

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Александра Радевића

Одлуком бр. 466/12-15 од 31.03.2017. године именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Александра Радевића, маг. инж. грађ., под насловом

КАРАКТЕРИСТИКЕ АСФАЛТНИХ МЕШАВИНА СА АГРЕГАТОМ ОД РЕЦИКЛИРАНОГ БЕТОНА

После прегледа достављене дисертације и других пратећих материјала и разговора са кандидатом, Комисија је сачинила следећи

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

На седници Већа Катедре за материјале и конструкције одржаној 17.12.2015. Александар Радевић јавно је излагао предложену тему докторске дисертације под називом "Карактеристике асфалтних мешавина са агрегатом од рециклираног бетона" (на енглеском језику "Properties of asphalt concrete mixtures with recycled PCC aggregate"). Комисија у саставу: в. проф. др Горан Младеновић, доц. др Димитрије Закић и доц. др Александар Савић прихватила је предложену тему. Одлуком Наставно-научног већа Грађевинског факултета бр. 466/3 од 29.12.2015. године, одређена је Комисија за оцену научне заснованости теме докторске дисертације под називом "Карактеристике асфалтних мешавина са агрегатом од рециклираног бетона" у саставу: в. проф. др Горан Младеновић, в. проф. др Гордана Топличих Ђурчић (са Грађевинско-архитектонског факултета у Нишу), доц. др Димитрије Закић и доц. др Александар Савић. Позитиван извештај Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације усвојен је на седници Наставно-научног већа Грађевинског факултета одржаној 28.01.2016. године (одлука бр. 466/5 од 01.02.2016. године). Веће научних области грађевинско-урбанистичких наука Универзитета у Београду на седници одржаној 09.02.2016. (одлука бр. 61206-597/2-16 од 09.02.2016. године) усвојило је предлог теме докторске дисертације кандидата Александра Радевића.

Кандидат је урађену докторску дисертацију предао Служби за студентска питања Грађевинског факултета 21.03.2017. године.

1.2. Научна област дисертације

Тема докторске дисертације припада научној области Грађевинарство и геодезија, ужој научној области Грађевински материјали, технологија бетона и испитивање конструкција која је дефинисана Статутом Грађевинског факултета Универзитета у Београду.

Радови који квалификују ментора в. проф. др Горана Младеновића за вођење докторске дисертације, публиковани у међународним часописима су:

Категорија M21

1. Radević, A., Đureković, A., Zakić, D., **Mladenović G.**, Effects of recycled concrete aggregate on stiffness and rutting resistance of asphalt concrete, *Construction and Building Materials*, 136, pp. 386–393, <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.01.043>, 2017.

Категорија M22

2. Cirilovic, J., Vajdic, N. **Mladenovic, G.** Queiroz, C.: Developing Cost Estimation Models for Road Rehabilitation and Reconstruction – Case study: Projects in Europe and Central Asia, *Journal of Construction Engineering and Management*, 140(3), 2013.

Категорија M23

3. Cirilovic, J., **Mladenovic, G.**, Queiroz, C.: Implementation of Preventive Maintenance in Network-Level Optimization: Case Study of the Serbian Low-Volume Road Network, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 2473, National Research Council, Washington D.C., USA, pp. 49 – 55. DOI: 10.3141/2473-06, 2015.
4. **Mladenovic, G.**, Cirilovic, J., Queiroz, C.: Network-level pavement management: The case of Serbian low-volume roads, *Transportation Research Record*, No. 2205, National Research Council, Washington D.C., USA, pp. 221 – 228, 2011.
5. **Mladenovic, G.** Jiang, Y.J., Selezneva, O., Aref, C., Darter, M.: Comparison between As-Constructed and As-Designed Flexible Pavement Layer Thicknesses, *Transportation Research Record*. No. 1853, National Research Council, Washington D.C., USA, pp. 165 – 176, 2003.
6. Jane Jiang, Y., Selezneva, O., **Mladenovic, G.**, Aref, S., Darter, M.: Estimation of Pavement Layer Thickness Variability for Reliability-Based Design, *Transportation Research Record*. No. 1849, National Research Council, Washington D.C., USA, 2003, pp. 156 - 165. <http://pubsindex.trb.org/view.aspx?id=682311>, 2003.
7. Hajek, J. J., Selezneva, O., Jane Jiang, Y., **Mladenovic, G.**: Improving the Reliability of Pavement Loading Estimates Using the Pavement Loading Guide, *Transportation Research Record*. No. 1809, National Research Council, Washington D.C., USA, pp. 93 - 104. <http://pubsindex.trb.org/view.aspx?id=729458>, 2002.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Александар Радевић, маг. инж. грађ. је рођен 11.11.1986. године у Новом Пазару. Основну школу "12. децембар" и гимназију "Јездимир Ловић" завршио је у Сјеници.

