

# МАТЕРИЈАЛИ И КОНСТРУКЦИЈЕ У САВРЕМЕНОМ ГРАЂЕВИНАРСТВУ МОНОГРАФИЈА

поводом 85 година од рођења проф. др Михаила Мурављова



Београд, 2022. године



УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ – ГРАЂЕВИНСКИ ФАКУЛТЕТ  
UNIVERSITY OF BELGRADE – FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

# МАТЕРИЈАЛИ И КОНСТРУКЦИЈЕ У САВРЕМЕНОМ ГРАЂЕВИНАРСТВУ

*Монографија  
посвећена 85-ом рођендану  
професора Михаила Мурављова*

Уредници

Проф. др Драгица Јевтић  
Проф. др Бошко Стевановић  
Проф. др Димитрије Закић

Београд, новембар 2022.

Издавач

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ – ГРАЂЕВИНСКИ ФАКУЛТЕТ

За издавача

Проф. др Владан Кузмановић, декан Факултета

Уредници

Проф. др Драгица Јевтић

Проф. др Бошко Стевановић

Проф. др Димитрије Закић

Рецензенти

Проф. др Бранко Божић

Проф. др Душан Продановић

Техничка припрема

Стоја Тодоровић - Сашка

Дизајн корица

Александра Ђорђевић

Штампа

Планета принт, Београд

Тираж: 200 примерака

ISBN 978-86-7518-232-0

ВЕЛИКУ ЗАХВАЛНОСТ  
ЗА ПОМОЋ И ПОДРШКУ  
ПРИЛИКОМ ПУБЛИКОВАЊА МОНОГРАФИЈЕ  
ДУГУЈЕМО СЛЕДЕЋИМ КОМПАНИЈАМА:

ГРАДИНГ ДОО  
ИНСТИТУТ ИМС АД  
МАШИНОПРОЈЕКТ КОПРИНГ АД  
СИКА СРБИЈА ДОО  
ДОКА СЕРБ ДОО  
ASMES CONSULTANTS DOO  
ДИЈАМАНТ ИНЖЕЊЕРИНГ ДОО  
INCO PLUS DOO  
IZOLINVEST DOO  
VMS DOO  
КОТО DOO  
RÖFIX DOO SRBIJA  
XELLA SRBIJA DOO  
MAPEI SRB DOO

## ПРЕДГОВОР

Ова Монографија посвећена је проф. др Михаилу Мурављову, дипломираном грађевинском инжењеру, дугогодишњем професору Грађевинског факултета Универзитета у Београду – а излази поводом његовог 85-ог рођендана. Издавањем ове Монографије, Грађевински факултет са својим наставницима и сарадницима, жели да искаже пажњу, поштовање и велику захвалност професору Мурављову за његов изузетан допринос на пољу наставе, струке и науке.

Проф. др Михаило Мурављов је рођен 19.12.1937. године у Зрењанину. На Грађевинском факултету у Београду радио је од 1981. године до пензионисања 2003. године, где је на редовним студијама предавао предмете Грађевински материјали, Технологија бетона, Грађевински материјали 2, Испитивање конструкција (извесно време), Зградарство 2 и Инсталације и завршни радови у грађевинарству. На последипломској настави предавао је Реологију грађевинских материјала, Изабрана поглавља технологије бетона и бетонских конструкција и Лаке бетоне.

Поред предавања на матичном факултету, проф. др Михаило Мурављов је држао предавања на Грађевинском факултету Универзитета Црне Горе у Подгорици, на Грађевинско архитектонском факултету у Нишу, Факултету техничких наука Универзитета у Приштини (Косовска Митровица), као и на Факултету техничких наука у Новом Саду.

За предмете које је предавао, публиковао је бројну и запажену уџбеничку литературу, а његове књиге користиле су се и у свим бившим републикама заједничке државе.

Проф. др Михаило Мурављов јесте отишао у пензију по сили закона 2003. године, али је сваког дана и даље са нама, својим колегама, посвећено и вредно ради публикујући корисну литературу, прати иновације у области материјала и увек је спреман на стручну дискусију и предлоге инжењерских решења у пракси.

Монографија под насловом „Материјали и конструкције у савременом грађевинарству“ садржи 13 радова наставника и сарадника Грађевинског факултета у Београду из различитих области: два рада из групације Грађевински материјали и Технологија бетона, два рада из области Бетонских конструкција, по један рад из области Дрвених конструкција и Металних конструкција, као и из области Испитивања конструкција, Хидротехнике, Механике тла, Теорије конструкција, Геодезије, Саобраћајница и Грађевинске физике.

Укупан број аутора и коаутора, од пензионисаних наставника до најмлађих сарадника је 42.

Радови у овој Монографији нису посвећени само једној тематској области. Они садрже резултате вредних вишегодишњих експерименталних истраживања која су вршена у оквиру како докторских дисертација, тако и научних пројеката, дају домете иновативних технологија, као и интересантне примере из праксе, а све на линији одрживог развоја и примене рециклираних материјала и потребе за штедњом енергије и ресурса.

И овом приликом захваљујемо се свим ауторима на приложеним радовима, које ће читалачка публика, надамо се, високо оценити.

Како је ова Монографија посвећена 85-ом рођендану проф. др Михаила Мурављова, ми му желимо дуг живот, добро здравље, још много нових публикованих књига и активну сарадњу са колегама у сваком погледу као и до сада.

Надамо се да ће ова Монографија бити најцелисходнији поклон и обрадовати професора Мурављова поводом његовог рођендана, поштоваоца писане речи и аутора бројне литературе из најшире области грађевинарства.

Уредници

Драгица Јевтић

Бошко Стевановић

Димитрије Закић

Београд, новембар 2022.

## САДРЖАЈ

|  |    |  |     |
|--|----|--|-----|
| <b>Проф. др Михаило Мурављов - Биографија</b>  | I  | <b>Иновативни материјали и технологије за изградњу путева</b><br>Александар Цветановић,<br>Горан Младеновић, Марко Орешковић....   | 107 |
| <b>Испитивање квалитета бетона уграђеног у конструкцију</b><br>Димитрије Закић,<br>Бранко Милосављевић,<br>Александар Радевић.....   | I  | <b>Летећи пепео - карактеризација и примена у хидротехници</b><br>Владана Рајаковић-Огњановић,<br>Дејана Ђорђевић, Владан Кузмановић,<br>Јован Деспотовић.....                                 | 119 |
| <b>Малтери на бази креча – јуче, данас, сутра</b><br>Марина Ашкрабић, Александар Савић,<br>Драгица Јевтић .....  | 13 | <b>Могућност примене пепела из ТЕ у Србији као грађевинског материјала у изградњи саобраћајне инфраструктуре</b><br>Мирјана Вукићевић, Сања Јоцковић,<br>Милош Марјановић, Вељко Пујевић ..... | 129 |
| <b>Пешачко-бициклически мост код ADA-MALLa у Београду: Испитивање статичким пробним оптерећењем</b><br>Зоран Мишковић, Синиша Саватовић,<br>Љиљана Мишковић, Радоман Чворовић. | 27 | <b>Примена технологије премера високе дефиниције у праћењу грађевинских конструкција</b><br>Бранислав Бајат, Марко Пејић,<br>Стефан Миљковић, Милутин Пејовић ....                             | 141 |
| <b>Ојачање дрвених конструкција FRP композитним материјалима</b><br>Иван Глишовић, Марија Тодоровић,<br>Бошко Стевановић .....   | 37 | <b>Физичко моделовање и in-situ мерења транспорта топлоте кроз вишеслојне спољашње грађевинске зидове</b><br>Горан Тодоровић, Радован Госпавић.....  | 151 |
| <b>Испитивање и оцена одрживих решења за конструкцијске бетоне</b><br>Снежана Маринковић, Иван Игњатовић,<br>Никола Тошић, Јелена Драгаш,<br>Ведран Царевић.....               | 57 |  |     |
| <b>Моравски коридор – мост на km 18+107</b><br>Дејан Бајић, Душко Бобера,<br>Ведран Царевић, Иван Игњатовић .....  | 75 |  |     |
| <b>Научна достигнућа групације за металне конструкције у другој деценији 21. века</b><br>Драган Буђевац, Златко Марковић,<br>Јелена Добрић, Милан Спремић .....                | 83 |  |     |
| <b>Мултимодална pushover анализа моста са утицајем интеракције тла и објекта</b><br>Мира Петронијевић,<br>Мирослав Марјановић .....  | 93 |  |     |

## ПРОФ. ДР МИХАИЛО МУРАВЉОВ - БИОГРАФИЈА



Проф. др Михаило Мурављов, дипломирани инжењер грађевинарства и редовни професор Грађевинског факултета Универзитета у Београду (у пензији), припада веома уском кругу наставника, истраживача и конструктора старог кова – које одликује изузетно широко образовање, интелектуална радозналост, као и изузетна посвећеност и студиозност у решавању најразличитијих проблема.

