

primljen: 17.01.2023.
prihvaćen: 22.02.2023.

izvorni naučni rad

UDK : 69.057.43(497.11)

EKSPERIMENTALNO ISPITIVANJE VEZA NOSEĆE KONSTRUKCIJE MONTAŽNE HALE HLADNJAČE „LOVOPROMET“ U NIŠU

Dragan Zlatkov¹, Slobodan Ranković², Biljana Mladenović³

Rezime: Na osnovu rezultata istraživanja sistema sa polukrutim vezama sprovedenih u okviru naučnog projekta TR 36016 "Eksperimentalna i teorijska istraživanja linijskih i površinskih sistema sa polukrutim vezama sa aspekta teorije drugog reda i stabilnosti" finansiranog od strane Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije, projektovana je i izgrađena konstrukcija montažne hale hladnjače Lovopromet, na lokaciji Čamurlijski put u Nišu, koja je izvedena u montažnom sistemu Putinženjering, Niš. Primenjena je polumontažna međuspratna konstrukcija Omnia koja se u uobičajenoj inženjerskoj praksi u proračunu tretira kao slobodno oslonjena ploča sa prenošenjem opterećenja u jednom pravcu. Sprovedena eksperimentalna ispitivanja imala su za cilj da na primeru kontinualne ploče sa tri polja izvedene u tom sistemu, pokažu kakva je preraspodela uticaja u polju i nad osloncima za projektovano realno opterećenje. Programom eksperimentalnog ispitivanja predviđeno je i ispitivanje glavnih nosača koji su projektovani i izvedeni kao proste grede i kontinuirani posle montaže, sa ciljem utvrđivanja stepena njihovog kontinuiranja.

Ključne reči: polukrute veze, montažni sistem, međuspratna konstrukcija Omnia, kontinualna ploča

EXPERIMENTAL TESTING OF THE CONNECTIONS OF THE BEARING STRUCTURE OF THE PRECAST COLD STORAGE „LOVOPROMET” IN NIŠ

Abstract: Based on the results of the research of systems with semi-rigid connections carried out within the scientific project TR 36016 "Experimental and theoretical research of linear and surface systems with semi-rigid connections from the aspect of second-order theory and stability" financed by the Ministry of Science and Technological Development of the Republic of Serbia, the structure of the hall of the Lovopromet cold store, at the location Čamurlijski put in Niš was designed and constructed in the precast system Putinženjering, Niš. A semi-precast floor structure Omnia was used, which in the usual engineering practice is treated as a simple supported slab with load transfer in one direction. The purpose of the conducted experimental tests was to show, on the example of a continuous slab with three spans performed in that system, what is the redistribution of influences in the spans and over the supports for the projected real load. The experimental testing program also provides for the testing of the main girders, which are designed and constructed as simple beams that are continued after assembly, with the aim of determining the degree of their continuity.

Key words: Semi-Rigid Connections, Precast System, Omnia Floor Structure, Continuous Slab

¹ Dr, dipl.inž.građ., vanredni profesor, Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu, dragan.zlatkov @gaf.ni.ac.rs

² Dr, dipl.inž.građ., docent, Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu, slobodan.rankovic @gaf.ni.ac.rs

³ Dr, dipl.inž.građ., docent, Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu, biljana.mladenovic @gaf.ni.ac.rs

1 UVOD

Pri optimalnom dimenzionisanju realnih konstrukcija javlja se potreba da se pri proračunu uzima u obzir elastičnost čvornih veza, tj. realna krutost veza štapova u čvorovima. Uočeno je da je stepen krutosti (uklještenja) veze od posebnog značaja za montažne konstrukcije, jer i mali stepen uklještenja na mestima montažnih veza utiče na preraspodelu statičkih, deformacijskih veličina, veličinu kritičnog opterećenja, dužinu izvijanja štapova i osnovna dinamička svojstva konstrukcije, tako što se povoljno odražava na preraspodelu naprezanja i veličinu kritičnog opterećenja. Isto tako, nedovoljno obezbeđene a pretpostavljene krute veze mogu imati negativne posledice u raspodeli naprezanja u konstrukciji [1].

