

## ПРИЛОГ САВРЕМЕНОМ СРПСКОМ НЕИМАРСТВУ – ДЕО 5/2: ВАЉКОМ ЗБИЈЕНИ БЕТОН – ПРИМЕНА У ПУТОГРАДЊИ

Мирко Д. Петковић<sup>1</sup>

УДК: 666.972:625.75

DOI:10.14415/konferencijaGFS 2015.109

**Резиме:** "Зашто се званично скоро нигде у свету не помињу имена и доприноси Срба историји светског градитељства"? Да ли зато што осим епских прича и спорадичних случајева таквих доприноса заправо и нема или зато што је недостатак традиције у богатству и владању над другима онемогућио Србе да пређу пут од турских дунђера до савремених демијурга и тако остану забележени у историји светског градитељства? Другим речима, да буду и његови креатори, а не само мање приметни следбеници, већи импровизатори или прости извршиоци туђих замисли и идеја. Без обзира каква да је истина презентирани рад путем информација о примени ваљком збијеног бетона у путоградњи даје допринос сагледавању и памћењу њене лепше стране испуњене том потребном креативношћу - без које се не рађа љубав према градитељској струци и науци нити подстицху опредељења младих за њу. Уз то у раду су дате основне информације о његовим особинама, саставу, спремању, уградњи и др. детаљима.

**Кључне речи:** Ваљком збијени бетон, путоградња, особине, састав, уградња,

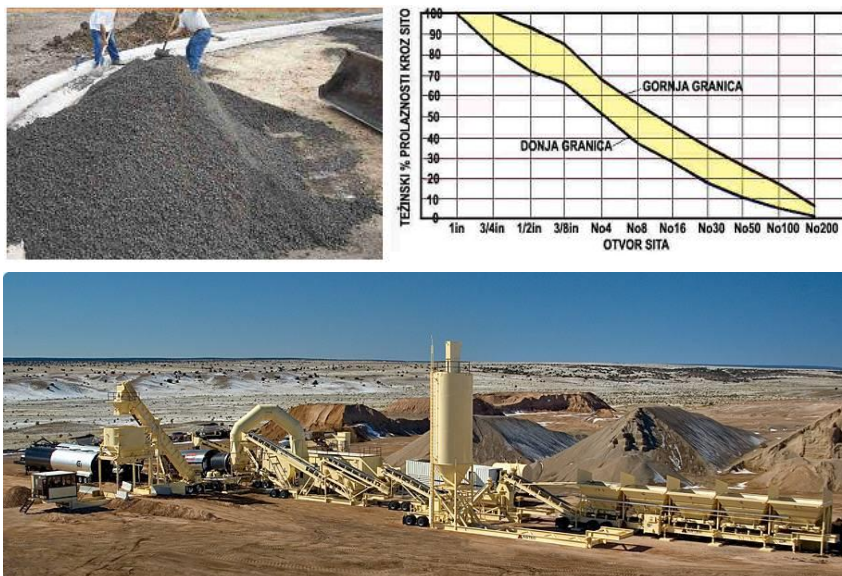
### 1. ИЗГЛЕД И НАЧИН СПРЕМАЊА

Ваљком збијени бетон представља једну релативно чврсту, растреситу и полусуву бетонску мешавину, приближно "влажну или слабо влажну као земља", ниског али ипак захтеваног степена обрадљивости тј., "zero slump" или "no slump" (Слика 1а,б).<sup>2</sup> Добија се мешањем грубог и ситног агрегата (локални дробљени или природни речни и брдски агрегат, рециклирани бетон и сл.), цемента, пуцолана-летећег пепела, воде, а понекад, као и код класичних бетона, и разних пуниоца, аераната, успоривача, убрзивача, расхладних супстанци, пластификатора, додатака за смањење воде и сл. Због недовољне влажности неопходне за ефикасно умешавање у класичним миксерима RCC мешавина се, за разлику од конвенционалног бетона, спрема на градилишту уобичајено у покретној фабрици бетона са констинуалним системом рада, чиме се постиже сталност квалитета и

<sup>1</sup> KECO Invest Engineering GmbH i KG Int. Exp. Group, [mirkopetkovic7@gmail.com](mailto:mirkopetkovic7@gmail.com), тел: 7 926 623 623 1

<sup>2</sup> На градилиштима у Америци то практично значи да слободна купа формирана и изручена окретањем прописаног левка за 180° око вертикалне осе задржава своју висину.