Михаило Мурављов је рођен 19. децембра 1937. године у Петровграду (данашњи Зрењанин), као једно од двоје деце у породици – уз сестру Веру, дипломираног инжењера технологије. Михаилов отац Алексеј Мурављов, рођен је у Богучару у близини Ростова на Дону 1895. године. Као потомак Донских козака и припадник Беле гарде, 1917. године избегао је из Русије и након дугог путешествија обрео се у Краљевини Југославији, где се уписује на студије и завршава Правни факултет Свеучилишта у Загребу. Највећи део своје професионалне каријере провео је као судија у Зрењанину. Михаилова мајка, Љубинка Мурављов (девојачко Тодоровић) рођена 1908. године у Ваљеву, била је наставница ликовног образовања у Зрењанину.

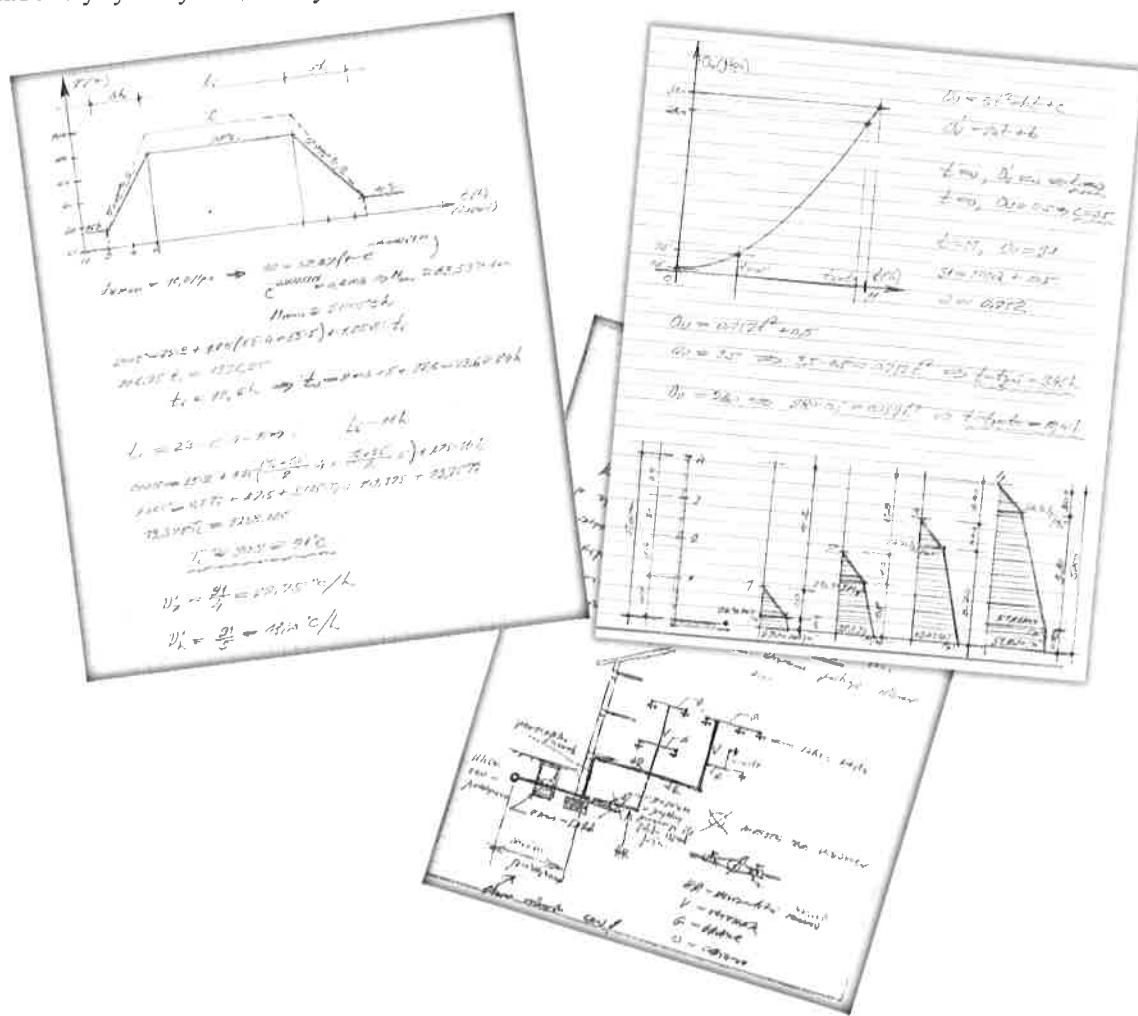
Михаило Мурављов похађао је основну школу и гимназију у родном Зрењанину, да би се 1954. године уписао на Грађевински факултет Универзитета у Београду. Дипломирао је 1960. године на Грађевинском факултету у Београду на предмету Бетонски мостови код професора Мијата Тројановића. На истом факултету је и магистрирао 1968. године са темом "Прилог прорачуну гредних мостова у кривини", а затим и докторирао 1975. године са темом "Понашање танкозидних штапова отворених профила од преднапрегнутог бетона при ограниченој торзији са утицајима течења бетона". У браку са супругом Мирославом има сина Николу, а такође и две унукe Ружицу и Љубицу. Говори енглески и руски језик, а служи се и немачким језиком.

По дипломирању, радио је у грађевинским предузећима 'Тунелоградња' Београд и 'Рудар' Тузла, као и у Институту за рударска и хемијско-технолошка истраживања у Тузли. Од 1967. до 1981. био је запослен у Институту за испитивање материјала Републике Србије (ИМС) – у звањима асистент, научни сарадник и виши научни сарадник. У периоду 1969-1970 боравио је шест месеци на Куби, у својству техничке помоћи при пројектовању и извођењу објеката у скелетном систему ИМС-Жежељ. Године 1975. провео је два месеца на усавршавању на Универзитету Беркли (САД - Калифорнија), везано за проблематику сеизмичке отпорности зграда. На Грађевинском факултету Универзитета у Београду почео је да ради 01.01.1981. године, када је изабран у звање ванредног професора за предмет 'Грађевински материјали'. У звање редовног професора изабран је 1988. године. Поред 'Грађевинских материјала', на редовним студијама предавао је и предмете 'Грађевински материјали 2', 'Технологија бетона', 'Инсталације и завршни радови у грађевинарству', 'Зградарство 2' и 'Испитивање конструкција', док је на последипломским студијама држао наставу из 'Реологије грађевинских материјала', 'Изабраних поглавља технологије бетона и бетонских конструкција' и 'Лаких бетона'. Био је ментор при изради великог броја дипломских и магистарских радова, као и 14 докторских дисертација. И након пензионисања 2003. године, иако формално више није могао да буде ментор, наставио је да несебично помаже млађим сарадницима - као инспиратор тема за нова истраживања и активан учесник у реализацији експерименталних испитивања. Такође, треба поменути и чињеницу да је професор Мурављов био дугогодишњи ментор и члан комисија за полагање стручних испита.

Поред активног бављења наставом на матичном факултету у Београду, професор Мурављов је поставио темеље и дуго година држао наставу на различитим предметима из области грађевинских

материјала и технологије бетона на Факултету техничких наука у Новом Саду, Грађевинско-архитектонском факултету у Нишу, Грађевинском факултету у Подгорици, као и на Грађевинском факултету у Приштини (касније у Косовској Митровици). Практично на свим наведеним високошколским установама, професор Мурављов је са својим сарадницима био присутан све док се, уз његову несебичну помоћ и ангажовање, не би однеговали кадрови способни да самостално преузму извођење наставе.

Предавања професора Мурављова су увек била изузетно посећена и радо слушана од бројних генерација студената. Своја предавања је припремао врло детаљно и студиозно (видети слику 1), трудећи се да понекад сувопарне теоретске постулате, када год је то могуће, допуни интересантним и актуелним примерима из праксе. Тематске јединице које би излагао својим студентима биле су увек прецизно формулисане, концизно презентоване и, што је најважније, изложене на свакоме јасан и разумљив начин. Током своје наставничке каријере, професор Мурављов је био познат с једне стране као елоквентан и омиљен предавач, а са друге стране као веома строг, али правичан испитивач. Ипак, оштрица његове професорске строгиости у великој мери је омекшала након што су се родиле његове омиљене унуке Ружица и Љубица.