U konstrukcije sa elastičnim - polukrutim vezama (semi - rigid connections) ubrajaju se sistemi kod kojih međusobne veze štapova nisu apsolutno krute, već dozvoljavaju u opštem slučaju izvestan stepen relativne pomerljivosti u pravcima svih generalisanih pomeranja. Kao ilustracija značaja tretiranja veza kao polukrutih može poslužiti primer proračuna okvira objekata Fresenius, Vršac [2].

I pored velikog broja teorijskih i eksperimentalnih radova u oblasti polukrutih veza, ova koncepcija proračuna još uvek nije našla širu primenu u praksi kod armirano-betonskih konstrukcija, pre svega usled nedostatka odgovarajuće regulative, kako u svetu tako i kod nas. Evidentno je da još uvek nije izvršena klasifikacija veza u kojoj bi i polukrute veze našle svoje mesto, niti su usvojeni računski modeli za njihovu analizu u Evrokodu 2, koji regulišu proračun betonskih i armirano-betonskih konstrukcija.

U montažnom sistemu gradnje grede i ploče se u statičkom smislu najčešće tretiraju kao proste grede, što ima za posledicu predimenzionisane elemente (veći poprečni presek, više armature i betona). Ovaj problem se može rešiti ukoliko se proračunom uzme u obzir kontinuiranje grede i ploča nad osloncima betoniranjem u fazi montaže, čime bi se povećala nosivost elemenata konstrukcije [3]. Međutim, postavlja se pitanje koliki je stepen uklještenja na mestu kontinuiranja, kako bi se proračun sproveo na što realnijem modelu.

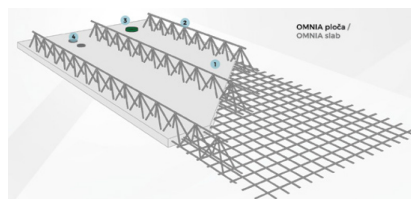
Cilj sprovedenog eksperimentalnog ispitivanja je sagledavanje efekta kontinuiranja Omnia ploča i glavnih grednih nosača na preraspodelu uticaja usled projektovanog realnog opterećenja. Ovo je pogotovo važno za objekte visokogradnje gde se sa povećanjem

spratnosti povećava statička neodređenost sistema i preraspodela uticaja je od većeg značaja. Rezultati istraživanja bi trebalo da doprinesu optimalnom projektovanju greda i Omnia ploča, kao i ekonomičnijoj proizvodnji tih elemenata u fabrikama betonskih elemenata.

2 MEĐUSPRATNA KONSTRUKCIJA OMNIA

Omnia ploča je tanka prefabrikovana armiranobetonska ploča. Ona sadrži trouglasti Omnia rešetkasti nosač koji je pričvršćen za donji sloj armature pre nego što se sveži beton izlije da bi se proizvela Omnia ploča, [4]. Rešetkasti nosač se proizvodi korišćenjem čelika visoke čvrstoće, pruža krutost ploči i omogućava da se ploča lako veže sa betonom koji se kasnije izliva na licu mesta. Ovaj rešetkasti nosač takođe pruža podršku za gornju mrežastu armaturu, a koristi se i kao tačka sidrenja prilikom podizanja panela na licu mesta.

Omnia ploče se proizvode u fabričkim uslovima, i potom transportuju i montiraju na gradilištu. One se ređaju jedna do druge, a zatim se postavlja armatura donje zone u poprečnom pravcu. Posle postavljanja armature i u gornjoj zoni, beton se izliva do projektovane visine, a sam proces se naziva monolitizacija. Svi neophodni otvori, električne kutije, ugradni delovi i ostalo je uzeto u obzir pri proizvodnji Omnia tavanica. Opremanje sa elementima različitih instalacija, kablova, sistema za grejanje i hlađenje postala je uobičajena praksa [4].



Slika 1 –Omnia ploča Putinženjeringa [4]



Slika 2 –Postavljanje Omnia ploča [4]

Prednosti korišćenja Omnia ploča istaknute u [4] i [5] su:

- Velike površine se mogu postaviti brzo i bezbedno;
- Ne koristi se oplata na gradilištu;
- Odlikuju se odličnom zvučnom izolacijom i vatrootpornošću;
- Odgovaraju objektima različitih namena;
- Mogu se koristiti kod nepravilnih ili složenih konstrukcija zgrada;
- Integrirani rešetkasti nosač olakšava projektovanje progresivnog kolapsa.
- Projektovane su da izdrže teške uslove opterećenja;
- Projektovane su da izdrže izloženost različitim vremenskim uslovima;
- Glatka ravna donja strana može se direktno dekorisati.

