

Примљено:	25.05.2015.		
См. бр.	Бр. 1	Кр. бр.	Кр. бр.
01	11/07	—	—

**УНИВЕРЗИТЕТ У НИШУ**  
**ГРАЂЕВИНСКО - АРХИТЕКТОНСКИ ФАКУЛТЕТ У НИШУ**  
**НАСТАВНО - НАУЧНОМ ВЕЋУ ФАКУЛТЕТА**

Одлуком Наставно-научног већа Грађевинско-архитектонског факултета у Нишу број 8/244 од 28.01.2015. године именована је Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације мр Биљане Б. Младеновић, дипл. инж. грађ., под насловом: **Утицај промене крутости на прорачун и димензионисање елемената рамовских конструкција од армираног бетона**, у саставу:

1. др Бранко Поповић, редовни професор  
Грађевинско-архитектонског факултета у Нишу, у пензији
2. др Славко Здравковић, редовни професор  
Грађевинско-архитектонског факултета у Нишу
3. др Станко Брчић, редовни професор  
Грађевинског факултета у Београду, у пензији
4. др Марина Мијалковић, редовни професор  
Грађевинско-архитектонског факултета у Нишу
5. др Предраг Благојевић, доцент  
Грађевинско-архитектонског факултета у Нишу

У складу са наведеном Одлуком подносимо следећи

## **ИЗВЕШТАЈ**

### **Увод**

Због мале чврстоће бетона на затезање, већ под експлоатационим оптерећењем појављују се прслине у армиранобетонским конструкцијама. Услед појаве прслина у статички неодређеним линијским носачима долази до редукције крутости (EI) штапова, а последица тога је промена реакција веза, унутрашњих сила и деформација, односно прерасподела утицаја у пресецима носача. Треба истаћи да се стварна, тј. ефективна крутост АБ пресека напегнутих на савијање, настанком прслина, њиховим развојем и стабилизацијом, може знатно смањити у односу на крутост неиспркалог бетонског пресека. Ово је посебно важно код конструкција већих распона и оптерећења. У

актуелној инжењерској пракси уобичајен је прорачун статички неодређених система у коме се користи момент инерције неиспркалог армиранобетонског пресека, што умањује тачност и поузданост прорачуна. Да би прорачун имао већу тачност у односу на класичне методе, потребно га је спровести са реалном крутошћу греда и стубова.

Бетон има особине вискоеластопластичног материјала са израженом особиним старења, што битно утиче на стање деформације услед дуготрајних дејстава. Такође, услед разлика у реолошким својствима бетона и челика, два саставна дела композита, при дуготрајним дејствима, у току времена, долази до значајне прерасподеле напона и до великих промена напона и дилатација у пресецима. Дакле, потребно је водити рачуна о утицају течења и скупљања бетона, да би анализа понашања статички неодређених армиранобетонских елемената и конструкција у подручју експлоатационих стања била коректна.

Појава прелина, као и течење и скупљање бетона су, пре свега, узрок нелинеарног понашања армиранобетонских рамовских конструкција и при релативно малим интензитетима оптерећења. Ово је потребно симулирати адекватним прорачунским моделом, у циљу обезбеђења прописаног степена сигурности и употребљивости конструкције, те је с тога сваки допринос у том смислу врло битан.

С циљем превазилажења недостатака статичког и сеизмичког прорачуна присутног у свакодневној инжењерској пракси, у дисертацији је формулисан нови алгоритам и развијен одговарајући пакет рачунарских програма за прорачун статичких утицаја армиранобетонских рамова, динамичких карактеристика и сеизмичких сила, узимајући у обзир стварну промену крутости пресека после појаве прелина у затегнутој зони бетонског пресека, које се јављају већ при експлоатационим оптерећењима, као и утицај течења и скупљања бетона.

Тема докторске дисертације припада теоријским и примењеним техничким наукама из области Грађевинарства, ужој научној области Теорија конструкција са савременим методама прорачуна конструкција у грађевинарству, за које је матичан Грађевинско - архитектонски факултет у Нишу.