Слика 1. Белешке професора Мурављова као припрема за предавања

У периоду између 1984. и 1986. године проф. Мурављов је био управник Института за материјале и конструкције (ИМК), док је у два мандата, од 1991. до 1998. и од 2001. до 2003. године био шеф Катедре за материјале и конструкције, односно председник већа Одсека за конструкције Грађевинског факултета. И након пензионисања, све до данашњих дана, остао је веран градитељском позиву и готово свакодневно присутан и активан за својим радним столом у кабинету који се налази у сутерену факултета – у Лабораторији за материјале. Током деценија, мењала су се само средства за рад – од шибера и механичке машине за куцање, до савремених рачунара са софтверима за обраду података и графике – док су радни слан, инжењерски дух и вечита спремност за шалу професора Мурављова



остали исти. Треба истаћи и чињеницу да је професор многа експериментална испитивања у лабораторији обављао својеручно, а неретко би смишљао и нове методологије испитивања - у случајевима непостојања стандардизованих поступака.

Био је дугогодишњи уредник часописа 'Наше грађевинарство', главни и одговорни уредник публикације 'Грађевински календар', а такође и члан редакционих одбора других часописа и публикација. Био је и члан међународног удружења РИЛЕМ, једне од комисија Европског комитета за бетон (ЕКБ), као и члан Комисије УНЕСКА за праћење реализације радова на обнови Старог моста и историјских споменика око тог објекта у Мостару (видети слику 2).



Слика 2. Стари мост преко реке Неретве у Мостару

Више од пола века у својим наставним, научно-истраживачким и стручним активностима бави се грађевинским материјалима, технологијом бетона и грађевинским конструктерством у најширем смислу те речи (конструкцијама од армираног и преднапрегнутог бетона, зиданим конструкцијама и др.). Такође, даје велики допринос у домену решавања проблема трајности и одрживости грађевинских материјала и конструкција, као и на плану санација, реконструкција и ојачања грађевинских објеката. На овим нашим просторима, он је родоначелник и стални поборник поштовања принципа повезаности материјала и конструкције, али исто тако и неопходности комбиновања аналитичких и експерименталних поступака при решавању низа проблема са подручја градитељства. Значајан део његовог професионалног ангажовања, како пре тако и након пензионисања, посвећен је проблематици примене нових технологија и употребе савремених материјала: карбонских трака, композитне арматуре, синтетичких материјала за инјекционе радове и др. – о чему говоре и бројне литературне одреднице из ове области (видети слику 7). Поред тога, слободно се може рећи да је професор Мурављов доајен у домену теорије и праксе у области технологије бетона, на простору бивше Југославије и ширег Балкана.

Редовни је члан Инжењерске академије Србије од 2001. године. Као аутор или коаутор јавља се у 28 књига, у преко 250 научних радова (од тога 35 публикованих у иностраним часописима, односно саопштених на међународним скуповима) и у више од 200 стручних радова, односно око 100 врло значајних пројеката и великог броја експертиза, рецензија, техничких решења и сл. Само навођење назива свих ових радова изискивало би више страница текста, па то овом приликом нећемо чинити. Професор Мурављов је руководио израдом четири научно-истраживачка пројекта и дванаест студија. После одласка у пензију, у више наврата био је рецензент различитих научно-истраживачких пројеката.

Професор Мурављов је био председник Друштва за испитивање и истраживање материјала и конструкција (ДИМК) Србије у три мандата, а данас је почасни председник тог Друштва. Носилац је

повеља почасног члана Савеза грађевинских инжењера и техничара Србије и Југославије, носилац је Повеље за животно дело у области грађевинског конструктерства Друштва грађевинских конструктера Србије, као и других друштвених признања. Носилац је тзв. "нулте лиценце" Инжењерске коморе Србије, од које је добио и Повељу за животно дело 2018. године. Био је инспиратор и организатор великог броја научних и стручних скупова из области грађевинских материјала, технологије бетона, специјалних бетона и малтера, грађевинске физике и зиданих конструкција.

Од великог броја радова проф. др Михаила Мурављова из области грађевинског конструктерства, овде се наводе само неки од најзначајнијих реализованих пројеката:

- мост преко Дунава код Бешке (први сарадник пројектанта академика Б. Жежеља),
- санација истог моста оштећеног бомбардовањем од стране НАТО авијације (носилац идејног решења и консултант при изради пројекта),
- пешачки viseћи мост преко Ибра у Матарушкој Бањи,
- мост преко Неретве у Мостару,
- мост преко Неретве у Чапљини,
- мост преко реке Жељезнице у Српском Сарајеву,
- више објеката у монтажном скелетном систему ИМС,
- санација дела хотелског комплекса „Бечићи“ после земљотреса у Црној Гори,
- санација конструкције „Јужне обале“ и „Јужног гата“ бродоградилшта у Бијелој,
- пројекат конструкције зграде Југословенског драмског позоришта у Београду,
- санација већег броја објеката у Рафинерији нафте Панчево,
- санација крова објекта ЈП СРПЦ „Милан Гале Мушкатиновић“ у Београду,
- санација армиранобетонског димњака висине 150m блокова А1, А2 и А3 ТЕНТ – Обреновац.

Од наведених пројеката, свакако најзначајнији и професору Мурављову вероватно најдражи издваја се мост преко Дунава код Бешке (видети слику 3). Професор је увек са нескривеним поносом истицао чињеницу да је, као релативно млад инжењер и сарадник нашег легендарног конструктера академика Бранка Жежеља, учествовао у изградњи оригиналног моста (Бешка 1), а да је много касније био у комисији за ревизију пројекта и надзор током изградње моста близанца (Бешка 2).



Слика 3. Мост преко Дунава код Бешке током изградње "моста близанца"

На фотографијама 4, 5 и 6 приказани су још неки објекти, у чијем пројектовању, изградњи и/или санацији је активно учествовао професор Михаило Мурављов.



Слика 4. Висећи мост преко Ибра у Матарушкој Бањи



Слика 5. Југословенско драмско позориште у Београду





Слика 6. Димњак висине 150m у оквиру ТЕНТ-А у Обреновцу након санације

Поред свих других активности, професор Мурављов је изузетно плодан аутор великог броја књига, (од којих су неке до сада имале више издања), монографија и других публикација. Овом приликом наводе се само његове најзначајније библиографске одреднице:

- Грађевински материјали,
- Грађевински материјали 2 (коаутор Д. Јевтић),
- Збирка решених испитних задатака из грађевинских материјала (коаутор С. Живковић),
- Основи теорије и технологије бетона,
- Збирка решених испитних задатака из технологије бетона (коаутор Д. Закић),
- Технологија бетона – теорија и пракса (коаутори Д. Закић и А. Радевић),
- Зидане и дрвене конструкције зграда (коаутор Б. Стевановић),
- Санације грађевинских конструкција и објеката (коаутори Б. Стевановић и Д. Остојић),
- Бетон и армирани бетон према БАБ 87, том 1, три поглавља у Приручнику,
- Специјални малтери и бетони (аутор пет поглавља и едитор монографије),
- Грађевинска физика и материјали (аутор два поглавља и едитор монографије),
- Практична примена Сика карбонских трака у ојачању бетонских конструкција,
- Основни аспекти практичне примене композитне ГФРП арматуре,
- Монографија "135 година високошколске наставе из области грађевинских материјала на Грађевинском факултету у Београду" (коаутори С. Живковић, Д. Јевтић, Д. Закић и А. Савић),
- Методе повећања носивости бетонских конструкција са примерима из праксе,
- Основе санација бетонских конструкција поступцима инјектирања, и др.

Ради илустрације, на слици 7 приказане су насловне стране одабраних књига из изузетно плодотворног опуса проф. др Михаила Мурављова.



Слика 7. Најзначајније књиге из опуса професора Михаила Мурављова

На основу свега изнетог, када је реч о проф. др Михаилу Мурављову, јасно је да се ради о педагогу, инжењеру и научнику са огромним знањем и искуством, који је својим свеукупним и дугогодишњим делањем на Грађевинском факултету Универзитета у Београду оставио неизбрисив траг. Професор Мурављов је увек исказивао поштовање према свим својим колегама, подржавао је млађе сараднике и несебично делио своја, током дугог низа година стечена сазнања из различитих области градитељства. При томе, кроз читав његов радни век, красиле су га највише људске, професионалне и етичке врлине. Резултати његовог рада, и по свом квантитету, али још више по квалитету, могу да послуже будућим генерацијама студената и наставника нашег Факултета као најбољи пример једне блиставе каријере.

