

МОГУЋНОСТИ ПРИМЕНЕ БЕТОНА ОД РЕЦИКЛИРАНОГ АГРЕГАТА

POTENTIAL USE OF RECYCLED AGGREGATE CONCRETE

Мр Ива Деспотовић, Мр Весна Трифуновић - Драгишић, Мр Бојан Милошевић
Висока грађевинско геодетска школа, Београд

АПСТРАКТ

Коришћење грађевинског отпада као агрегата је постала честа појава у савременом грађевинарству и има вишеструке бенефите. Са једне стране, решава се проблем грађевинских депонија у густо насељеним градским срединама, смањује исцрпљивање природних ресурса, смањује се емисија штетних гасова приликом транспорта агрегата. Са друге стране, смањују се високи трошкови одлагања отпада и превоза агрегата са све удаљенијих налазишта. Да би се кренуло са значајнијом применом рециклираног агрегата требало је унапредити технологију рециклирања тако да она постане економски оправдана и произвести агрегат који баш као и природни задовољава прописане стандарде. У почетку коришћен само као тампон слој путева, рециклирани бетонски агрегат данас налази примену и код конструктивних елемената од бетона. У раду је приказана проблематика производње и примене овог агрегата, као и неки резултати сопственог експерименталног истраживања.

Кључне речи: грађевински отпад, рециклирани агрегат

ABSTRACT

Use of construction waste as aggregates has become common in modern construction and has multiple benefits. On the one hand, solves the problem of spoil banks in densely populated urban areas, reduces depletion of natural resources, reduced emissions during aggregate transport. On the other hand, it reduces the high costs of waste disposal and transportation of aggregates from all remote sites. In order to move to a more significant application of recycled aggregate, it was supposed to improve recycling technology so that it becomes economically viable, and produce aggregate that just like the natural meets the required

standards. Initially used only as a buffer layer of roads; today, recycled concrete aggregate is applied in structural concrete elements. This paper presents the problems of production and application of this aggregate, as well as some results of our own experimental research.

Key words: construction waste, recycled aggregate

УВОД

Карактеристика двадесетог века, са аспекта грађевинарства, је интензивна градња, при чему се није водило рачуна довољно рачуна о очувању природних ресурса и о утицајима објеката на животну средину у свим фазама експлоатационог века, закључно са рушењем објеката и депоновањем грађевинског отпада. Као одрживо решење за проблеме грађевинског отпада и исцрпљивање налазишта природног агрегата, прихваћен је поступак рециклирања, у првом реду "старог" бетона. Значајну улогу у одрживом развоју грађене средине, смањењу загађења животне средине, очувању природних сировина и уштеди енергије свакако има целокупно грађевинарство, а пре свега индустрија грађевинских материјала, а затим и пројектанти и извођачи. Пројектовање и грађење објеката задовољавајуће трајности у оквиру планираног животног века, као и примена обновљивих природних ресурса и алтернативних материјала за грађење, представљају императив савременог градитељства. У том контексту, један од основних проблема представља неизбежно рушење старих и дотрајалих објеката и њихова замена новим објектима у великим урбаним срединама и у оквиру саобраћајне инфраструктуре (слика 1). Разлози рушења објеката су промена њихове намене, старење - дотрајалост објеката, преуређивање делова градова, проширење путних праваца и увећање саобраћајног оптерећења, природне непогоде (земљотреси, пожари, поплаве) итд.



Слика 1: Рушење хотела Аладин у Лас Вегасу, 27.04.1998.г

Грађевински отпад (слика 2), који се јавља као последица грађења нових и рушења постојећих објеката је један од највећих еколошких проблема у земљама Европске уније, као и у многим развијеним земљама света. Процењено је, да око 40% отпада насталог рушењем чини бетон, керамика 30%, 10% дрво, 5% пластика, 5% метал и 10% различити остаци.