### **Биографија кандидата**

Биљана Б. Младеновић је рођена 10.12.1961. год. у Димитровграду. Основну школу и гимназију је завршила у Нишу са одличним успехом. Носилац је дипломе "Вук Караџић" како у основној школи, тако и у гимназији. Учествовала је на једном савезном и више републичких такмичења из математике, хемије и физике. Добитник је прве награде на савезном такмичењу из математике у осмом разреду основне школе.

На Грађевински Факултет у Нишу, одсек високоградња, уписала се 1980. године и дипломирала 1986. године са просечном оценом 9.20 и оценом 10 на дипломском

испиту. За постигнут успех за време студија више пута је похваљивана и награђивана и то:

- Повељом “14 Октобар”, коју је додељивала скупштина града Ниша најбољим студентима факултета, четири пута, 1980/81, 1981/82, 1982/83 и 1984/85. школске године;
- Повељом Универзитета у Нишу за успех постигнут у II години студија школске 1981/82. године;
- Повељом Универзитета у Нишу и ручним сатом као најбољи дипломирани студент Грађевинског факултета у Нишу школске 1985/86. године;
- Повељом Грађевинског факултета у Нишу и ручним сатом као најбољи дипломирани студент од оснивања факултета, поводом 30 година рада факултета.

У току студија је обавила стручну праксу у Puerto Autonomo de Valencia у Валенсији, у Шпанији, у трајању од 6 недеља, у организацији IAESTE-а.

Биљана Младеновић је засновала радни однос 16.03.1987. године у Институту Грађевинског факултета у Нишу као сарадник на научно-истраживачким пројектима. Изабрана је октобра 1987. године у звање асистента приправника за Статику конструкција и Теорију површинских носача, и реизабрана у исто звање маја 1992. године. Од 1998. до 2002. године ради на пословима стручног сарадника Института за грађевинарство и архитектуру Грађевинско-архитектонског факултета у Нишу. Августа 2002. године изабрана је у звање асистента за предмете Статика конструкција и Теорија површинских носача на Грађевинско-архитектонском факултету у Нишу, а 2006. реизабрана у исто звање. Од септембра 2009. до децембра 2010. године је у звању стручног сарадника за област Техничка механика и Теорија конструкција. Од децембра 2010. године је у звању асистента за ужу научну област Техничка механика и теорија конструкција на Грађевинско-архитектонском факултету у Нишу.

Последипломске студије на одсеку Бетонске и претходнонапрегнуте конструкције на Грађевинском факултету у Нишу уписала је 1986. године. Магистарску тезу под називом “Анализа утицаја смицања при савијању дебелих плоча” одбранила је 26.10.2001.године на Грађевинско-архитектонском факултету у Нишу.

Биљана Младеновић је аутор или коаутор 90 научних радова, као и учесник више домаћих и међународних скупова из области конструкторства, земљотресног инжењерства, теоријске и примењене механике, заштите животне средине, између осталих *The First Structural Engineers World Congress* у Сан Франциску, САД, 1998.год, *IABSE colloquium on Semi-rigid connections* у Истанбулу, Турска 1996.год, *Earthquake Resistant Engineering Structures, VII World Conference, ERES VII-Cyprus*, мај 2009.

Као истраживач је учесник пет научних пројеката Министарства за просвету, науку и технологију Републике Србије.

Била је члан Организационог одбора Националног симпозијума са међународним учешћем Теоријска и експериментална истраживања конструкција и њихова примена у грађевинарству, ТЕИК 2010, који је одржан марта 2010. год. у Нишу, у организацији Грађевинско-архитектонског факултета у Нишу.

### **Технички опис дисертације**

Докторска дисертација мр Биљане Младеновић је обрађена на 171 страни, у оквиру којих је приложено 126 слика, 106 табела и 96 наслова литературе.

