



ДГКМ
ДРУШТВО НА
ГРАДЕЖНИТЕ
КОНСТРУКТОРИ НА
МАКЕДОНИЈА

Партизански одреди 24,
П.Фах 560, 1001 Скопје
Македонија

MASE
MACEDONIAN
ASSOCIATION OF
STRUCTURAL
ENGINEERS

Partizanski odredi 24,
P. Box 560, 1001 Skopje
Macedonia

CS - 9

mase@gf.ukim.edu.mk
http://www.mase.org.mk

Маја МАТЕСКА¹, Ана ТРОМБЕВА-ГАВРИЛОСКА²

МЕХАНИЧКИ СВОЈСТВА НА БЕТОН СО РАЗЛИЧНО КОЛИЧЕСТВО НА ЗЕОЛИТ КАКО ДЕЛУМНА ЗАМЕНА ЗА ЦЕМЕНТ

РЕЗИМЕ

Делумната замена на портланд цемент со еколошки материјали не само што овозможува намалување на емисиите на CO₂ и заштеда на енергија при производството на цемент, туку исто така обезбедува материјал со задоволителни механички карактеристики оправдан за употреба во градежната индустрија. Во овој труд се прикажани експериментални испитувања за утврдување на механичките својства на бетонот, користејќи зеолит добиен од рудникот Стрмош, како делумна замена за цемент. Испитувањата се извршени на пет типа бетонски примероци, каде количината на зеолит како замена за цемент варира од 10% до 40%. Притоа, измерена е јакоста на притисок на сите примероци и направена е споредба на добиените резултати.

Клучни зборови: зеолит, бетон, цемент, јакост на притисок, механички карактеристики

Maја MATESKA¹, Ana TROMBEVA GAVRILOSKA²

MECHANICAL PROPERTIES OF CONCRETE WITH DIFFERENT AMOUNT OF ZEOLITE AS A PARTIAL SUBSTITUTE FOR CEMENT

SUMMARY

Partial replacement of Portland cement by environmental materials, not only provides a reduction in CO₂ emissions and energy saving in cement production, but also provides a material with satisfactory mechanical properties justified for use in construction industry. This paper showcases experimental tests for determining the mechanical properties of concrete, using zeolite obtained from the Strmos mine, as a partial replacement for cement. The procedure of examination was performed on series of concrete specimens where the amount of zeolite as a cement replacement varies from 10% to 40%. In doing so, the compressive strength of all samples was determined and a comparison of the obtained results was made.

Keywords: zeolite, concrete, cement, compressive strength, mechanical properties

¹ Ministry of Culture – Cultural Heritage Protection Office, Skopje, Republic of Macedonia, m.mateska@uzkn.gov.mk

² Assoc. Prof. PhD, Faculty of Architecture, University “Ss. Cyril and Methodius”, Skopje, Republic of [Macedonia](http://www.macedonia.org.mk), agavriloska@arh.ukim.edu.mk

1. ВОВЕД

Цементната индустрија е одговорна за околу 7% од глобалната емисија на CO₂. Истата не само што троши голема количина на енергија, но во исто време како главна суровина користи варовник, кој емитува CO₂, еден од главните виновници за глобалното затоплување (Martinez-Ramirez et al 2006). Со развивање на технологијата и зголемување на свеста кај јавноста за глобалните еколошки прашања, цементната индустрија активно бара начини за усвојување различни технологии, како и да ги прошират своите ресурси и да ги заменат постојните суровини со поеколошки материјали. Делумна замена на портланд цементот од еден или повеќе еколошки материјали, летечка пепел, метакаолин, зеолит, не само што обезбедува намалување на емисија на CO₂ и заштеда на енергија во производството на цемент, но исто така обезбедува и материјал со задоволителни механички карактеристики оправдан за употреба во градежната индустрија (Jo et al 2012).

Различни истражувачи главно се концентрирале на механичките својства, кои најчесто се сметаат за најважни за било кој тип на бетон. Добиените резултати за механичките својства покажуваат дека зеолитите, природни вулкански порозни туфови со голема сорптивна способност, голема специфична површина и мала специфична тежина, кои по својот хемиски состав претставуваат хидрирани алуминосиликати од алкални и земно-алкални метали, значително ги менуваат својствата на бетонот (Karakurt and Topcu 2009).

