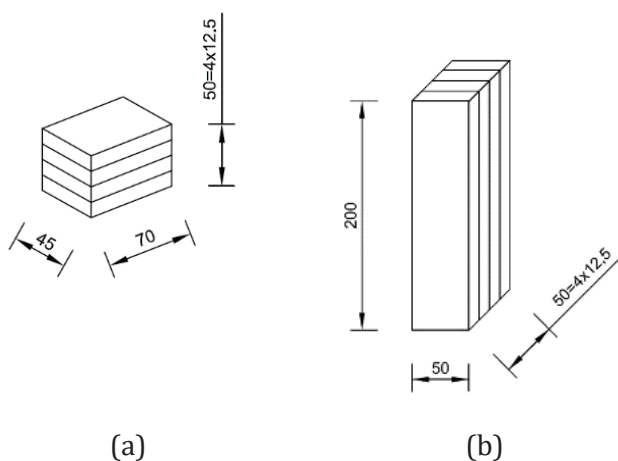
Ispitivanja mehaničkih svojstava gipsvlaknastih obložnih ploča provedena su za dvije vrste ploča, fermacell® Gipsvlaknaste ploče i fermacell® Firepanel A1, te za dvije debljine ploča $t_1 = 12,5$ mm i $t_2 = 15$ mm. Provedena su ispitivanja gipsvlaknastih obložnih ploča na jednoosni tlak u smjeru ploče i jednoosni tlak okomit na smjer ploče (Slika 3a), jednoosni vlak (Slika 3b) i savijanje (Slika 3c). Velika pažnja posvećena je pripremi uzoraka, za što su korištene preporuke međunarodnih normi.



Slika 3. Laboratorijska ispitivanja gipsvlaknastih obložnih ploča na (a) tlak, (b) vlak i (c) savijanje

Tlačna i vlačna ispitivanja provedena su u skladu s normom HRN EN 789:2004 koja se odnosi na ispitivanje drvenih pločastih materijala, a ispitivanje savojne čvrstoće u skladu s normom HRN EN 15283-2:2010.

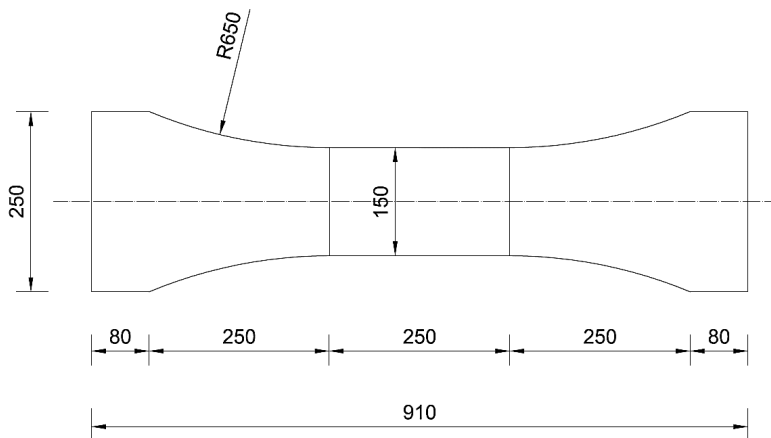
Ispitivanja obložnih ploča na jednoosni tlak provedena su u ravnini ploče i okomito na ravninu ploče, za što su izrađene dvije vrste uzoraka ovisno o ispitivanju. Uzorci su oblika pravokutne prizme s nominalnim dimenzijama koje su prikazane na Slici 4. Prije početka ispitivanja, uzorci su kondicionirani pri uvjetima relativne vlažnosti zraka od $(65\pm 5)\%$ i temperaturi $(20\pm 2)\text{ }^\circ\text{C}$ dok nije postignuta konstantna masa. Tlak u uzorku unesen je kontrolom sile na način da najveća sila bude dosegnuta unutar $(300\pm 120)\text{ s}$, sa srednjom vrijednošću oko 300 s za sve uzorke. Pomaci na uzorcima ispitivanim u ravnini ploče izmjereni su uz pomoć dva LVDT-a koji su postavljeni na dvije nasuprotne strane uzorka s razmakom mjernih mjesta od 80 mm. Pomaci na uzorcima ispitivanim okomito na ravninu ploče izmjereni su na tlačnoj ploči. Ispitivanjem uzoraka fermacell® Gipsvlaknastih ploča debljine 12,5 mm na jednoosni tlak okomito na ravninu ploče dobiveni su dijagrami odnosa sila-pomak (Slika 6a). Na Slici 6b prikazani su dijagrami odnosa sila-pomak za jednoosni tlak u ravnini ploče.