Драгица Јевтић

Бошко Стевановић

Димитрије Закић

**Зоран МИШКОВИЋ, Синиша САВАТОВИЋ, Љиљана МИШКОВИЋ, Радоман ЧВОРОВИЋ**

## **ПЕШАЧКО-БИЦИКЛИСТИЧКИ МОСТ КОД *ADA-MALL* У БЕОГРАДУ: ИСПИТИВАЊЕ СТАТИЧКИМ ПРОБНИМ ОПТЕРЕЋЕЊЕМ**

### *PEDESTRIAN-CYCLIST BRIDGE NEAR ADA-MALL IN BELGRADE: TESTING BY STATIC TRIAL LOADING*

**др Зоран МИШКОВИЋ, дипл. инж. грађ.**  
ванредни професор Грађевинског факултета Универзитета у Београду

**Синиша САВАТОВИЋ, мастер инж. грађ.**  
асистент Грађевинског факултета Универзитета у Београду

**Љиљана МИШКОВИЋ, дипл. инж. грађ.**  
помоћник ген. директора за техничка питања Саобраћајног института ЦИП – Београд

**Радоман ЧВОРОВИЋ, дипл. инж. грађ.**  
водећи пројектант Хидропројекат-саобраћај ХПС – Београд

#### *Резиме*

У раду је приказано испитивање статичким пробним оптерећењем пешачко-бициклическог моста код *ADA-MALL*-а у Београду, на месту укрштаја две саобраћајнице са фреквентним друмским саобраћајем у зони највећег спортско-рекреативног и културно забавног центра у Београду - *Аде Циганлије* и новоизграђеног тржног центра *ADA-MALL*. Сходно неопходности изналажења оптималног решења, више од деценије су улагани напори за изналажење најадекватнијег решења. У финансирање изградње овако значајног објекта, укључила се компанија власник оближњег тржног центра водећи се интересима и потребама као главни донатор-инвеститор. Објекат је изведен 2021. год., а како би се остварили услови за безбедну употребу исте године је извршено испитивање пробним оптерећењем конструкција у оквиру објекта. Испитивање је извршила Лабораторија за конструкције Грађевинског факултета Универзитета у Београду, а на основу спроведеног испитивања потврђена је адекватност регистрованог конструкцијског одговора и функционалност изведеног објекта.

Кључне речи: испитивање конструкција, статичко испитивање, пешачки мост, бициклически мост

#### *Summary*

The paper presents a test by static trial loading of the pedestrian-bicycle bridge near *ADA-MALL* in Belgrade, at the intersection of two roads with frequent road traffic in the area of the largest sports-recreational and cultural entertainment center in Belgrade - *Ada Ciganlija* and the newly built shopping center *ADA-MALL*. Due to the necessity of finding an optimal solution, efforts have been made for more than a decade. In the financing construction of such an important facility, the company that owns the nearby shopping center, guided by interests and needs, became the main donor-investor. The structure was built in 2021, and in order to achieve the conditions for safe use, a trial load test was carried out in the same year. The test was carried out by the Construction Laboratory of the Faculty of Civil Engineering, University of Belgrade, and based on the test results, the adequacy of the registered structural response and the functionality of the object were confirmed.

Key words: structural testing, static trial test, pedestrian bridge, cyclist bridge

## 1. УВОД

У претходних петнаестак година Град Београд је интензивно покушавао да реши укртшај у нивоу на предметној локацији. Током летњих месеци, велики број како пешака тако и инвалида, бициклиста и родитеља са децом користи површински пешачки прелаз, који регулише одговарајућа саобраћајна сигнализација – семафор.

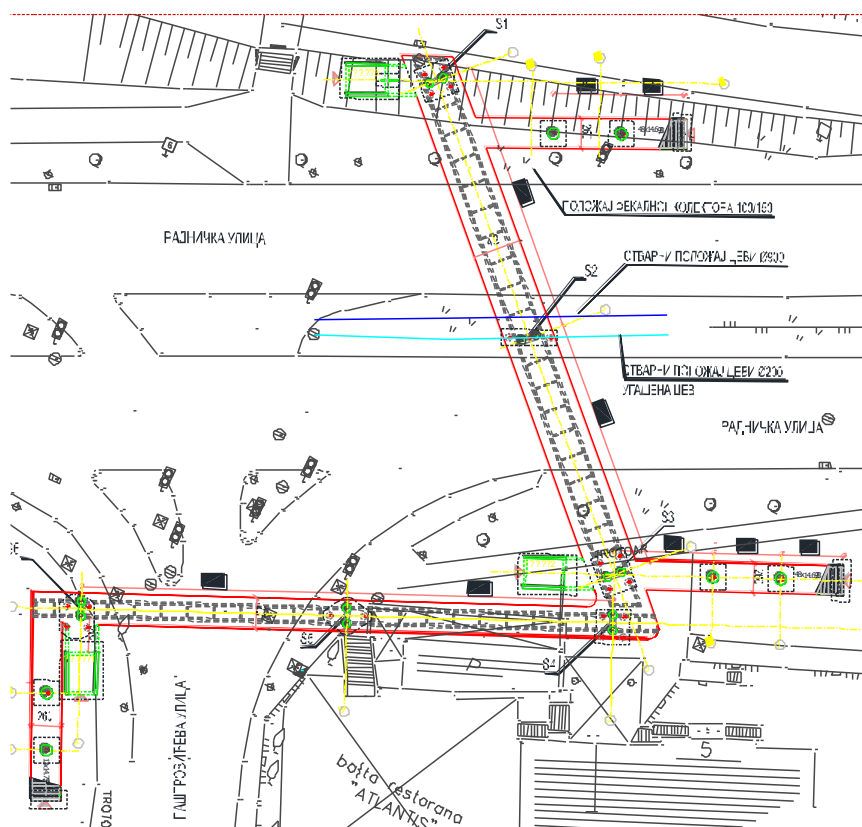
Још давне 2008.године Изводом из урбанистичког плана, на територији општине Чукарица, у зони стајалишта јавног градског превоза “Фабрике шећера”, планирана је изградња пешачке пасареле, преко саобраћајнице која је у склопу УМП-а. Пројектним задатком тражен је Идејни пројекат пешачке пасареле како би се омогућила безбедна комуникација ка садржанима на Ади Циганлији и неометан проток моторног саобраћаја у Радничкој улици. Идејни пројекат је урађен наредне године, од стране пројектне организације Саобраћајни институт ЦИП д.о.о., Београд. [1]

Приступ пасарели са обе стране Радничке улице пројектован је преко једнокраких степеништа. Такође, пројектован је и лифт у бетонском окну, као независна конструкција чиме би се омогућило

приступ лицима са посебним потребама, старијих, родитеља са малом децом и пренос спортских реквизита. Са стране Савског језера, ради безбедног и прегледног прилаза лифту, пројектом је предвиђено проширење на рачун насипа вијадукта уз обезбеђење насипа потпорним зидовима константне ширине и висине.

Како у међувремену није дошло до реализације пројекта, а на локацији је испројектован и изведен тржни центар *ADA-MALL*, јавила се потреба за још једним краком у оквиру пасареле, крак преко Паштровићеве улице.

Новопроектована пасарела је преузела архитектонске мотиве од фасадне структуре *ADA-MALL*-а, али се примећује и техничка сличност са претходним решењем [1]. Ново решење 2019.године, израдила је компанија Енергопројект-Урбанизам и архитектура а.д., Београд, док пројектну документацију према којој се конструкција пешачко-бициклическе пасареле извела 2021.године компанија Хидропројекат-саобраћај д.о.о., Београд, а све за потребе инвеститора изградње објекта Град Београд, Секретаријат за комуналне и стамбене послове – Дирекција за грађевинско земљиште и изградњу Београда ЈП, [2].



Слика 1. Ситуација пешачко-бициклическог моста са положајем инсталација



## 2. ОПИС КОНСТРУКЦИЈЕ МОСТА

Избор диспозиционог решења као и извођење пасареле је у тесној вези са постојећим инсталацијама које су неминовне у густом градском језгру.

Током извођења фундаирања стубног места С2 констатовано је да положај водоводне цеви Ø900 у разделном појасу Радничке улице не одговара положају из катастра подземних инсталација, што је за последицу имало потребу померања положаја шипова и наглавне греде изнад шипова на стубу С2, а тиме и последично промену распона конструкције преко Радничке улице. Извршена је промена облика и положај наглавне греде, промењен је број шипова испод ње, али тако да прихвати све постојеће утицаје. Поред наведене измене, а на захтев Извођача радова да би се убрзала изградња објекта, извршена је измена и типа попречног пресека. Распонска конструкција сандучастог попречног пресека је препројектована у попречни пресек са по два I носача са бетонском плочом [2].

Пројектном документацијом [2] је предвиђена пасарела за прелаз пешака и бициклиста преко Паштровићеве, односно Радничке улице у Београду. Приступ пасарели је омогућен лифтовима и степеништем, којих има по три, уз стубна места. Растојање моста од доње ивице конструкције до коте терена износи преко 5 m.