Слика 2: Типичан грађевински отпад

РЕЦИКЛАЖА У ГРАЂЕВИНАРСТВУ

Главни грађевински отпад (материјали који су добијени рушењем зграда и инфраструктурних објеката) износи око 180 милиона тона годишње или 480кг/по особи/годишње у ЕУ (табела 1). Ови алармантни подаци о количини грађевинског отпада након рушења представљају разлог за глобалну забринутост, а његово решење мора се потражити у оквиру опште прихваћених принципа одрживог развоја. Уобичајени метод "управљања" грађевинским отпадом у блиској прошлости био је његово одлагање на депоније. На тај начин створене су огромне депоније грађевинског отпада, које заузимају земљиште и представљају еколошки проблем, зато што су потенцијални загађивачи животне средине. Бетон је већ деценијама најкоришћенији материјал на свету, после воде, а интересантан је податак да је годишња производња бетона у свету достигла вредност, која се може изразити једном тоном бетона по становнику планете. Када се узме у обзир податак да 1m^3 бетона садржи више од 1m^3 агрегата, онда све присутнији тренд прекомерне потрошње агрегата отвара питање исцрпљивања природних ресурса агрегата и потребе проналажења нових могућности за добијање агрегата. Као одрживо решење за проблеме грађевинског отпада и исцрпљивање налазишта природних агрегата, наметнуо се поступак рециклирања депонованих грађевинских материјала, у првом реду бетона. Рециклирање и очување природних ресурса су безрезервно

прихваћени од стране грађевинске индустрије, али позитивни ефекти таквог приступа су донекле ограничени, зато што нису обезбеђени сви услови за примену. То се првенствено односи на недостатак: простора и опреме за сортирање грађевинског шута, искуства у поступцима рециклирања отпадних материјала, обучених радника и контролора, знања о тржишту секундарних материјала, законске регулативе у области заштите животне средине, итд.

Табела 1: Производња и рециклажа грађевинског отпада по државама ЕУ

| Држава чланица | Грађ.отпад (у милионима тона) | Процент поновног коришћења или рециклаже | Процент одлагања на депонију или спаљивања |
|----------------|-------------------------------|--|--|
| Немачка | 59 | 17 | 83 |
| В. Британија | 30 | 45 | 55 |
| Француска | 24 | 15 | 85 |
| Италија | 20 | 9 | 91 |
| Шпанија | 13 | <5 | >95 |
| Холандија | 11 | 90 | 10 |
| Белгија | 7 | 87 | 13 |
| Аустрија | 5 | 41 | 59 |
| Португалија | 3 | <5 | >95 |
| Данска | 3 | 81 | 19 |
| Грчка | 2 | <5 | 95 |
| Шведска | 2 | 21 | 79 |
| Финска | 1 | 45 | 55 |
| Луксембург | 1 | <5 | >95 |

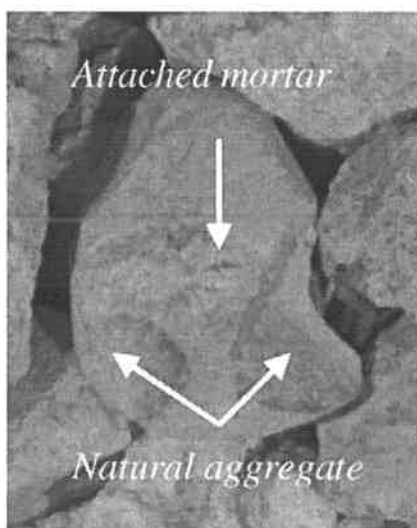
ТЕХНОЛОГИЈА ПРОИЗВОДЊЕ РЕЦИКЛИРАНОГ АГРЕГАТА

Постројења за производњу рециклираног агрегата (рециклажна постројења или дробилична) у суштини се не разликују значајно од постројења за производњу природног дробљеног агрегата. Суштина технолошког поступка је да се од комада отпадног бетона дробљењем произведе грануларни материјал одређених величина зрна, што значи да су две основне операције дробљење и просејавање. У зависности од контаминаности отпадног материјала и намене агрегата који се производи, технолошки процес се још састоји од одвајања металног материјала магнетним сепаратором, ручног или механичког уклањања страних материја и прања или ваздушног продувавања финалног производа.