Fleksibilnost u projektovanju armiranobetonskih Omnia ploča je velika, što potvrđuju sledeće činjenice:

- Moguće je projektovanje sa oslanjanjem u jednom ili dva pravca;
- Nepravilni i složeni oblici proizvode se tako da odgovaraju zahtevima investitora;
- Servisni otvori precizno se formiraju tokom proizvodnje;
- Vatrootpornost se može povećati promenom debljine ploča.

3 EKSPERIMENTALNO ISPITIVANJE DELOVA KONSTRUKCIJE HLADNJAČE LOVOPROMET

Na osnovu rezultata istraživanja sistema sa polukrutim vezama sprovedenih u prethodnom periodu, projektovana je i izgrađena konstrukcija montažne hale Hladnjače Lovopromet, u Nišu, koja je izvedena u montažnom sistemu Putinženjering, Niš, [6]. Elementi montažne konstrukcije su izrađeni u fabrici montažnih elemenata, a montaža elemenata i monolitizacija veza izvršena je na lokaciji.

Primenjena je polumontažna međuspratna konstrukcija Omnia debljine 5cm koja se izvodi u fabrici kao montažni element, po sistemu skrivene oplata, dok se preostali sloj do projektovane visine međuspratne konstrukcije $d=20\text{cm}$, posle njene montaže betonira na licu mesta.

Ovako izvođena međuspratna konstrukcija je u proračunu uglavnom tretirana kao slobodno oslonjena ploča, sa prenošenjem opterećenja u jednom pravcu, što je bio slučaj i kod razmatranog objekta. Na ovom

objektu je izvršeno kontinuiranje međuspratne konstrukcije adekvatnom armaturom u gornjoj zoni na spoju Omnia ploča u podužnom pravcu, slika 4. Sprovedena eksperimentalna ispitivanja imala su za cilj da na primeru kontinualne ploče sa tri polja izvedene u tom sistemu, pokažu kakva je preraspodela uticaja u polju i nad osloncima za projektovano realno opterećenje.



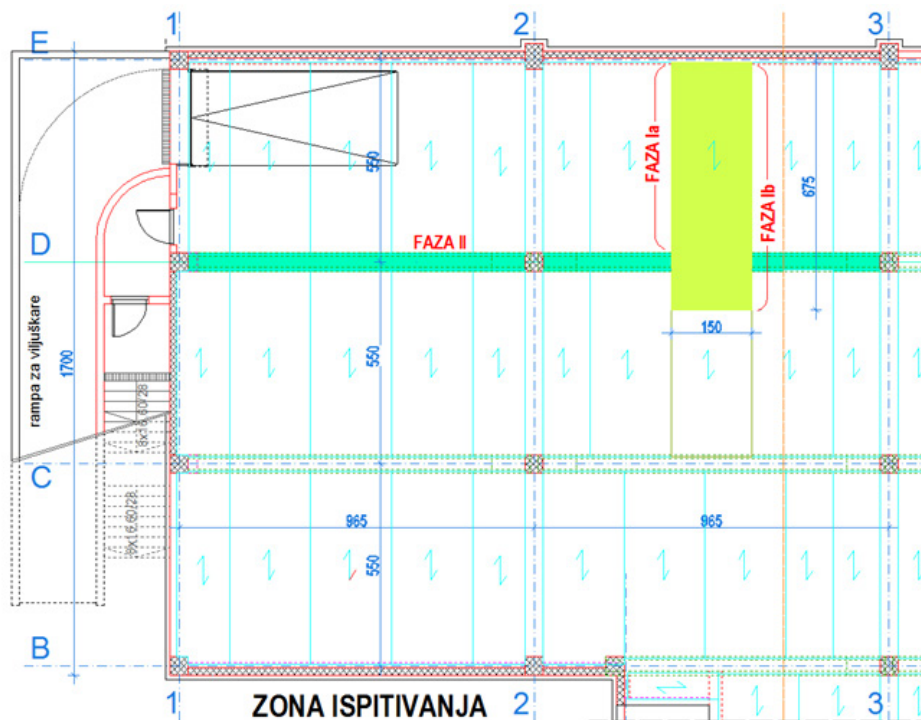
Slika 3 – Stubovi i međuspratna konstrukcija Omnia u pogonu Putinženjeringa



Slika 4 – Kontinuiranje Omnia ploča i greda na objektu Lovopromet [6]

Programom eksperimentalnog ispitivanja predviđeno je i ispitivanje glavnih nosača koji su projektovani i izvedeni kao proste grede i kontinuirani posle montaže, slika 4, sa ciljem utvrđivanja stepena njihovog kontinuiranja, kao i određivanja koliko se povećava njihova nosivost posle betoniranja dodatnog sloja u debljini međuspratne konstrukcije $d=20\text{cm}$.