Основне студије на Грађевинском факултету Универзитета у Београду, завршио је 16.10.2009. године на Одсеку за конструкције. На истом факултету 27.08.2010. године завршио је мастер студије. Током школовања на факултету као демонстратор на предметима Грађевински материјали 1 и Грађевински материјали 2 активно је учествовао у припреми и извођењу вежбања у периоду од септембра 2008. до септембра 2010. године. Докторске студије на Грађевинском факултету у Београду, на Одсеку за конструкције, уписао је 2010. године и положио све испите са просечном оценом 10.

Од 24. децембра 2010. године, изабран је у звање асистента – студента докторских студија за ужу научну област Грађевински материјали, технологија бетона и испитивање конструкција, на Катедри за материјале и конструкције Грађевинског факултета у Београду. Ангажован је приликом израде мастер радова студената из поменутих предмета. Након истека првог изборног периода, у звање асистента - студента докторских студија поново је изабран 20. децембра 2013. године. Од 29. децембра 2016. године изабран је у звање истраживач сарадник.

Као аутор и коаутор до сада је публикувао 22 рада везана за ширу проблематику грађевинских материјала и технологије бетона у врхунским међународним часописима, часописима од националног значаја, на домаћим и међународним скуповима. Ангажован је на пројекту Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије под називом "Испитивање стања и метода унапређења грађевинских конструкција са аспекта употребљивости, носивости, економичности и одржавања".

У оквиру Грађевинског факултета Универзитета у Београду, а пре свега у оквиру Института за материјале и конструкције, активно је учествовао у обављању бројних задатака из сарадње са привредом. У досадашњој пракси, имао је више од 20 стручних радова, углавном из области испитивања грађевинских материјала, испитивања и санације конструкција, као и технологије бетона.

Кандидат се служи енглеским језиком. Користи компјутерске програме од општег и стручног значаја. Александар Радевић је ожењен и живи у Београду.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација "Карактеристике асфалтних мешавина са агрегатом од рециклираног бетона", Александра Радевића, садржи укупно 215 страна, од којих је основни текст на 150 страна. Дисертација је писана на српском језику. Текст дисертације је подељен у пет поглавља:

1. Увод
2. Преглед литературе
3. Програм експеримента
4. Резултати експерименталних испитивања и дискусија
5. Закључци и препоруке за даља истраживања

Дисертација садржи 73 слике и 29 табела. Списак цитиране литературе садржи 179 наслова. На почетку дисертације је дат резиме на српском и енглеском језику, са кључним речима и УДК бројем. Дисертација садржи шест прилога. Биографија аутора дата је на крају дисертације.

Дисертација је технички обликована према упутствима Сената Универзитета у Београду и посебним упутствима за обликовање штампане и електронске верзије доктората. Садржи обавезна поглавља и обрасце: изјава о ауторству, изјава о истоветности електронске и штампане верзије и изјава о коришћењу.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

Основни текст разматране докторске дисертације има пет поглавља, преглед коришћене литературе и шест прилога. На почетку текста је дат садржај и спискови слика и табела.

У уводном поглављу је приказан значај употребе рециклираног агрегата са аспекта одрживог развоја. Дефинисани су предмет и циљеви истраживања, а приказана је и структура тезе.

У поглављу "Прегледу литературе" су сумирани главни закључци у вези са физичком структуром и физичко-механичким карактеристикама рециклираног агрегата. Извршена је компаративна анализа карактеристика агрегата од рециклираног бетона (RCA – Recycled Concrete Aggregates) и природног агрегата. Такође, дат је и детаљан преглед стања ствари у области испитивања асфалтних мешавина код којих је природни агрегат потпуно или делимично замењен рециклираним, са посебним акцентом на крупноћу употребљеног RCA. Прегледом литературе је обухваћена анализа запреминске структуре асфалтних мешавина, стабилности и течења по Маршалу, отпорности на дејство воде, крутости и отпорности асфалтних мешавина на оштећења која настају на високим, ниским и средњим температурама.