Пешачки мост се у основи састоји од две целине. Први део пешачког моста (део-1-конструкција-1) преко Радничке улице, састоји се из два распона дужина 21.84 и 23.66 m и два конзолна препуста приближних дужина 3.0 и 2.30 m. Корисна ширина првог дела моста износи 4.2 m. Други део пешачког моста (део-2-конструкција-

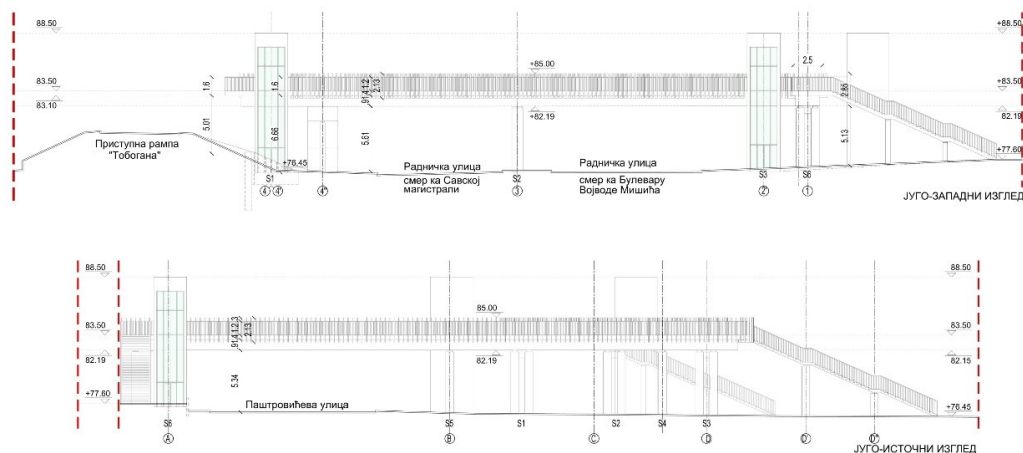
2), преко Паштровићеве улице, састоји се из два распона дужина 23.2 m и два конзолна препуста приближне дужине 4 m, док је корисна ширина другог дела моста 2.7 m.

Статички систем пешачког моста чине две континуалне греде са препустима. Главни носачи су челични I носачи (HEB1000 код конструкције-1, односно HEA1000 код конструкције-2) међусобно повезани попречним носачима у десетинама распона. Попречни носачи над ослонцима стубова су IPE600, док су попречни носачи у пољу IPE300.

Да би се испоштовао захтев Инвеститора да објекат остане визуелно исти као у техничкој документацији израђеној од стране Енерго-пројекта, преко челичних носача висине 1.04 m постављене су бетонске плоче дебљине 20 cm, које не садејствују са челичним носачима. Плоче на оба моста се формирају тако што се након монтирања и повезивања челичне конструкције постављају плоче типа OMNIA дебљине 10 cm. У склопу ових плоча се оставља арматура за повезивање са бетоном друге фазе који се изводи након постављања свих монтажних плоча.

Мост се преко непокретних и покретних еластомерних лежишта ослања на бетонске стубове кружног пресека пречника 70 cm. Стубови су, у врху повезани гредама димензија 70x50 cm на конструкцији изнад Радничке улице, односно 50x50 cm на конструкцији изнад Паштровићеве улице.

Основни материјал главне распонске конструкције је челик квалитета S355J0, стубови и плоча су бетонски, бетона класе чврстоће C35/45, док су шипови итведени од бетона класе чврстоће C25/30. Примењена је арматура типа B500B.



Слика 2. Изгледи конструкција моста (горе део-1: конструкција-1 доле део-2: конструкција-2)

### 3. ИСПИТИВАЊЕ СТАТИЧКИМ ПРОБНИМ ОПТЕРЕЋЕЊЕМ МОСТА

Конструкције пешачко-бициклическог моста код *ADA-MALL*-а у Београду испитане су сходно захтевима важећег стандарда за испитивање мостова СРПС У.М1.046:1985 [5], током јуна 2021. године., слика 3.

Испитивање је извршила Лабораторија за конструкције Грађевинског факултета Универзитета у Београду, а сходно претходно припремљеном и са надзорном службом и пројектантима усаглашеном *Програму испитивања* [3]. *Програмом испитивања* предвиђено је испитивање статичким и динамичким пробним оптерећењем сходно [5], а што је извршено уз асистенцију извођача објекта *BAUWESEN d.o.o.* Лазаревац, а у делу аплицирања пробног оптерећења, инсталације инструмената и осталих помоћних активности.

Током статичког испитивања конструкција вршено је мерење угиба конструкција и дилата-

ција (напрезања) у карактеристичним пресецима.

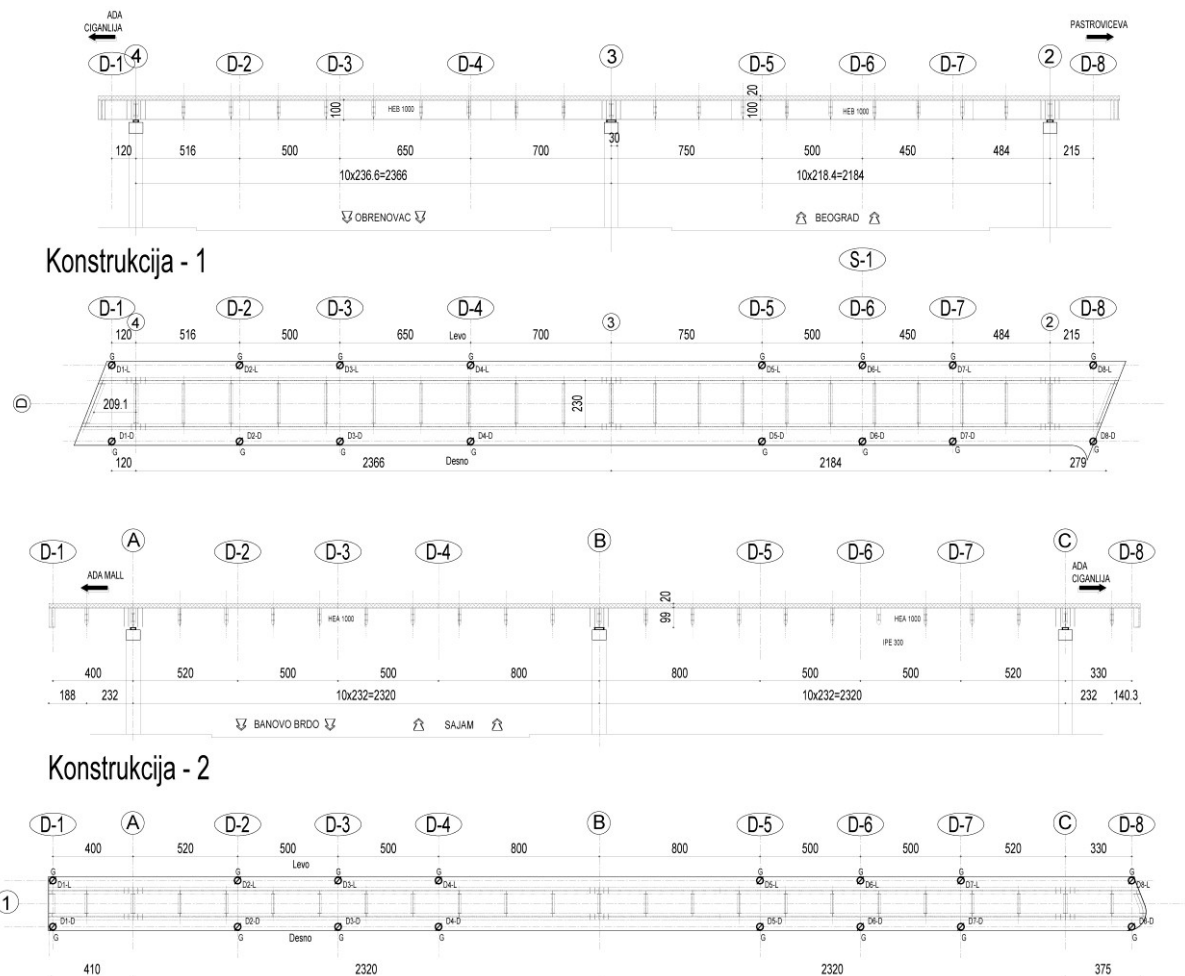
Током динамичког испитивања конструкција вршено је мерење дилатација (напрезања) и убрзања у карактеристичним тачкама обе конструкције. Такође, спроведено је и регистровање убрзања за више сценарија кретања пешака (групе пешака), као и тзв. мерење амбијенталног одговора конструкција са регистровањем убрзања у карактеристичним тачкама конструкција.

Сходно стандарду [5], један од најрелевантних параметара за процену одговора мостовских конструкција током испитивања пробним оптерећењем је поређење максимално регистрованих угиба конструкције са одговарајућим рачунским вредностима. У наредном се разматрања ограничавају на овај сегмент испитивања.