Голем дел испитувања се направени за да се процени како зеолитот влијае врз својствата на бетонот доколку се намали колучината на цементот и истата се замени со зеолит. Испитувањата на Madandoust покажуваат дека доколку количината на цемент во бетонот се намали за 20% и истата се замени со зеолит, јакоста на притисок во првите 7 дена драстично се намалува, додека истата на 28 дена е приближно иста со јакоста на притисок на стандарден бетон (Madandoust et al 2013). Во своите истражувања Vejmelková покажала дека доколку во бетонот 40% од цементот се замени со зеолит, јакоста на притисок драстично се намалува во споредба со јакоста на притисок кај стандарден бетон (Vejmelkova 2012). Najimi ги истражувал својствата на бетон кој содржи природен зеолит (тип клиноптилолит) со замена на 10% и 15% од цементот и водоцементен фактор во сооднос од 0,5. При тоа било забележано дека јакоста на притисок на бетонот што содржи природен зеолит била пониска од онаа на контролниот бетон за старост од 7 дена, додека пак била еднаква или малку повисока од контролниот бетон за старост од 28 дена (Najimi 2010). Poop користел природен зеолит како замена на процент од цементот и го испитувал ефектот на водоцементниот фактор врз конзистенцијата на цементните пасти. Општо земено, зеолитот во цементни пасти со понизок водоцементен фактор придонел кон поголема јакост на притисок на пастите (Poop et al 1999). Сепак главна улога игра составот на зеолитот којшто се користи, па поради тоа можат да се добијат најразлични резултати (Basyigit 2010).

Во овој труд се прикажани експериментални испитувања за определување на механичките карактеристики на бетон во чии состав се користи зеолит добиен од рудникот Стрмош, како делумна замена на цемент. Опишана е постапката на испитувањето спроведена на серии бетонски коцки каде количеството на зеолит како замена за цемент варира од 10% до 40 %. При тоа, определена е јакоста на притисок на сите примероци и направена е споредба на добиените резултати.

2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ МЕТОДИ ЗА ИСПИТУВАЊЕ

Експерименталните испитувања за определување на јакоста на притисок на бетонските примероци беа изведени во Заводот за испитување на материјали и развој на нови технологии „Скопје“ А.Д. Скопје. Експерименталните испитувања беа извршени со цел да се испита како промената на количеството на зеолитот, како замена за дел од цемент, влијае врз механичките својства на бетонот. За таа цел беа направени пет различни типа на бетон: контролен бетон, еталон; бетон во кој 10% од цементот е заменет со зеолит; бетон во кој 20% од цементот е заменет со зеолит; бетон во кој 30% од цементот е заменет со зеолит и бетон во кој 40% од цементот е заменет со зеолит. За припремање на рецептурата на бетонот беше користен чист портланд цемент без додатоци СЕМ I 42.5, како агрегат беше користен варовник во четири фракции, а

водоцементниот фактор (w/c) изнесуваше 0,5. Количеството на материјалите во состав на контролниот бетон е прикажан во Табела 1.

Материјали	(kg/m ³)
Портланд цемент без додатоци СЕМ I 42.5	360
Вода	180
Водоцементен фактор (w/c)	0,5
Агрегат во четири фракции:	1880
I фракција 0-4 со учество од 40%	752
II фракција 4-8 со учество од 10%	188
III фракција 8-16 со учество од 20%	376
IV фракција 16-31,5 со учество од 30 %	564
Вкупно	2420

Табела 1. Количество на материјали во состав на контролниот бетон

Со цел да се добијат веродостојни резултати, експерименталните испитувања беа извршени согласно стандардите МКС EN 12390-1:2013 (Испитување на оцврстнат бетон - Дел 1: Форма, димензии и други барања за примероци и калапи), МКС EN 12390-2:2009 (Испитување оцврстнат бетон - Дел 2: Подготвување и конзервирање на примероци за испитување на цврстина) и МКС EN 12390-3:2009 (Испитување оцврстнат бетон - Дел 3: Цврстина на притисок кај испитуваните примероци). Испитувањата беа извршени на пробни тела во вид на коцки со димензии 15/15/15, во согласно со стандардот МКС EN 12390-1:2013 (Испитување на оцврстнат бетон - Дел 1: Форма, димензии и други барања за примероци и калапи). По вградувањето на бетонските коцки калапите беа сместени во просторија за климатизација со релативна влажност $\geq 95\%$ и температура од $20 \pm 3^\circ\text{C}$, за време од три дена. По третиот ден бетонските тела беа ослободени од калапот, соодветно означени, и оставени во климатизирана просторија се до нивното испитување, според стандардот МКС EN 12390-2:2009 (Испитување оцврстнат бетон - Дел 2: Подготвување и конзервирање на примероци за испитување на цврстина).

