

## ПРОЈЕКТОВАЊЕ БЕТОНА НА БАЗИ РЕЦИКЛИРАНОГ АГРЕГАТА

Мирјана Малешев<sup>1</sup>  
Властимир Радоњанин<sup>2</sup>  
Гордана Броћета<sup>3</sup>

УДК: 666.972.12

DOI: 10.14415/konferencijaGFS2014.070

**Резиме:** Пројектовање бетонских мјешавина на бази рециклираног агрегата подразумева извјесне корекције стандардних образаца и препорука за утврђивање количина компонентних материјала. Специфичности карактеристика зрна рециклираног агрегата, добијеног прерадом отпадног бетона, условљавају корекције водоцементног – водопрашкастог фактора, примјену или повећање садржаја хемијских додатака, замјену или ограничење појединих фракција у гранулометријској композицији агрегата итд. Избор врсте цемента и примјена минералних додатака није условљена захтјевима ове врсте бетонских композита.

**Кључне речи:** Рециклирани агрегат, пројектовање мјешавина, водоцементни фактор

### 1. УВОД

Производња агрегата поступцима рециклирања отпадног бетона представља одрживо рјешење везано за проблем евидентно велике количине грађевинског отпада и исцрпљивања налазишта природних агрегата.

Квалитет и својства рециклираног агрегата највише зависе од количине и квалитета цементног малтера, који обавија зрна рециклираног агрегата, односно од квалитета оригиналног бетона чијим се рециклирањем произвео агрегат, при чему немали утицај има и начин рециклирања. Генерално, рециклирани агрегат, у односу на агрегат добијен из природних ресурса, има: већа упијања воде, мању запреминску масу, већи садржај органских и евентуално штетних примјеса, већу дробљивост, мању отпорност према хабању и мању отпорност према дејству мрза

<sup>1</sup> проф. др Мирјана Малешев, дипл.инж. грађ., Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, Департаман за грађевинарство и геодезију, Трг Доситеја Обрадовића бр. 6, Нови Сад, Србија, тел: 00381 21 459 798, е – mail: [miram@uns.ac.rs](mailto:miram@uns.ac.rs)

<sup>2</sup> проф. др Властимир Радоњанин, дипл.инж. грађ., Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, Департаман за грађевинарство и геодезију, Трг Доситеја Обрадовића бр. 6, Нови Сад, Србија, тел: 00381 21 459 798, е – mail: [radonv@uns.ac.rs](mailto:radonv@uns.ac.rs)

<sup>3</sup> мр Гордана Броћета, дипл.инж. грађ., Универзитет у Бањалуци, Архитектонско-грађевински факултет, Булевар војводе Степе Степановића бр. 77/3, Бањалука, Република Српска, БиХ, тел: 00387 51 462 616, е – mail: [gbroceta@agfbl.org](mailto:gbroceta@agfbl.org)

[1, 2, 3, 4]. Поред тога, у случајевима када рециклирани агрегат потиче из више различитих извора, односно ако је произведен од више различитих отпадних бетона, неуједначеност квалитета у смислу варијација у својствима биће знатно израженија него код природног агрегата, те стога треба бити уобичајена пракса да произвођачи бетона прије употребе рециклираног агрегата детаљно провјере његова својства.

## 2. СПЕЦИФИЧНОСТИ ПРОЈЕКТОВАЊА МЈЕШАВИНА

Пројектовање састава бетона на бази рециклираног агрегата се генерално спроводи као у случају бетона на бази природног агрегата, примјеном стандардних емпиријских образаца код конвенционалног бетона или препорука, код самозбијајућег бетона, при чему је за утврђивање количине воде и водоцементног, односно водопрашкастог фактора потребно спровести детаљнију анализу и претходно испитивање у односу на уобичајено, када се примјењује агрегат из природних ресурса. Са тим у вези, неопходно је водити рачуна да се рециклирани агрегат карактерише значајно већим упијањима воде у односу на природни, те да има другачији облик и изглед површине зрна. У случају да се поменутом не посвети довољно пажње, те се нпр. не пројектује количина воде коју ће упити рециклирани агрегат, а он током справљања мјешавине буде сух, агрегат би тада врло брзо упио одређену количину воде, што би аутоматски проузроковало смањење реалног водоцементног фактора, а тиме смањење количине воде потребне за процес хидратације цемента, те довело до убрзаног пада обрадљивости и уградљивости свјеже бетонске масе. Ако се пак, зрна рециклираног агрегата претходно у потпуности засите водом (као што се предлагало у неким препорукама истраживача деведесетих година прошлог вијека), дио воде би из зрна приликом вибрирања код конвенционалних бетона мигрирао у транзитну зону, која би у том случају имала локално већи водоцементни фактор (након очвршћавања била би порознија, чиме би иначе најслабији дио бетона био додатно ослабљен, тако да би се бетон карактерисао већом пропусношћу али и слабијом везом цементног камена и агрегата), а такође би и конзистенција цијеле бетонске масе била течнија и постојала би велика могућност појаве издвајања воде на површини бетона, тзв. крвављења (*bleeding*), што би генерално узроковало лошији квалитет бетона.