континуалност пласирања готовог производа, а тиме и висока продуктивност рада (Слика 1в.).



Слика 1. 1а. Изглед типичне RCC-мешавине, 1б. препоручена гранулометријска крива мешавине и 1в. покретне фабрике са континуалним системом рада за изградњу коловозних конструкција ([20],[9],[1])

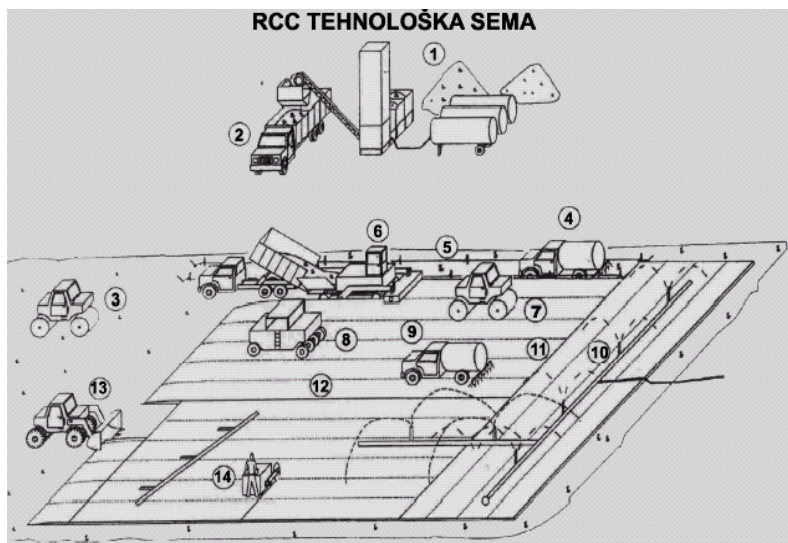
## 2. ТРАНСПОРТ, РАЗАСТИРАЊЕ И ЗБИЈАЊЕ

Даљи рад на транспорту, пласирању, разастирању и збијању мешавине се одвија са коришћењем у принципу истих машина и опреме као и код асфалтних коловоза.

При томе се због саме конзистенције свеже бетонске мешавине њен транспорт до места уградње обавља у зависности од конкретног случаја дамперима, чеоним утоваривачима, тракастим транспортерима и сл., уместо миксерима и крановима са киблама ([9], [3]) (Слика 2.). Допремљена мешавина се разастире у слојевима дебљине од 20 до 30см на претходно припремљену тј., чврсту, равну, консолидовану и навлажену површину са одређеним специфичностима диктираним врстом конструкције. Разастирање бетонске мешавине за изградњу коловозних конструкција се врши у тракама путем планера, грејдера и сличних класичних машина за путеве ([19]). Разастрти слојеви до 30см дебљине, или 4-6 слојева укупне дебљине до 60цм се збијају<sup>3</sup> обично 10-тонским челичним ваљцима са комбинованим коришћењем вибрација и постизавањем збијености која може ићи до 95%-100%. Међутим, у зависности од типа и намене конструкције, састава мешавине и сл. могу се користити и знатно моћније машине које се не ретко

<sup>3</sup> Код брана чак и 3 до 4м у случају косе слојевите изградње ([4], [5])

израђују специјално за један унапред планирани и довољно велики посао. Тако на пример, иако су у Канади и САД-у уобичајене дебљине RCC мешавине за израду коловоза до 25cm<sup>4</sup> са ширином од 13м приликом израде радних платформи и платоа (25.000м<sup>2</sup>) крајем 95.-е у Квибеку (*Quebec*) за потребе једног од највећих светских произвођача бабра, су коришћени 18-тонски вибро ваљци у пару за збијање слојева дебљине 15-21 инча (38-53см).