За испитувањето беа изготвени 45 пробни тела, за секој тип на бетон по 9 коцки и на истите беше испитана јакоста на притисок после 3, 7 и 28 дена. Пробните тела беа означени во зависност од тоа за кој тип на бетон станува збор. Примероците од контролниот бетон, еталон, беа означени со Е, примероците од бетон во кој 10% од цементот е заменет со зеолит беа означени со Б10, примероците од бетон во кој 20% од цементот е заменет со зеолит со Б20, примероците од бетон во кој 30% од цементот е заменет со зеолит со Б30 и примероците од бетон во кој 40% од цементот е заменет со зеолит беа означени со Б40.

Експерименталното испитување на јакост на притисок беше извршено на хидраулична преса А.Ј.АМСЛЕР 0-2000 KN, со максимална сила од 2000 KN. Пробните тела беа поставени така што силата на притисок беше аплицирана нормално на правецот на вградување на бетонот. Оптоварувањето беше нанесено со брзината од $0,6 \pm 0,4 \text{ N/m}^2/\text{sec}$, сè до лом на пробното тело, при што беше регистрирана силата на лом F, Слика 1.



Слика 1. Уред за испитување на јакост на притисок

3. АНАЛИЗА НА РЕЗУЛТАТИ

Според МКС EN 12390-3:2009 (Испитување оцврнат бетон - Дел 3: Цврстина на притисок кај испитуваните примероци), јакоста на притисок на бетонските коцки се определува како средна вредност од јакоста на притисок на три пробни тела. Во Табела 2 прикажани се средните вредности на механичките карактеристики, волуменска маса и јакост на притисок, за петте типа на бетон при старост на примероците од 3 дена, во Табела 3 при старост на примероците од 7 дена и во Табела 4 при старост на примероците од 28 дена.

Примерок при старост од 3 дена	Волуменска маса (kg/m ³)	Сила на лом F (kN)	Јакост на притисок σ_p (MPa)
<i>E</i>	2469	700	31,1
<i>B10</i>	2410	612	27,2
<i>B20</i>	2420	587	26,1
<i>B30</i>	2390	432	19,2
<i>B40</i>	2390	348	15,5

Табела 2. Средна вредност на физичко-механичките карактеристики на бетонски примероци со различно количество на зеолит при старост од 3 дена

Примерок при старост од 7 дена	Волуменска маса (kg/m ³)	Сила на лом F (kN)	Јакост на притисок σ_p (MPa)
<i>E</i>	2440	787	35,0
<i>B10</i>	2440	810	36,0
<i>B20</i>	2420	709	31,5
<i>B30</i>	2410	682	30,3
<i>B40</i>	2390	626	27,8

Табела 3. Средна вредност на физичко-механичките карактеристики на бетонски примероци со различно количество на зеолит при старост од 7 дена

Примерок при старост од 28 дена	Волуменска маса (kg/m ³)	Сила на лом F (kN)	Јакост на притисок σ_p (MPa)
<i>E</i>	2440	1017	45,2
<i>Б10</i>	2410	1020	45,3
<i>Б20</i>	2420	1053	46,8
<i>Б30</i>	2370	917	40,7
<i>Б40</i>	2370	833	37,0

Табела 4. Средна вредност на физичко-механичките карактеристики на бетонски примероци со различно количество на зеолит при старост од 28 дена

Доколку се разгледаат добиените резултати за волуменската маса на бетонските примероци може да се заклучи дека со зголемување на количеството на зеолит во бетонот, а со тоа и пропорционално намалување на количеството на цемент, волуменската маса на бетонските примероци се намалува.