Техничка обрада дисертације је у целини на одговарајућем нивоу.

### **Структура и садржај дисертације**

У докторској дисертацији под насловом: **Утицај промене крутости на прорачун и димензионисање елемената рамовских конструкција од армираног бетона** наведена проблематика је систематизована и изложена у оквиру следећих 9 глава:

1. Увод,
2. Основне механичке и реолошке карактеристике материјала,
3. Ефективна крутост елемената армиранобетонског рама,
4. Прорачун статичких утицаја у армиранобетонским рамовским конструкцијама у зависности од стања прслина,
5. Рачунарски програми за прорачун армиранобетонских линијских носача у зависности од стања прслина,
6. Упоредна анализа резултата статичког прорачуна применом класичног поступка и предложеног алгоритма,
7. Упоредна анализа својствених вредности и облика одређених применом класичног поступка и предложеног алгоритма,
8. Упоредна анализа резултата сеизмичког прорачуна применом класичног поступка и предложеног алгоритма,
9. Завршне напомене.

**Глава 1** обухвата опште напомене са дефинисањем проблема, методе и циљ истраживања, кратак осврт на досадашња истраживања и сажет приказ садржаја дисертације.

У **Глави 2** су описане механичке и реолошке карактеристике бетона и челика као саставних делова армираног бетона, као и основне карактеристике тог композита.

Констатује се да је с обзиром на реолошке карактеристике армираног бетона неминовна појава прслина у затегнутој зони бетона.

У **Глави 3** је дефинисана крутост армиранобетонског елемента напрегнутог на савијање у зависности од нивоа оптерећења, тј. напонско-деформацијске фазе у којој се носач налази. Разматра се зависност момент-кривина попречних пресека пре и после појаве прслина и анализирају фактори који утичу на ту зависност. Дефинисана је и ефективна крутост армиранобетонског штапа и наведени предлози за прорачун ефективне крутости из литературе.

У **Глави 4** су дате теоријске основе анализе стања напона и деформације армиранобетонских елемената у домену дуготрајних експлоатационих оптерећења, на којима се у овој дисертацији базира поступак прорачуна ефективних крутости. На крају ове главе је приказан нови алгоритам за прорачун сила у пресецима и деформација армиранобетонских рамова у зависности од стања прслина, узимањем у обзир утицаја течења и скупљања бетона.

**Глава 5** је посвећена пакету рачунарских програма који су развијени у оквиру дисертације за прорачун армиранобетонских линијских носача у зависности од стања прслина, на основу предложеног алгоритма. Описан је начин коришћења нових програма и дат пример прорачуна, који је послужио и за њихову верификацију поређењем резултата добијених применом пакета програма са резултатима експерименталног испитивања доступним у литератури.

У **Глави 6** су упоредно приказани и анализирани резултати статичког прорачуна одабраних армиранобетонских рамова применом класичног начина прорачуна, са карактеристикама неиспрскалих пресека, и применом предложеног алгоритма, са промењеним карактеристикама пресека услед појаве прслина дуж елемената армиранобетонских рамова, помоћу софтвера развијеног у току рада на дисертацији. Прерасподела статичких утицаја у статички неодређеним армиранобетонским рамовима услед појаве прслина приказана је на дијаграмима момената савијања у пресецима, као и помоћу табеларно приказаних вредности померања и обртања карактеристичних пресека. На крају ове главе су изведени закључци о утицају промене крутости услед појаве прслина на прерасподелу момената савијања у пресецима, као и на максималне вредности померања и обртања пресека армиранобетонских рамова.

У **Глави 7** је приказана упоредна анализа својствених вредности и облика осциловања одређених применом класичног поступка и применом предложеног алгоритма на основу шест нумеричких примера тробродних рамова, и изведени закључци.