Ukoliko se pretpostavke o ostvarivanju potpunog ili delimičnog kontinuiteta potvrde, to bi bitno uticalo na smanjenje armature u polju međuspratnih konstrukcija, kao i na smanjenje pomeranja (ugiba) i povećanje upotrebljivosti i ekonomičnosti ove konstrukcije.



Slika 5 – Zona konstrukcije koja se ispituje

3.1 TOK EKSPERIMENTA

Osnovni konstruktivni elementi međuspratne konstrukcije (montažna Omnia ploča i podvlake) ispitivani su na uticaj statičkog probnog opterećenja u skladu sa propisima za ovu vrstu radova SRPS U. M1.047. Zona objekta u kojoj je vršeno ispitivanje prikazana je na slici 5. U prvoj fazi izvršeno je opterećenje i rasterećenje kontinualne ploče između osa 2 i 3 (faze opterećenja Ia i Ib) od ose E prema osi D, a zatim opterećenje grede u osi D (faza opterećenja II). Posle svakog koraka očitavani su merni instrumenti na svim mernim mestima.

Ispitivanja su izvedena na konstruktivnim elementima iznad podruma, a opterećenje je nanošeno u komorama prizemlja, slika 6. Merene su opšte deformacije i dilatacije, na osnovu kojih su sračunati naponi u konstruktivnim elementima od uticaja probnog opterećenja.



Slika 6 – Pogled na praznu komoru u prizemlju hladnjače Lovopromet.

Kao probno statičko opterećenje korišćene su palete sa smrznutom ribom poznate težine koje reprezentuje stvarno korisno opterećenje objekta u eksploataciji. Opterećenje je nanešeno specijalizovanim viljuškarama postepeno po fazama, slike od 7 do 10.



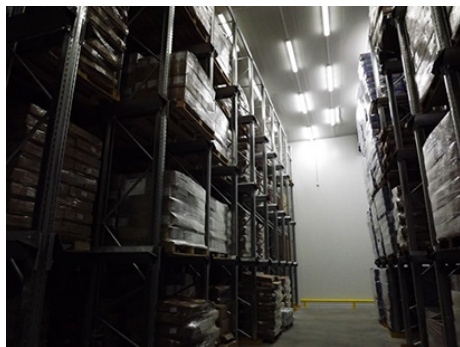
Slika 7 – Nanošenje opterećenja specijalizovanim viljuškarom



Slika 8 – Nanošenje opterećenja Faza- opterećenja Ia



Slika 9 – Nanošenje opterećenja - Faza opterećenja Ib



Slika 10 – Nanošenje opterećenja - Faza opterećenja II

Prvo je nanošeno opterećenje i rasterećenje Omnia ploče, (faza opterećenja Ib), a zatim i celokupne međuspratne konstrukcije odnosno podvlaka (faza opterećenja II).

Maksimalno naneto opterećenje je zadržano na konstrukciji 16 sati, nakon čega je izvršeno rasterećenje uz očitavanje vrednosti na instrumentima u narednih 16 sati tokom rasterećenja. Ukupno zamenjujuće opterećenje ima težinu jednaku budućem predviđenom korisnom opterećenju komore. Naneto je ukupno 390 tona tereta.

3.2 KORIŠĆENA OPREMA

Raspored mernih instrumenata (slike 15 i 16) izvršen je u skladu sa principom opasaivanja preseka mernim instrumentima. Krišćena je oprema za praćenje deformacija i naprezanja u karakterističnim presecima u kojima se očekuju maksimalni uticaji.

