

ДОКУМЕНТАЦИЈА ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА

У складу са одредбама *Правилника о поступку и начину вредновања, и квантитавном исказивању научноистраживачких резултата истраживача*, који је донео Национални савет за научни и технолошки развој Републике Србије («Службени гласник РС», бр. 38/2008) достављамо следеће податке.

Аутор/аутори техничког решења:

- др Зоран Грдић, дипл.инж.грађ.
- др Гордана Топличих-Ђурчић, дипл.инж.грађ.
- мр Ива Деспотовић, дипл.инж.грађ.
- Ненад Ристић, дипл.инж.грађ.

Назив техничког решења: *Самоуграђујући бетон справљен са рециклираним агрегатом добијеним дробљењем старог бетона*

Категорија техничког решења (навести према одредбама *Правилника* садржаним у НАПОМЕНИ*): *“Битно побољшан постојећи производ или технологија”*

У оквиру ког пројекта МНТР је решење рађено: *ТР 16004*

Наручилац техничког решења: *Грађевинско-архитектонски факултет у Нишу*

Корисник техничког решења: *“ВОДОГРАДЊА”Д.О.О. Пуковац*

Година када је техничко решење урађено: *2009.*

Област технике на коју се техничко решење односи: *Грађевинарство, технологија бетона*

НАПОМЕНА: Према одредби *Правилника о поступку и начину вредновања, и квантитавном исказивању научноистраживачких резултата истраживача у категорију „нови производ или технологија у производњи, признати програмски систем, сој, сорта на међународном нивоу“* спадају:

- признати програмски систем;
- нови производни процес/ поступак уведени у производњу;
- ново лабораторијско постројење;
- ново експериментално постројење;
- нови технолошки поступак;
- признат нови генотип уведен у производњу;
- нова линија;
- нова сорта;
- нова раса;
- нови сој;
- нови материјал уведен у производњу;
- нови производ уведен у производњу;

У категорију *„битно побољшани постојећи производи и технологије“* спадају:

- побољшан програмски систем;
- побољшан производни процес /поступак уведени у производњу;
- побољшано лабораторијско постројење;
- побољшано експериментално постројење;
- побољшан технолошки поступак;
- нови генотип;
- побољшана линија;
- побољшана сорта;
- побољшана раса;
- побољшан сој;
- нов начин употребе постојећих производа;
- рационална употреба енергије.

У категорију „*прототип, нове методе, софтвер, инструмент, нове генске пробе, микроорганизми и сл.*“ спадају:

- прототип;
- лабораторијски прототип;
- индустријски прототип;
- нова метода (нови алгоритам);
- нови софтвер;
- нови инструмент (мерни, контролни, управљачки, мониторински);
- нове генске пробе (библиотека гена, специфични протеини, развој микроорганизма).

1. Опис проблема који се решава техничким решењем

Последњих двадесет година запажена су два контрадикторна процеса везана за трајност бетонских конструкција: побољшање квалитета бетонских мешавина као резултат сталног раста технолошких сазнања и усавршавања прописа и стандарда, а са друге стране, услед све већег недостатка квалификоване радне снаге запажен је општи пад квалитета извођења радова што је довело и до пада стварне трајности бетонских конструкција. Јаз између ова два супротстављена процеса могуће је превазићи само путем елиминације утицаја „фактора човек“ на квалитет изведених конструкција. Применом самоупраћујућег бетона је могуће постићи овај циљ, јер трајност конструкције у том случају зависи искључиво од оствареног квалитета бетонске мешавине.

Развијен током последње деценије двадесетог века у Јапану и континенталном делу Европе, самоупраћујући бетон се данас у значајном обиму примењује како у САД и Великој Британији, тако и на Средњем Истоку. По својој природи самоупраћујући бетон (Self Compacting Concrete - SCC) је такав бетон који након уношења у оплату не захтева вибрирање. Збијање (компактирање) овог бетона се у сваком делу, или у сваком углу оплате, укључујући и њене тешко приступне делове, остварује без икаквих спољних сила, осим силе гравитације, тј. његове сопствене тежине. Оваква својства се постижу додавањем бетону хемијских додатака суперпластификатора, најчешће у комбинацији са новом врстом адитива за модификацију вискозитета и/или применом одређене количине финог минералног додатка - праха.

Концепт одрживог развоја, који поред социолошких и економских аспеката, обухвата уштеду енергије, заштиту околине и очување необновљивих природних ресурса, представља стратешко опредељење многих привредних грана, међу којима се посебан допринос очекује од грађевинарства. Недостатак природног агрегата у урбаним срединама и све веће растојање између налазишта квалитетног природног агрегата и градилишта присилили су градитеље на разматрање могућности замене природног агрегата рециклираним материјалима (грађевинска керамика, згура, бетон итд.). Са друге стране, у урбаним срединама се често јавља велика количина старог бетона чије уклањање и депоновање представља еколошки проблем.

Предмет овог техничког решења је истраживање својстава и технологије производње самоупраћујућег бетона са рециклираним агрегатом од дробљеног бетона, при чему је проценат замене крупног природног агрегата рециклираним износио 50 и 100 %.

2. Стање решености проблема у свету – приказ и анализа постојећих решења

Самоупраћујући бетон, по многим ауторима „најреволуционарније откриће бетонске индустрије XX века“, не захтева вибрирање приликом уграђивања и збијања. Под дејством сопствене тежине у потпуности испуњава све делове оплате чак и присуству густо постављене арматуре. Његове предности су: бржа градња, смањење броја потребних радника, боље финалне површине, лакше уграђивање, побољшана трајност, већа слобода обликовања елемената, смањење буке, одсуство вибрација, и самим тим, здравије радно окружење.