Дакле, због претходно изнесеног, било би неадекватно приликом пројектовања бетона анализирати само укупни водоцементни фактор – као однос укупне количине воде у бетону и укупне количине цемента, већ је неопходно утврдити и тзв. слободни водоцементни фактор – као однос воде која је заиста на располагању цементу приликом процеса хидратације и укупне количине цемента. При томе количина воде која је на располагању цементу за одвијање процеса хидратације представља разлику укупне количине воде и воде коју зрна рециклираног агрегата упију током справљања бетонске мјешавине. Сходно наведеном, приликом примјене емпиријских образаца за конвенционалне бетоне и препорука за самозбијајуће бетоне, потребно је извршити извјесне модификације, тј. узети у обзир разлике између својстава рециклираног и природног агрегата. Најприје, због

већих варијација у квалитету рециклираног агрегата, приликом дефинисања захтијеване средње вриједности чврстоће при притиску на бази карактеристичне чврстоће бетона, треба је рачунати са већим вриједностима стандардних девијација - са повећањем од 0 до 40%, у зависности од квалитета рециклираног агрегата. Такође, слиједећи корак је да се водоцементни фактор који се добије као резултат, треба сматрати слободним, што значи да он одређује количину слободне воде и укупну количину цемента. На крају, да би се добила укупна количина воде, потребно је додати количину воде коју ће упити рециклирани агрегат.

Аутори В. Радоњанин и М. Малешев, препоручују, на основу искустава обимних експерименталних испитивања, одређивање упијања воде рециклираног агрегата у трајању од 30 минута, као што је то пракса код лакоагрегатних бетона. Тако добијену вриједност количине воде користе у прорачуну као додатну количину воде за справљање бетона. Такође, уочило се да је без обзира на додавања потребне количине воде за упијање агрегата, неопходно још око 5% више слободне воде приликом справљања бетона на бази рециклираног агрегата, у односу на бетон са агрегатом из природних ресурса, како би упоредни бетон на бази природног агрегата и бетон са рециклираним крупним агрегатом имали исте карактеристике у погледу покретљивости свјеже масе, што је узроковано неправилним обликом, те храпавом, порозном и испуцалом површином зрна агрегата у дијелу оригиналног цементног малтера. Дакле, потребна је већа количина воде за формирање цементне каше која продире у поре старог цементног малтера, попуњава старе прелине и празнине и образује танак слој на површини зрна рециклираног агрегата, како би се постигла боља уградљивост и обрадљивост, односно практично иста као код бетона на бази природног агрегата. Обзиром на то да се при пројектовању често захтијева и иста мјера слијегања код конвенционалних, тј. мјера разливања код самозбијајућих бетона и исти слободни водоцементни фактор, неопходно је кориговати количину цемента, тј. повећати је за процентуални износ повећања количине воде. Осим повећањем количине воде, исто је могуће постићи и примјеном хемијског додатка типа суперпластификатора код конвенционалних бетона на бази рециклираног агрегата, односно повећањем учешћа суперпластификатора код самозбијајућег бетона на бази рециклираног агрегата. Поред образложеног, предлаже се да се провјера пројектоване конзистенције врши након 30 минута од тренутка справљања бетона [1].

Истраживачи америчког Универзитета у Схарјаху (Уједињени Арапски Емирати), *S. W. Tabsh* и *A. S. Abdelfatah* су, према [5], серијом експерименталних испитивања установили да присуство хемијских додатака, као што су: пластификатори, аеранти, ретардери, акселератори у оригиналном бетону немају утицај на својства новог бетона.