Davači su vezani za mernu stanicu primenom višekanalnog akvizicijskog sistema SPIDER8 proizvodnje HBM (Hottinger Baldwin Mestehnik) i povezani sa personalnim računarom. Obrada podataka izvršena je originalnim HBM softverskim paketom CATMAN V3.1



Slika 11 – Montaža klinometra K2 i dilatometra D1



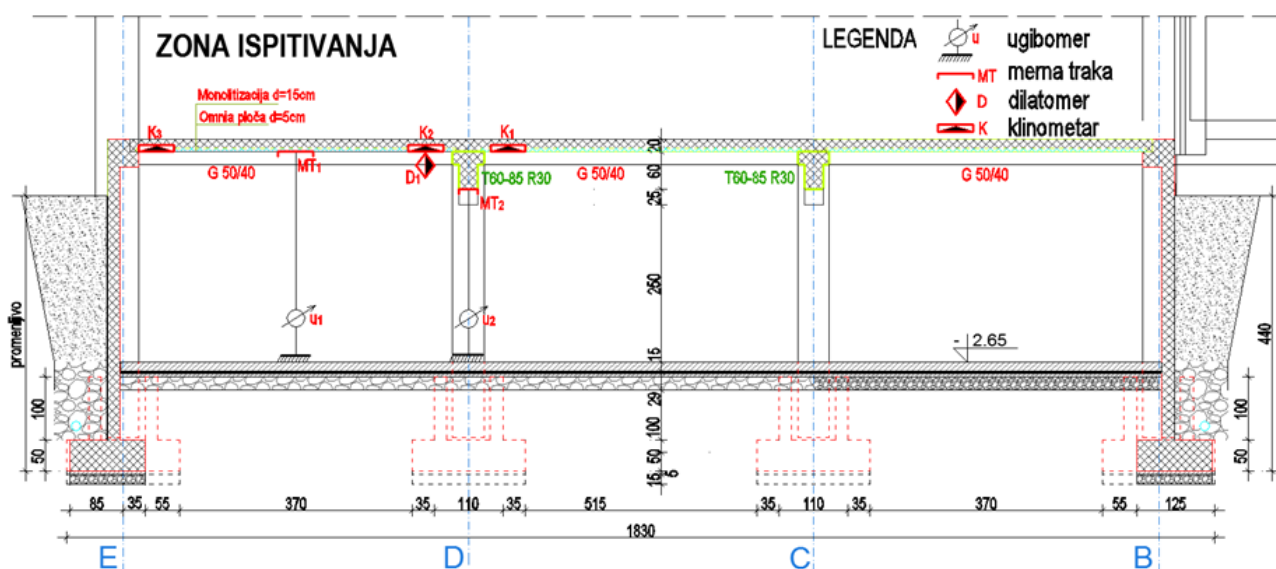
Slika 12 – Položaj klinometara K4 i K5



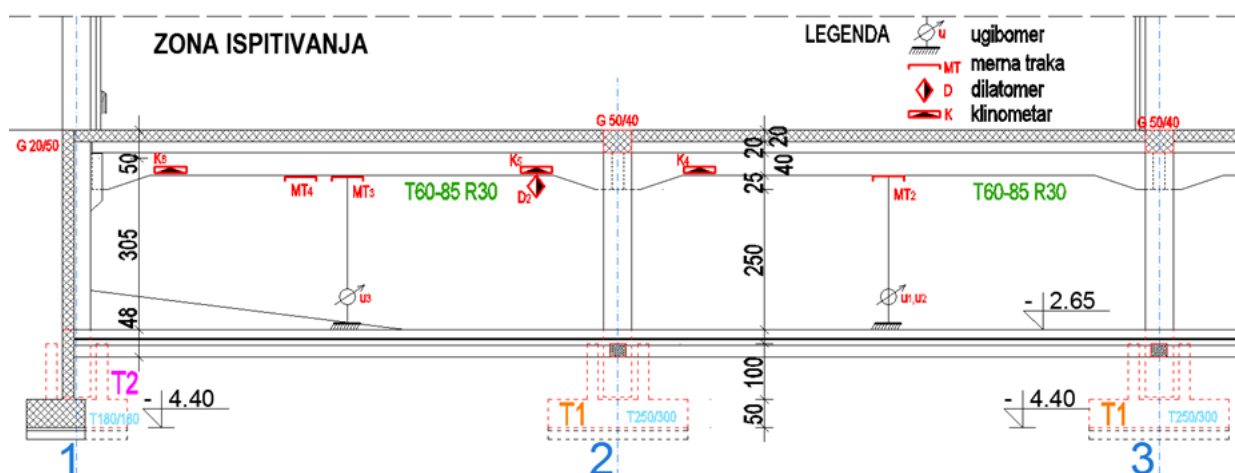
Slika 13 – Montirani instrumenti za prvu fazu-ispitivanja međuspratne konstrukcije