Slika 4. Oblikovanje uzoraka za tlačno ispitivanje
(a) okomito na ravninu ploče i (b) u ravnini ploče

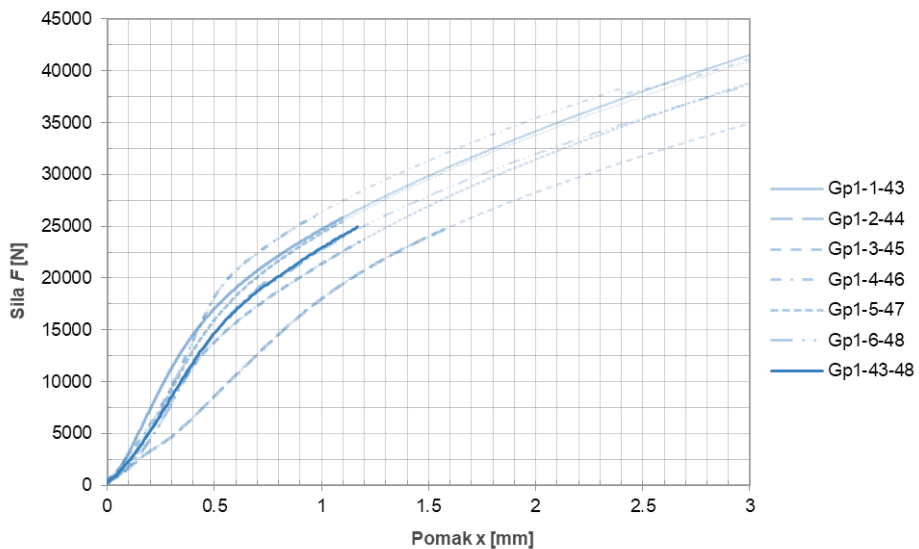
Ispitivanja obložnih ploča na vlak provedena su u ravnini ploče gdje su ispitni uzorci uzorkovani iz ploča u smjerovima uzdužno i poprečno naspram smjera pružanja ploče. Uzorci su izrađeni u skladu s prethodno spomenutom normom s nominalnim dimenzijama koje su prikazane na Slici 5. Prije početka ispitivanja, uzorci su kondicionirani pri uvjetima relativne vlažnosti zraka od $(65\pm 5)\%$ i temperaturi $(20\pm 2)\text{ }^\circ\text{C}$. Vlak u uzorku unesen

je kontrolom pomaka pomične grede ispitnog stroja na način da najveća sila bude dosegnuta unutar (300 ± 120) s. Pomaci na uzorcima mjereni su ekstenzometrom na srednjem dijelu uzorka na dvije nasuprotne strane s razmakom repera od 125 mm. Kraj ispitivanja definiran je krtim slomom uzorka. Ispitivanjem uzoraka na vlak dobiveni su dijagrami odnosa sila-pomak. Rezultati ispitivanja na jednoosni vlak za fermacell® Gipsvlaknaste ploče debljine 12,5 mm prikazani su na Slici 6c.