Производња рециклираног агрегата од отпадног бетона почиње практично рушењем објекта. Од суштинског значаја је селективно рушење објекта, да би се у што је могуће већој мери смањило мешање разноврсног отпада (бетон, опека, дрво, стакло ..). Уколико

се ово не уради током рушења, сортирање разноврсног отпада и одвојено складиштење се мора извршити у рециклажном постројењу. На месту рушења још је потребно уситнити велике отпадне комаде на величину од 0,4м до 0,8м, што се обично ради пулверајзерима и хидрауличким чекићима.

Зрно рециклираног агрегата добијено оваквим поступком рециклирања састоји се од зрна (или дела зрна) природног агрегата и цементног малтера оригиналног бетона, који га делимично или потпуно обавија (слика 3).



Слика 3: Изглед зрна рециклираног агрегата

Присуство старог цементног малтера, који је мање запреминске тежине и веће порозности од зрна природног агрегата, значајно утиче на низ физичко-механичких својстава како рециклираног агрегата, тако и бетона на бази рециклираног агрегата. Односно, доводи до "лошијих" својстава рециклираног у односу на природни агрегат. Због тога су се у свету у последњих неколико година развила истраживања у смислу унапређења технологије рециклирања и добијања рециклираног агрегата који би по својствима, односно квалитету, био практично идентичан природном агрегату. Ради уклањања цементног камена са зрна агрегата развијено је неколико напредних технологија рециклирања пред свега у Јапану. Једна од тих технологија је такозвана "метода загревања и стругања". На овај начин, добија се 35% до 45% чистог крупног агрегата, 30% до 35% чистог ситног и 18% до 35% финог праха од цементног малтера у зависности од температуре загревања (300-7000°C). Друга технологија је хемијски третман Класично произведеног рециклираног агрегата. Претходним потапањем рециклираног агрегата у благе растворе хлороводоничне, сумпорне киселине или фосфорне могуће је одстранити део цементног

малтера и побољшати својства агрегата, без значајнијег повећања садржаја хлорида и сулфата у њему.

СПЕЦИФИЧНОСТИ СПРАВЉАЊА БЕТОНА НА БАЗИ РЕЦИКЛИРАНОГ АГРЕГАТА

Уобичајен поступак мешања бетона, јесте дозирање у мешалицу свих потребних компоненти: крупног и ситног агрегата, цемента и воде, при чему читав процес мешања траје око 2 минута. Како се зрно рециклираног агрегата састоји из природног агрегата и мање или више порозног старог малтера који упија воду, сам поступак мешања бетона који садржи овај агрегат изгледа нешто другачије. Различити аутори предлажу различита решења, али је најчешће коришћен тзв. метод мешања "из две фазе" (енгл. Two stage Mixing Approach – TSMA). У оквиру овог поступка се прво дозира крупан и ситан агрегат који се меша око 1 минут, а затим додаје отприлике половина потребне количине воде и мешање наставља још 1 минут. Следи дозирање цемента и мешање 30 секунди, да би се на крају додала преостала количина воде и процес справљања бетона завршио двоминутним мешањем. Приликом прве фазе мешања, када се дода половина потребне количине воде а затим и цемент, донекле се овлаже зрна рециклираног агрегата и на њима се формира танак слој цементне пасте која може да продре у стари малтер и попуни постојеће пукотине и шупљине. Друга половина воде је довољна за процес хидратације.

СОПСТВЕНО ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИСТРАЖИВАЊЕ

Сви узорци у експерименту су израђени од цемента Холцим РС 35М (S-Q) 42.5N/СЕМII/B-M (S-Q) 42.5 N, каменог брашна I класе према СРПС Б.БЗ.045/82, из каменолома Долац, општина Бела Паланка; затим од I, II и III фракције агрегата речног "Моравац" за еталон, I и II фракције за бетон П50, I фракције за бетон П100. Такође је коришћен дробљени агрегат добијен рециклажом старог бетона из фабрике за рециклажу "Шуша" код Новог Сада. Од адитива је употребљен Суперфлуид 21М1М, типа хиперпластификатор, хемијски то је модификовани поликарбоксилат, који производи "Адинг" из Скопља (у складу СА ЕН 934-2), при чему је извршено дозирање према препоруци произвођача. При одређивању састава самоуграђујућег бетона коришћене су Окамурине препоруке да крупан агрегат треба да учествује са 30% у укупној запремини бетона, ситан са 40% у запремини малтера. Предвиђена је уобичајена количина цемента од 400 кг/м³. Водопрашкasti фактор је смањен са 0,73 на препоручених 0.8-1.1, јер је урађена проба са 0,9

дала велико издвајање воде и распрострањање. Усвојени састав бетона је приказан у табели 2.

Табела 2: Састав бетона

| | запремина за 1м ³ (л) | маса за 1м ³ (кг) |
|----------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|
| количина филера | 96.58 | 260 |
| количина цемента | 136.53 | 409.6 |
| количина песка 0-4 мм | 257 | 676 |
| количина фракције 4-8 мм | 162.1 | 429.6 |
| количина фракције 8-16 мм | 162.1 | 429.6 |
| количина воде | 170 | 170 |
| количина адитива Суперфлуид М21М | 3.5 | 4.0 |

За испитивање су направљене три врсте трофракцијског бетона: Е, еталон чији је састав приказан у горњој табели; бетон П50, код кога је фракција 8/16 замењена истом количином рециклираног агрегата и бетон П100, код кога су и фракција 4/8 и фракција 8/16, дакле сав крупан агрегат, замењене рециклираним бетоном. Пројектовани бетон припада тзв. прашкастом типу, (енгл. powder type), јер не садржи модификатор вискозитета. Да би се задржала конзистенција еталона код бетона П50 и П100 је повећана количина воде на 178 литара и 186 литара, односно водоцементни фактор са 0,41 на 0,43 и 0,45. Потреба да се повећа количина воде је очекивана последица примене рециклираног агрегата који више упија воду због присуства цементног малтера са заосталог значајном порозношћу и пукотинама.

Испитивање чврстоће при притиску

Испитивањем чврстоће при притиску након 2, 7 и 28 дана су добијени резултати приказани у табели 3, а на затезање у табели 4:

Табела 10: Резултати испитивања чврстоће при притиску

| врста бетона | Запреминска маса (кг/м ³) | $f_{p,2}$ (N/mm ²) | $f_{p,7}$ (N/mm ²) | $f_{p,28}$ (N/mm ²) |
|--------------|---------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| E | 2410 | 27.27 | 48.67 | 49.48 |
| P50 | 2359 | 26.60 | 44.59 | 47.56 |
| P100 | 2328 | 25.00 | 43.37 | 45.25 |

Табела 4: Резултати испитивања чврстоће на затезање савијањем након 28 дана

| | E | P50 | P100 |
|----------------------------------|------|------|------|
| $f_{zs,28}$ (N/mm ²) | 7.24 | 7.06 | 6.23 |

Анализа резултата

Запреминска маса еталона је већа за 51 кг/м³, односно 2,12% у односу на пробу са 50% рециклираног крупног агрегата, и за 82 кг/м³, тј. 3.4% у односу на пробу са 100% рециклираног крупног агрегата.

Разлике у чврстоћи за исту старост су мале; еталон има већу чврстоћу за 1.92 N/mm², тј. 3,88% у односу на П50, а за 4,23 N/mm², тј. 8,55% у односу на П100 након 28 дана. Све три мешавине имају брз прираштај чврстоће, након 7 дана достижу више од 90% своје чврстоће при старости од 28 дана, што је последица примене каменог брашна. Резултати испитивања чврстоће на затезање савијањем показују да је чврстоћа еталона након 28 дана већа за 0.18 N/mm² или 2.49 % у односу на бетон са 50% рециклираног крупног агрегата, за 1,01N/mm² 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.

ЗАКЉУЧЦИ

- Велика експлоатација природног агрегата озбиљно је угрозила речне еко-системе, тако да је на неким местима и забрањена. Поред овога све већа удаљеност од природних налазишта места градње свакако утиче на цену материјала. Са друге стране, у урбаним срединама постоје знатне количине бетонског отпада који настаје приликом изградње

или рушења старих објеката те је присутан проблем депоновања оваквог материјала. Развијене, еколошки свесне земље, много полажу на рециклирање сировина и за одлагање на депоније (које одузимају корисно земљиште) наплаћују новчане казне. Дробљењем бетонског отпада добија се рециклирани агрегат који се може "вратити" у производњу.

- Приликом пројектовања бетонских мешавина, од велике користи је познавање порекла рециклираног агрегата, што је првобитни бетон био квалитетнији то ће и новосправљени имати боље карактеристике. Пожељно је и да агрегат буде справљен од бетона исте марке како би му квалитет био што је могуће уједначенији.
- Кључна особина рециклираног агрегата је веће упијање воде у односу на природни, што је последица заосталог цементног камена. Да би се применила постојећа рецептура за бетон и постигли исти резултати као и са природним агрегатом, неопходно је увећати количину воде. Потребна количина воде се може надокнадити или мерењем упијања воде рециклираног агрегата у првих тридесет минута, или његовим засићењем претходним потапањем, или експериментално, до постизања исте конзистенције бетона, што је у овом раду био случај.
- Повећање процента рециклираног агрегата смањује запреминску масу бетона, што је очекивана последица његове веће порозности.
- Квалитет употребљеног рециклираног агрегата директно утиче на чврстоћу при притиску. Уколико се употреби квалитетан агрегат, уједначеног састава, разлике у чврстоћи при притиску између еталона и бетона са чак 100% крупног рециклираног агрегата могу да буду мале, као у овом случају.
- На вредности чврстоће при затезању савијањем, количина употребљеног рециклираног агрегата не утиче значајније.
- Рециклирани агрегат је раније коришћен највише у путарству (као тампон слој и за различита насипања). Бројна експериментална истраживања су показала да се заменом и до 100% крупног агрегата рециклираним могу произвести бетони задовољавајућих перформанси који се могу користити за неносеће елементе, а пажљивим пројектовањем и употребом мањег процента рециклираног агрегата (до 30%) могу се произвести и конструкцијски бетони.

ЛИТЕРАТУРА

- Грдић З, Деспотовић И, Топличичић-Ђурчић Г: „Методe испитивања SCC бетона према стандарду EFCA (Европске асоцијације за бетон)“, Изградња 9-10, LXIII, 2009, Београд, стр. 448-452
- Grdić Z, Topličić-Đurčić G, Despotović I, Ristić N: "Properties of Self – Compacting Concrete prepared with coarse recycled aggregate", Construction and Building Materials, Volume 24, Issue 7, July 2010., p.p. 1129–1133
- Деспотовић И, Грдић З, Топличичић-Ђурчић Г, Ристић Н: „Првих 20 година самоуграђујућег бетона“, Материјали и конструкције 52 (2009) 1, Београд, стр. 21-33
- Деспотовић И, Грдић З, Топличичић-Ђурчић Г: „Зелени бетон као важан еколошки материјал данашњице“, Оцена стања, одржавање и санација грађевинских објеката и насеља, Зборник радова са шестог научно-стручног саветовања, Дивчибаре, 2009, стр. 515-518
- Деспотовић И, Грдић З: "Својства и технологија самоуграђујућег бетона са посебним освртом на могућност употребе рециклираног агрегата за његово справљање", Грађевински календар 2011, вол.43, Савез грађевинских инжењера Србије, Београд, децембар 2010, стр. 148 – 193
- Malešev M, Radonjanin V, Marinković S: „Recycled Concrete as Aggregate for Structural Concrete Production“, Sustainability 2010, 2, pp.1204-1225
- Радоњанин В, Малешев М, Маринковић С: „Могућности примене старог бетона као нове врсте агрегата у савременом грађевинарству“, Заштита материјала, 51 (2010) број 3, Београд, стр. 178 – 189
- Oikonomou N: „Recycled concrete aggregates“, Cement & Concrete Composites 27, Elsevier, 2005, pp.315–318
- Matias D, Brito J, Rosa A, Pedro D: „Mechanical properties of concrete produced with recycled coarse aggregates – Influence of the use of superplasticizers“, Construction and Building Materials 44, Elsevier, 2013, pp. 101–109

ЗАХВАЛНОСТ

У раду је приказан део истраживања које је помогло Министарство за науку и технолошки развој Републике Србије у оквиру технолошког пројекта ТР 36017 под називом: "Истраживање могућности примене отпадних и рециклираних материјала у бетонским композитима, са оценом утицаја на животну средину, у циљу промоције одрживог грађевинарства у Србији".