Слика 2. Графички приказ на јакоста на притисок на бетонските примероци

Од резултатите прикажани во Табела 2 може да се заклучи дека при старост на бетонските примероци од 3 дена, кај сите примероци, вредностите на јакоста на притисок се намалуваат со зголемување на количеството на зеолит во составот на бетонот. Кај бетонските примероци Б10 и Б20 јакоста на притисок е речиси подеднакво намалена во однос на контролниот бетон. Драстичен пад на јакоста на притисок е забележан кај примероците Б30 и истиот се зголемува дури до 50% кај примероците Б40. Со зголемување на староста на бетонските примероци забележано е дека разликата помеѓу јакоста на притисок на контролниот бетон и останатите типови на бетон не е толку голема. При старост од 7 дена, кај примероците Б10 се добиваат благо зголемени вредности на јакоста на притисок, а најголем пад на јакоста повторно се јавува кај примероците Б40 но овој пат за 25% во однос на контролниот бетон, Табела 3. Интересни резултати се добиваат при старост на бетонските примероци од 28 дена, Табела 4. Со намалување на цементот за 10%, односно 20%, вредностите на јакоста на притисок се зголемуваат, и тоа кај примероците Б20 за 4% во однос на резултатите добиени кај контролниот бетон. Но со зголемување на додатокот на зеолит, односно намалување на цементот над 20%, јакоста на притисок се намалува за 10% кај примероците Б30 односно 22% кај примероците Б40.

4. ЗАКЛУЧОК

Во овој труд се изложени резултати од експерименталните испитувања на пет типа на бетон: контролен бетон, еталон; бетон во кој 10% од цементот е заменет со зеолит; бетон во кој 20% од цементот е заменет со зеолит; бетон во кој 30% од цементот е заменет со зеолит и бетон во кој 40% од цементот е заменет со зеолит. Резултатите презентирани во овој труд потврдија дека природните зеолити може да се сметаат за еколошки врзиви средства со потенцијал да заменат дел од цемент во состав на бетонот. Сепак, иако од еколошка гледна точка би било пожелно да се користат најголеми количини на зеолит во производството на бетон, степенот на замена на цементот за подготовка на бетонската мешавина има одредени ограничувања. Доколку се заменат повеќе од 20% од масата на цемент со зеолит, јакоста на притисок се намали многу брзо. Како за крај може да се констатира дека, поради неговата најголема јакост на притисок од 46,8 МПа и помалата волуменска маса во однос на контролниот бетон, бетонот во кој 20% од цементот е заменет со зеолите е најсоодветното решение меѓу петте анализирани типови на бетон.

РЕФЕРЕНЦИ

- [1] Basyigit C, "The effect of zeolit rate on the thermo-mechanical properties of concrete", *International Journal of the Physical Sciences*, Vol. 5(7), 968-971, 2010.
- [2] Jo B.W, Choi J.S, Kim Y.K, Lee Y.S, "An Experimental study on the Fundamental Properties of Zeolite Cement Mortar", *Tech Science Press, SL*, vol.7, no.1, 19-27, 2012.
- [3] Karakurt C, Topcu I.B, "Effect of Blended Cements Produced with Natural Zeolite and Volcanic Tuffs on Sulfate Resistance of Concrete", *1st International Syposium on Sustainable Development*, 150-156, 2009.
- [4] Madandoust R, Sobhani J, Ashoori P, "Concrete made with zeolite and metakaolin: a comparison on the strength and durability properties", *Asian Jurnal of Civil Engineering*, Vol 14, No. 4, 533-543, 2013.
- [5] Martínez-Ramírez S, Blanco-Varela M.T, Ereña I, Gener M, "Pozzolanic reactivity of zeolitic rocks from two different Cuban deposits: Characterization of reaction products", *Applied Clay Science* 32, 40-52, 2006.
- [6] Najimi M. "Investigating the properties of concrete containing natural zeolite as supplementary cementitious materials", *Building and Housing Research Center, Report No. AF.TO-PO.N89/1. Tehran*, 2010.
- [7] Poon CS, Lam L, Kou SC, Lin ZS. "A study on the hydration rate of natural zeolite blended cement pastes", *Construction and Building Materials* 13, 427-432, 1999.
- [8] Vejmelkova E, Ondracek M, Cerny R, "Mechanical and Hidric prpoerties of High-Performance Concrete Containing Natural Zeolites", *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 262-265, 2012
- [9] MKS EN 12390-1:2013, "Testing hardened concrete - Part 1: Shape, dimensions and other requirements for specimens and moulds", *CEN/TC 104*.
- [10] MKS EN 12390-2:2009, "Testing hardened concrete - Part 2: Making and curing specimens for strength tests", *CEN/TC 104*.
- [11] MKS EN 12390-3:2009, "Testing hardened concrete - Part 3: Compressive strength of test specimens", *CEN/TC 104*.