Slika 14 – Položaj mernih traka M3 i M



Slika 15 – Raspored mernih instrumenata za ispitivanje MK



Slika 16 – Raspored mernih instrumenata za ispitivanje kontinualne grede u osi D

3.3 REZULTATI MERENJA

U tabeli 1 pregledno su prikazani rezultati merenih vrednosti pomeranja i deformacija, kao i sračunatih napona za sve faze opterećenja. Rezultati praćenja ugiba ugibomer satom U3 nisu zabeleženi.

Kako je cilj eksperimentalnih istraživanja bio određivanje stepena kontinuiranja veza posebna pažnja posvećena je merenju nagiba elastične linije za različite faze opterećenja. Pri fazi opterećenja Ia (opterećenje je naneto samo u prvom polju između osa E i D) nagib elastične linije kontinuirane međuspratne konstrukcije Omnia, prikazan je na slici 17.

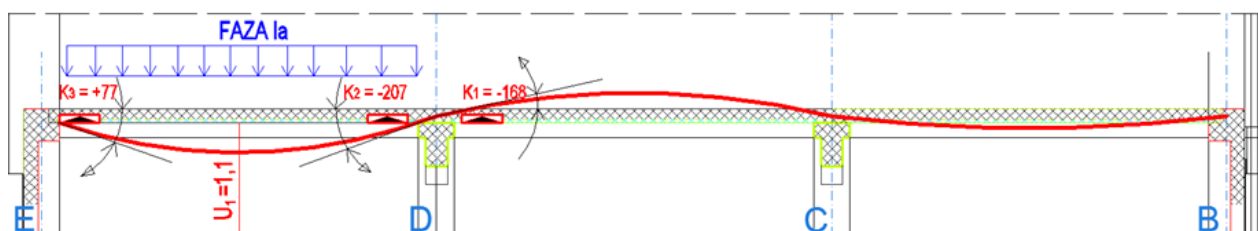
Evidentno je da su dobijeni uglovi obrtanja levo i desno od ose D istog znaka, što nedvosmisleno potvrđuje da je kontinuitet veze ostvaren. Međutim, razlika u izmerenim vrednostima nagiba je dokaz da

nije postignut apsolutni stepen kontinuiteta, odnosno da ovu vezu treba analizirati kao polukrutu, [7].

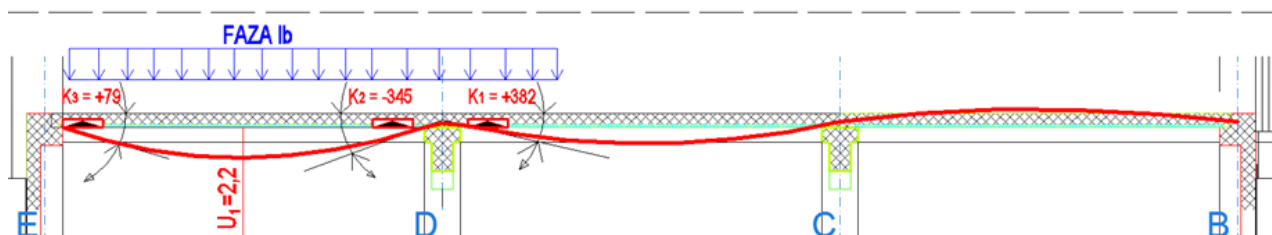
Do istog zaključka može se doći posmatrajući izmerene vrednosti nagiba elastične linije, međuspratne konstrukcije Omnia za fazu opterećenja Ib (opterećenje je naneto u prvom i delimično u drugom polju između osa E i C), što je prikazano na slici 18.

Pri fazi opterećenja II (naneto je kompletno korisno opterećenje komore), kako bi se izmerili nagibi elastične linije kontinuirane grede u osi D. Rezultati su prikazani na slici 19.