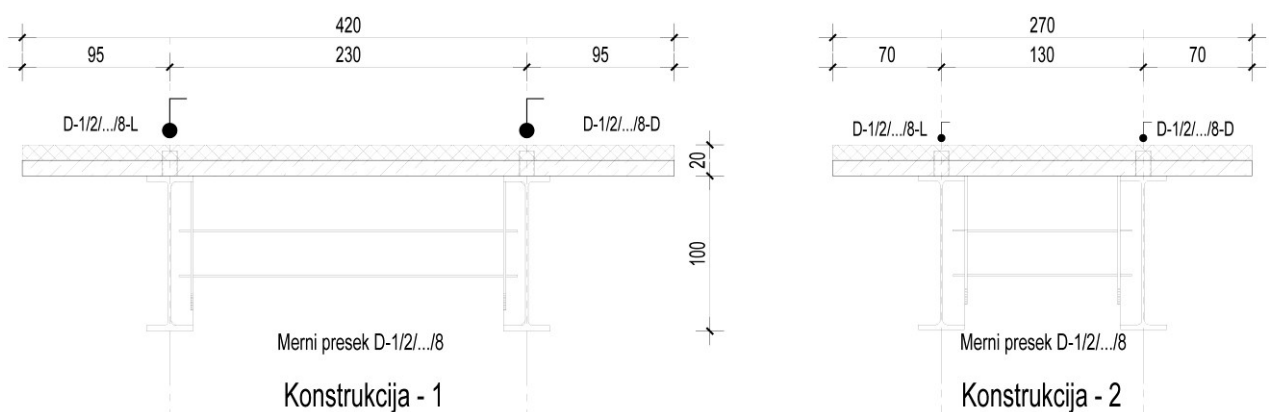
Регистровање угиба конструкција вршено је у 8 карактеристичних пресека, са диспозицијом мерних пресека приказаном на слици 4.



Слика 3. Фотографија испитивања пешачко-бициклическог моста код *ADA-MALL*-а у Београд



Слика 4. Диспозиција мерних места мерења угиба конструкција током испитивања



Слика 5. Диспозиција мерних места мерења угиба у попречном пресеку током испитивања

У сваком од мерних пресека регистравање угиба конструкција, током фаза пробног оптерећења вршено је у две мерне тачке (лево и десно) изнад главних носача (или у блиским тачкама сходно могућностима услед аплицираног пробног оптерећења), слика 5.

Регистравање (мерење) угиба вршено је применом геодетског нивелмана. Примењен је један

од најпрецизнијих инструмената, дигитални нивелир *SOKIA* модел *SDL30* са одговарајућом *barcode* летвом. На овај начин остварена је резолуција читавања угиба  $p=0.1mm$ .

Оптерећивање конструкције спроведено је аплицирањем палета натоварених бетонским плочама појединачне тежине  $P_{palette} = 15.0 kN$ . Током испитивања конструкција оптерећење је



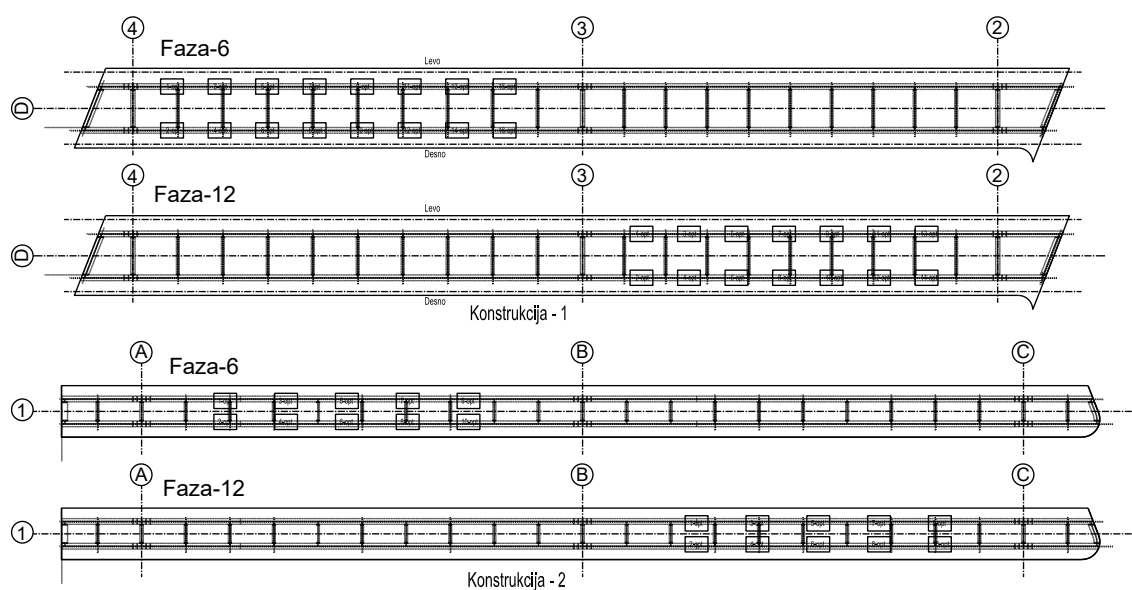
сукцесивно аплицирано сходно *Програму испитивања* [3]. На слици 6 приказане су фазе са максималним пробним оптерећењем сваког поља испитиваних конструкција, *Faza-6* и *Faza-12* пробног оптерећења, за лево односно десно поље континуалних носача, респективно.

Из разлога ограниченог простора, анализиране су максималне вредности угиба конструкција за наведене фазе са максималним оптерећењима сваког поља конструкција, фазе у којима се реализују максимални утицаји у главним челичним носачима и одговарајуће максималне вредности угиба. Максималне вредности угиба конструкција током испитивања пробним

оптерећењем се реализују на мерним местима *D3L/D3D* и *D6L/D6D* на левом односно десном носачу конструкција, сходно диспозицији мерних места, слика 4, а за фазе пробног оптерећења *Faza-6* и *Faza-12* сваке конструкције.

На слици 7 су приказане фотографије фаза оптерећења конструкције-1 и конструкције-2 пасареле код ADA MALLa у Београду.

У Табели 1 приказана је рекапитулација измерених вредности на релевантним наведеним мерним местима где се очекују максимални угиби у одговарајућим фазама током испитивања пробним оптерећењем.



Слика 6. Фазе максималног пробног оптерећења оба поља испитиваних конструкција



Слика 7. Фотографије аплицираног оптерећења током испитивања *конструкције-1* и *конструкције-2*

Табела 1. Регистровани максимални угиби конструкција током испитивања пробним оптерећењем

| <i>Максимално регистровани угиби током испитивања пробним оптерећењем [mm]</i> |                                  |            |                                   |            |
|--|----------------------------------|------------|-----------------------------------|------------|
|  | <i>Фаза-6 пробног оптерећења</i> |            | <i>Фаза-12 пробног оптерећења</i> |            |
|  | <i>D3L</i>                       | <i>D3D</i> | <i>D6L</i>                        | <i>D6D</i> |
| <i>Конструкција 1</i>  | 5.60                             | 5.90       | 4.40                              | 4.80       |
| <i>Конструкција 2</i>  | 5.60                             | 5.50       | 4.40                              | 4.30       |

#### 4. КОНТРОЛНИ ПРОРАЧУН

##### 4.1. Опис нумеричког модела конструкције

Прорачун утицаја у одговарајућим пресецима конструкција моста спроведен је применом нумеричких модела креираних у фази пројектовања у софтверу за статичку и динамичку анализу конструкција *Tower 8*, [6]. Нумерички модели, *конструкције-1* и *конструкције-2*, креирани су укључивањем најзначајних конструкцијских елемената горњег и доњег строја слика 8.

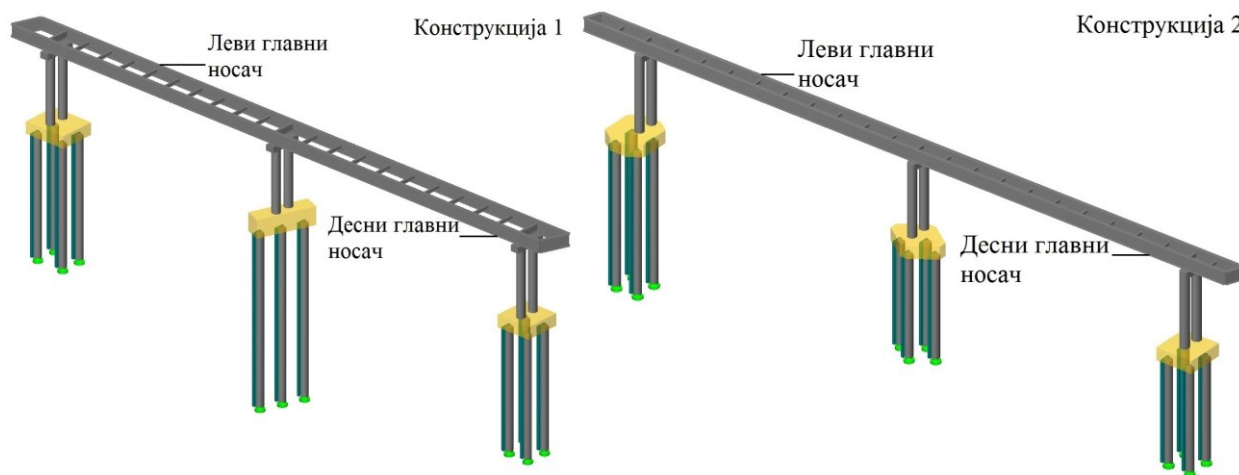
Челична конструкција горњег строја моделирана је, сходно пројектној документацији [2], са два подужна главна носача међусобно круто повезаним попречним носачима на одговарајућем растеру. Коловозна плоча пешачко-бициклички моста није укључена приликом моделирања конструкција, највероватније из разлога методе извођења и без сигурности да ће се остварити спрезање главних носача са истом. Главни челични носачи су ексцентрично ослоњени на лежишне греде изведене на врховима стубова. Елементи челичне конструкције (главни и попречни носачи), моделирани су линијским елементима без међусобних ексцентритета. Ослањање главне челичне конструкције

на лежишне греде моделирано је покретним/непокретним ослоњцима у одговарајућим правцима, а сходно пројектној документацији [2].