У поглављу "Програм експеримента" је дат програм испитивања. Приказани су резултати испитивања компонентних материјала, који су послужили као улазни параметри приликом пројектовања асфалтних мешавина. Детаљно је објашњен начин припреме асфалтних узорака на којима су вршена експериментална испитивања. Спроведена је и анализа запреминских карактеристика тако добијених узорака, која је изузетно битна за разумевање понашања асфалт бетона при различитим опитима.

Опис спроведених експерименталних испитивања са резултатима и дискусијом дат је у поглављу "Резултати експерименталних испитивања и дискусија". На 10 асфалтних мешавина у којима је варирано учешће и крупноћа RCA спроведени су опити отпорности на дејство воде, крутости и отпорности на трајну деформацију, замор и ниске температуре. Дата је компаративна анализа резултата испитивања контролне мешавине и мешавина са RCA.

Општи закључци истраживања, као и препоруке за будућа истраживања дати су у петом поглављу.

Након списка литературе, у прилозима су дати нумерички подаци везани за пројектовање асфалтних мешавина и резултати испитивања различитих карактеристика компонентних материјала и асфалтних мешавина.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Савремени трендови са циљем развоја одрживог градитељства подразумевају коришћење и примену алтернативних, отпадних и рециклираних материјала, уз услов да се постигну захтевана физичко-механичка својства и друге карактеристике потребне за њихову одређену примену. Употреба ових материјала доприноси очувању природних ресурса приликом изградње грађевинских објеката.

Највећи део грађевинског отпада чини цементни бетон, чијим уситњавањем се могу добити велике количине агрегата (RCA). До сада се RCA углавном користио као материјал за коловозне конструкције, примарно за горње и доње невезане слојеве, за стабилизацију тла или као агрегат при производњи цементних бетона, док је његова примена у асфалтним бетонима била врло ограничена и са истраживањем ове проблематике се почело тек у последњих 10 до 15 година.

Агрегат добијен рециклирањем старог бетона се битно разликује од природног агрегата, због тога што се RCA састоји и од зрна природног агрегата и од заосталог цементног малтера. Ове разлике се пре свега огледају у већој порозности и последично већем упијању воде, али и у мањој чврстоћи, мањој запреминској маси и мањој отпорности на хабање, у односу на природни агрегат. Додатно, технологија добијања RCA утиче на облик и површинску текстуру зрна, формирајући зрна повољног облика и хрпаве површине са оштрим ивицама, што све утиче на карактеристике асфалтних мешавина са RCA.

Досадашња истраживања су се махом односила на потпуну замену ситног или крупног дробљеног каменог агрегата са агрегатом од рециклираног бетона. У малом броју радова анализирана је делимична замена, што је много реалнија опција у условима инфериорних карактеристика RCA у односу на природни агрегат и потребе за повећаним садржајем битумена. Значајан број радова се односио на примену у хабајућим слојевима коловозних конструкција. Поред тога, истраживања су најчешће била ограничена на одређене карактеристике асфалтних мешавина са RCA, од запреминске структуре до испитивања понашања мешавина у фази експлатације у одређеним условима.

Ова докторска дисертација се бави врло савременим проблемом који се односи на примену RCA у асфалтним мешавинама за носеће слојеве коловозних конструкција. Докторска дисертација је обухватила истраживање (а) могућности побољшања карактеристика RCA за примену у асфалтним мешавинама, (б) утицаја крупноће и садржаја RCA на карактеристике асфалтних мешавина и (в) развој оригиналне методологије за пројектовање асфалтних мешавина са RCA за носеће слојеве коловозних конструкција.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У изради ове докторске дисертације коришћено је 179 библиографских јединица. Већину референци чине радови објављени у врхунским међународним часописима, као што су: Construction and Building Materials, Cement and Concrete Composites, Cement and Concrete Research, International Journal of Pavement Engineering, Road Materials and Pavement Design, Journal of Civil Engineering, Journal of Civil Engineering and Management, Transportation Research Record и другим, објављени на значајним међународним конференцијама попут годишњих састанака Transportation Research Board-a, или извештаји истраживачких пројеката (NCHRP). Највећи број референци је новијег датума: 132 референце су настале после 2000. године, од чега је 80 настало између 2010. и 2017. године.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Рад на наведеној теми реализован је симултаном применом теоријског приступа ослоњеног на податке добијене из литературе и практичног приступа заснованог на сопственом експерименталном истраживању.