Слика 4. Редослед операција на RCC градилишту у нискоградњи из раних 90-их

Типичан динамички план континуалне уградње масивног RCC бетона у Америци се састоји од по 10-очасовног двосменског рада<sup>5</sup>, 6 до 7 дана недељно са до 45 минута укупног рада по слоју од тренутка производње<sup>6</sup>. Таква брзина и континуитет рада код нових објеката омогућава пласирање и уградњу великих количина бетонске мешавине, у пракси обично 4.500 - 9.500м<sup>3</sup> на дан што је рецимо око 10-20 пута више него што се практично постиже у високоградњи<sup>7</sup>.

У RCC технологији израде сви технолошки и конструктивни прекиди су смањени на најмању могућу меру. Разлог томе је појава хлађења бетона на местима спојева тј., појава напона затезања и резултујуће смањење монолитности и компактности конструкције. За разлику од других RCC конструкција где се за везу између хоризонталних спојева користе цементно млеко и пластични малтери који у суштини имају функцију лепка, попуне или омотача код коловозних конструкција се махом користи фина магла.

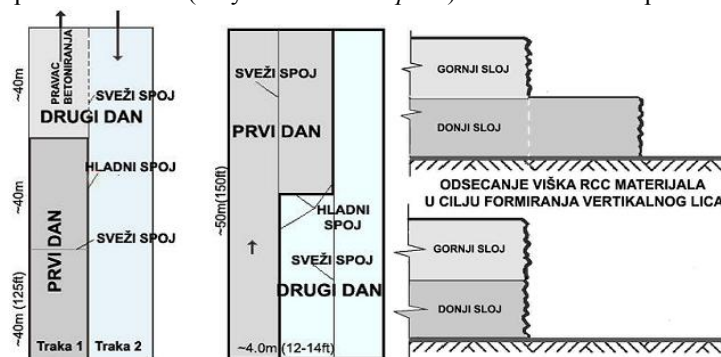
<sup>4</sup> Уколико су пројектовање дебљине веће од 25cm онда се раде у више слојева

<sup>5</sup> Понекад и 24 часова на дан или само у одређеном периоду дана – обично ноћу

<sup>6</sup> У том случају уградња по слоју је до 15мин при температури 10-27°C

<sup>7</sup> Код брана до 600м<sup>3</sup>/ч тј., до 15.000м<sup>3</sup>/дан што је око 50 пута више него у високоградњи

Иначе, сама обрада спојева код путева је класична са одређеним специфичностима у зависности од тога да ли се ради о свежим, хладним или хоризонталним спојевима (више о томе у [9], [16] и [17]). Распоред спојева и начин бетонирања пробних деоница код саобраћајница са 2 и 3 коловозне траке приказан је на Сл. 5. У сваком од приказаних поступака операција збијања ваљком подразумева обавезна прелаза ваљком (2 пута "назад-напред"). Уколико се потребна збијеност



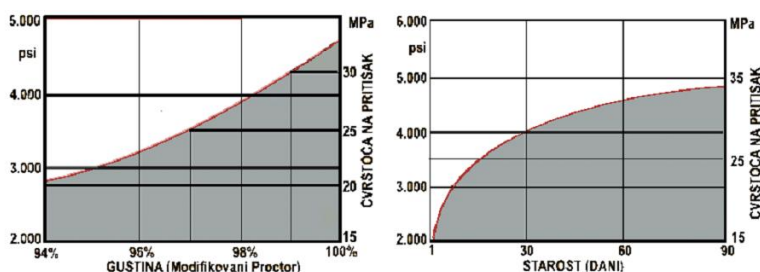
Слика 5. Редослед слојева на пробној деоници пута са 2 и 3 коловозне траке из 95-е и 87-е са вертикалним поравњањем хоризонталних слојева ([9][15]-[17]);