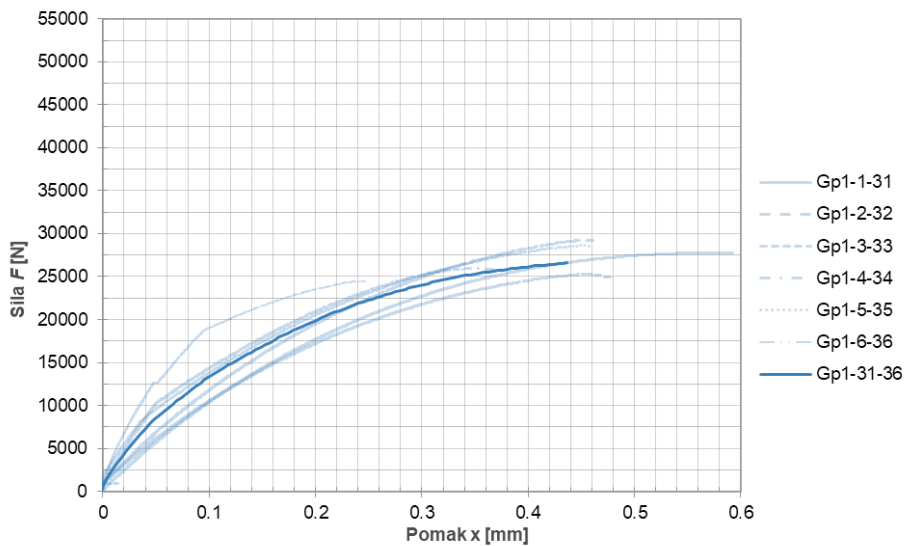


Slika 5. Oblik i dimenzije uzorka [mm] za vlačno ispitivanje obložnih ploča

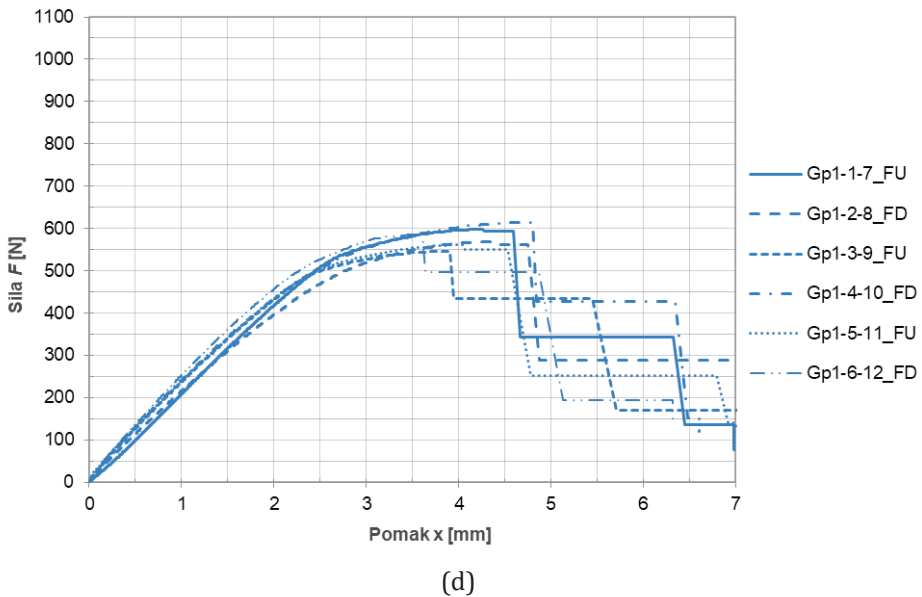
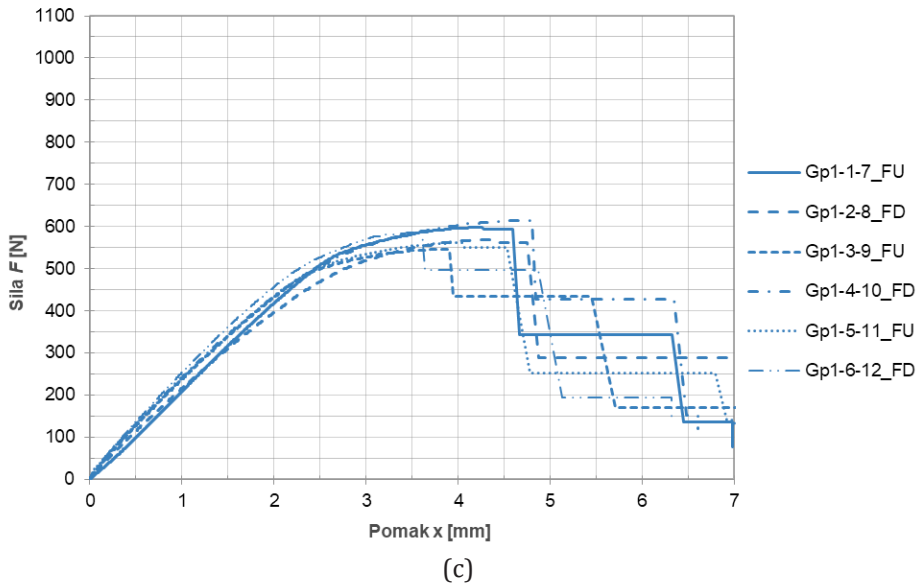
Ispitivanja obložnih ploča na savijanje provedena su postavljanjem uzorka na oslonce i djelovanjem sile u sredini raspona okomito na ravninu ploče. Prije početka ispitivanja uzorci su kondicionirani do konstantne mase pri temperaturi od (40 ± 2) °C te su ispitani u roku od 10 minuta nakon uklanjanja iz komore za sušenje. Uzorci obložnih ploča pravokutnog su oblika i dimenzija 400×300 mm. Oslonci su širinom jednaki uzorku te imaju radijus zaobljenja 15 mm. Razmak između oslonaca jednak je 350 mm. Ispitivanje uzorka na savijanje provedeno je kontrolom sile s brzinom prirasta sile od 300 N/mm. Progib ploče mjereno je na sredini raspona uzorka na način da su na rubovima ploče postavljena dva LVDT uređaja te je konačan progib proračunat kao srednja vrijednost izmjerenih progiba. Kraj ispitivanja definiran je slomom uzorka. Ispitivanjem uzorka na savijanje dobiveni su dijagrami odnosa sila-pomak. Rezultati ispitivanja na savijanje za fermacell® Gipsvlaknaste ploče debljine 12,5 mm prikazani su na Slici 6d.



