

СТРУКТУРА БЕТОНА НА БАЗИ РЕЦИКЛИРАНОГ АГРЕГАТА

Властимир Радоњанин¹
Мирјана Малешев²
Гордана Броћета³

УДК: 666.972.12

DOI: 10.14415/konferencijaGFS2014.071

Резиме: У раду се указује на специфичности структуре очврслог бетона на бази рециклираног агрегата и то првенствено у погледу форми транзитне зоне – "старе" транзитне зоне у склопу зрна рециклираног агрегата и "нове" транзитне зоне, која се налази између зрна рециклираног агрегата и новог цементног малтера. Такође, када се бетони справљају на бази мјешавина природног и рециклираног агрегата, "нове" транзитне зоне имају различите форме. Показује се да приликом пројектовања новог бетона није могуће утицати на својства "старе" транзитне зоне, али је могуће утицати на својства "нове" транзитне зоне, у смислу да постојање заосталог малтера у склопу зрна рециклираног агрегата, може у извјесној мјери бити његова предност или значајан недостатак у односу на природни агрегат.

Кључне речи: Бетон на бази рециклираног агрегата, структура, транзитна зона

1. УВОД

Структура бетона формира се као резултат хидратације цемента и то од тренутка завршетка уграђивања бетона. Уобичајено, проучава се на нивоима макроструктуре, видљиве "голим оком" и микроструктуре, која се уочава путем оптичких микроскопа, којима се постиже увећање до 1000 пута или у новије вријеме помоћу "SEM"-а ("scanning" електронских микроскопа), којим се постиже увећање од око 300 000 пута [1, 2]. Поред наведеног, постоје и друге класификације структуре од којих је најопштија она која структуру проучава на три нивоа: макроструктуру (структуру двокомпонентног система - крупног агрегата и малтерске компоненте), мезоструктуру (структуру малтерске

¹ проф. др Властимир Радоњанин, дипл.инж. грађ., Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, Департман за грађевинарство и геодезију, Трг Доситеја Обрадовића бр. 6, Нови Сад, Србија, тел: 00381 21 459 798, е – mail: radonv@uns.ac.rs

² проф. др Мирјана Малешев, дипл.инж. грађ., Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, Департман за грађевинарство и геодезију, Трг Доситеја Обрадовића бр. 6, Нови Сад, Србија, тел: 00381 21 459 798, е – mail: miram@uns.ac.rs

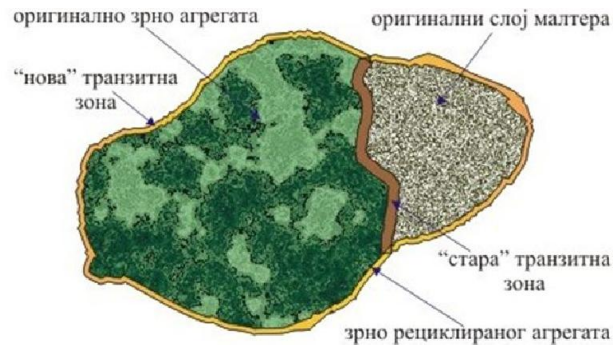
³ мр Гордана Броћета, дипл.инж. грађ., Универзитет у Бањалуци, Архитектонско-грађевински факултет, Булевар војводе Степе Степановића бр. 77/3, Бањалука, Република Српска, БиХ, тел: 00387 51 462 616, е – mail: gbroceta@agfbl.org

компоненте) и микроструктуру (структуру цементног камена). Међутим, ова класификација не може да послужи за свеобухватну анализу изузетно битне структурне карактеристике - порозности, па је стога много цјелисходније разматрати структуру на претходно наведени начин [3].

2. АНАЛИЗА СТРУКТУРЕ БЕТОНА НА БАЗИ РЕЦИКЛИРАНОГ АГРЕГАТА

Структура бетона на бази рециклираног агрегата је комплекснија од структуре у случају примјене природног агрегата, јер бетон справљен од рециклираног старог бетона има двије транзитне зоне (шематски приказано на слици 1.) и то:

- стару транзитну зону у склопу зрна рециклираног агрегата - налази се између оригиналног зрна и оригиналног цементног малтера, који га потпуно или дјелимично обавија и
- нову транзитну зону, која се налази између зрна рециклираног агрегата и новог цементног малтера.