при неком од поступака не постигне или не одговара параметрима добијених на бази коришћења пробних деоница комплетан поступак збијања се понавља. Само неговање слоја бетона почиње одмах по завршетку његовог збијања и врши се чишћењем, запрашивањем водом у облику fine магле противпожарним шпринклер (*sprinkler*) системима, обично при крају дана који одржавају површину влажном обично 7 и 14 дана, а такође и одговарајућим емулзијама, разним мембранамa или било којим другим подесним прекривањем и заштитом при дејству ниских температура.

### 3. МЕХАНИЧКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ - ЧВРСТОЋА

Као и код конвенционалног бетона тако и код ваљком збијеног бетона је могуће, а у зависности од потреба и стања на терену, применом различитих рецептура постићи потребна својства очврселе масе. Тако на пример, за потребе металуршког комплекса у Канади (*Rouyon-Norandu*) 1995. је уграђено 8.000м<sup>3</sup> RCC са постигнутом седмодневном чврстоћом на притисак од 50МПа. Према подацима америчког удружења за портланд цемент (PCI) из 2003. чврстоћа на притисак RCC-а коришћеног за коловозне конструкције у САД се креће у границама од 28МПа до 69МПа (24.5МПа), а на затезање од 3.5 до 6.9МПа (2.8МПа/14дана) [8], при чему се подаци у заградама односе на коришћене бетоне са мин 160кг цемента/м<sup>3</sup> и чврстоће на савијање од 35МПа/14дана тј., 49МПа/28дана фирме *Savko&Sons Inc* из САД-а. Средње вредности чврстоће на притисак у зависности од густине и старости су приказани на Слици 6 [9]. Свакако да сви ти параметри

умногоме зависе од конкретне врсте, начина спремања и уградње *RCC* материјала, ри чему се у пракси користе најразличитије пројектантске методологије<sup>8</sup> али и интуитивно-искуствени параметри. Иако се добијени резултати крећу у веома широким границама њихове вредности за исту или сличну количину цемента не ретко превазилазе оне који се сусрећу код конвенционалних бетона.



Слика 6. Чврстоћа на притисак у зависности од густине и старости ([9])

Тако на пример, скорашња испитивања која су рађена у Аустралији са савременим мешавинама спремљеним у мобилним *Aran*-фабрикама бетона са континуалним радом са  $300\text{kg/m}^3$  до испод  $100\text{kg/m}^3$  цемента, воде  $104\text{l/m}^3$ , песка  $849\text{kg/m}^3$  и агрегата  $1222\text{kg/m}^3$  крупноће зрна 5-14мм, при чему је бетон збијан 18-тонским вибро ваљком у слојевима од 200мм су показала предност ваљком збијеног бетона по свим параметрима у односу на класични бетон (Табела 2).

Табела 2. Упоредне карактеристике неких *RCC* и *CC* бетона у Аустралији са истим саставом мешавине ([14])

C=300(<100)kg/m <sup>3</sup> , W=104l/m <sup>3</sup> , P=849kg/m <sup>3</sup> A=1222kg/m <sup>3</sup> (5-14mm) d=200mm, Q=18t	Jed.	RCC	CC	3 dana		7 dana		28 dana	
				RCC	CC	RCC	CC	RCC	CC
Gustina	kg/m <sup>3</sup>	2476	2327						
Jačina na pritisak	MPa					44.9	30.4	66.0	44.9
Jačina na zatezanje	MPa			5.6	5.0	8.3	5.5		
Apsorcija	%			2.4	5.1				
Poroznost	%			6	11.2				