Почетак развоја ових бетона се везује за Јапан осамдесетих година прошлог века, мада подаци доступни у светској литератури указују да су „саморавњајући“ (self-levelling) бетони без склоности ка сегрегацији проучавани још 1975-76. године у Италији. Било је предлога да се дефинише реопластични бетон (Проф. Марио Колепарди, Политехнички факултет, Милано) који иако течан, има велику кохезију и самим тим ниску тенденцију ка сегрегацији или издвајању воде. Таква идеја није заживела јер је АЦИ (American Concrete Institut) дозвољавао максималну

вредност слегања 175 mm да би се, у одсуству суперпластификатора, избегло превелико издвајање воде.

Главни инжењерски проблем у Јапану било је убрзано пропадање армиранобетонских конструкција, посебно оних на мору и у обалним подручјима. Проблем трајности конструкција је био уско повезан са корозијом арматуре у бетону, изазване карбонатизацијом заштитног слоја бетона и агресивним деловањем јона хлорида. Ако се томе придода и недостатак квалификоване грађевинске радне снаге, разумљиво је што је у том правцу био усмерен највећи број истраживања које је предводио Најиме Окамура са Универзитета у Токију. Он је први указао на неопходност стварања самоуграђујућег бетона. Развојну студију су, заједно са њим урадили Ozawa и Maekawa са истог универзитета. Прототип SCC-а је урађен 1988. г. од материјала којих је тада било на тржишту, и по својим особинама како у свежем, тако и у очврслост стању се изузетно добро показао. Овај бетон је назван „бетон високих перформанси“ (High Performance Concrete) и описан на следећи начин: у свежем стању – самоуградљив, у раној старости - без иницијалних дефеката, по очвршћавању – отпоран на спољашње утицаје. Готово истовремено, професори Aitcin и Gagne су 1989. године дефинисали „бетон високих перформанси“ као бетон високе трајности. Овај термин је прихваћен широм света, па је Окамура свој бетон, да не би дошло до забуне, преименовао у „самоуграђујући бетон високих перформанси“ (Self – Compacting High Performance Concrete).

3. Објашњење суштине техничког решења и детаљан опис са карактеристикама укључујући и пратеће илустрације и техничке цртеже

Суштина техничког решења се огледа у кроз експериментално истраживање доказаној могућности справљања самоуграђујућег бетона одличних физичких и механичких својстава у којем је целокупан крупан агрегат замењен рециклираним који је добијен дробљењем бетона који потиче од старе срушене армирано-бетонске конструкције. У даљем тексту је дат детаљан опис експерименталног истраживања, карактеристике SCC бетона са рециклираним агрегатом и закључци.

3.1 Детаљи експеримента

3.1.1 Материјали коришћени у експерименту

Сви узорци у експерименту су израђени од цемента СЕМ II/B-M (S-Q) 42.5 N чије су особине приказане у табели 1:

Табела 1 : Физичко-механичке особине цемента

Време везивања, мин	поч 186, крај 262
Финоћа млива – остатак на сити 0.09 mm, %	3.2
Специфична маса	3.0 g/cm ³
Запреминска маса у растреситом стању	925 kg/m ³
Запреминска маса у збијеном стању	1521 kg/m ³
Чврстоћа при савијању након 2 дана	2.91 N/mm ²
Чврстоћа при савијању након 7 дана	4.85 N/mm ²
Чврстоћа при савијању након 28 дана	6.91 N/mm ²
Чврстоћа при притиску након 2 дана	11.44 N/mm ²
Чврстоћа при притиску након 7 дана	22.79 N/mm ²
Чврстоћа при притиску након 28 дана	38.98 N/mm ²

У експерименту је коришћено камено брашно добијено млевењем кречњака специфичне масе 2.692 g/cm³ и стандардне девијације удела шупљина према Ригден-у 0,23%. За справљање бетонских мешавина коришћене су фракције 0/4, 4/8 и 8/16 mm речног и фракције 4/8 и 8/16 рециклираног агрегата од дробљеног бетона. Рециклирани агрегат потиче од срушеног објекта (надвожњак) старог 40 година. Подаци о гранулометријском саставу агрегата су приказани у табели 2.

Табела 2: Гранулометријски састав агрегата

Процент пролаза (%)	0/4 mm (речни агрегат)	4/8 mm (речни агрегат)	8/16 mm (речни агрегат)	4/8 mm (рецикл. агрегат)	8/16 mm (рецикл. агрегат)
дно	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.125	0.81	0.03	0.02	0.04	0.03
0.25	7.31	0.04	0.03	0.18	0.05
0.5	17.30	0.05	0.04	0.27	0.05
0.71	33.02	0.07	0.05	0.31	0.06
1	46.84	0.10	0.07	0.33	0.06
2	72.60	0.28	0.09	0.44	0.07
4	94.05	3.13	0.12	1.95	0.09
8	100.00	89.41	1.37	98.99	10.58
11.2	100.00	99.56	30.21	99.91	51.28
16	100.00	100.00	97.26	100.00	99.17
22.4	100.00	100.00	99.92	100.00	100.00
31.5	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Податак који је од значаја за пројектовање бетонске мешавине је количина воде коју упије рециклирани агрегат пошто је она увек повећана у поређењу са истом фракцијом речног агрегата, а последица је постојања заостале цементне пасте на зрнима рециклираног агрегата. За коришћени рециклирани агрегат упијање воде је износило: за фракцију 4/8 mm 5,88%, а за фракцију 8/16 mm 5,08%.

У експерименту је коришћен адитив Суперфлуид 21M1M, типа хиперпластификатор у складу са EN 934-2, који је у хемијском смислу модификовани поликарбоксилат. Дозирање од 0,7% у односу на масу прашкастих компоненти (цемент и камено брашно) је одређено на основу претходних проба које су урађене пре него што се приступило справљању главних бетонских мешавина.

3.1.2 Пројектовање мешавина

За потребе експеримента су направљене три врсте бетона: еталон - само са речним агрегатом, проба П50 са 50% рециклираног крупног агрегата при чему је у потпуности замењена фракција 8/16 mm и проба П100, са 100% рециклираног крупног агрегата где је сав крупан агрегат замењен рециклираним. Количина компоненти за справљање 1 m³ бетона је код свих мешавина била непромењена са изузетком малих варијација у количини воде из разлога постизања једнаке конзистенције и нешто већег упијања воде од стране рециклираног агрегата. Састав пројектованих мешавина је дат у табели 3.