(a)



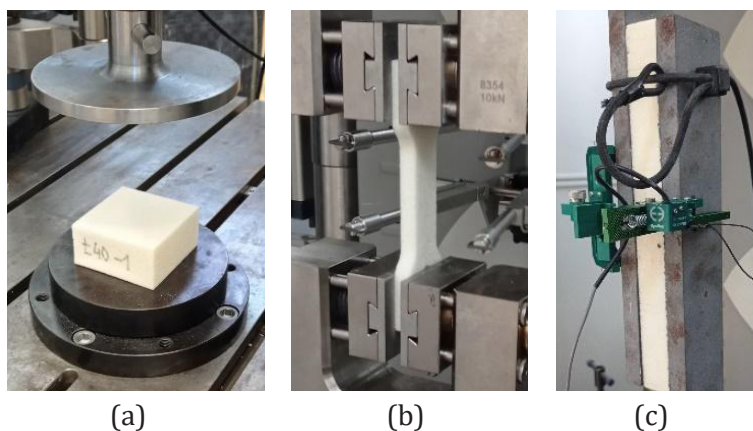
(b)



Slika 6. Rezultati ispitivanja uzoraka fermacell® Gipsvlaknastih ploča debljine 12,5 mm na (a) tlak okomito na ravninu ploče, (b) tlak u ravnini ploče, (c) vlak i (d) savijanje

2.1.2. Ispitivanje polimerne pjene

Ispitivanje mehaničkih svojstava polimernih pjena provedena su za pjene nominalne gustoće od 40, 45, 50 i 60 kg/m³. Provedena su ispitivanja na jednoosni tlak (Slika 7a), jednoosni vlak (Slika 7b) i posmik (Slika 7c). Svako ispitivanje provedeno je na pet ispitnih uzoraka. Priprema uzoraka te procedura ispitivanja provedena je u skladu s međunarodnim normama. Tlačna ispitivanja provedena su u skladu s normom ISO 844:2007, vlačna ispitivanja u skladu s normom ISO 1926:2009, a posmična ispitivanja u skladu s normom ISO 1922:2012.

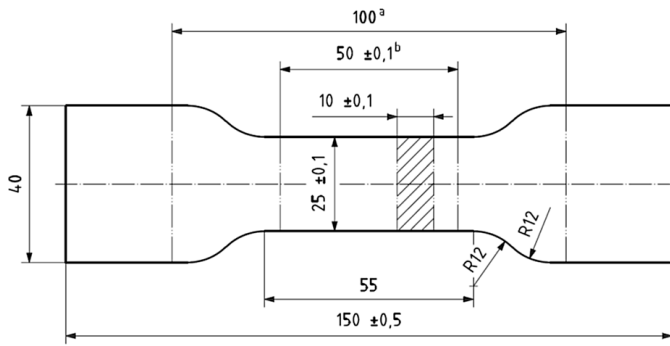


Slika 7. Laboratorijska ispitivanja polimerne pjene na (a) tlak, (b) vlak i (c) posmik

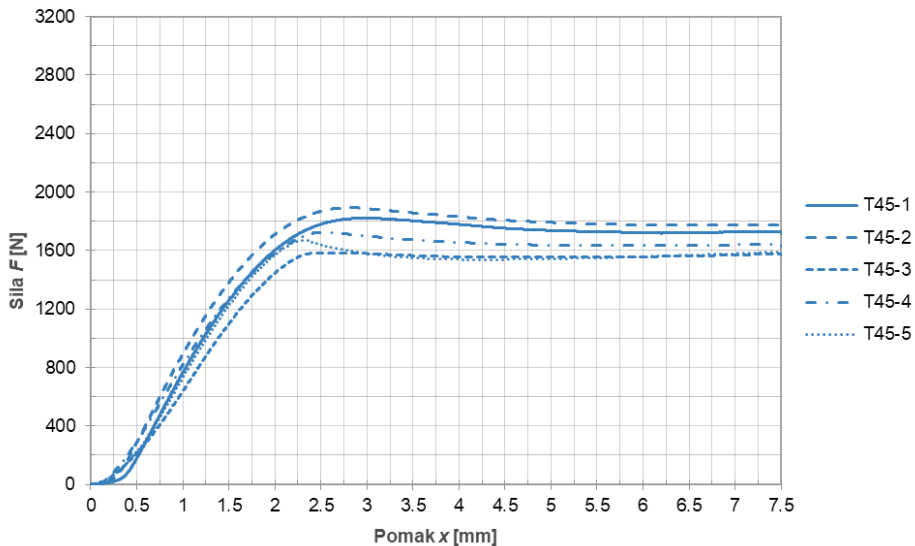
Tlačna ispitivanja provedena su na uzorcima kvadratnog poprečnog presjeka $(100 \pm 1) \text{ mm} \times (100 \pm 1) \text{ mm}$ te debljine $(50 \pm 1) \text{ mm}$. Tlak u uzorku nanesen je kontrolom pomaka pomične grede ispitnog stroja s brzinom prirasta pomaka od 10 % debljine uzorka u minuti, što iznosi 5 mm/min. Kraj ispitivanja definiran je kada se početna debljina uzorka smanji na 85 % odnosno za 7,5 mm. Kao rezultat ispitivanja uzoraka na tlak nominalne gustoće 45 kg/m³ prikazan je dijagram odnosa sile i pomaka (Slika 9a).