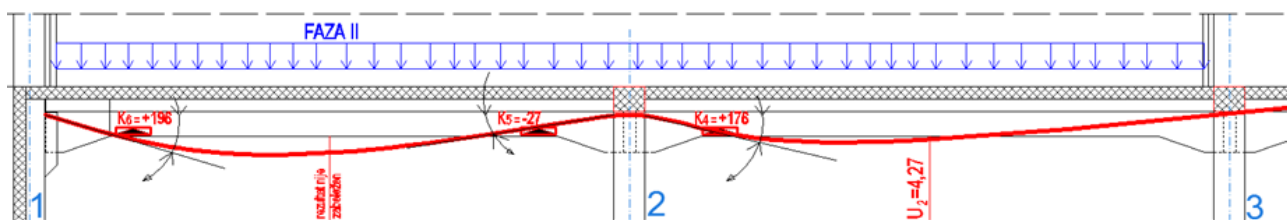
Oblik elastične linije potvrđuje da je kontinuitet veze u osi 2 ostvaren delimično, te da i ovu vezu treba analizirati kao polukrutu.



Slika 17 – Izmerene vrednosti nagiba i ugiba elastične linije za fazu opterećenja Ia



Slika 18 – Izmerene vrednosti nagiba i ugiba elastične linije za fazu opterećenja Ib



Slika 19 – Izmerene vrednosti nagiba i ugiba elastične linije za fazu opterećenja II

Tabela 1 - Rezultati merenih vrednosti pomeranja, deformacija i napona

OZN. INST	PODAT. INSTR. (p)	Modul elastič. E (daN/cm ²)	O	P ₂ I-a Faza (prvo polje)	P ₃ I-b Faza (prvo+deo drugog polja)	O ₁	P ₄ II Faza	Δ_1 (P ₂ -O)	Δ_2 (P ₃ -O)	Δ_3 (P ₄ -O ₁)	UTICAJI		
											I Faza		II Faza
											I-a	I-b	
M ₁	1'10 ⁻⁶	2,1'10 ⁶	0	36	58	2	21	36	58	21	76	122	
M ₂	1'10 ⁻⁶	2,1'10 ⁶	0	85	142	8	73	85	142	73	179	298	
M ₃	1'10 ⁻⁶	2,1'10 ⁶	0			0	190			190			399 daN/cm ²
M ₄	1'10 ⁻⁶	2,1'10 ⁶	0			0	154			154			323 daN/cm ²
D ₁	1'10 ⁻⁶	2,1'10 ⁶	0	-0	-0.004	0		10	40		21	84	
D ₂	1'10 ⁻⁶	2,1'10 ⁶	0			0	-0.01			60			126 daN/cm ²
K ₁	1.055 s	/	23+235	24+058	24+060	24+122		73	75		77	79	79
K ₂	1.055 s	/	19+065	18+119	17+238	18+152		-196	-327		-207	-345	
K ₃	1.055 s	/	17+180	18+100	19+042	18+131		-80	362		-168	382	
K ₄	1.055 s	/				21+238	22+155			167			176
K ₅	1.055 s	/				17+145	17+119			-26			-27
K ₆	1.055 s	/				17+018	17+204			186			196
U ₁	1/100	/	42,80	43.9	45	43.1	49.5	1,10	2.2	6.4	1,10	2,20	6,40
U ₂	1/100	/	23.3	24.05	24.7	23.4	27.63	0,77	1.4	4.3	0,77	1,42	4,27
U ₃	1/1000	/	?										?

rezultai merenja nisu zabeleženi

4 DISKUSIJA I ZAKLJUČAK

Na osnovu rezultata ispitivanja potvrđene su pretpostavke da se polumontažna međuspratna AB konstrukcija koja se izvodi po sistemu Omnia ploče, koja je u dugogodišnjoj inženjerskoj praksi u našoj zemlji i u svetu tretirana kao slobodno oslonjena ploča, može, uz adekvatno armiranje iznad srednjih oslonaca, tretirati kao ploča sa određenim stepenom kontinuiteta. Ovo omogućava da se značajno može smanjiti potrebna armatura u poljima, pogotovu u srednjim poljima, ako se radi o ploči sa više polja, kao i da će granično stanje upotrebljivosti (ugibi i prsline) biti sigurno manje izraženi nego kada se ploča tretira kao slobodno oslonjena.