Табела 3: Дозажа компоненти у [kg] за 1 m³ бетона

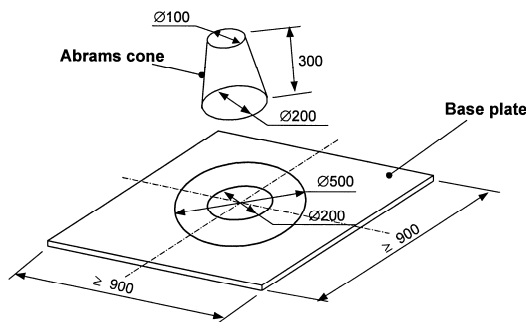
	Е	П50	П100
Кречњачко брашно	260	260	260
Цемент	409.6	409.6	409.6
Фракција 0-4 mm	676	676	676
Фракција 4-8 mm	429.6	429.6	429.6
Фракција 8-16 mm	429.6	429.6	429.6
Вода	170	178	186
Суперфлуид М21М	4.0	4.0	4.0

Из већ поменутих разлога код бетона са 50% крупног рециклираног агрегата (П50) количина воде је износила 178 литара, односно 186 литара код бетона са 100% крупног рециклираног агрегата (П100).

3.1.3 Тест методе

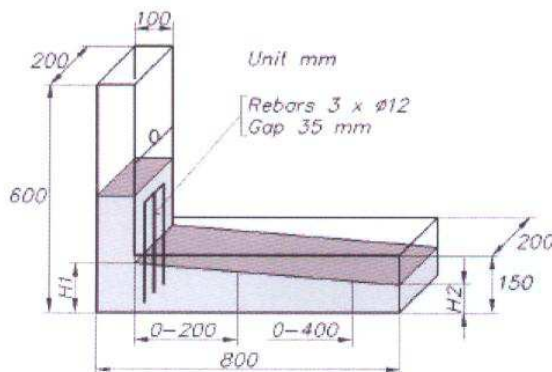
У експерименту су коришћене следеће методе испитивања самоупраћујућег бетона: slump-flow тест за испитивање флуидности, L-box тест за проверу способности пролаза и Sieve segregation тест за проверу отпорности на сегрегацију.

Slump-flow тест: Процедура приликом испитивања практично представља комбинацију испитивања слегања по Абрамсу и распрострања по Графу. Након подизања напуњеног и претходно навлаженог, металног конуса треба измерити време потребно да бетон достигне круг пречника 500 mm (то је T_{50} време), као и коначно достигнути пречник распрострања (слика 1). Најмања захтевана вредност за SCC је 650 mm, а највећа дозвољена 850 mm. Ниже време T_{50} указује на бољу способност течења. За инжењерску праксу предложено је 3 до 7 секунди [1].



Слика 1: Slump-flow тест – димензије апаратуре

L-box тест: Апаратура се састоји из кутије „L“ облика, правоугаоног попречног пресека, са хоризонталним и вертикалним делом раздвојеним покретним поклопцем (излазом) испред кога се налази вертикална арматура, (слика 2). Вертикални одељак се напуни бетоном, а затим се поклопац подигне да се омогући течење бетона у хоризонтални део. Кад течење престане мери се висина бетона на крају хоризонталног дела и остатка у вертикалном делу (H_2/H_1). То је показатељ способности пролаза бетона између арматуре, и рачунски треба да буде што ближе јединици (најнижа дозвољена вредност 0.8).



Слика 2: L-box тест - димензије апаратуре

Sieve stability тест: Тест испитује отпорност самоупраћујућег бетона на сегрегацију мерењем масе свежег SCC-а која је прошла кроз сито квадратног отвора величине 5 mm. Димензије сита су пречник 300 или 315 mm и висина 40 или 75 mm (ISO 3310-2). На сито се сипа 4.8 ± 2 kg бетона са висине 50 ± 5 cm. Након 2 минута, сито се лагано, без потресања уклони са посуде на коју је стављено и измери количина малтера која је исцурела. Процент проласка узорка кроз сито представља меру сегрегације [1].

На очврслном бетону су испитиване чврстоће при притиску и затезању (савијањем), на потпуно исти начин као што је уобичајено за вибрирани бетон, па ти поступци овде неће бити објашњавани.

Испитивање упијања воде је урађено на узорцима димензија 12 x 12 x 36 cm, методом поступног потапања. По овој методи, узорци се ставе у одговарајући суд, вода се најпре улије до ¼ висине узорка а после 1 сата се долије до ½ висине узорка који тако потопљен остаје још 1 сат. Затим се вода долије до ¾ висине и узорци тако остају 20 сати. На крају, узорци се потпуно потопе у воду у којој остају још 2 сата. Маса водом засићених узорка (m_v) се први пут мери после 24 h од почетка испитивања, а затим на свака наредна 24 сата све док разлика између два мерења не буде мања од 0.01 g (до постизања константне масе). Код свих узорка је константна маса постигнута након три дана. Упијање се рачуна по формули $H_m = (m_{dw} - m_d) / m_d \cdot 100$ где је m_d маса узорка осушеног до константне масе у грамима (тачност 0.01 g), а m_{dw} маса узорка засићеног водом до константне масе. Испитивање водонепропустљивости је вршено на узорцима димензија 200x200x150 mm, при старости бетона од 28 дана. Узорци су 24 h изложени дејству воде под притиском од 1 бара, следећих 48 h притиску од 3 бара, и на крају последња 24 h испитивања, притиску од 7 бара. Након овога се поломе и мери дубина продора воде.