Vlačna ispitivanja provedena su na standardnim uzorcima oblika i nominalnim dimenzijama kako je prikazano na Slici 8. Vlak u uzorku nanesen je kontrolom pomaka pomične grede ispitnog stroja s brzinom prirasta pomaka od 5 mm/min. Kraj ispitivanja definiran je kada ispitni stroj zabilježi pad vlačne čvrstoće na 80 %. Izduženje na uzorku mjereno je uz pomoć ekstenzometara na mjernom području od 50 mm. Kao rezultat ispitivanja uzoraka na vlak nominalne gustoće 45 kg/m³, prikazan je dijagram odnosa naprezanja i deformacija. (Slika 9b).

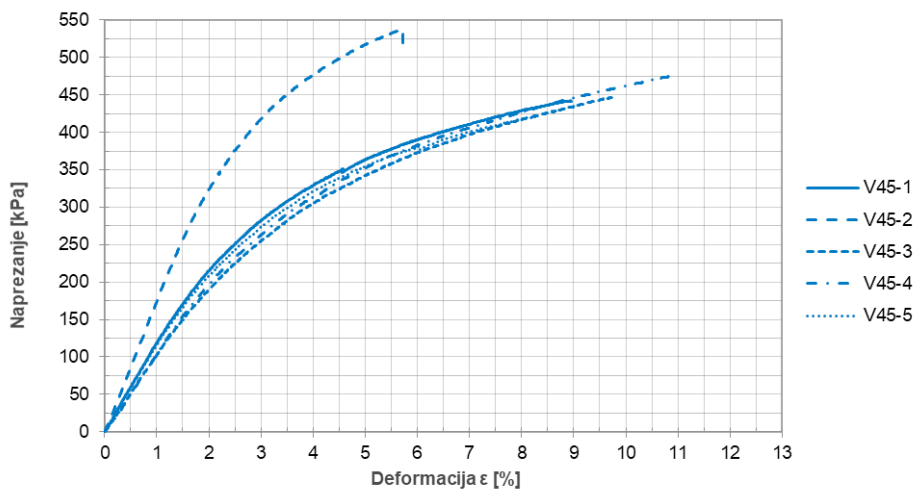
Ispitivanja na posmik provedena su na uzorku dimenzija 250 x 50 x 25 mm. Uzorci polimerne pjene su zalijepljeni za čelični ispitni alat dvokomponentnim ljepilom Areldite 2014-2. Posmik u uzorku nanesen je kontrolom pomaka pomične grede s brzinom prirasta pomaka od 1 mm/min. Kraj ispitivanja definiran je kada ispitni stroj zabilježi pad posmične čvrstoće na 80 %. Pomaci na uzorku mjereni su uz pomoć ekstenzometara Epsilon 3421-050M-ST s mjernim područjem od ± 5 mm. Kao rezultat ispitivanja uzoraka na posmik nominalne gustoće 45 kg/m³, prikazan je dijagram odnosa sile i pomaka (Slika 9c).