Избор одговарајуће врсте цемента не зависи од захтјева бетона на бази рециклираног агрегата, тј. могу се користити све врсте цемента у складу са EN 197-1: 2000, при чему избор одговарајуће врсте треба да буде посљедица специфичних захтјева примјене у појединим околностима и елементима, док се у пракси избор углавном врши из асортимана који се тренутно или у најширој примјени користи у фабрици бетона.

Примјена минералних додатака није обавезна приликом пројектовања конвенционалних бетона на бази рециклираног агрегата који ће се уграђивати

вибрирањем, али је неопходна за самозбијајуће мјешавине на бази рециклираног агрегата. У том смислу, могу се примјенити све врсте минералних додатака, типа I или типа II, чиме се остварује низ предности у слислу повећања и одржавања кохезије, повећања отпорности према сегрегацији, регулације садржаја цемента, а тиме смањење топлоте хидратације и термичког скупљања, те низ повољних утицаја на карактеристике у очврслом стању, нарочито у погледу трајности [6]. Такође, њихова примјена представља и беневите са економског и еколошког аспекта.

Оптималан однос ситног и крупног агрегата, односно оптималан гранулометриски састав у бетонским мјешавинама са рециклираним агрегатом је исти као код бетонских мјешавина на бази природног агрегата, при чему се они међусобно значајно разликују код конвенционалних бетона на бази рециклираног агрегата и самозбијајућих бетона на бази рециклираног агрегата.

Многе методе пројектовања бетонских мјешавина на бази рециклираног агрегата препоручују изостављање ситне фракције рециклираног агрегата, односно њену замјену ситном фракцијом ријечног агрегата [4, 7], за што постоји низ образложења. Дакле, код агрегата уситњеног природним путем, зрна ситног агрегата, због дугог транспортовања током свог формирања, имају повољнији облик, са аспекта уградљивости бетона, од зрна крупног агрегата. Насупрот томе, код рециклираног агрегата, ситније фракције углавном имају мање повољан облик од крупнијих фракција (као што је случај и код дробљеног агрегата из природних ресурса), тако да се наведеном замјеном постиже смањење потребне количине воде, као и одговарајуће смањење потребне количине цемента. Поред тога, ситна фракција рециклираног агрегата процентуално садржи већу количину оригиналног малтера, па се у случају њене примјене добијају бетони мање запреминске масе и слабије компактности. Исто тако, у случају постојања извјесног садржаја штетних материја у рециклираном агрегату, уобичајено је да ситна фракција садржи већи проценат тих материја у односу на крупне фракције. Такође, многа експериментална испитивања су показала да се замјеном ситне фракције рециклираног агрегата ситном фракцијом ријечног агрегата добијају боље физичко-механичке карактеристике бетона, што може бити образложено претходно изнијетим, а што иде у прилог наведеној методологији.

Дакле, ниво напретка данашње технологије омогућава успјешну примјену првенствено крупног рециклираног агрегата за израду нових бетонских композита, при чему се у практичном смислу уобичајено подразумева да се садржај стопостотног или већинског учешћа крупне фракције примјењује за масивне бетоне, нижих марки, уз обавезно вођење рачуна о условима средине, док се у случајевима примјене рециклираног агрегата за израду конструкцијских бетона његов садржај уобичајено ограничава на 20% до 45% од укупне количине крупног агрегата [1, 8, 9]. Наведени проценат може значајно да варира у зависности, како од самог квалитета рециклираног агрегата, тако и од захтјева конструкције, првенствено у погледу трајности. При томе, треба имати на уму – да би се омогућила примјена рециклираног агрегата у бетонима виших перформанси, неопходно је ријешити проблем високе порозности, садржаја прелина, високог садржаја сулфата и хлорида, високог степена нечистоћа и остатака цементног малтера у зрнима ове врсте агрегата.

### 3. ЗАКЉУЧАК

Пројектовање бетонских мјешавина које у свом саставу садрже рециклирани агрегат подразумијева примјену стандардних емпиријских образаца и препорука, уз корекције у погледу количине воде и водоцементног, односно водопрашкастог фактора, обзиром да се исти карактерише значајно већим упијањима воде у односу на агрегат из природних ресурса, те да има другачији облик и изглед површине зрна. Дакле, поред воде неопходне за одвијање процеса хидратације цемента, неопходно је обезбиједити адекватну количину воде коју ће зрна рециклираног агрегата упити током справљања бетонске мјешавине. Такође, у случају да се намјеравају постићи исте карактеристике у погледу покретљивости свјеже масе бетона на бази рециклираног агрегата и упоредног бетона на бази природног агрегата (због неправилног облика, те хрпаве, порозне и испуцале површине зрна агрегата у дијелу оригиналног цементног малтера), неопходно је обезбиједити још око 5% више слободне воде приликом справљања бетона на бази рециклираног агрегата, у односу на бетон са агрегатом из природних ресурса. При томе, потребно је кориговати и количину цемента, тј. повећати је за процентуални износ повећања количине воде, а како би се задржао исти слободни водоцементни фактор. Осим повећањем количине воде, исто је могуће постићи и примјеном хемијског додатка типа суперпластификатора.