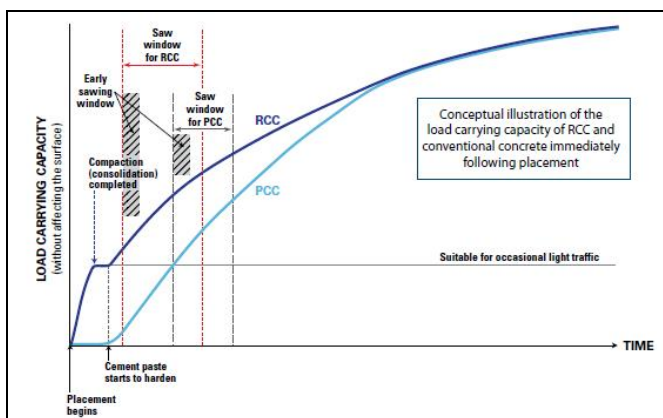
Приказани резултати принципијелно не одударају од шеме пораста чврстоће *RC*-бетона који се користи за савремене коловозне конструкције у САД-у према *USACE* – процедурама у односу на конвенционалне бетоне (Слика 7).

Средње вредности за различите густине и старости *RC*-бетона коришћених за различите конструкције у нискоградњи, а према подацима за период од 1984 до 1989. *U.S. Army Corps of Engineers*-а [3], су табеларно приказане у [9].

<sup>8</sup> За те ствари се као помоћ уобичајено користе готови програмски пакети као што су то у Америци пакети *RCC-PAVE Portland Cement Association*-а или *PCASE* пакет *U.S. Army Corps of Engineers*-а

#### 4. РАЗЛИКА ИЗМЕЂУ RCC И СС БЕТОНА

Суштинска разлика између ваљком збијеног бетона и конвенционалног бетона је пре свега у конзистенцији мешавине са мање воде и цемента, иако уобичајено са више песка, док се скоро све остале разлике и иновативни поступци махом могу сматрати као узрочно-последичне везе диктиране и омогућене тим разликама, као што је на пример најзначајнија од њих – метода консолидације са употребом машина за планирање и вибро-ваљака за збијање уместо перувibratorа са резултујућом компактношћу и монолитношћу очврслог бетона, као и смањена појава прслина, смањено скупљање, повећана отпорност на динамичка и ерозивна дејства, али такође и аутоматизација процеса, већа продуктивност рада, већа брзина и мање јединичне цене тј., мањи трошкови израде и уградње, смањени административни трошкови и сл.



Слика 7. Пораст чврстоће RCC и СС бетона (извор: U.S. Corps. of Engg.)

#### 5. УСЛОВИ И ОБЈЕКТИ ЗА ПРИМЕНУ RC-БЕТОНА

Као што је споменуто најефикаснија техничка примена RC-бетона и његове технологије је код пројеката чије извођење је са широким фронтом дејства, са великим површинама за пласирање бетонске мешавине, код пројеката масивних бетона са што мање или без дисконтинуитета, са мало или нимало арматуре односно свуда где се ради о великим количинама бетона, асфалта, камена или земље и где простор за употребу ваљака и друге потребне механизације није скуцен тј., где њихово директно и последично дејство долази до пуног изражаја. У путоградњи поред коловозних конструкција ту спадају потпорни зидови, паркинг простори, отворени фундаменти са широким ископом, темељни блокови, велики јастуци, али такође и војни објекти, авионске писте, луке, терминали, складишни простори, претоварне рампе, платформе, платои, индустријски подови и сл.



Свакако да су то само потребни услови. Довољни услови подразумевају изнад свега одговарајућу стручну, економску и сличну подршку. У склопу њих се налазе и данас неизоставни услови из области бизниса и трансакција ([12],[13]).

## 6. УМЕСТО ЗАКЉУЧКА

Ваљком збијени бетон у многим случајевима може организационо и технички врло ефикасно, а изнад свега и економично елиминисати уобичајени метод рада и заменити класични бетон, камен, асфалт, земљу и сличан грађевински материјал – и то утолико више уколико су ти материјали у предметној конструкцији више и заступљени. Истовремено та иста технологија рада у путоградњи не ретко даје бетоне побољшаних карактеристика у односу на конвенционалне бетоне. Посебно уколико се ради о комбинацији RCC-а са класичним материјалима или "спрегнутим" коловозним конструкцијама са заштитном емулзијом и танким завршним слојевима од асфалта [17].