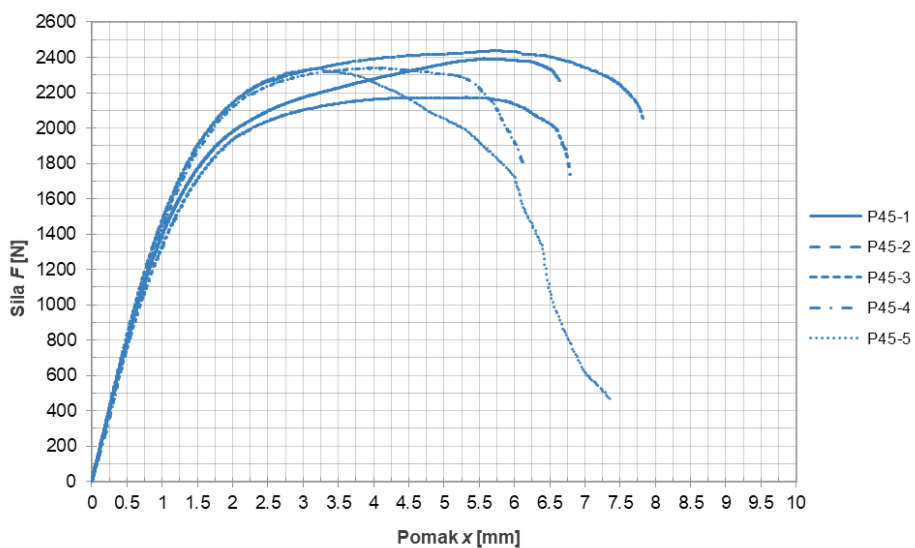
Slika 8. Oblik i dimenzije uzorka za vlačno ispitivanje



(a)



(b)

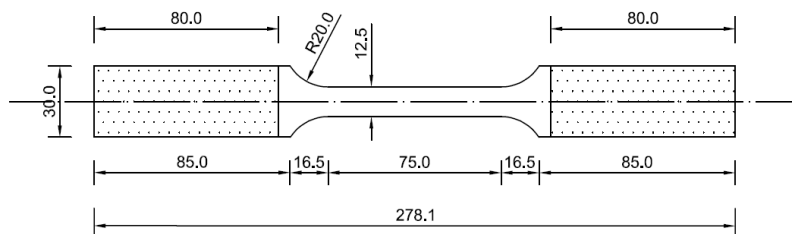


(c)

Slika 9. Rezultati ispitivanja uzoraka polimerne pjene gustoće 45 kg/m³ na (a) tlak, (b) vlak i (c) posmik

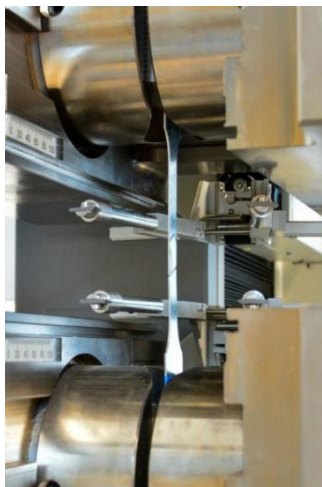
2.1.3. Ispitivanje tankostijenog čelika

Ispitivanje osnovnih mehaničkih svojstava čelika za hladno oblikovanje prevedeno je ispitivanjem uzoraka na jednoosni vlak. Priprema uzoraka i procedura ispitivanja provedeni su u skladu s međunarodnom normom HRN EN ISO 6892-1:2010. Uzorci su izrađeni u dvije varijante različitih debljina čelika za hladno oblikovanje, tj. debljine 0,95 mm i 1,15 mm, dok su oblik i dimenzije uzoraka jednake i prikazane na Slici 10.



Slika 10. Oblik i dimenzije uzorka [u mm] za standardni vlačni test

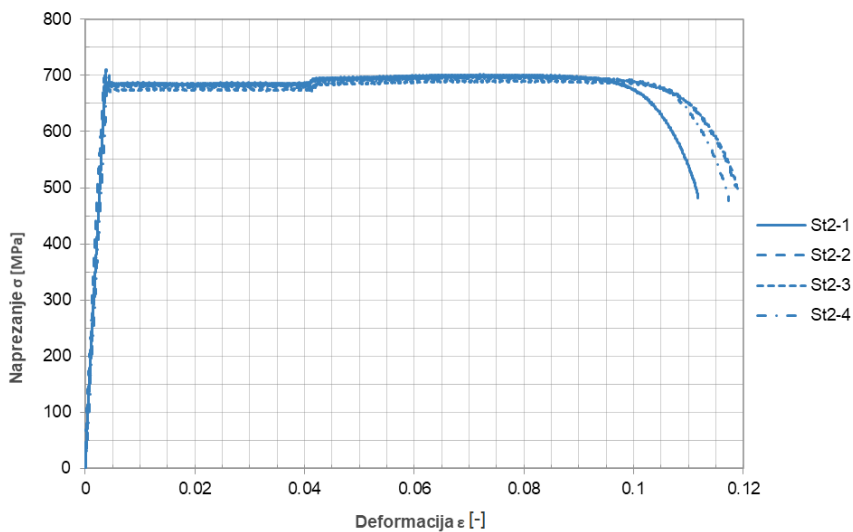
Uzorci su ispitani na univerzalnom tlačno-vlačnom stroju (kidalici) Zwick/Roell Z600, u gornjem radnom prostoru, primjenom hidrauličnih čeljusti kapaciteta 500 kN (Slika 11). Izduženje čelika mjereno je uz pomoć ekstenzometra na mjernom području od 50 mm.