Evidentno je međutim da potpuni kontinuitet nije ostvaren, te međuspratna konstrukcija treba da se analizira kao konstrukcija sa polukrutim vezama. Za donošenje sigurnijih zaključaka i za povećanje stepena postignutog kontinuiteta neophodna su dodatna ispitivanja modela veze u prirodnoj veličini, [8], [9].

Rezultati eksperimentalnog ispitivanja primarnih AB nosača, koji su projektovani i izvedeni kao proste grede i kontinuirani posle montaže i betoniranja "in situ" zajedno sa međuspratnom konstrukcijom, potvrđuju njihov delimični kontinuitet, što uz pravilno armiranje iznad srednjih oslonaca može bitno uticati na smanjenje armature u poljima greda, kao i na poboljšanje graničnog stanja upotrebljivosti i ekonomičnost ove konstrukcije.

Kao i u slučaju međuspratne konstrukcije, za donošenje pouzdanijih zaključaka i za povećanje stepena postignutog kontinuiteta neophodna su dodatna ispitivanja modela veze u prirodnoj veličini, [8]. Kako bi se detaljnije analizirao i fenomen preraspodele uticaja, potrebno je pored kvazistatičkog ispitivanja modela veze do loma, izvršiti i ispitivanje recimo kontinuiranjem formiranog kontinualnog nosača sa dva polja, slično onako kako je to za ispitivanje kapaciteta nosivosti nosača međuspratne konstrukcije sistema proste grede sprovedeno ispitivanjem eksperimentalnog modela EM-7, a prikazanou [6].

ZAHVALNOST

Zahvaljujemo se na finansijskoj pomoći Ministarstvu nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije za realizaciju ovog istraživanja na Građevinsko-arhitektonskom fakultetu Univerziteta u Nišu u okviru projekta iz oblasti tehnološkog razvoja

pod nazivom "Eksperimentalna i teorijska istraživanja linijskih i površinskih sistema sa polukrutim vezama sa aspekta teorije drugog reda i stabilnosti" (TR 36016).

LITERATURA

- [1] Slavko Zdravković, Dragan Zlatkov, Biljana Mladenović: **Statički i dinamički proračun konstrukcija sa polukrutim vezama štapova u čvorovima**, NAUKA+PRAKSA, Časopis instituta za građevinarstvo i arhitekturu Građevinsko-arhitektonskog fakulteta u Nišu, Vol. 13, 160-164, 2010.
- [2] Zlatkov Dragan, Stanojev Milovan, Budić Srđan, Zdravković Slavko: **Uticaj stepena uklještenja veze grede i stuba na promenu vitkosti, pomerljivosti i dinamičkih karakteristika konstrukcije fabrike "Fresenius" u Vršcu, Srbija**, 5. internacionalni naučno-stručni skup građevinarstvo - nauka i praksa, Žabljak, 2014.
- [3] Elliott Kim S.: **Precast Concrete Structures**, second edition, Taylor & Francis Group, Boca Raton- London-New York, 2017.
- [4] [https://putinzenjering.com/\(07.01.2023.\)](https://putinzenjering.com/(07.01.2023.))
- [5] <https://floodprecast.co.uk/precast-concrete-products/precast-concrete-omnia-flooring>
- [6] Zlatkov Dragan: **Teorijska i eksperimentalna analiza armiranobetonskih linijskih nosača sa polukrutim vezama**, Građevinsko-arhitektonski fakultet u Nišu, doktorska disertacija, 2015.
- [7] Dragan Zlatkov, Slavko Zdravković, Marina Mijalković, Biljana Mladenović, Tomislav Igić.: **Redistribution of the influences in systems with semi-rigid joints on elastic foundations**, FACTA UNIVERSITATIS, Series: Architecture and Civil Engineering, University of Niš, Vol.8, No 1, 225-234, 2010.
- [8] Elliott Kim S., Zuhairi Abd. Hamid: **Modernisation, mechanisation and industrialisation of concrete structures**, JohnWiley & Sons Ltd, UK, 2017.
- [9] Hillebrand, M.; Schmidt, M.; Wieneke, K.; Classen, M.; Hegger, J. **Investigations on Interface Shear Fatigue of Semi-Precast Slabs with Lattice Girders**. Appl. Sci., Vol.11, 11196, 2021.
- [10] Shane Newella, Jamie Goggins: **Experimental study of hybrid precast concrete lattice girder floor at construction stage**, Structures, Vol. 20, 866–885, 2019.