3.2 Резултати испитивања и дискусија

3.2.1 Резултати добијени испитивањем свежег бетона

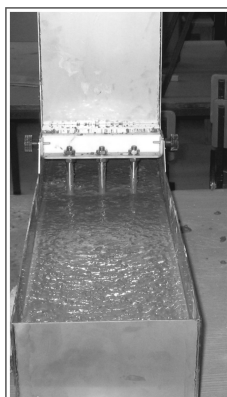
Резултати добијени испитивањем свежег бетона су приказани у табели 4:

Табела 4: Резултати испитивања добијени мерењима на свежем бетону

Врста бетона	Запреминска маса, kg/m ³	Slump-flow test, cm	T ₅₀₀ , s	L-box test	Sieve segreg. %	ω _c (водоцем. фактор)	ω _p (водопрашк. фактор)
Е	2391	73.5	5.60	0.94	11.7	0.41	0.25
П50	2366	73.5	5.40	0.95	9.31	0.43	0.26
П100	2355	72.5	6.00	0.98	5.2	0.45	0.27

Разлика у запреминској маси између еталона, пробе са 50% и пробе са 100% крупног рециклираног агрегата износи 25 kg/m³ и 35 kg/m³, односно 1% и 1.5%.

Slump-flow тестом је проверавана прва од три кључне особине SCC-а: покретљивост, тј. флуидност. Распростирање је у сва три случаја износило око 73 cm што све пројектоване мешавине сврстава у класу SF2 која одговара најчешћој примени бетона у грађевинарству. T₅₀₀ је време за које бетон достигне пречник од 500 mm и мери се приликом извођења slump-flow теста. Представља проверу вискозности мешавине и за класу SF2 се препоручује интервал од 3.5-6.0 s у који су све мешавине уклопиле. Време дуже од 2 s их сврстава у класу вискозности VS2. Није уочена сегрегација, нити издвајање воде. *L-box тестом*, је проверавана друга кључна особина: способност пролаза самоуграђујућег бетона између арматурних шипки без заглављивања. Све мешавине задовољавају критеријум да однос висина бетона на крајевима *L-box*-а буде најмање 0.8, а како је испитивање рађено са три арматурне шипке (што је и захтев за гушће армиране конструкције) њихова класа је PA2. Све бетонске мешавине су биле скоро хоризонталне након истицања кроз отвор *L-box*-а, без заглављивања између арматуре (слика 3).



Слика 3: L-box тест

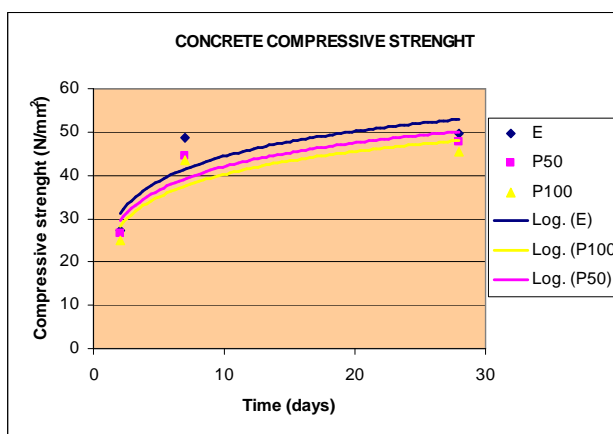
Отпорност на сегрегацију као трећа карактеристика свежег SCC-а је тестирана на ситу. Резултати показују да су све мешавине отпорне на сегрегацију, с тим што еталон припада класи SR2 (<15%), а П50 и П100 класи SR3 (<10%).

3.2.2 Резултати испитивања очврслог бетона

Испитивањем чврстоће при притиску након 2, 7 и 28 дана су добијени резултати приказани у табели 5 и на слици 4:

Табела 5: Резултати испитивања чврстоће при притиску

Врста бетона	Запреминска маса [kg/m^3]	$f_{p,2}$ [N/mm^2]	$f_{p,7}$ [N/mm^2]	$f_{p,28}$ [N/mm^2]
Е	2410	27.27	48.67	49.48
П50	2359	26.60	44.59	47.56
П100	2328	25.00	43.37	45.25

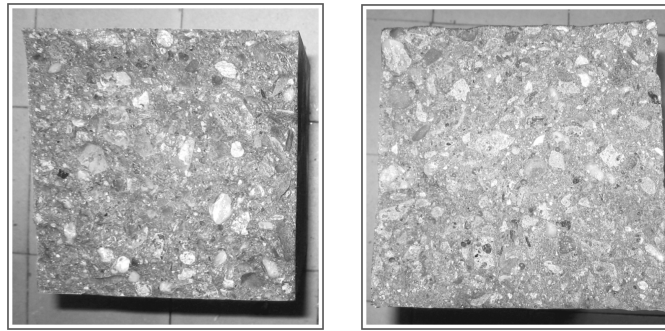


Слика 4: Графички приказ резултата испитивања чврстоће на затезање савијањем

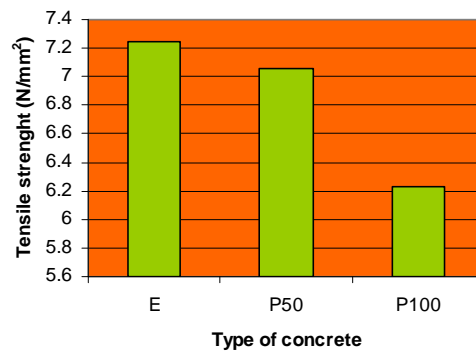
Запреминска маса еталона је већа за 51 kg/m^3 , односно 2.12% у односу на пробу са 50% рециклираног крупног агрегата и за 82 kg/m^3 , тј. 3.4% у односу на пробу са 100% рециклираног крупног агрегата.