Slika 11. Postava uzorka u hidrauličkim čeljustima ispitnog stroja

Vlačna ispitivanja provedena su na način da je do granice popuštanja čelika vlak u uzorku definiran kontrolom deformacije s brzinom prirasta od $0,00025 \text{ s}^{-1}$. Nakon granice popuštanja, vlak u uzorku nanesen je kontrolom pomaka pomične grede s brzinom prirasta od $0,0067 \text{ s}^{-1}$. Kraj ispitivanja definiran je slomom uzorka.

Kao rezultat ispitivanja uzoraka debljine 1,15 mm na Slici 12a prikazan je dijagram odnosa naprezanja i deformacija, dok su na Slici 12b dani oblici sloma uzoraka.



(a)



(b)

Slika 12. Rezultati ispitivanja uzoraka čelika za hladno oblikovanje debljine 1,15 mm u obliku (a) dijagrama odnosa naprezanja i deformacije i (b) oblika sloma

3. Ostvareni ciljevi na projektu

Provedbom istraživačkih aktivnosti, na projektu su ostvareni sljedeći rezultati:

- (i) Razrađen je postupak pripreme uzoraka i procedure ispitivanja obložnih gipsvlaknastih ploča pri vlačnom opterećenju, tlačnom opterećenju te savijanju. Određen je potreban broj uzoraka koji će dati pouzdane rezultate ispitivanja. Definirane su relevantne dimenzije uzorka kako bi se eliminirao utjecaj veličine uzorka na tlačnu čvrstoću.
- (ii) Na temelju vlačnih i tlačnih ispitivanja te ispitivanja uzoraka obložnih ploča određena su mehanička svojstva: vlačna, tlačna i savojna čvrstoća te modul elastičnosti.
- (iii) Provedena su ispitivanja polimerne pjene na vlak, tlak i posmik, pri čemu su određena mehanička svojstva: vlačna, tlačna i posmična čvrstoća te modul elastičnosti.
- (iv) Rezultati istraživanja predstavljani su na konferencijama [9-13]
- (v) U okviru projekta izrađena su dva diplomatska rada [14,15], nakon čega su studenti upisali doktorski studij na Građevinskom fakultetu u Rijeci.

Istraživačkim radom u okviru ovog projekta doprinijelo se ostvarivanju ciljeva razvoja Fakulteta i Sveučilišta i to provođenjem znanstvenoistraživačke djelatnosti u laboratorijima Fakulteta, promicanjem istraživačkog potencijala laboratorija Fakulteta, obavljanjem znanstvenoistraživačke djelatnosti u području primijenjenih istraživanja, uspostavljanjem suradnje s partnerima iz gospodarstva za rješavanje nekonvencionalnih tehničkih problema, provođenjem multidisciplinarnog istraživanja kroz suradnju istraživača s različitim zavoda Fakulteta, objavljivanjem i predstavljanjem znanstvenih radova. Navedeni doprinosi u skladu s razvojnim ciljevima definiranim u strateškim dokumentima Fakulteta i Sveučilišta.

4. Primjenjivost znanstvenog istraživanja

Novi inovativni kompozitni panel nije dostupan na europskom i svjetskom tržištu. Kompozitna ploča s dvije obložne ploče i jezgrom čelične konstrukcije od otvorenih tankostijenih C-profila, ispunjenih polimernom pjenom, postaje osnovni strukturni element zgrade. Ostali lagani paneli dostupni na tržištu su sekundarni građevinski elementi u obliku fasadnih elemenata, krovnih obloga ili ovojnica zgrade koji se montiraju na glavnu nosivu konstrukciju. Korištenjem panelnog sustava zgrade kao glavnog nosivog elementa, gradnja zgrada će se ubrzati, a debljina zidova te ujedno i masa zgrada će se u odnosu na korištenje tradicionalnih materijala (armiranog betona, opeke i sl.) smanjiti. Inovativnost se također ogleda u

uključivanju panelnog strukturnog sustava zgrade u razvoj sveobuhvatnijeg projekta izgradnje zgrada gotovo nulte energije na industrijski način. Ovaj će proizvod biti nov na europskom i svjetskom tržištu, a očekuje se da će utjecati na razvoj hrvatskog gospodarstva.