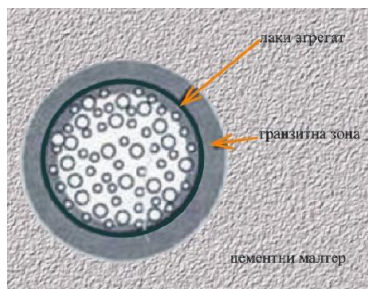


Слика 1. Транзитне зоне у бетону на бази рециклираног агрегата

У случају да је бетон на бази рециклираног агрегата справљен са извјесним процентуалним учешћем рециклираног агрегата, као што је то најчешћи случај у пракси, нарочито када се справљају конструкцијски бетони, постојаће двије форме нове транзитне зоне, различите по структури (једна - транзитна зона између цементног малтера и природног агрегата и друга - између цементног малтера и рециклираног агрегата).

Приликом пројектовања новог бетона није могуће утицати на својства "старе" транзитне зоне, али је могуће утицати на својства "нове" транзитне зоне – као што је наведено при компарацији метода справљања.

Према истраживањима [4] професора S. C. Poon-a, H. Z. Shui-a и L. Lam-a са Универзитета у Хонг Конгу – транзитна зона на контакту рециклираног агрегата и новог малтера у значајној мјери има својства као и транзитна зона између зрна лаких агрегата и малтера - у случају лаких бетона, гдје због порозности зрна, транзитна зона почиње још испод површине зрна и шири се до цементног малтера, као на слици 2.



Слика 2. Транзитна зона на контакту са зрном лаког агрегата

Структура ове транзитне зоне условљена је различитим могућим процесима, као што су:

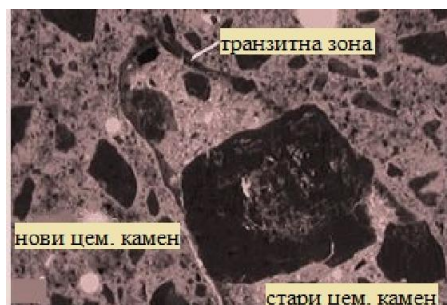
- упијање воде из цементне пасте, када је агрегат сух,
- ослобађање воде у транзитну зону када је агрегат влажан,
- пенетрација цементног материјала у поре и
- могућа хемијска реакција са агрегатом.

Истраживачи *M. H. Zhang* и *O. E. Gjov* са Универзитета за науку и технологију у Норвешкој, установили су да структура транзитне зоне има мању густину уколико је зрно агрегата у површинском слоју веће густине [5]. Наиме, тада у прелазној зони има више кристала калцијумхидроксида ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), слично као у прелазној зони на контакту природног непорозног агрегата, па вода која се акумулира у близини зрна не може бити апсорбована у структуру пора агрегата у оној мјери у којој би била да је зрно порозније. Наведени истраживачи такође указују на то да гушћа транзитна зона подразумева бољи контакт (атхезију) између зрна агрегата и цементног камена, те коначно боља физичко-механичка својства. Ове закључке су неколико година касније потврдили и истраживачи *R. Wasserman* и *A. Bentur* са Техничког Универзитета у Израелу, који су испитивали брзину апсорпције воде у зрна агрегата [6]. Загријавањем агрегата на високим температурама, промијенила су се својства површинског слоја агрегата на начин да се смањила порозност, тј. повећала густина, а тиме смањила брзина упијања воде, али и повећала ширина прелазне зоне. Из наведеног су закључили да се апсорпцијом воде из цементне пасте у систем пора агрегата спречава акумулација воде у транзитној зони, што се иначе сматра главним узроком формирања порозне структуре ове зоне.

Примјеном "scanning" електронске микроскопије за снимање транзитне зоне истраживач *М. Радека* са Универзитета у Новом Саду установила је да би се транзитна зона код бетона на бази агрегата добијеног рециклирањем старог бетона могла посматрати као зона која има својства између својстава транзитне зоне у "обичном" бетону (справљеном од природног агрегата, подразумевајући да је природни агрегат непорозан) и својстава транзитне зоне у бетону на бази лаког агрегата (лаки агрегат је порозан). Такође, наведени истраживач сматра да се код агрегата добијеног рециклирањем бетона високих механичких карактеристика може очекивати да ће имати карактеристике транзитне зоне које су ближе "обичном" бетону (бетону на бази природног агрегата), те да је ситуација обрнута у случају агрегата добијеног рециклирањем бетона мањих чврстоћа [7,8,9].