Разлике у чврстоћи за исту старост се не могу окарактерисати као значајне. Еталон има већу чврстоћу за 1.92 N/mm^2 , тј. 3.88% у односу на П50, а за 4.23 N/mm^2 , тј. 8.55% у односу на П100 при старости од 28 дана. Све три мешавине имају брз прираштај раних чврстоћа, након 7 дана достижу више од 90% своје чврстоће при старости од 28 дана, што је последица примене каменог брашна. Објашњење извесног смањења чврстоће бетона са рециклираним агрегатом треба тражити у микроструктури бетона са овим агрегатом. Наиме, главни проблем примене рециклираног агрегата јесте његов променљив и неуједначен квалитет посебно у случају коришћења агрегата добијеног рушењем конструктивних елемената неког објекта. За разлику од природног агрегата, рециклирани агрегат у свом саставу има две компоненте: природни агрегат и за њега везану цементну пасту која му у мањој или већој мери смањује квалитет. Стара цементна паста је узрок мање запреминске масе, веће апсорбиционе моћи, слабије отпорности на абразију и великог удела сулфата у саставу рециклираног агрегата у поређењу са природним. Подаци из доступне литературе показују да фракције агрегата 4/8 mm садрже 33-55% старе цементне пасте, а фракције 8-16 mm очекивано мање 23-44%. Удео цементне пасте је највећи код ситних фракција па је њихова примена ограничена.

У току везивања и очвршћавања нова цементна паста најпре реагује са старом пастом која је заостала на зрнима рециклираног агрегата што захтева део воде која улази у састав бетонске мешавине и смањује чврстоћу при притиску. Код бетона на бази природног агрегата лом је настао кроз очврслу цементну пасту, док је код узорака са 50 и 100% крупног рециклираног агрегата путања лома прошла и кроз зрна агрегата пошто су она најслабија компонента композита (слика 5).



Слика 5: Изглед поломљеног еталона (лево) и пробе П100 (десно)

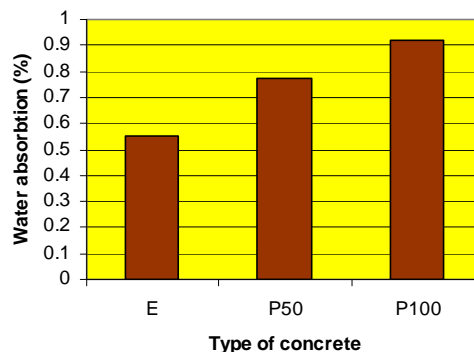


Слика 6: Графички приказ резултата испитивања чврстоће на затезање савијањем

Резултати испитивања чврстоће на затезање савијањем (слика б) показују да је чврстоћа еталона након 28 дана већа за 0.18 N/mm^2 или 2.49% у односу на бетон са 50% крупног рециклираног агрегата, а за 1.01 N/mm^2 или 13.95% у односу на бетон са 100% крупног рециклираног агрегата. Пад чврстоће је проузрокован, исто као и код чврстоће при притиску, променом у микроструктури бетона.

Резултати испитивања упијања воде су приказани на слици 7. Резултати испитивања показују да је највеће упијање воде констатовано код пробе П100, 0.92% , што је за 0.15% веће од пробе П50 и за 0.37% веће од еталона. Највеће упијање воде код бетона П100 је логична последица примене рециклираног агрегата са већим упијањем воде у односу на речни (5.88% код II фракције рециклираног у односу на 0.94% код II фракције речног агрегата).

На узорцима П50 и П100 није регистрован никакав продор воде, док је код еталона он износио 10 mm , тако да се може закључити да су сви узорци водонепропустљиви, што је у потпуности у складу са структуром самоуграђујућег бетона.



Слика 7: Графички приказ резултата испитивања упијања воде

4. Доступност документације

Документација је доступна на Грађевинско-архитектонском факултету у Нишу и може се добити слањем захтева на адресу zoran.grdic@gaf.ni.ac.rs. Будуће верзије предложеног техничког решења обухватаће примену других минералних прашкастих додатака као што су електрофилтерски пепео и силикатна прашина, као и друге адитиве из категорије суперпластификатора.