Конструкција доњег строја моделирана је детаљно, адекватно пројектној документацији [2]. Стубови конструкција (по два испод крајњих и средњих ослонаца челичне конструкције), који се ослањају на наглавне греде изнад шипова, моделирани су линијским елементима. Наглавне греде су адекватно моделиране плочастим елементима с обзиром на однос њихових димензија у основи и висине. Модели су укључили и шипове испод стубова конструкција, укључивањем одговарајућих крутости тла, а што их чини детаљним и комплетним.

Напомиње се да су лифтови у оквиру моста дилатирани и независно фундирани од главних конструкција моста, и нумеричко моделирање истих је спроведено независно.

Пробно оптерећење, с обзиром да модели нису укључили коловозе пешачко-бициклички моста, спроведено је аплицирањем линијског оптерећења по елементима главних челичних носача. Аплицирано је линијско оптерећење интензитета 12.5 kN/m на дужини од 1.2 m, а што одговара тежини једне палете са додатним

Слика 8. 3D приказ развијених нумеричких модела *конструкције-1* и *конструкције-2* моста

оптерећењем укупне тежине 15.0 kN, а што је припадајуће оптерећење једног главног носача. Примењени начин моделирања пробног оптерећења је адекватан Програму испитивања [3] с обзиром да су приликом оптерећивања натоварене палете постављане у два реда приближно централно изнад главних носача конструкција.

#### 4.2. Резултати прорачуна

Применом описаних нумеричких модела развијених у програмском пакету за нумеричку анализу конструкција применом методе коначних елемената *Tower 8*, спроведен је прорачун утицаја за фазе пробног оптерећења конструкција моста по теорији *I-реда*. Током нумеричке анализа је дефинисано тзв. *аутоматско генерисање* мреже коначних елемената са димензијом елемената 0.10 m.

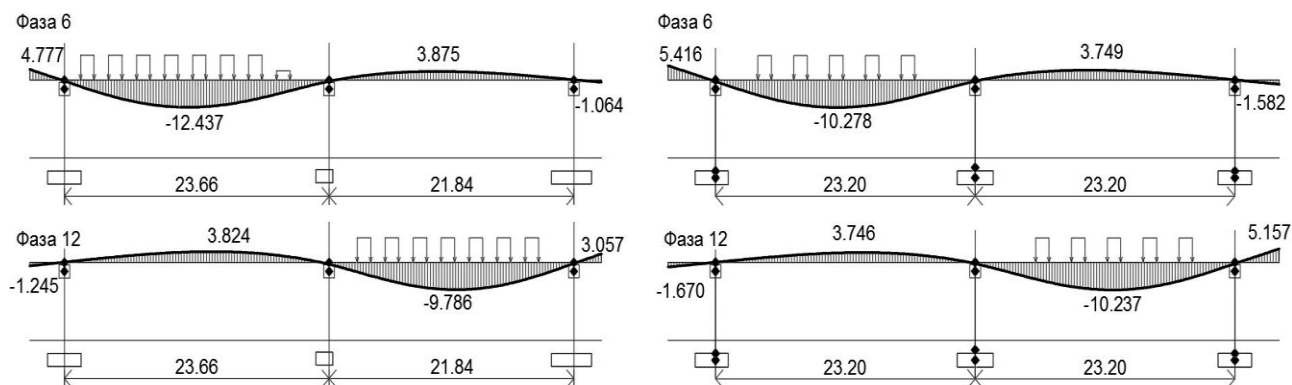
Приказани су нумерички резултати - угиби само за фазе максималних оптерећења (*Faza-6* и *Faza-12*) у мерним пресецима у срединама распона *D-3* и *D-6*. У Табели 2 приказана је рекапитулација прорачунских вредности угиба на релевантним

мерним местима (*D3L / D3D*), адекватно како су у претходној табели приказане одговарајуће регистроване (мерене) вредности угиба у кључним фазама пробног оптерећења, *Faza-6* и *Faza-12*.

Позитивне вредности угиба Табели 2 одговарају померањима надолу. На Слици 9 су приказани деформисани облици *левих* главних носача који одговарају *Fazi-6* и *Fazi-12*, при чему су означене екстремне прорачунске вредности (mm), а које су врло блиске прорачунским вредностима на мерним местима *D3L* и *D4L*, Табела 2. На слици 9 су приказане *екстремне* вредности угиба *левог главног носача* обе конструкције моста сходно нумеричком прорачуну. Приказане екстремне вредности на дијаграмима на слици 9 су врло блиске нумеричким вредностима на мерним местима приказаним у Табели 2, што потврђује адекватност избора мерних места током испитивања конструкција (при чему негативне вредности су из разлога што је позитивна оријентација вертикалне осе навише, а позитивни угиби се реализују у смеру наниже).

Табела 2. Рекапитулација нумеричких вредности угиба за релевантне фазе оптерећења

| <i>Рачунске вредности максималних угиба за релевантне фазе испитивања [mm]</i> |                                  |            |                                    |            |
|--|----------------------------------|------------|------------------------------------|------------|
|  | <i>Faza-6 пробног оптерећења</i> |            | <i>Faza -12 пробног оптерећења</i> |            |
|  | <i>D3L</i>                       | <i>D3D</i> | <i>D6L</i>                         | <i>D6D</i> |
| <b>Конструкција 1</b>  | 12.349                           | 12.349     | 9.654                              | 9.656      |
| <b>Конструкција 2</b>  | 10.231                           | 10.169     | 10.186                             | 10.155     |



Слика 9. Деформација левих носача конструкција са приказаним екстремним вредностима угиба за *Fazu-6* и *Fazu-12* испитивања *конструкције-1* (лево) и *конструкције-2* (десно)

## 5. АНАЛИЗА РЕЗУЛТАТА ИСПИТИВАЊА

Поређењем резултата испитивања са прорачунским вредностима на мерним местима  $D3L/D3D$  односно  $D6L/D6D$  у *Fazi-6* односно *Fazi-12* које су приказане у Табели 1 и Табели 2, евидентно је да су регистроване вредности угиба значајно мање од одговарајућих прорачунских вредности.

У складу са детаљним описима развијених прорачунских модела обе конструкције како је приказано у претходном, јасно је да у моделима није укључена АБ плоча дебљине  $d_2=10$  cm која је изведена на префабрикованим *OMNIA* плочама дебљине  $d_1=10$  cm, па је укупна дебљина пешачког коловоза  $d=20$  cm, слика 10.

Практично, прорачун у оквиру пројектног решења [2] спроведен је на 'страни сигурности', без укључивања АБ плоче (пешачког коловоза). Овакав приступ је усвојен из разлога непознатих услова извођења и могућих 'засора' који се могу очекивати приликом монтаже *OMNIA* плоча током извођења и може се сматрати адекватан у фази пројектовања, јер је спроведен уз значајане непознанице.

Током извођења пешачког коловоза са префабрикованим *OMNIA* плочама, у истим изведени су отвори  $d=12 \times 12$  cm, а на положајима пројектованих 'елемената за фиксирање'. Такође, на истим позицијама, на главним челичним носачима конструкција претходно су изведени (заварени) 'елементи за фиксирање', слика 10. На свакој од *OMNIA* плоча, дужине 220-240 cm, изведено је по четири отвора, по два у осам главних челичних носача конструкције. 'Елементи за фиксирање' према [2], изведени су од кутијастих профила  $100 \times 100$  mm дебљине зида  $t=5$  mm и укупне висине  $h=160$  mm, пролазе

кроз *OMNIA* плоче и улазе 60mm у АБ плочу која је накнадно изведена, слика 10.