За сагледавање постојећих сазнања из ове области примењене су структурално-функционална и компаративна анализа објављених радова и синтеза досадашњих истраживања, док је за планирање и анализу резултата експерименталног истраживања примењена хипотетичко-дедуктивна метода.

У оквиру експерименталног истраживања извршено је испитивање карактеристика компоненталних материјала и асфалтних мешавина са агрегатом од рециклираног бетона (RCA).

Поред стандардних опита за дефинисање запреминске структуре и отпорности на дејство воде асфалтних мешавина, у оквиру експерименталног истраживања примењене су савремене методе за испитивање понашања асфалтних мешавина у различитим условима оптерећења и околине, укључујући симулациони опит точком за испитивање отпорности мешавина на трајну деформацију, испитивање крутости и отпорности асфалтних мешавина на замор применом опита са гредицама оптерећеним у четири тачке, као и испитивање отпорности на утицај ниских температура опитом затезања укљештеног узорка.

Примењене статистичке методе за обраду резултата експерименталног истраживања, поред регресионе анализе, укључују и двосмерну анализу варијанси (ANOVA) за анализу утицаја крупноће и садржаја RCA на крутост мешавина, као и t-тест за упоређење модула крутости контролне и мешавина са RCA. Мастер криве асфалтних мешавина, које указују на крутост

мешавина у распону температура и фреквенција оптерећења, су моделиране применом сигмоидалног модела и Арсенијусове једначине за редуковану фреквенцију.

Наведене методе истраживања су врло савремене и у потпуности примерене за примену у предметном истраживању.

3.4. Применљивост остварених резултата

Резултати добијени у оквиру истраживања указују да је могуће произвести асфалтне мешавине са одређеним садржајем агрегата од рециклираног бетона, тако да се постигну захтеване физичко-механичке карактеристике мешавина и очекивана трајност коловозних конструкција. Спроведене анализе у погледу симултаног утицаја крутости и отпорности на замор асфалтних мешавина указују да је могуће са овим мешавинама пројектовати коловозне конструкције и са дужим веком трајања у односу на конструкције са класичним мешавинама.

Максимални садржај примењеног RCA је примарно одређен отпорношћу асфалтних мешавина на ниске температуре, као и отпорношћу на дејство воде. Треба истаћи да је у истраживању коришћен агрегат од рециклираног бетона класе чврстоће C35/45, чиме су резултати ове дисертације директно применљиви у случаје примене агрегата од бетона који има ову или вишу класу чврстоће.

Разијена методологија се може директно применити за пројектовање асфалтних мешавина са RCA за носеће слојеве коловозних конструкција.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Кандидат се у оквиру своје докторске дисертације бавио изучавањем и критичком анализом доступне референтне литературе, као и планирањем, спровођењем, обрадом и анализом резултата експерименталног истраживања. Систематичним приступом постављеном проблему, повезујући различите сегменте научно-истраживачког рада, Александар Радевић је успешно решио постављене задатке и доказао да поседује способност за самостални научно-истраживачки рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

У оквиру докторске дисертације Александра Радевића остварени су следећи научни доприноси:

1. Истражена могућност побољшања карактеристика агрегата од рециклираног бетона дејством HCl и карбонатизације и утврђене границе могућег побољшања, значајне са аспекта могућности примене овог агрегата у асфалтним мешавинама.
2. Свеобухватно истражен утицај крупноће и садржаја агрегата од рециклираног бетона на карактеристике и понашање асфалтних мешавина у експлоатацији, укључујући крутост у распону фреквенција оптерећења и температура, отпорност на замор и дејство воде, као и понашање на високим температурама (отпорност на трајну деформацију), и понашање на ниским температурама (термичке пукотине).
3. Развијена методологија за пројектовање асфалтних мешавина за носеће слојеве коловозних конструкција агрегатом од дробљеног рециклираног бетона.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Истраживачки рад Александра Радевића, маг. инж. грађ. на истраживању могућности примене агрегата од рециклираног бетона у асфалтним мешавинама за носеће слојеве коловозних конструкција омогућио је сагледавање ефеката замене природног каменог агрегата са агрегатом од рециклираног бетона на карактеристике асфалтних мешавина и њихово понашање у експлоатацији.