5. Литература

- [1] Ahmadi M A., Alidoust O., Sadrinejad I., Nayeri M.: *Development of Mechanical Properties of SCC Contain Rice Husk Ash*; Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology; Vol. 23; 2007; pp. 503-506.
- [2] Azharie Effendy Bin Azmi: *The Properties of flexural behaviour of Self-Compacting Concrete using palm oil fuel ash and admixture*; Undergraduate project; Universiti Teknologi Malaysia; 2008; pp.108.
- [3] Beaupre D., Lacombe P., Khayat K.H.: *Laboratory investigation of rheological properties and scaling resistance of air entrained self-consolidating concrete*; Materials and Structures; Vol. 32; 1999; pp.235-240.
- [4] Beixing L., Jiliang W., Mingkai Z.: *Effect of limestone fines content in manufactured sand on durability of low and high-strength concretes*; Construction and Building Materials; 2009; pp. 5.
- [5] Beslač J., Bjegović D., Rosković R.: *Inovativni materijali i tehnologije u građenju i održavanju betonskih konstrukcija*; Građevinar 57; 2005; str. 247-255.
- [6] Bouasker M., Mounanga P., Turery P., Loukili A., Khelidy A: *Chemical shrinkage of cement pastes and mortars at very early age: Effect of limestone filler and granular inclusions*; Cement & Concrete Composites 30; 2008; pp. 13-22.
- [7] Cassucio M., Torrijos M., Giaccio G., Zerbino R.: *Failure mechanism of recycled aggregate concrete*; Construction and Building Materials 23; 2009; pp. 1163-1167.
- [8] Collepardi M: *A Very Close Precursor of Self-Compacting Concrete*
- [9] Corinaldesi V., Moriconi G.: *Influence of mineral additions on the performance of 100% recycled aggregate concrete*; Construction and Building Materials; 2009; pp. 8.
- [10] Despotović I.; Grdić Z., Topličić-Ćurčić G., Ristić N.: *Prvih 20 godina samougrađujućeg betona*; Materijali i konstrukcije 52; 2009; str. 21-33.
- [11] Domone P: *Self-Compacting Concrete: An analysis of 11 years of case studies*; Cement & Concrete Composites 28; 2006; pp. 197-208.
- [12] EFNARC, ERMCO, EFCA, CEMBUREAU, bibm: *The European Guidelines for EFNARC:: Specification, Production and Use*; May 2005; pp.68.
- [13] EFNARC: *Guidelines for Viscosity Modifying Admixtures for Concrete*; 2006; pp.12.
- [14] EFNARC: *Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete*; February 2002; pp.32
- [15] Esping O: *Effect of limestone filler BET(H₂O)-area on the fresh and hardened properties of self-compacting concrete*; Cement and Concrete Research 38; 2008; pp. 938-944.
- [16] Ferraris C., de Larrard F.: *Fresh Concrete Rheology: Recent Developments*; Materials Science of Concrete VI; 2001; pp. 215-241.
- [17] Grdić Z.: *Prilog izučavanju korelacije zavisnosti fizičko-mehaničkih karakteristika betona od količine cementne kaše i od karakteristika komponenti*; doktorska disertacija; GAF Niš; 2001.
- [18] Grdić Z., Topličić-Ćurčić G., Despotović I.: *Properties of Self-Compacting Concrete with different type of additives*; Facta Universitatis Series: Architecture and Civil Engineering Vol.6, N^o2; 2008; pp. 173-177.
- [19] Grdić Z., Topličić-Ćurčić G., Despotović I.: *Metode ispitivanja SCC betona prema standardu EFCA (Evropske asocijacije za beton)*; DIMK: Simpozijum o istraživanjima i primeni savremenih dostignuća u našem građevinarstvu u oblasti materijala i konstrukcija; Zbornik radova; 2008; str. 515-522.
- [20] Gudmundsson G.: *Durability of High Strength Self Compacting Concrete-a study based on laboratory tests and field performance*
- [21] Halavanja I., Rosković R.: *Reciklirani agregat iz građevnog otpada*; Konferencija CONWAS: Razvoj održivog sustava upravljanja građevnim otpadom u Republici Hrvatskoj; 2006.
- [22] Jevtić D., Zakić D., Savić A.: *Specifičnosti tehnologije spravljanja betona na bazi recikliranog agregata*; Materijali i konstrukcije 52; 2009; str. 52-62.
- [23] Khrapko M.: *SCC-a solution fot technology hungry Concrete Construction*
- [24] Larrard F., Ferraris C., Sedran T.: *Fresh concrete: A Herchel-Bukley Material*; Materials and Structures 31; 1998; pp. 494-498.
- [25] Levy S., Helene P.: *Durability of recycled aggregates concrete: a safe way to sustainable development*; Cement and Concrete Research 34; 2004; pp. 1975-1980.
- [26] Malešev M., Radonjanin V., Vučković B.: *Uticao vrste i količine mineralnog dodatka na svojstva svežeg samougrađujućeg betona*; DIMK: Simpozijum o istraživanjima i primeni savremenih dostignuća u našem građevinarstvu u oblasti materijala i konstrukcija; Zbornik radova; 2008; str. 143-157.
- [27] Malešev M., Radonjanin V., Milovanović V.: *Uticao vrste i količine mineralnog dodatka na svojstva očvrslag samougrađujućeg betona*; DIMK: Simpozijum o istraživanjima i primeni savremenih

- dostignuća u našem građevinarstvu u oblasti materijala i konstrukcija; Zbornik radova; 2008; str. 159-172.
- [28] Malešev M., Radonjanin V.: *Reciklirani beton kao agregat za dobijanje konstrukcijskih betona*; Konferencija Savremena građevinska praksa 2007; Zbornik radova; Novi Sad; 2007; str. 201-221.
- [29] Radonjanin V., Malešev M.: *Beton sa agregatom od recikliranog betona: Sastav, svojstva i primena*; Građevinski kalendar; 2008; str. 48-91.
- [30] Moosberg-Bustnes H., Lagerblad B., Forssberg E.: *The function of fillers in concrete*; Materials and Structures 37; 2004; pp.74-81.
- [31] Muravljev M.: *Građevinski materijali I*, Građevinska knjiga; Beograd; 2005.
- [32] Newman J., Seng Choo B.: *Advanced Concrete Technology: Constituent materials*; Elsevier Ltd; 2003; pp. 280.
- [33] Okamura H., Ouchi M.: *Self-Compacting Concrete*; Journal of Advanced Concrete Technology Vol.1 N° 1; 2003; pp.5-15.
- [34] Ouchi M., Nakamura S., Osterberg T., Hallberg S., Lwin M.: *Applications of Self-Compacting Concrete in Japan, Europe and The United States*.
- [35] Ouchi M.: *Development, applications and investigations of Self-Compacting Concrete*.
- [36] Persson B.: *Internal frost resistance and salt frost scaling of Self-Compacting Concrete*; Cement and Concrete Research 33; 2003; pp. 373-379.
- [37] Poon C., Kon S., Lemi L.: *Influence of recycled aggregate on slump and bleeding of fresh concrete*; Materials and Structures 40; 2007; pp. 981-988.
- [38] Prakash N., Santhanam M.: *A study of the interaction between viscosity modifying agent and high range water reducer in SCC*; Measuring, Monitoring and Modeling Concrete properties; Springer, 2006; pp. 449-454.
- [39] Rahal K.: *Mechanical properties of concrete with recycled coarse aggregate*; Building and Environment 42; 2007; pp. 407-415.
- [40] Rilem Technical Committee: *Final report of RILEM TC 205-DSC: Durability of self-compacting concrete*; Materials and Structures 41; 2008; pp. 225-233.
- [41] Rilem Technical Committee: *Final report of RILEM TC 188-CSC: Casting of SCC*; Materials and Structures 39; 2006; pp. 937-954.
- [42] Roziere E., Granger S., Turery Ph., Loukili A., Khelidy A.: *Chemical shrinkage of cement pastes and mortars at very early age: Effect of limestone filler and granular inclusions*; Cement & Concrete Composites 30; 2008; pp. 13-22.
- [43] Sakata N., Yanai S., Yokozeki K., Maruyama K.: *Study of new Viscosity Agent for combination Use Type of Self-Compacting Concrete*; Journal of Advanced Concrete Technology Vol. 1, N° 1; 2003; pp. 37-41.
- [44] Schiebl P., Mazanec O., Lowke D.: *SCC and UHPC-Effect of Mixing Technology on Fresh Concrete Properties*.
- [45] Schutter G.: *Guidelines for testing fresh Self-Compacting Concrete*; European Research Project: Measurement of properties of fresh Self-Compacting Concrete; 2001-2004; pp.23.
- [46] Shindoh T., Matsuoka Y.: *Development of Combination type Self-Compacting Concrete and evaluation Test Methods*; Journal of Advanced Concrete Technology Vol. 1, N° 1; 2003; pp. 26-36.
- [47] Sun N., Hsu K.C., Chai H.W.: *A simple mix design for Self-Compacting Concrete*; Cement and Concrete Research 31; 2001; pp. 1799-1804.
- [48] Tabsh S., Abdelfalah A.: *Influence of recycled concrete aggregate on strenght properties of concrete*; Construction & Building Materials 23; 2009; pp. 1163-1167.
- [49] Terzić A., Pavlović Lj.: *Primena mikroskopskih metoda u analizi mikrostrukture različitih tipova betona sa recikliranim agregatom*; Materijali i konstrukcije 52; 2009; str. 34-39.
- [50] Tviksta G.: *SCC-Guidelines, Task 9, End Product*, Brite EuRam Proposal No. BE96-3801; 2007; pp. 48.
- [51] Tviksta G.: *SCC-Quality Control, Task 84, Final Report*, Brite EuRam Proposal N°. BE96-3801; 2000; pp. 28.
- [52] Živković S.: *Samozbijajući beton-svojstva i tehnologija*; Građevinski kalendar 2007; str. 234-304.