У уводном делу **Главе 8** укратко је објашњена суштина мултимодалне спектралне анализе, која је коришћена у сеизмичком прорачуну како применом класичног поступка, тако и применом предложеног алгоритма. Приказан је део резултата нумеричких примера тробродних рамова (оних који су разматрани и у Глави 7), и изведени закључци о утицају промене крутости на померање пресека армиранобетонских рамова услед пројектних сеизмичких сила.

У **Глави 9** су дате завршне напомене, закључци и назначени правци даљег рада. На крају је дат преглед коришћене литературе.

### **Оцена дисертације**

Предмет разматране докторске дисертације је нумеричко моделирање понашања раванских армиранобетонских рамовских конструкција без укрућења услед дуготрајног оптерећења.

У дисертацији је формулисан нови алгоритам за ефикасније решавање проблема дефинисања крутости армиранобетонских рамовских конструкција после наношења оптерећења, који је знатно прецизнији и детаљнији од постојећих препорука у литератури, а базира се на анализи стања прслина узимајући у обзир утицај течења и скупљања бетона на стање напрезања и деформације.

Новоформираним прорачунским моделом, кога чине штапови променљивог попречног пресека, са геометријским карактеристикама после појаве прслина, успешно се симулира нелинеарно понашање армиранобетонских носача.

Да би се обезбедио већи степен тачности у односу на прорачун који се користи у инжењерској пракси, предложени алгоритам прорачуна армиранобетонских рамова са прслинама је имплементиран у виду пакета рачунарских програма који је погодан за практичну употребу. Коришћењем овог пакета програма се на једноставан и ефикасан начин добијају реални подаци о геометријским карактеристикама елемената армиранобетонских конструкција са прслинама, који се могу користити и у другим софтверима за прорачун армиранобетонских конструкција моделираних линијским елементима.

Коришћењем новоразвијеног софтвера у раду је, на основу великог броја нумеричких примера, спроведена свеобухватна упоредна анализа резултата добијених применом класичног статичког, као и класичног сеизмичког прорачуна, где се крутост носача израчунава за бруто бетонски попречни пресек с једне стране, и прорачуна са узимањем у обзир промењене геометрије армиранобетонског рама услед појаве прслина применом предложеног алгоритма са друге стране. Захваљујући ефикасности и једноставности начина употребе развијених програма, извршена је детаљна квантитативна анализа утицаја промене крутости елемената армиранобетонских

рамова услед појаве прслина, са утицајем течења и скупљања, каква није присутна у литератури. На основу ове анализе су у виду закључака дати одговори на питања о квалитативном и квантитативном утицају промене крутости, услед појаве прслина, на резултате прорачуна и димензионисање елемената рамовских конструкција од армираног бетона, водећи рачуна о њиховом понашању при експлоатационом оптерећењу.

Анализа резултата нумеричких примера потврђује оправданост одређивања статичких утицаја у статички неодређеним конструкцијама према теорији еластичности са ограниченом прерасподелом, што је предвиђено и нашим прописима БАБ 87, европским нормама ЕС2 и америчким правилником за прорачун зграда АСІ 318-11. Међутим, како је у раду показано, прерасподела утицаја зависи од више фактора, а не само од процента армирања (што правилници прописују као једини критеријум), па предност треба дати далеко прецизнијем и поузданијем прорачуну са ефективним моментима инерције који је предложен у овој дисертацији.

Нумерички примери показују да смањена крутост стубова и ригли услед појаве прслина значајно утиче на вредности угиба услед статичког оптерећења, као и хоризонталног померања услед сеизмичких сила, па је анализу стања деформација армиранобетонских рамова неопходно спровести са ефективним крутостима, што предложени алгоритам и софтвер омогућавају.

Промена иницијалне крутости елемената армиранобетонског рама је од значаја при одређивању динамичких карактеристика конструкције као целине. Пресеци са прслинама, тј. са мањим крутостима, чине конструкцију флексибилнијом, па су већи периоди осциловања, односно мање својствене фреквенције, што је нумеричким примерима потврђено. Примена програма развијених и приказаних у овој дисертацији у сеизмичком прорачуну, узимајући у обзир редукцију пресека изазвану појавом прслина, и то коришћењем мултимодалне анализе, доводи до резултата веће тачности у односу на класичан поступак присутан у инжењерској пракси.