Дакле, порозност зрна рециклираног агрегата може у извјесној мјери бити његова предност у односу на природни агрегат, јер присутне поре могу упити воду из цементне пасте, тако да се формира транзитна зона веће густине, а такође може представљати и значајан недостатак, јер упијање воде из цементне пасте може да узрокује проблем недостатка воде потребне за одвијање процеса хидратације цемента у оквиру новосправљеног бетона. Са тим у вези намеће се закључак да је за моделирање микроструктуре бетона на бази рециклираног агрегата неопходно познавање прецизних стварних вриједности карактеристика рециклираног агрегата и то првенствено његовог капацитета у погледу упијања.

Добар примјер транзитне зоне код зрна рециклираног агрегата је приказан на слици 3., гдје је, како се види, путања лома (узорка бетона справљеног са великом количином рециклираног агрегата, а испитивог на чврстоћу при затезању) прошла кроз зрно "РА", јер се оно показало најслабијом компонентом предметног композита. Наиме, интересантно је да лом није настао кроз контактну зону између зрна рециклираног агрегата и новоформиране цементне пасте, што значи да је чврстоћа везе у овој зони већа од чврстоће зрна рециклираног агрегата [10].



Слика 3. Снимак лома "РАС" кроз зрно "РА", помоћу флуоресцентног микроскопа

Шпански истраживач *E. M. Larranga* је 2004. године објавио своја истраживања [11] бетона на бази рециклираног агрегата у којима је опсежном анализом експерименталних испитивања физичко-механичких својстава и структуре транзитне зоне, примјеном *SEM-a*, установио да се најбоље карактеристике бетона добијају у случају када се рециклирани агрегат од отпадног бетона претходно засити водом до вриједности од 80% од укупне воде коју може да упије.

Интересантна истраживања [12] везана за моделирање микроструктуре бетона на бази рециклираног агрегата објавили су 2001. године кинески истраживачи *L. Gengying*, *X. Huicai* и *X. Guangjing*. Квалитет везе између рециклираног агрегата и новог цементног камена процијенили су на основу морфологије, минерологије и микроструктуре формиране у прелазној зони, примјеном *SEM-a* ("scanning" електронске микроскопије) допуњене *EDS* анализом (енергетским дисперзионим спектром), при чему су поредили бетоне справљене са различитим цементима и то: чист портланд цемент, експанзивни цемент, цемент са додатком полимера - епоксидне смоле и цемент са додатком пуцолана. На основу одређивања чврстоће при смицању на дијелу транзитне зоне која представља зону између оригиналног малтера (који је саставни дио рециклираног агрегата) и новог малтера, утврђено је да је најбоља веза остварена употребом цемента са додатком пуцолана, потом

експанзивног цемента, а најлошија веза је добијена код бетона справљених са цементом са додатком полимера. У објашњењу резултата аутори указују на хидрофилна својства бетона, због чега постоји значајан ток воде из нове цементне пасте ка површини оригиналног малтера. Ток воде доводи до локалног повећања водоцементног фактора. Захваљујући хемијској реакцији аморфног силицијума из пуцолана са калцијумхидроксидом долази до формирања CSH једињења те попуњавања пора. Честице пуцолана ефикасније попуњавају поре у транзитној зони, те се као резултат добија транзитна зона веће густине. Када се користи експанзивни цемент доминантно се формира еtringит, а код портланд цемента калцијумхидроксид и еtringит. Код цемента модификованог са полимером у прелазној области се уочава само филм на бази полимера [9].