У Нишу, 09.06.2010. године

Подносиоци документације:

др Зоран Грдић, дипл.инж.грађ.

др Гордана Топличкић-Ђурчић, дипл.инж.грађ.

мр Ива Деспотовић, дипл.инж.грађ.

Ненад Ристић, дипл.инж.грађ.

УНИВЕРЗИТЕТ У НИШУ
ГРАЂЕВИНСКО-АРХИТЕКТОНСКИ ФАКУЛТЕТ
Бр. 8/1124
11.06.2010 год.
- Н И Ш -

Na osnovu čl.57. Statuta Gradjevinsko-arhitektonskog fakulteta u Nišu, Nastavno-naučno veće Gradjevinsko-arhitektonskog fakulteta u Nišu, na svojoj sednici od 11.06.2010.godine, donelo je

ODLUKU

Član 1.

Imenuje se Komisija za recenziju tehničkog rešenja pod nazivom: „**Samougradjujući beton spravljen sa recikliranim agregatom dobijenim drobljenjem starog betona**“, autora prof. dr Zorana Grdića, doc. dr Gordane Topličić-Ćurčić, Mr Ive Despotović i Nenada Ristića,dipl.ing.gradj., u sastavu:

1. Dr Dragoca Jeftić,red.prof.
Gradjevinskog fakulteta u Beogradu
2. Dr Vlastimir Radonjanin,vanr.prof.
Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu

Član 2.

Komisija iz člana 1. ove Odluke dužna je da recenziju pod nazivom: „**Samougradjujući beton spravljen sa recikliranim agregatom dobijenim drobljenjem starog betona**“ dostavi Nastavno-naučnom veću na dalje odlučivanje.

Član 3.

Odluku dostaviti: recenzentima, Službi za opšte poslove i arhivi fakulteta.



PREDSEDNIK VEĆA
DEKAN

Prof.dr Dragan Arandjelović

Одлуком Наставно-научног већа Грађевинско-архитектонског факултета у Нишу бр 8/124 од 11.06.2010. године именовани смо за рецензенте техничког решења „Самоуграђујући бетон справљен са рециклираним агрегатом добијеним дробљењем старог бетона“ аутора: др Зорана Грдића, др Гордане Топличих-Ђурчић, мр Иве Деспотовић и Ненада Ристић, дипл.инж.грађ. На основу предлога овог техничког решења подносимо

ИЗВЕШТАЈ

Техничко решење „Самоуграђујући бетон справљен са рециклираним агрегатом добијеним дробљењем старог бетона“ аутора др Зорана Грдића, др Гордане Топличих-Ђурчић, мр Иве Деспотовић и Ненада Ристића, дипл.инж.грађ., реализовано 2009. године, приказано је на 10 страница формата А4, писаних Times New Roman фонтом, Single проредом, садржи 7 слика, 5 табела и 52 навода литературе. Састављено је из следећих поглавља:

1. Опис проблема који се решава техничким решењем
2. Стање решености проблема у свету – приказ и анализа постојећих решења
3. Објашњење суштине техничког решења и детаљан опис са карактеристикама укључујући и пратеће илустрације и техничке цртеже и
4. Доступност документације
5. Литература

Техничко решење припада области Грађевинарство – технологија бетона.

Техничко решење је реализовано у оквиру рада на пројекту МНТР бр. ТР 16004.

Идеја за ово техничко решење прихваћена је и објављена у часопису **Construction and Building Materials**, Zoran J. Grdic, Gordana A. Toplicic-Curcic, Iva M. Despotovic, Nenad S. Ristic: **“Properties of self-compacting concrete prepared with coarse recycled concrete aggregate”**, Article Number: 1946, 2010. (*Grdic ZJ et al. Properties of self-compacting concrete prepared with coarse recycled concrete aggregate. Constr Build Mater (2010), doi:10.1016/j.conbuildmat.2009.12.029*). Примена предложеног техничког решења реализована је у предузећу “ВОДОГРАДЊА” Д.О.О. Пуковац.

МИШЉЕЊЕ

Аутори техничког решења „Самоуграђујући бетон справљен са рециклираним агрегатом добијеним дробљењем старог бетона“ су јасно приказали и теоријски и експериментално обрадили комплетну структуру техничког решења. Приказано решење је проверено у пракси у фабрици бетона.