Zahvala. *Predstavljeno istraživanje financirano je iz znanstvenog ZIP UNIRI projekta „Istraživanje ponašanja komponenti kompozitnog panela s integriranom čeličnom jezgrom“ provedenog uz potporu Sveučilišta u Rijeci. Laboratorijska oprema kupljena je u okviru projekta Razvoj istraživačke infrastrukture na kampusu Sveučilišta u Rijeci (RC.2.2.06-0001) koji je financiran iz Europskog fonda za regionalni razvoj (EFRR) i Ministarstva znanosti, obrazovanja i sporta RH.*

Literatura

- [1] Allen, H.G., (1969) Analysis and Design of Structural Sandwich Panels. Oxford, London, England: Pergamon Press
- [2] Frostig, Y., (1993) High-Order Behavior of Sandwich Beams with Flexible Core and Transverse Diaphragms. *Journal of Engineering Mechanics ASCE* 1993, 119(5): 955–972
- [3] Swanson, K. J., (2001) Design of Sandwich Structures for Concentrating Loading. *Journal of Composite Structures*, 52: 365–73
- [4] Cheng, Q. H., Lee, H. P., Lu, C., (2006) A Numerical Analysis Approach for Evaluating Elastic Constants of Sandwich Structures with Various Cores. *Composite Structures*, 74: 226–36
- [5] Sharaf, T., Fam. A., (2013) Analysis of Large Scale Cladding Sandwich Panels Composed of GFRP Skins and Ribs and Polyurethane Foam Core. *Thin-Walled Structures*, 71: 91-101
- [6] Shawkat, W., Honickman, H., Fam. A., (2008) Investigation of a Novel Composite Cladding Wall Panel in Flexure. *Journal of Composite Materials*, 2008, 42 (3): 315–30
- [7] Sharaf, T., Shawkat, W., Fam. A., (2010) Structural Performance of Sandwich Wall Panels with Different Foam Core Densities in One-Way Bending. *Journal of Composite Materials*, 44 (19): 2249-2263
- [8] Reis, E., Rizkalla. S., (2008) Material Characteristics of 3-D FRP Sandwich Panels. *Construct Build Mater*, 22 (6): 1009–1018
- [9] Krolo, P., Bede, N., Grandić, D., Palijan, I., (2020) Influence of Density on Tensile and Compressive Properties of Polyurethane Foam. U: Šajna, A., Legat, A., Jordan, S., Horvat, P., Kemperle, E., Dolenc, S., Ljubešek, M., Michelizza, M., ur. Proceedings of the 2nd International Conference CoMS2020/21, Volume 1. Ljubljana: Slovenian National Building and Civil Engineering Institute (ZAG), str. 208-215

- [10] Bede, N., Krolo, P., Grandić, D., Palijan, I., (2020) Ponašanje magnezij-oksidnih kompozitnih ploča izloženih jednoosnom tlaku. U: Damjanović, D., Kozak, D., Konjatić, P., Katinić, M., ur. Zbornik radova desetog susreta Hrvatskog društva za mehaniku. Slavonski Brod: Hrvatsko društvo za mehaniku, str. 37-42
- [11] Krolo, P., Bede, N., Grandić, D., Palijan, I., (2020) Ponašanje magnezij-oksidnih kompozitnih ploča izloženih jednoosnom vlaklu. U: Damjanović, D., Kozak, D., Konjatić, P., Katinić, M., ur. Zbornik radova desetog susreta Hrvatskog društva za mehaniku. Slavonski Brod: Hrvatsko društvo za mehaniku, str. 135-140
- [12] Lukačević, L., Krolo, P., Čeh, N., (2021) Ispitivanje kompozitnog panela na savijanje s ciljem utvrđivanja svojstva prionjivosti obloge i jezgre panela. U: Brčić, M., Skoblar, A., Ribarić, D., ur. Zbornik radova jedanaestog susreta Hrvatskog društva za mehaniku. Rijeka: Hrvatsko društvo za mehaniku, str. 165-171
- [13] Bakran, A., Krolo, P., Čeh, N., (2021) Utvrđivanje svojstava prionjivosti između čelika i polimerne pjene provedbom testa savijanja kompozitnog panela. U: Brčić, M., Skoblar, A., Ribarić, D., ur. Zbornik radova jedanaestog susreta Hrvatskog društva za mehaniku. Rijeka: Hrvatsko društvo za mehaniku, str. 17-23
- [14] Lukačević, L. (2021) Ispitivanje kompozitnog panela na savijanje s ciljem utvrđivanja svojstva prionjivosti obloge i jezgre panela, diplomski rad, Građevinski fakultet, Sveučilište u Rijeci
- [15] Bakran, A. (2021) Utvrđivanje svojstava prionjivosti između čelika i polimerne pjene provedbom testa savijanja kompozitnog panela, diplomski rad, Građevinski fakultet, Sveučilište u Rijeci