У исти мах, RCC-технологија рада и систем градње са додатним могућношћу коришћења неких отпадних материјала, као што су то на пример отпадни гипс [21], изгоретине пирита, металуршка шљака, летећи пепео и сл., нуди и варијанту ефикасног решења еколошког проблема који стварају поједине депоније тога типа. Међутим, као што је и споменуто, све те предности које се нуде захтевају поред адекватног стручног знања и искуства, добре припреме и висок степен расположиве технике и стручног знања, од којих ни једно нема разумевања за непрецизност, алкавост и импровизације са застарелим машинама. То посебно важи за област брана где је још увек RCC систем градње у свету савременог градитељства, по речима Брајана Форбса (*Brian Forbes*), једног великог ауторитета из те области, " са највећим бројем практичних иновација по објекту", тако да оне уобичајено "представљају посебне ставке при склапању уговора".<sup>9</sup>

У складу са тим су и речи Мартина Ашфилда (*Martin Ashfield*), техничког директора британског Цедекса (*Cemex*) и врсног стручњака из области RC-бетона у путоградњи, да је код RCC-а од пресудног значаја то колико прецизно се могу контролисати параметри које треба контролисати. Другим речима, *друштво мора бити довољно развијено и знањем богато како би употребом тог система градње што више уштедело. У супротном је принуђено да користи скупље материјале са којима се лакше барата и на тај начин даје предност туђој заради и сопственом губитку односно, национално скупљем бизнису уместо јевтинијој памети.*

Сходно томе с правом се може закључити да сваки домаћи пројекат из области градитељског бизниса и струке, који садржи велике количине бетона, асфалта, камена или земље, па чак и мање, и у коме простор за употребу механизације није скучен, не одише потребном савременошћу и стручношћу уколико не садржи и анализу могућности примене ваљком збијеног бетона, а у најмању руку његове технологије онако како су то неки Срби и др. радили пре више од 85 година.

<sup>9</sup> Brian Forbes, GHD Pty. Ltd, GPO Box 668, Brisbane Q4001, Australia; (617) 3316 3601