Предложено техничко решење је верификовано на међународном нивоу објављивањем рада у часопису из категорије M21 (Construction and Building Materials).

Предложено техничко решење има значајно место у области технологије бетона и у скорој будућности ће све више налазити своје место у практичној примени. При том се посебно има у виду очекивано смањење или чак обустављање експлоатације песка и шљунка из водених токова, а посебно очекивани еколошки ефекти услед смањења депонија грађевинског отпада насталог рушењем старих бетонских конструкција.

Са задовољством предлажемо да се техничко решење „Самоуграђујући бетон справљен са рециклираним агрегатом добијеним дробљењем старог бетона“ прихвати као ново техничко решење у категорији *“Битно побољшан постојећи производ или технологија”* јер представља научни резултат који поред стручне компоненте пружа оригинални научноистраживачки допринос и по важећим критеријумима може се сврстати у категорију M84.

18.06.2010. у Београду

Рецензент



Ред. проф. др Драгица Јефтић,
Грађевински факултет у Београду

Одлуком Наставно-научног већа Грађевинско-архитектонског факултета у Нишу бр 8/124 од 11.06.2010. године именовани смо за рецензенте техничког решења „Самоуграђујући бетон справљен са рециклираним агрегатом добијеним дробљењем старог бетона“ аутора: др Зорана Грдића, др Гордане Топличих-Ђурчић, мр Иве Деспотовић и Ненада Ристић, дипл.инж.грађ. На основу предлога овог техничког решења подносимо

ИЗВЕШТАЈ

Техничко решење „Самоуграђујући бетон справљен са рециклираним агрегатом добијеним дробљењем старог бетона“ аутора др Зорана Грдића, др Гордане Топличих-Ђурчић, мр Иве Деспотовић и Ненада Ристића, дипл.инж.грађ., реализовано 2009. године, приказано је на 10 страница формата А4, писаних Times New Roman фонтом, Single проредом, садржи 7 слика, 5 табела и 52 навода литературе. Састављено је из следећих поглавља:

1. Опис проблема који се решава техничким решењем
2. Стање решености проблема у свету – приказ и анализа постојећих решења
3. Објашњење суштине техничког решења и детаљан опис са карактеристикама укључујући и пратеће илустрације и техничке цртеже и
4. Доступност документације
5. Литература

Техничко решење припада области Грађевинарство – технологија бетона.

Техничко решење је реализовано у оквиру рада на пројекту МНТР бр. ТР 16004.

Идеја за ово техничко решење прихваћена је и објављена у часопису **Construction and Building Materials**, Zoran J. Grdic, Gordana A. Toplicic-Curcic, Iva M. Despotovic, Nenad S. Ristic: **“Properties of self-compacting concrete prepared with coarse recycled concrete aggregate”**, Article Number: 1946, 2010. (*Grdic ZJ et al. Properties of self-compacting concrete prepared with coarse recycled concrete aggregate. Constr Build Mater (2010), doi:10.1016/j.conbuildmat.2009.12.029*). Примена предложеног техничког решења реализована је у предузећу “ВОДОГРАДЊА”Д.О.О. Пуковац.

МИШЉЕЊЕ

Аутори техничког решења „Самоуграђујући бетон справљен са рециклираним агрегатом добијеним дробљењем старог бетона“ су јасно приказали и теоријски и експериментално обрадили комплетну структуру техничког решења. Приказано решење је проверено у пракси у фабрици бетона.

Предложено техничко решење је верификовано на међународном нивоу објављивањем рада у часопису из категорије M21 (Construction and Building Materials).

Предложено техничко решење има значајно место у области технологије бетона и у скорој будућности ће све више налазити своје место у практичној примени. При том се посебно има у виду очекивано смањење или чак обустављање експлоатације песка и шљунка из водених токова, а посебно очекивани еколошки ефекти услед смањења депонија грађевинског отпада насталог рушењем старих бетонских конструкција.

Са задовољством предлажемо да се техничко решење „Самоуграђујући бетон справљен са рециклираним агрегатом добијеним дробљењем старог бетона“ прихвати као ново техничко решење у категорији *“Битно побољшан постојећи производ или технологија”* јер представља научни резултат који поред стручне компоненте пружа оригинални научноистраживачки допринос и по важећим критеријумима може се сврстати у категорију M84.

23.06.2010. у Новом Саду

Рецензент



Ван. проф. др Властимир Радоњанић,
Факултет техничких наука у Новом Саду

ДОО “ВОДОГРАДЊА”

Пуковац

За господина др Зорана Грдића, ван.проф.
Грађевинско-архитектонски факултет у Нишу
Ул. Александра Медведева број 14
18 000 Ниш

Потврда о реализацији техничког решења

**”Самоуграђујући бетон справљен са рециклираним агрегатом добијеним дробљењем старог бетона” аутора др Зорана Грдића,
др Гордане Топличих-Ђурчић, мр Иве Деспотовић и Ненада Ристића,
дипл.инж.грађ.**

На основу активности Техничко решење ”Самоуграђујући бетон справљен са рециклираним агрегатом добијеним дробљењем старог бетона” аутора: др Зорана Грдића, др Гордане Топличих-Ђурчић, мр Иве Деспотовић и Ненада Ристића, дипл.инж.грађ., реализованог 2009. у оквиру пројекта МНТР бр. ТП 16004, користи се од 01.02.2010. године у процесу рада и производње бетона, фабрике бетона ДОО “ВОДОГРАДЊА” Пуковац. Овим техничким решењем користи се стари рециклирани бетон, када се њиме располаже, као део крупног агрегата чиме се смањује укупна цена коштања бетона, а уједно се смањује количина отпада на депонији. Уједно, самоуграђујући бетон смањује радну снагу при уградњи бетона, што је значајно и са економског и са аспекта заштите и уштеде радне снаге. Време уградње бетона је знатно смањено.

У Пуковцу,
25.06.2010.године



доо “ВОДОГРАДЊА” Пуковац
Зоран Љубић