Бетони пројектовани на бази рециклираног агрегата, како конвенционални који се уграђују вибрирањем, тако и самозбијајући, могу бити задовољавајућих, па чак и високих перформанси, што првенствено зависи од карактеристика отпадног бетона, као сировине за производњу рециклираног агрегата и то првенствено његове чврстоће при притиску, али и од начина рециклирања, те познавања свих специфичности везаних за пројектовање састава и справљање ових врста бетона. Са тим у вези, нарочито се истиче да ситна фракција рециклираног агрегата генерално више утиче на смањење нивоа квалитета бетона, те се у практичној примјени иста углавном замјењује ситном фракцијом агрегата из природних ресурса, најчешће ријечним пијеском, док се за пројектовање конструкцијских бетона на бази рециклираног агрегата уобичава његова примјена до 20% - 45% масеног учешћа у крупној фракцији.

### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Маринковић, С., Радоњанин, В., Малешев, М., Игњатовић, И.: Рециклирани агрегат у конструкцијским бетонима - технологија, својства, примена. *Научно-стручни часопис за грађевинарство Републике српске - Савремено грађевинарство*, **2009**, бр. 02, стр. 58-72.
- [2] Јевтић, Д., Закић, Д., Савић, А: Специфичности технологије справљања бетона на бази рециклираног агрегата. *Материјали и конструкције*, **2009**, вол. 52, бр. 1, стр. 52-62.
- [3] Маринковић, С., Радоњанин, В., Малешев, М., Игњатовић, И.: Properties and Environmental Impact of Recycled Aggregate Concrete for Structural Use. *Proceedings of Seminar of COST action C25 "Sustainability of Constructions-*

- Integrated Approach to Life-time Structural Engineering*", Timisoara, Romania, 2009, pp. 225-239.
- [4] Малешев, М., Радоњанин, В., Маринковић, С.: Recycled Concrete as Aggregate for Structural Concrete Production. *Journal Sustainability*, 2010, Vol. 2, No. 05, pp. 1204-1225.
- [5] Berry, B. M., Suozzo, M. J., Anderson, I. A., Dewoolkar, M. M.: Properties of Pervious Concrete Incorporating Recycled Concrete Aggregate. *TRB 2012 Annual Meeting - Using Recycled Concrete in Pervious Concrete Pavements*, 2012, pp. 3-16.
- [6] Јевтић, Д., Броћета Г.: Утицај минералних додатака на својства бетона. *Зборник радова, Други међународни конгрес - "Инжењерство, екологија и материјали у процесној индустрији"*, Јахорина, 2011, стр. 1208-1217.
- [7] Игњатовић, И., Маринковић, С.: Механичке карактеристике бетона на бази рециклираног агрегата. *Материјали и конструкције*, 2009, вол. 52, бр. 1, стр. 40-51.
- [8] Corinaldesi, V.: Structural Concrete Prepared with Coarse Recycled Concrete Aggregate: From Investigation to Design. *Advances in Civil Engineering, Hindawi Publishing Corporation*, 2011, pp. 1-6.
- [9] Abdelfatah, A. S., Tabsh S. W.: Review of Research on and Implementation of Recycled Concrete Aggregate in the GCC. *Advances in Civil Engineering, Hindawi Publishing Corporation*, 2011, pp. 7-12.

## MIX DESIGN OF RECYCLED AGGREGATE CONCRETE

**Summary:** *Mix design of recycled aggregate concrete implies a certain correction of standard forms and recommendations for identifying the quantity of component materials. Specifics grain characteristics of recycled aggregates, obtained by processing waste concrete, are demanding correction of water-cement ratio and water powder ratio, also, application or increasing the content of chemical admixtures, replacement or limitation of certain factions in the aggregate grading etc. Selection of types of cement and application of mineral additions are not conditioned by the requirements of this type of concrete composites.*

**Keywords:** *Recycled Aggregate, Mix Design, Water-Cement Ratio*