Истраживањем су утврђени могући ефекти побољшања квалитета RCA. Поступком карбонатизације се значајније смањује упијање воде и побољшавају механичке карактеристике рециклираног агрегата у односу на третирање са HCl, али се мења рН вредност што може смањити адхезију између битумена и RCA и асфалтну мешавину учинити осетљивијом на дејство воде, али и на неке друге врсте оштећења. Додатно, оваквим третманима се компликује и поскупљује процес припреме RCA за употребу у асфалтним мешавинама.

Истраживањем су такође утврђени ефекти замене ситног, крупног, или и ситног и крупног агрегата у различитим процентима (15%, 30%, 45%) на карактеристике асфалтних мешавина. При том се пошло од дефинисања оптималне запреминске структуре мешавина и одговарајућег садржаја битумена, да би се затим утврдила отпорност мешавина на дејство воде, отпорност на трајну деформацију, крутост мешавина у условима различитих фреквенција оптерећења и температура, отпорност на замор, и коначно отпорност на дејство ниских температура. Сprovedено свеобухватно истраживање омогућило је да се сагледају ефекти крупноће и садржаја RCA на понашање асфалтних мешавина у фази експлоатације.

Утврђено је да је могуће применити и ситан и крупан RCA у асфалтним мешавинама за носеће слојеве за све категорије саобраћајног оптерећења. При томе је добијено да мешавине са RCA имају исту или бољу отпорност на замор у односу на контролну мешавину, док је главни ограничавајући фактор у погледу садржаја RCA отпорност на ниске температуре, док у погледу отпорности на дејство воде, крутости и отпорности на трајну деформацију није дошло до значајних промена у односу на контролну мешавину при садржају RCA до 45%.

Развијена методологија за пројектовање асфалтних мешавина за носеће слојеве са RCA се може директно применити за коловозне конструкције за путеве са свим нивоима саобраћајног оптерећења.

4.3. Верификација научних доприноса

У току израде дисертације, Александар Радевић је међународној и домаћој, научној и стручној јавности представио свој рад кроз следећу публикацију:

Категорија M21:

1. Radević, A., Đureković, A., Zakić, D., Mladenović G., Effects of recycled concrete aggregate on stiffness and rutting resistance of asphalt concrete, *Construction and Building Materials*, 136, pp. 386–393, <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.01.043>, 2017.

Други рад, под насловом "Influence of acid treatment and carbonation on the properties of recycled concrete aggregate" аутора: Radević, A., Despotović, I., Zakić, D., Orešković, M., Jevtić, D., је послат часопису *Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly* који је индексиран са M23 и прошао је први круг рецензије, тако да се очекује његово скоро објављивање.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

У докторској дисертацији под насловом "Карактеристике асфалтних мешавина са агрегатом од рециклираног бетона" (наслов на енглеском језику "Properties of asphalt concrete mixtures

with recycled PCC aggregate") истражена је могућност примене агрегата од рециклираног бетона у асфалтним мешавинама и развијена методологија за пројектовање асфалтних мешавина за носеће слојеве коловозних конструкција са делимичном заменом природног агрегата рециклираним. Методологија приказана у овој докторској дисертацији представља оригиналан и вредан научни допринос у области грађевинских материјала и одрживог развоја.

Комисија сматра да урађена докторска дисертација кандидата Александра Радевића, маг. инж. грађ. у потпуности испуњава све захтеване критеријуме и да је кандидат испољио способност за самосталан научно-истраживачки рад у свим фазама израде ове дисертације.

Комисија предлаже Наставно-научном већу да се докторска дисертација под називом "Карактеристике асфалтних мешавина са агрегатом од рециклираног бетона" кандидата Александра Радевића, маг. инж. грађ. прихвати, изложи на увид јавности и упути на коначно усвајање Већу научних области грађевинско-урбанистичких наука Универзитета у Београду, као и да након завршетка ове процедуре позове кандидата на усмену одбрану дисертације пред Комисијом у истом саставу.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....
в. проф. др Горан Младеновић,
Универзитет у Београду, Грађевински факултет

.....
в. проф. др Гордана Топличкић Ћурчић,
Универзитет у Нишу, Грађевинско-архитектонски факултет

.....
доц. др Димитрије Закић,
Универзитет у Београду, Грађевински факултет

.....
доц. др Александар Савић,
Универзитет у Београду, Грађевински факултет