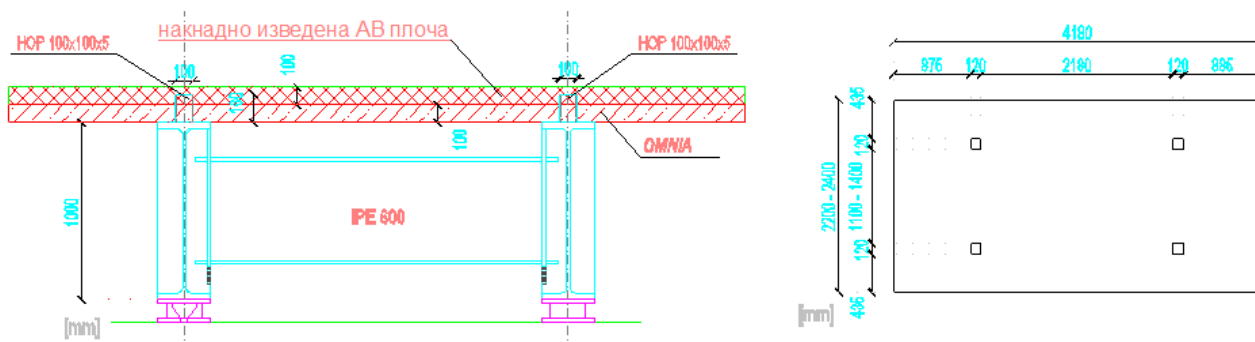
Сходно пројектним детаљима приказаним у [2] слика 10, а који су реализовани приликом извођења, као и установљеним односом регистрованих и прорачунских вредности максималних угиба конструкција у оквиру пасареле код *ADA MALL-a* евидентно је да је остварено значајно спрезање главних челичних носача конструкције са АБ плочом коловоза пешачко-бицикличког моста.

Практично, с обзиром да су реализовани максимални угиби конструкције на релевантним мерним местима у *Fazi-6* односно *Fazi-12* приближно 50% мањи од одговарајућих рачунских вредности, истим је потврђен значајан ниво реализованог спрезања.

## 6. ЗАКЉУЧАК

У главним цртама приказано испитивање моста/пасареле код *ADA MALL-a* у Београду, са одговарајућим прорачуном и анализом резултата, указује на неке значајне елементе испитивања конструкција, а што се апострофира у одговарајућој рекапитулацији у главним елементима приказаног испитивања предметних конструкција.

Приликом извршења испитивања конструкција и елемената, поред адекватног избора мерних места и фаза оптерећења како би се исто спровело ефикасно, неопходно је извршити најадекватнији избор инструмената за регистравање (мерење) одговарајућих деформацијских параметара и одговарајуће методе мерења. Примењени инструменти треба да имају адекватну резолуцију у захтеваном очекиваном опсегу величина које су предмет мерења.



Слика 10. Детаљ *OMNIA* плоча и начина фиксирања пешачког коловоза на конструкцијама пасареле

Такође, изабрани инструменти и метода мерења морају поседовати висок ниво поновљивости приликом регистровања мерних величина.

Приликом извршења мерења мора се остварити потребна брзина извршења, како би се испитивање реализовало у предвиђеном времену. Како је приказано приликом статичког испитивања конструкција у оквиру пасареле код *ADA MALL-a*, са значајним бројем мерних места и примењене методе мерења угиба, уз значајан број фаза испитивања и релативно спор начин аплицирања оптерећења (практично једино остварљив у наведеним условима), испитивање може прилично дуго трајати. Сходно чињеници да је неопходно водити рачуна да се оваква испитивања морају реализовати током једног радног дана, неопходно је усагласити све наведене елементе. У овом смислу се наглашава чињеница да током извршења вишечасовних испитивања промена температуре може значајно утицати на резултате мерења, а што треба предупредити ефикасним извршењем испитивања (спровођење мерења, аплицирање оптерећења, и др.), а у неким случајевима спровести обимно мерење температуре испитиване конструкције.

Целокупана процедура испитивања, поред регистровања деформацијских и осталих параметара конструкцијског одговора, укључује и адекватну анализу резултата спроведених мерења. Исто подразумева и одговарајуће рачунске провере и поређења сходно одговарајућим стандардима, као у приказаном случају према стандарду [5]. За потребе пројектовања неретко се примењују прорачунски модели креирани 'на страни сигурности', а из разлога многих непознатих улазних параметара, а што се у фази израде пројектне документације може сматрати адекватним. Из наведеног разлога, током поређења регистрованог и прорачунског конструкцијског одговора, неретко се установи њихово значајно одступање, као у приказаном случају. Коначно, испитивање *in situ* конструкција и елемената има за циљ утврђивање реалног конструкцијског одговора, те има непроценљиву вредност за унапређење многих аспеката конструкцијског инжењерства.

Коначно, уколико се жели постићи већа сагласност између регистрованог (установљеног

приликом испитивања) и рачунског одговора, неопходно је прорачунски модел формирати укључивањем што је могуће више специфичних конструкцијских детаља анализираних конструкције који могу партиципирати у прорачунском одговору, а у случајевима када се поседују резултати испитивања треба искористити податке који су последица истих.

## ЗАХВАЛНОСТ

Изражава се захвалност *Министарству просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије* за финансијску подршку реализовану кроз научни пројекат бр. уговора 200092 – Универзитет у Београду Грађевински факултет – координатор проф. др Владан Кузмановић, дипл.инж.грађ.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Идејни пројекат пасареле у Радничкој улици (прилаз Ади Циганлији), Саобраћајни институт ЦИП д.о.о., одговорни пројектант конструкције Љ.Мишковић, Београд, 2009.
- [2] Сепарат измена *ПД* пројекта конструкције, Хидропројекат-саобраћај д.о.о., одговорни пројектант Р.Чворовић, Београд, 2021.
- [3] Програм испитивања пробним оптерећењем према стандарду СРПС У.М1.046 Пасареле код *ADA-MALL-a*, преко улица Радничке (део-1-конструкција-1) и Паштровићеве (део-2-конструкција-2), Лабораторија за конструкције Грађевинског факултета Универзитета у Београду, руководилац испитивања З. Мишковић, Београд, 2021.
- [4] Извештај о испитивању пробним оптерећењем према стандарду СРПС У.М1.046 Пасареле код *ADA-MALL-a*, преко улица Радничке (део-1: конструкција-1) и Паштровићеве (део-2: конструкција-2), Лабораторија за конструкције Грађевинског факултета Универзитета у Београду, руководилац испитивања З. Мишковић, Београд, 2021.
- [5] SRPS U.M1.046:1985 Испитивање мостова пробним оптерећењима, Институт за стандардизацију Србије
- [6] Tower 8, Програм за статичку и динамичку анализу конструкција. Упутство за рад са програмом. *Radimpex*, 2021. [https://www.radimpex.rs/downloads/manuals/tw8/Tower\\_8\\_uputstvo\\_SRB.pdf](https://www.radimpex.rs/downloads/manuals/tw8/Tower_8_uputstvo_SRB.pdf)



---

CIP - Каталогизација у публикацији  
Народна библиотека Србије, Београд

624/628(082)

691(082)

624:929 Мурављов М.(082)

МАТЕРИЈАЛИ и конструкције у савременом грађевинарству :  
монографија посвећена 85-ом рођендану професора Михаила Мурављова  
/ уредници Драгица Јевтић, Бошко Стевановић, Димитрије Закић. Београд  
: Универзитет, Грађевински факултет, 2022 (Београд : Планета принт). -  
[8], VIII,173 стр. : илустр. ; 30 cm

Слика М. Мурављова. - Тираж 200. - Стр. [5]: Предговор / Драгица Јевтић,  
Бошко Стевановић, Димитрије Закић. - Стр. I-VIII: Проф. др Михаило  
Мурављов - биографија / Драгица Јевтић, Бошко Стевановић, Димитрије  
Закић. - Библиографија уз сваки рад. - Резимеи на срп. и енгл. језику уз  
сваки рад.

ISBN 978-86-7518-232-0

- а) Мурављов, Михаило (1937-) - Зборници
- б) Грађевинске конструкције - Зборници
- в) Грађевински материјали - Зборници

COBISS.SR-ID 81289481

---

## Из предговора

Ова Монографија посвећена је проф. др Михаилу Мурављову, дипломираном грађевинском инжењеру, дугогодишњем професору Грађевинског факултета Универзитета у Београду, а излази поводом његовог 85-ог рођендана. Издавањем ове Монографије, Грађевински факултет са својим наставницима и сарадницима, жели да искаже пажњу, поштовање и велику захвалност професору Мурављову за његов изузетан допринос на пољу наставе, струке и науке.



Грађевински факултет  
Универзитета у Београду