### **Допринос дисертације**

Формулисан је нови алгоритам за прорачун статичких утицаја армиранобетонских рамова, као и динамичких карактеристика и сеизмичких сила применом мултимодалне спектралне анализе, узимајући у обзир промену крутости попречних пресека после појаве прслина у затегнутој зони бетонских елемената. Овај алгоритам ефикасније решава проблем дефинисања крутости армиранобетонских конструкција под дуготрајним оптерећењем и знатно је прецизнији и детаљнији од постојећих препорука у литератури.

Нови алгоритам је успешно имплементиран у виду одговарајућих програма за анализу линијских армиранобетонских система узимајући у обзир редукацију крутости елемената услед деловања дуготрајног оптерећења, написаних на програмском језику Fortran, развијених у оквиру рада на овој докторској дисертацији, чиме је остварен и главни циљ постављен на почетку рада. Новоразвијени пакет рачунарских програма на једноставан и ефикасан начин даје реалне податке о геометријским карактеристикама елемената армиранобетонске конструкције са прлинама, који се могу користити и у другим софтверима за прорачун армиранобетонских конструкција моделираних линијским елементима.

Коришћењем горе поменутих рачунарских програма спроведена је упоредна анализа резултата класичног статичког, као и класичног сеизмичког прорачуна, у којима се крутост стубова и ригли армиранобетонских носача израчунава за бруто бетонски попречни пресек, с једне стране, и прорачуна који узима у обзир промењену геометрију носача услед појаве прлина, с друге стране. Изведени закључци су од велике користи за унапређење постојеће инжењерске праксе.

И поред великог броја теоријских и експерименталних радова из ове области, значај предложеног поступка и развијеног софтвера је несумњив за практичне прорачуне. Сложен проблем прерасподеле утицаја, као последице појаве прлина у армиранобетонском раму, решава се ефикасније с обзиром да је потребно неупоредиво мање времена за моделирање конструкције и сам прорачун, него коришћењем познатих комерцијалних програма опште намене (ANSYS, NASTRAN, SAP) или специјализованих програма (TOWER). Предложени модел се састоји од линијских елемената, а излазни резултати су вредности унутрашњих сила, што је много погодније и разумљивије у односу на излазне резултате наведених компјутерских програма за прорачун армиранобетонских рамова.



### Закључак

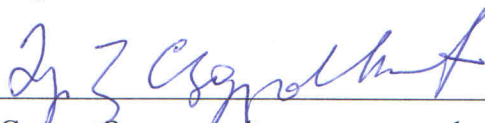
Имајући све наведено у виду, Комисија са задовољством предлаже Наставно-научном већу Грађевинско-архитектонског факултета Универзитета у Нишу да докторску дисертацију мр Биљане Младеновић, дипл.инж.грађ. под насловом **Утицај промене крутости на прорачун и димензионисање елемената рамовских конструкција од армираног бетона** прихвати и упути Универзитету на давање сагласности за њену јавну одбрану.

У Нишу, 20.05.2015.

Чланови Комисије:



др Бранко Поповић, редовни професор  
Грађевинско-архитектонског факултета у Нишу, у  
пензији



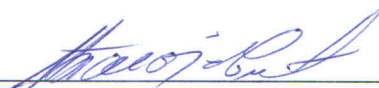
др Славко Здравковић, редовни професор  
Грађевинско-архитектонског факултета у Нишу



др Станко Брчић, редовни професор  
Грађевинског факултета у Београду, у пензији



др Марина Мијалковић, редовни професор  
Грађевинско-архитектонског факултета у Нишу



др Предраг Благојевић, доцент  
Грађевинско-архитектонског факултета у Нишу

Ставља се на упућу јавности



25.05.2015.