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] *CRD-C 161-92 Standard Practice for Selecting Proportions for Roller-Compacted Concrete (RCC) - Pavement Mixtures Using Soil Compaction Concepts*, **1998**.
- [2] Dept. of the Army, U.S. Army Corps of Engineers, *EM 1110-2-2006, Engineering and Design – Rolled Compacted Concrete*, Washington, DC. **2000**.
- [3] Dept. of the Army, U.S. Army Corps of Engineers *ETL 1110-3-475, Engineering and Design – Roller Compacted Concrete Pavement Design and Construction*, Washington, DC. **1995**.
- [4] Forbes, B. A., The RCC Sloped Layer Construction Method, *HRW Magazine*, July **2003**. (у складу са белешкама од 19. фебруара 2003.), v. такође:
- [5] Forbes, B. A., Solving some long standing RCC concerns, *Document number: 28661 Job Number: 411\009012\60*, **2000**.
- [6] Krishna Rao, S., Sarika, P., Sravana, P., ChandraSekhara Rao, T., Evaluation of properties of Roller compacted concrete pavement (RCCP), *Int. Journal of Educ. and Appl. Research, Vol. 4, Isssue Spl-2, Jan-June 2014*
- [7] Петковић, М., Прилог савременом српском неимарству Део 5/1: Појам и историја ваљком збијеног бетона, *Међународна конференција-Савремена достигнућа у грађевинарству*, Суботица, **2015**. (Рад посвећен сећању на Милутина Миланковића)
- [8] Petković, M., Uпотреба ваљком збијеног бетона код брана и хидротехничких конструкција, *Zbornik radova sa II Kongresa Jugoslovenskog komiteta o visokim branama YUCOLD 2003*, 7-10 октобар, Kladovo, **2003**. такође: презентација и дискусија аутора од 08.10.2003. о историјском развоју RC-бетона
- [9] Petković, M., Primena ваљком збијеног бетона u савременом грађевинарству, *Proc. of Int. Scientific Conference on Planning, Design, Construction and Building Renewal INDiS 2005*, Novi Sad, **2005**
- [10] Petković, M., Curenje брана од ваљком збијеног бетона: Stanje stvari sa predlogom промена *Vodoprivreda, br. 205-206*, Beograd, **2003**. (Рад посвећен сећању на Ђ. Лазаревића и Ј. Ђокића)
- [11] Petković, M., Uпотреба геомембрана код проблема curenja RCC брана: Pregled stanja, *Zbornik radova sa II Kongresa Jugoslovenskog komiteta o visokim branama YUCOLD 2003*, Kladovo, **2003**
- [12] Петковић, М.Д., Прилог савременом српском неимарству и градитељству-кроз белешке и слике, *Међународна конференција-Савремена достигнућа у грађевинарству*, Суботица, **2014**. (Рад посвећен сећању на инж. Милутина Миланковића)
- [13] Petković, M. D., Prilog odnosu struke i biznisa u савременој грађевинарској пракси, *Proc. of International Conference "Civil engineering – Science and Practice"*, GNP 2014, Žabljak, **2014** (Рад посвећен сећању на инж. Данила Рашковића)
- [14] Petković, M. D., Primena ваљком збијеног бетона u путogradnji, *Prvi srpski kongres o putevima*, Beograd, **2014**.
- [15] Petković, M., SMA koncept–sinonim za прворазредне путеве, *Proc. of International Conference "Civil engineering – Science and Practice"*, GNP 2006, Žabljak, **2006**.
- [16] Petković, M., Savremeni asfaltni kolovozi - Deo III, Skeletni mastik asfalt i celulozna vlakna, *MP-03-NiDirGr*, Direkcija za izgradnju, Niš, **2004**.



- [17] Petković, M., (2004) *Savremeni asfaltni kolovozi – Deo II*, Valjkom zbijeni beton kao noseća konstrukcija, **2004** (необјављено).
- [18] Portland Cement Association, *Structural Design of Roller-Compacted Concrete for Industrial Pavements*, **1987**. такође: <http://www.portcement.org/rcc/rcc2.asp> PCA • 5420 Old Orchard Road • Skokie, Illinois 60077, [info@cement.org](mailto:info@cement.org)
- [19] Singel, M. W., What is Roller Compacted Concrete?, *Roller Compacted Concrete Pavements*, PCA, **2003**. (Web site <http://www.cement.org>.)
- [20] Thomson, R. R., *Roller Compacted Concrete Pavements* – Power Point Presentation, Savko & Sons, Inc., **2002**.
- [21] University of Mayami, *Publication No. 01-068-072*, A demonstration project: Roller compacted concrete utilizing phosphogypsum, Florida Institute of phosphate research. **1988**.

## CONTRIBUTION OF SERBS IN MODERN BUILDING PRACTICE – PART 5/2: RCC IN ROAD CONSTRUCTIONS

**Summary:** *Why are officially almost anywhere in the world, do not mention the names of Serbian builders and their contribution to the world of construction? Is it because, besides the epic stories and sporadic cases, the lack of a tradition in wealth and authority disables the Serbs to cross the path from the ancient wageworkers and medieval bricklayer to the modern demiurge and so to be registered in the world of construction? In other words, to be its creators, not just less noticeable followers, skilled improvisers or simply executors.*

*No matter what the truth is the presented paper through the basic information of rolled compacted concrete contributes to the perception and memory of its bright side filled with the necessary creativity without which there is no love and commitment to the building profession and science. Together with usage of roller compacted concrete in road construction the paper presents the mixture design, construction procedures and equipment, properties and costs, placing and some other details.*

**Keywords:** *Roller compacted concrete, consist, road constructions, properties, placing*