

**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

**CM - 8**

mase@gf.ukim.edu.mk

Maја MATEСКА<sup>1</sup>, Todorka SAMARDZIOSKA<sup>2</sup>, Ana TROMBEVA GAVRILOSKA<sup>3</sup>, Sonja LEPITKOVA<sup>4</sup>, Milorad JOVANSKI<sup>5</sup>

## **MECHANICAL PROPERTIES OF ZEOLIT SAMPLES FROM STRMOSH MINE, REPUBLIC OF MACEDONIA**

### SUMMARY

The increased usage and exploitation of non-metals as a substitute for exploitation and processing of metals, is a trend in the world. Mechanical properties of the material are requisite for determining its application in civil engineering. This paper presents the strength characteristics of the zeolite, obtained from the Strmosh Mine, as well as its capability of water absorption. The procedure, as well as the results of the performed testing of the material are elaborated and presented, followed by a discussion about the obtained values.

*Keywords: zeolite, tuff, compressive strength, porosity, mechanical properties*

Maја MATEСКА<sup>1</sup>, Тодорка САМАРЦИОСКА<sup>2</sup>, Ана ТРОМБЕВА-ГАВРИЛОСКА<sup>3</sup>,  
Соња ЛЕПИТКОВА<sup>4</sup>, Милорад ЈОВАНОВСКИ<sup>5</sup>

## **МЕХАНИЧКИ СВОЈСТВА НА ЗЕОЛИТ ОД РУДНИКОТ „СТРМОШ“, РЕПУБЛИКА МАКЕДОНИЈА**

### РЕЗИМЕ

Поголемата примена и експлоатација на неметалите, како замена на експлоатацијата и обработка на металите, претставува тренд во светот. Механичките карактеристики на материјалот се предуслов за утврдување на неговата примена во градежништвото. