



[1] 2013 1[1]

AGG+ часопис за архитектуру, грађевинарство, геодезију и сродне научне области
ACEG+ Journal for Architecture, Civil Engineering, Geodesy and other related scientific fields

278-291

Стручни рад | Professional paper

UDK | UDC 624.072.336.042

DOI 10.7251/AGGPLUS1301278R

Рад примљен | Paper received 15/11/2013

Рад прихваћен | Paper accepted 31/12/2013

Властимир Радоњанин

Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, Департман за грађевинарство и геодезију, Трг Доситеја Обрадовића бр. 6, 21000 Нови Сад, Република Србија, radonv@uns.ac.rs

Мирјана Малешев

Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, Департман за грађевинарство и геодезију, Трг Доситеја Обрадовића бр. 6, 21000 Нови Сад, Република Србија, miram@uns.ac.rs

Гордана Броћета

Архитектонско-грађевински факултет Универзитета у Бањалуци, Војводе Степе Степановића 77/3, Бањалука, gbroceta@agfbl.org

Милка Грабеж

Завод за изградњу а. д. Бањалука, Марије Бурсаћ бр. 4, 78000 Бањалука, Република Српска, БиХ, milka.skrbic@zibl.net

Стручни рад
Professional paper
Рад примљен | Paper accepted
31/12/2013
UDK | UDC
624.072.336.042
DOI
10.7251/AGGPLUS1301278R

Властимир Радоњанин

Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, Департман за грађевинарство и геодезију, Трг Доситеја Обрадовића бр. 6, 21000 Нови Сад, Република Србија, radonv@uns.ac.rs

Мирјана Малешев

Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, Департман за грађевинарство и геодезију, Трг Доситеја Обрадовића бр. 6, 21000 Нови Сад, Република Србија, miram@uns.ac.rs

Гордана Броћета

Архитектонско-грађевински факултет Универзитета у Бањалуци, Војводе Степе Степановића 77/3, Бањалука, gbroceta@agfb.org

Милка Грабеж

Завод за изградњу а. д. Бањалука, Марије Бурсаћ бр. 4, 78000 Бањалука, Република Српска, БиХ, milka.skrbic@zibl.net

РЕГУЛАТИВА ИЗ ОБЛАСТИ ПРИМЈЕНЕ РЕЦИКЛИРАНОГ АГРЕГАТА

РЕЗИМЕ

Посљедњих неколико година учињен је значајан напредак у погледу доношења техничке регулативе везане за рециклирани агрегат, што утиче на олакшавање и подстицај његове практичне примјене. Ипак, нови европски прописи су још увијек непотпуни, а национални стандарди и препоруке појединих земаља међусобно неусаглашене.

С обзиром на непостојање важеће техничке регулативе у нашој држави, од изузетног је значаја познавање иностране регулативе, препорука и искустава у погледу примјене рециклираног агрегата, а што се у раду приказује. Посебан акценат стављен је на пројектовање конструкцијских бетона на бази рециклираног агрегата, добијеног прерадом отпадног бетона.

Кључне ријечи: бетон на бази рециклираног агрегата, конструкцијски бетон, препоруке, стандарди

REGULATIONS IN THE FIELD OF RECYCLED AGGREGATE

SUMMARY

In the last few years there has been a significant progress in the adoption of technical regulations regarding recycled aggregate, which affects the facilitation and stimulation of its practical application. However, the new European regulations are still incomplete, and beside that, it is evident there is no harmonization between national standards and recommendations of individual countries.

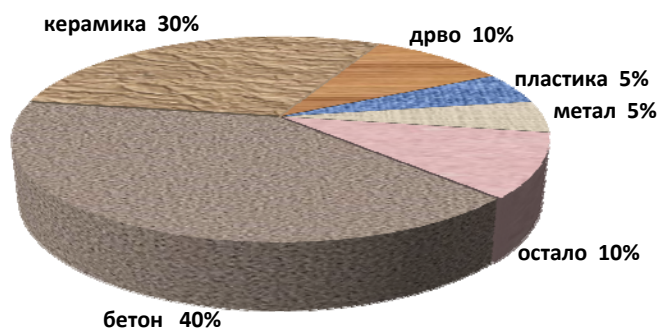
Given the lack of relevant technical regulations in our country, it is very important to know the foreign regulations, recommendations and experiences with regard to the application of recycled aggregate, which is presented in this work. Special attention is given to the design of structural concrete made with recycled aggregates, obtained by processing waste concrete.

Key words: Recycled Aggregate Concrete, Structural Concrete, Recommendations, Standards

1. УВОД

Рециклирање грађевинског отпада први пут је масовно примијењено након Другог свјетског рата у Русији и Њемачкој – како је требало уклонити ратом порушене грађевине и изградити нове – грађевински отпад је искориштен као значајан ресурс. Од тада, а нарочито након свјетског самита у Рио де Жанеиру одржаног 1992. године и промовисања Агенде 21, са тенденцијом уважавања принципа одрживог развоја, очувања животне средине и третирања отпада као једног од најзначајнијих еколошких проблема, у свијету су извршена многобројна истраживања, која су показала да рециклирани грађевински отпад, првенствено од бетона, асфалт бетона и опеке, може имати широк дијапазон примјена у грађевинарству.

Просјечна структура отпада насталог након рушења објекта приказана је на графикону 1, гдје се јасно уочава да највећи дио чини отпадни бетон [1, 2, 3].



Графикон 1. Просјечна структура отпада настала рушењем објекта

Према статистичким анализама о искориштености грађевинског отпада најпродуктивнијим су се показале земље које имају проблем са налазиштима квалитетног природног агрегата или озбиљни мањак расположивог простора за депоније. Тако се нпр. у Јапану посљедњих неколико година рециклира око 95% отпадног бетона, а широм земље је формирано преко 1200 рециклажних центара [1]. Такође, висок проценат рециклирања је и у неким високо развијеним европским земљама, као нпр. у Данској око 80–85%, Холандији око 75–85%, у Белгији и Њемачкој око 75% [4, 5, 6], у којима је помоћу различитих мјера државне политике друштво подстакнуто на рециклирање и развој свијести о очувању природних ресурса на начин да је рециклирање грађевинског отпада јефтиније од његовог одлагања на депоније – кроз повећање цијена депоновања (у Данској је цијена депоновања једне тоне корисног грађевинског отпада око 50 евра), давање повољнијих услова на тендерима понуђачима који рециклирају отпад, покретање државних пројеката и истраживања о могућностима искориштења отпада итд. Поред наведеног, производња и примјена рециклираног агрегата условљена је и постојањем техничке регулативе и препорука, анализираних у тексту који слиједи.

2. ПРЕПОРУКЕ И ЕВРОПСКИ НАЦИОНАЛНИ СТАНДАРДИ

Према Спецификацији за рециклиране агрегате који се могу примјењивати у бетону, објављеној од стране *RILEM*-а 1998. године, рециклирани агрегат је категорисан на три типа, и то:

- тип I – агрегат који потиче од зидарског отпада,
- тип II – агрегат који потиче углавном од бетонског отпада и
- тип III – агрегат који се састоји од мјешавине рециклираног (максимално 20%) и природног агрегата (минимално 80%).

Обавезни захтјеви које ова три типа агрегата, према наведеним препорукама, треба да задовоље, да би се могли примјењивати у армираном и неармираном бетону, дати су у табели 1, а захтјеви за бетоне који се могу пројектовати са тако категорисаним агрегатом дати су у табели 2.

Табела 1 – Захтјеви квалитета за рециклирани агрегат, *RILEM* [1]

Обавезни захтјеви квалитета за агрегат (садржај састојака у масеним процентима и својства)		ТИП I	ТИП II	ТИП III
Агрегат запреминске масе у засићеном стању мање од 2200 kg/m ³	%	-	≤ 10	≤ 10
Агрегат запреминске масе у засићеном стању мање од 1800 kg/m ³	%	≤ 10	≤ 1	≤ 1
Агрегат запреминске масе у засићеном стању мање од 1000 kg/m ³	%	≤ 1	≤ 0,5	≤ 0,5
Стране материје (стакло, асфалт...)	%	≤ 5	≤ 1	≤ 1
Метали	%	≤ 1	≤ 1	≤ 1
Органске материје	%	≤ 1	≤ 0,5	≤ 0,5
Честице мање од 0,063 mm	%	≤ 3	≤ 2	≤ 2
Пијесак (зрна мања од 4 mm)	%	≤ 5	≤ 5	≤ 5
Сулфати	%	≤ 1	≤ 1	≤ 1
Запреминска маса зрна агрегата у сухом стању	kg/m ³	≥ 1500	≥ 2000	≥ 2400

Табела 2 – Захтјеви за бетоне на бази рециклираног агрегата, RILEM [1]

Обавезни захтјеви квалитета за бетоне		ТИП I	ТИП II	ТИП III
Учешће крупног рециклираног агрегата	%	≤ 100	≤ 100	≤ 20
Учешће ситног рециклираног агрегата	%	не препоручује се		
Максимална дозвољена класа чврстоће бетона		C16/20	C50/60	без ограничења
Услови изложености средине		- за бетоне у сухој средини, неагресивном тлу или води и бетоне који нису изложени смрзавању – нису потребна додатна испитивања - за бетоне у другим условима средине – потребна су додатна испитивања		

До 2008. године рециклирани агрегат се није посебно третирао у европској регулативи, али је био дефинисан и његова примјена условљена на начин да треба испуњавати све захтјеве који важе за природан агрегат, у складу са EN 12620:2002. Такође, дозволила се примјена националних прописа према адекватном пољу примјене, тако да је Велика Британија усвојила стандард BS 8500-2:2006, као додатак пропису за бетон BS EN 206-1:2000, Њемачка је усвојила посебан стандард за рециклирани агрегат DIN 4226-100:2002, који се додатно ослањао на препоруке њемачког одбора за армирани бетон итд.

Приказане су класификације и ограничења према неким националним препорукама земаља Европе, како слиједи.

Стандардом DIN 4226-100:2002, рециклирани агрегат се, у зависности од састава, односно од поријекла материјала, категорише на четири типа:

- тип 1 – агрегат који се добија рециклирањем бетонског отпада,
- тип 2 – агрегат који се добија рециклирањем отпада од рушења објеката,
- тип 3 – агрегат који се добија рециклирањем опекарског отпада и
- тип 4 – агрегат који се добија рециклирањем мјешовитог отпада.

У табели 3 су приказани специфични услови састава и својстава које према наведеном стандарду сваки од типова агрегата треба да задовољи, док су остали захтјеви, који се односе на гранулометрију, облик зрна, садржај ситних честица и отпорности агрегата на различита дејства, исти као и за природне агрегате.

Табела 3 – Састав и особине рециклираног агрегата, DIN 4226-100:2002 [1]

Састојак агрегата у масеним процентима и својства		ТИП 1	ТИП 2	ТИП 3	ТИП 4
Бетон и природни агрегат сагласан са DIN 4226-1		≥ 90	≥ 70	≤ 20	≥ 80
Клинкер, пуна опека		≤ 10	≤ 30	≥ 80	
Кречни пјешчар				≤ 5	
Остали минерални материјали (шупља опека, малтер, лаки и крупноагрегатни бетони)		≤ 2	≤ 3	≤ 5	≤ 20
Асфалт		≤ 1	≤ 1	≤ 1	
Стране материје (стакло, керамика, гипс, гума, пластика, дрво, папир)		≤ 0,2	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 1
Хлоридни јони растворљиви у киселинама	%	≤ 0,04	≤ 0,04	≤ 0,04	≤ 0,15
Запреминска маса зрна агрегата у сухом стању	kg/m ³	≥ 2000	≥ 2000	≥ 1800	≥ 1500
Упијање воде након 10 минута	%	≤ 10	≤ 15	≤ 20	није дефин.

Према Техничком упутству за примјену рециклираног агрегата у бетонима (*Richtlinie Beton mit rezykliertem Zuschlag*), објављеном од стране њемачког одбора за армирани бетон *DAfStb*, 1998. године, бетони справљени са рециклираним агрегатом треба да имају иста својства као и бетони на бази природних агрегата, односно дозвољава се замјена природног агрегата извјесним процентом рециклираног, тако да наведена замјена битно не утиче на својства бетона. Постизање образложеног омогућава се лимитирањем употребе рециклираног агрегата у конструкцијским бетонима у смислу да је дозвољена примјена само горе наведених типова 1 и 2 рециклираног агрегата, и то зрна већих од 2 mm. Дакле, употреба рециклираног пијеска се не дозвољава. Такође, према наведеном упутству максимална дозвољена класа чврстоће за бетоне на бази рециклираног агрегата је С30/37, а захтијева се доказ отпорности на мраз и алкално-силикатну реакцију и не дозвољава се примјена у лакоагрегатном и претходно напрегнутом бетону. Препоручује се примјена у сухим срединама и срединама мале влажности, а за агресивније услове изложености смањује се дозвољени проценат замјене природног агрегата рециклираним, према табели 4.

Табела 4 – Дозвољена замјена природног агрегата рециклираним, *DAfStb* [1]

Област примјене			Удио рециклираног агрегата	
Класа изложености према EN 1992	Дејство	Средина	ТИП 1	ТИП 2
			запремински %	
ХО	без агресивног дејства	веома суха	≤ 45	≤ 35
ХС1	карбонизација	суха		
ХС2 до ХС4	карбонизација	суха до влажна		
ХФ1 и ХФ3	мраз, без дејства соли	средња и висока zasiћеност водом	≤ 35	≤ 25
ХА1	хемијско дејство	благо корозивна	≤ 25	≤ 25

Након доношења допуне европског стандарда за агрегат, што је образложено у дијелу 3, њемачка регулатива није суштински промијенила форму у смислу захтјева које треба да задовољи рециклирани агрегат и бетон на бази рециклираног агрегата, него су према новом Техничком упутству из 2010. године (*Rezyklierte Gesteinskörnung für Beton – DAfStb – Richtlinie*) не одступајући од претходне класификације усагласили еквиваленције са новом европском класификацијом, тако да за агрегате типова 1 и 2 вриједи еквиваленција, као у табели 5, са истим областима примјене као у табели 4.

Табела 5 – Еквиваленција категорија крупног "RA", DAfStb – EN [7]

Састојак агрегата*)	Категорије крупног рециклираног агрегата	
	ТИП 1	ТИП 2
Rc + Ru	Rcu ₉₀	Rcu ₇₀
Rb	Rb ₁₀₋	Rb ₃₀₋
Ra	Ra ₁₋	Ra ₁₋
X + Rg	XRg ₁₋	XRg ₂₋
FL	FL ₂₋	FL ₂₋
*) Ознаке састојака у рециклираном агрегату наведене у складу са номенклатуром EN 12620:2002+A1:2008		

Према белгијском стандарду, рециклирани агрегат сврстан је у двије категорије, а услови квалитета у погледу запреминске масе и упијања израженог у масеним процентима, те ограничења његове примјене за одређене класе бетона, дати су у табели 6.

Табела 6 – Захтјеви квалитета за рециклирани агрегат, Белгија [8]

Обавезни захтјеви квалитета за класе агрегата		GBSB-I	GBSB-II
Запреминска маса зрна агрегата у сухом стању	kg/m ³	≥ 1600	≥ 2100
Упијање воде зрна агрегата	%	≤ 18	≤ 9
Максимална дозвољена класа чврстоће бетона		C16/20	C30/37

Дански Код за бетон на бази рециклираног агрегата, донесен 1990. године, класификује рециклирани агрегат према запреминској маси и саставу, а бетон на бази рециклираног агрегата на двије класе GP1 и GP2, према чврстоћи при притиску коју постиже и проценту остваривања модула еластичности у односу на упоредни бетон на бази природног агрегата. Обавезни захтјеви квалитета за рециклирани агрегат и бетоне на бази рециклираног агрегата, према наведеном Коду, дати су у табели 7.

Табела 7 – Захтјеви квалитета за RA и RAC, дански стандард [8]

Обавезни захтјеви квалитета		GP1	GP1
Запреминска маса зрна агрегата у сухом стању	kg/m ³	≥ 2200	≥ 1800
Чврстоћа при притиску бетона	MPa	≥ 40	≥ 20
Модул еластичности у односу на упоредни бетон на бази природног агрегата	%	≥ 80	≥ 50

У табели 8 су приказани захтјеви за примјену рециклираног агрегата у конструкцијском бетону према стандардима и препорукама појединих европских земаља, гдје је, како се види, према препорукама већине европских земаља, у конструкцијском бетону дозвољена примјена агрегата који се добија рециклирањем старог бетона, при чему се углавном препоручује примјена крупног рециклираног агрегата, а дозвољени проценат замјене крупног природног агрегата рециклираним креће се, са изузетком Белгије и Данске, до 45% [1].



Слика 1. Израда префабрикованих конструктивних елемената од бетона на бази рециклираног агрегата

Табела 8 – Захтјеви појединих европских стандарда и препорука [1, 9, 10]

Земља	Учешће рециклираног агрегата	
	Ситан агрегат	Крупан агрегат
Белгија	дозвољен уз ограничења	≤ 100%
Велика Британија	није дозвољен	≤ 20%
Грчка	није дозвољен	≤ 30%
Данска	≤ 20%	≤ 100%
Њемачка	није дозвољен	≤ 45%
Холандија	≤ 20%	≤ 20%
Швајцарска	дозвољен	зависно од примјене

3. НОВИ ЕВРОПСКИ СТАНДАРДИ

Европски комитет за стандардизацију – *CEN*¹ је 2008. године издао допуне стандарда за агрегат EN 12620:2002+A1:2008, којим су обухваћени крупни рециклирани агрегати запреминске масе у сувом стању од 1500 kg/m³ до 2000 kg/m³ и ситни рециклирани агрегати, са одговарајућим упозорењима.

Табела 9 – Састав рециклираног агрегата, prEN 933-11:2009

Састојак агрегата	Опис
Rc	Бетон, бетонски производи, малтер, бетонски елементи за зидање
Ru	Невезан агрегат, природни камен, хидраулички везан агрегат
Rb	Глинени елементи за зидање (опека и цријеп), калцијим силикатни елементи за зидање, ћелијаст бетон
Ra	Битуменски материјали
X	Остало: - везани материјали (глина и земља) - разни метали (гвожђевити и негвожђевити) - неплутајуће дрво, пластика, гума - гипсни малтер
Rg	Стакло
FL	Лаке честице

Пропорције састојака у крупном рециклираном агрегату утврђују се у складу са prEN 933-11:2009 (табела 9), док је декларисање релевантних категорија крупног рециклираног дато стандардом EN 12620:2008, као у табели 10.

1 CEN – Comité Européen de Normalisation – Европски комитет за стандардизацију

Табела 10 – Категорије крупног рециклираног агрегата, EN 12620:2002+A1:2008

Састојак агрегата		Садржај	Категорија
Rc	%	≥ 90	Rc ₉₀
		≥ 80	Rc ₈₀
		≥ 70	Rc ₇₀
		≥ 50	Rc ₅₀
		< 50	Rc _{декларисано}
		нема захтјева	Rc _{NR}
Rc + Ru	%	≥ 95	RCU ₉₅
		≥ 90	RCU ₉₀
		≥ 70	RCU ₇₀
		≥ 50	RCU ₅₀
		< 50	RCU _{декларисано}
		нема захтјева	RCU _{NR}
Rb	%	≤ 10	Rb ₁₀₋
		≤ 30	Rb ₃₀₋
		≤ 50	Rb ₅₀₋
		> 50	Rb _{декларисано}
		нема захтјева	Rb _{NR}
Ra	%	≤ 1	Ra ₁₋
		≤ 5	Ra ₅₋
		≤ 10	Ra ₁₀₋
X + Rg	%	≤ 0,5	XRG _{0,5-}
		≤ 1	XRG ₁₋
		≤ 2	XRG ₂₋
FL	cm ³ /kg	≤ 0,2 ^{*)}	FL _{0,2-}
		≤ 2	FL ₂₋
		≤ 5	FL ₅₋
*) ≤ 0,2 се захтијева само у специјалним случајевима, када је висок квалитет завршне површине услов квалитета бетона			

Рециклирани агрегат, према садржају сулфата растворљивих у води (SS), утврђених према EN 1744-1:1998, када се захтијева, треба бити декларисан у складу са EN 12620:2002+A1:2008, према релевантној категорији, као у табели 11.

Табела 11 – Категорије рециклираног агрегата, према садржају сулфата растворљивих у води, EN 12620:2002+A1:2008

Садржај сулфата растворљивих у води у масеним процентима		Садржај	Категорија
SS	%	≤ 0,2	SS _{0,2}
		нема захтјева	SS _{NR}

Наведеним стандардом такође је дефинисано да се у случају потребе утврди утицај материја растворљивих у води, а садржаних у рециклираном агрегату, на почетак

везивања цементне пасте у складу са EN 1744-1:1998 ако се сумња на присуство органских материја, односно у складу са EN 1744-6:2006 ако се испитује присуство шећера или неорганских материја. Категоризација је извршена према промјени времена почетка везивања – t_e , сагласно табели 12.

Табела 12 – Категорије рециклираног агрегата, према садржају материја растворљивих у води, које утичу на вријеме везивања, EN 12620:2002+A1:2008

Промијена почетка времена везивања (t_e)	Категорија
min	
0	A ₁₀
≤ 40	A ₄₀
> 40	A _{декларисано}
нема захтјева	A _{NR}

4. АМЕРИЧКИ СТАНДАРДИ И ПРЕПОРУКЕ

Државни департмани за саобраћај, као агенције на националном нивоу у САД-у, "FHWA"², 2008. године, "NRMCA"³, 2007. године и "ACPA"⁴, 2009. године, издале су препоруке, а департмани Мичигена "MDOT"⁵, 2003. године и Тексаса "TXDOT"⁶, 2004. године, стандарде, којима омогућавају и подстичу примјену рециклираног агрегата за пројектовање нових бетона.

У табели 13 приказани су захтјеви наведених агенција у погледу ограничења учешћа рециклираног агрегата, специфични захтјеви за испитивање његовог квалитета и препоруке за примјену, у смислу типова елемената који се могу извести од бетона на бази рециклираног агрегата. Генерално, не даје се прецизније ограничење за избор отпадног ресурса за рециклажу, тј. једино се према спецификацији "MDOT"-а ограничава овај ресурс искључиво на отпадни бетон, који је за првобитну апликацију био пројектован у складу са стандардом и препорукама "NRMCA" да се као ресурс за рециклирани агрегат могу користити само отпадни материјали вишег квалитета. Такође, према свим наведеним препорукама и спецификацијама из САД-а учешће ситне фракције рециклираног агрегата је допуштено, али је најчешће лимитирано на 10% до 30%, осим у Мичигену, гдје је допуштено справљање бетона у потпуности са рециклираним агрегатом. Уобичајено се подразумијева примјена ове технологије за бетоне од којих се захтијева мања носивост, с тим да се према "NRMCA" препоручује израда и конструкцијских бетона уз лимитирање укупног учешћа рециклираног агрегата на 10% [11, 12].

2 FHWA – *Federal Highway Administration* – Федерална управа за аутопутеве

3 NRMCA – *National Ready Mix Concrete Association* – Национална асоцијација произвођача готовог бетона

4 ACPA – *American Concrete Pavement Association* – Америчко удружење за бетонске коловозне конструкције

5 MDOT – *Michigan Department of Transportation* – Департман за саобраћај Мичигена

6 TXDOT – *Texas Department of Transportation* – Департман за саобраћај Тексас

Табела 13 – Препоруке и стандарди за рециклирани агрегат, САД [11]

Назив групе	Ограничења учешћа рециклираног агрегата у бетону	Ограничење у погледу типа елемента од бетона на бази рециклираног агрегата	Специфични захтјеви
MDOT	нема ограничења	ивичњаци, риголи, увални риголи, тротоари, баријере, прилазни путеви, привремени бетонски коловози, рампе, банке	отпорност према дејству мраза
TXDOT	≤ 20% ситног рециклираног агрегата	прикључци, шахтови, риголи, ивичњаци, рампе, тротоари, прилазни и помоћни путеви, сидра, подлоге, бетонски коловози и др. елементи за које се захтијева чврстоћа мања од 21 МПа	нису дати
FHWA	≤ 10–20% ситног рециклираног агрегата	елементи коловозних конструкција	контрола садржаја штетних материја као што су хлориди, сулфати
NRMCA	≤ 10–30%, зависно од поријекла ^{*)}	конструктивни елементи под условом да садрже ≤ 10% рециклираног агрегата и неконструктивни елементи под условом да садрже ≤ 30% "RA"	седмична контрола упијања и запреминске масе зрна агрегата
ACPA	≤ 10–20% ситног рециклираног агрегата	елементи коловозних конструкција	отпорност према дејству мраза

^{*)} Према препорукама *NRMCA*, примјена рециклираног агрегата у бетону се ограничава на 10% ако је агрегат произведен из генералног отпада од рушења објеката, односно на 30% ако је агрегат произведен од материјала чија је оригинална чврстоћа при притиску већа од 21 МПа.

5. ЈАПАНСКИ СТАНДАРДИ И ПРЕПОРУКЕ

Према јапанском стандарду за кориштење рециклираног агрегата и бетона на бази рециклираног агрегата, објављеном 1977. године, препоручује се слиједеће:

- чувати одвојено рециклиране агрегате произведене од бетона различитог квалитета или произведене на другачији начин,
- чувати одвојено рециклиране агрегате од других типова агрегата,
- обавезно разврстати ситан од крупног рециклираног агрегата,
- због изражене способности апсорпције рециклираног агрегата потребно је обезбиједити сухе услове за његово складиштење,
- не треба користити исто постројење за дробљење опеке и бетона или се након дробљења опеке постојење треба детаљно очистити.

Услови квалитета према наведеном стандарду дати су у табели 14, при чему се препоручује да приликом справљања бетона на бази рециклираног агрегата количина цемента у мјешавини не буде мања од 250 kg/m³ [8].

Табела 14 – Карактеристике рециклираног агрегата, јапански стандард [8]

Обавезни захтјеви квалитета за агрегат		Крупан рециклирани агрегат	Ситан рециклирани агрегат
Запреминска маса зрна агрегата у сухом стању	kg/m ³	≥ 2200	≥ 2000
Упијање воде	%	≤ 7	≤ 13 ^{*)}
Количина изгубљене супстанце при прању	%	≤ 1	≤ 8
Апсолутна запремина	%	≥ 53	-
*) Према новим јапанским препорукама "TR A006 2000 – Concrete using recycled aggregate", допуштена вриједност упијања воде за ситни рециклирани агрегат је коригована на 10% [13].			

Према истраживању јапанских научника *F. Tomosawa* и *T. Noguchi*, објављеном 2000. године у Лондону, препоручује се класификација рециклираног агрегата према степену упијања воде и отпорности на дејство мрза, испитано помоћу убрзане методе потапањем у раствор натријим сулфата (Na₂SO₄), на укупно 5 класа агрегата добијеног од рециклираног бетона, и то три категорије крупног агрегата (C1, C2 и C3) и двије категорије ситног агрегата (F1 и F2), приказано у табели 15.

Табела 15 – Класе агрегата од рециклираног бетона, Tomosawa&Noguchi [14]

Врста рециклираног агрегата		Крупан агрегат				Ситан агрегат	
Класа агрегата		C1	C2	C3	F1	F2	
Упијање воде	%	≤ 3	≤ 3	≤ 5	≤ 7	≤ 5	≤ 10
Отпорност на мраз – метода потапања у раствор Na ₂ SO ₄	%	≤ 12	≤ 40	≤ 12	-	≤ 10	-

Образложење за овакву класификацију истраживачи су нашли у чињеници да висок степен упијања воде указује на велику количину старог малтера, који обавија зрно оригиналног агрегата, што према великом броју истраживања утиче на смањење чврстоће при притиску, повећање деформационих својстава и скупљања, те генерално смањење квалитета у погледу трајности новог бетона.

Како се види у предложеној класификацији, крупни рециклирани агрегат C1 има најбољи квалитет, са најмањом вриједношћу упијања воде, а тиме и највећу могућност за примјену. Поред наведеног, предложене су и могуће примјене бетона према садржају дефинисане класе рециклираног агрегата, приказано у табели 16.

Табела 16 – Могућа примјена бетона према класама "РА", Tomosawa&Noguchi [14]

Ознака примјене	Крупан агрегат	Ситан агрегат	Чврстоћа бетона	Предложена употреба бетона са рециклираним агрегатом
			МРа	
Инжењерски објекти				
С I	С1	природни	18–24	Армирани и неармирани бетон: доњи строј мостова, тунелске облоге, потпорни зидови
С II	С2	природни или F1	16–18	Неармирани бетон: блокови за зидање, подлога за путеве, докови, потпорни зидови
С III	С3	F2	< 16	Тампони, слојеви за изравнавање
Зграде				
В I	С1	природни	≥ 18	Елементи конструкције зграда
В II	С2	природни	≥ 18	Темељи, шипови
В III	С2	F1	≥ 18	Темељне плоче, плоче на тлу, слој за изравнавање
В IV	С3	F2	≥ 18	Подлоге, слојеви за изравнавање

6. ЗАКЉУЧАК

Рециклирани агрегат, и то првенствено онај добијен као продукт прераде отпадног бетона има све већу примјену у земљама које прате трендове одрживог развоја, тако да су оне посљедњих неколико година донијеле низ препорука и стандарда везано за могућност кориштења и услове у погледу квалитета предметног. Употреба ситног рециклираног агрегата за израду нових бетонских мјешавина углавном није допуштена или је у неким случајевима лимитирана знатно строжим критеријумима у односу на примјену крупних фракција.

Пројектовање конструкцијских бетонских мјешавина са аспекта примјене рециклираног агрегата најчешће подразумијева примјену извјесног процента крупне фракције, различитих ограничења, и то на начин да не утиче значајно на захтијеване карактеристике бетона у очврслом стању. Из наведеног произилази да је за такве примјере довољно имати стандарде који дефинишу састав и физичко-механичке особине рециклираног агрегата, а како је то добрим дијелом и учињено новим европским стандардима и предстандардима. Међутим, ако се дозволи веће процентуално учешће рециклираног агрегата или нпр. мјешавина крупног рециклираног агрегата и ситног природног (уобичајено ријечног) агрегата, тада ће се у највећем броју случајева својства бетона на бази рециклираног агрегата битно разликовати у односу на својства упоредног бетона на бази природног агрегата, па стандарди и прописи који важе за класичан бетон неће бити примјењиви (изузетак може бити једино у случају да се рециклирани агрегат производи од отпадног бетона виших перформанси у односу на циљани ниво квалитета новог бетона – што су у пракси ријетке ситуације). Дакле, за генералну примјену веће количине рециклираног агрегата у мјешавини неопходно је, поред стандарда за агрегат, имати посебне стандарде и прописе за бетоне са рециклираним агрегатом, као за нову врсту бетона.

7. БИБЛИОГРАФИЈА

- [1] С. Маринковић, В. Радоњанин, М. Малешев и И. Игњатовић, "Рециклирани агрегат у конструкцијским бетонима – технологија, својства, примена," *Савремено грађитељство*, бр. 2, стр. 58–72, 2009.
- [2] С. Маринковић, В. Радоњанин, М. Малешев и И. Игњатовић, "Comparative environmental assessment of natural and Recycled Aggregate Concrete," *Waste Management*, vol. 30, Issue 11, pp. 2255–2264, 2010.
- [3] М. Малешев, В. Радоњанин, А. Е. С. Al Maly, В. Миловановић, "Green concrete – new possibilities in modern construction," у Conference "Contemporary Civil Engineering Practice," Зборник радова ФТН Нови Сад, 2011, стр. 209–226.
- [4] Д. Јевтић, Д. Закић и А. Савић, "Специфичности технологије справљања бетона на бази рециклираног агрегата," *Материјали и конструкције*, вол. 52, бр. 1, стр. 52–62, 2009.
- [5] И. Игњатовић, А. Савић и С. Маринковић, "Експериментално испитивање бетона од рециклираног агрегата," *Грађевински календар 2011*, бр. 43, стр. 101–147, 2010.
- [6] И. Деспотовић и З. Грдић. "Својства и технологија самоупраћујућег бетона са посебним освртом на могућност употребе рециклираног агрегата за његово справљање," *Грађевински календар 2011*, бр. 43, стр. 148–193, 2010.
- [7] W. Breit, "RC-Beton und die Anforderungen an die RC-Gesteinskörnung," *Stoffstrommanagement Bau und Abbruchabfälle – Impulse für Rheinland-Pfalz*, pp. 1–18, 2010.
- [8] К. Јанковић, "Истраживање технолошких поступака за добијање рециклираног агрегата и његова примена," *Материјали и конструкције*, вол. 47, бр. 1–2, стр. 75–90, 2004.
- [9] N. D. Oikonomou, "Recycled Concrete Aggregates," *Cement & Concrete Composites*, vol. 27, pp. 315–318, 2005.
- [10] С. Маринковић, В. Радоњанин, М. Малешев и И. Игњатовић, "Properties and Environmental Impact of Recycled Aggregate Concrete for Structural Use," у *Proceedings of Seminar of COST action C25 "Sustainability of Constructions-Integrated Approach to Life-time Structural Engineering*, Timisoara, Romania, pp. 225–239, 2009.
- [11] B. Tempest, T. Cavalline, J. Gergely and D. Wegge, "Construction and Demolition Waste used as Recycled Aggregates in Concrete: Solutions for Increasing the Marketability of Recycled Aggregate Concrete," in *International Conference NRMCA*, 2010, pp. 1–15.
- [12] <http://www.nrmca.org>
- [13] H. Kuosa, "Reuse of Recycled Aggregates and other C&D Wastes," Research Report, Project - Advanced Solutions for Recycling Complex and New Materials, 2010–2012, VTT-R-05984-12. Technical Research Centre of Finland, Finland, pp. 1–72, 2012.
- [14] В. Радоњанин, М. Малешев, И. Лукић и В. Миловановић, "Полимер-бетонски композити на бази рециклираног агрегата," *Материјали и конструкције*, вол. 52, бр. 1, стр. 91–107, 2009.