3. ЗАКЉУЧАК

Специфичност бетона на бази рециклираног агрегата огледа се и у постојању различито структурираних транзитних зона истог композита – тзв. "старе" транзитне зоне, која егзистира у саставу зрна рециклираног агрегата, између оригиналног зрна агрегата и оригиналног (старог) цементног малтера и "нове" транзитне зоне, формиране између зрна агрегата и цементног камена новопроектваног бетона. Са тим у вези, "нова" транзитна зона може бити структурирана различито, као последица уобичајене мјешавине природног и рециклираног агрегата, тако да "нова" транзитна зона има једну форму на контакту зрна рециклираног агрегата и цементног камена, те другу форму на контакту природног агрегата и цементног камена. При томе је важно напоменути да приликом пројектовања новог бетона није могуће утицати на својства "старе" транзитне зоне, али је могуће утицати на својства "нове" транзитне зоне. У том смислу, порозност зрна рециклираног агрегата може у извјесној мјери бити његова предност у односу на природни агрегат, јер присутне поре могу упити воду из цементне пасте тако да се формира транзитна зона веће густине, а такође може представљати и значајан недостатак, јер упијање воде из цементне пасте може да узрокује проблем недостатка воде потребне за одвијање процеса хидратације цемента у оквиру новосправљеног бетона. Дакле, намеће се закључак да је за моделирање микроструктуре бетона на бази рециклираног агрегата неопходно познавање прецизних стварних вриједности карактеристика рециклираног агрегата и то првенствено његовог капацитета у погледу упијања.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Мурављов, М.: Основи теорије и технологије бетона, Грађевинска књига, Београд, 2000.
- [2] Терзић, А., Волков-Хусовић, Т., Јанчић-Хеинеман, Р., Павловић, Љ.: Примена инструменталних метода за испитивање својстава и микроструктуре констукционих бетона. МјоМ, 2008., Vol. 14-4, стр. 253-270.

- [3] Јевтић, Д.: Својства свежег и очврслог бетона у функцији термохигрометријских параметара средине, Грађевински факултет Универзитета у Београду, Београд, 1996.
- [4] Poon, S. C., Shui, H. Z., Lam L.: Effect of Microstructure of ITZ on Compressive Strength of Concrete Prepared with Recycled Aggregates. *Construction and Building Materials*, 2003., Vol. 18, pp. 461-468.
- [5] Zhang, M. H., Gjorv, O. E.: Microstructure of the IZ Between Lightweight Aggregate and Cement Paste. *Cement and Concrete Research*, 1990., Vol. 20, pp. 610-618.
- [6] Wasserman, R., Bentur, A.: Interfacial Interactions in LAC and Their Influence on the Concrete Strength. *Cement and Concrete Composites*, 1996., Vol. 18, pp. 67-76.
- [7] Радека, М.: Микроструктурна анализа бетона на бази рециклираног агрегата. Зборник радова, XXIV Конгрес ДИМК-е “Симпозијум о истраживањима и примени савремених достигнућа у нашем грађевинарству у области материјала и конструкција”, Дивчибаре, 2008., стр. 133-142.
- [8] 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.
- [9] Радека, М.: Карактеризација микроструктуре транзитне зоне бетона на бази агрегата од рециклираног бетона помоћу SEM-а. *Материјали и конструкције*, 2009, вол. 52, бр. 1, стр. 74-81.
- [10] Терзић, А., Павловић, Љ.: Примена микроскопских метода у анализи микроструктуре различитих типова бетона са рециклираним агрегатом. *Материјали и конструкције*, 2009, вол. 52, бр. 1, стр. 34-39.
- [11] Larranga, E. M.: Experimental Study on Microstructure and Structural Behaviour of Recycled Aggregate Concrete, Doctoral Thesis, Barcelona, 2004
- [12] Gengying, L., Huicai, X., Guangjing, X.: TZ Studies of New to Old Concrete with Different Binders. *Cement&Concrete Composites*, 2001., Vol. 23, pp. 381-387.

STRUCTURE OF THE RECYCLED AGGREGATE CONCRETE

Summary: *The paper points to the specific structure of Recycled Aggregate Concrete in hardened state, primarily with regard to the form of interfacial transition zone - the "old" interfacial transition zone within the grain of Recycled Concrete Aggregate and the "new" interfacial transition zone, which is in between the grains of Recycled Concrete Aggregate and new cement mortar. Also, when the concrete is made of a mix of natural and recycled aggregate, than the "new" interfacial transition zone have different forms. It is shown that in mix designing of the new concrete, it is not possible to influence on the properties of the "old" interfacial transition zone, but it can be influenced on the properties of the "new" interfacial transition zone, in the sense that the existence of attached mortar, within the grain of recycled Concrete aggregate, could, in a certain measure, be his advantage or a significant disadvantage in comparison to the natural aggregate.*

Keywords: *Recycled Aggregate Concrete, Structure, Interfacial Transition Zone*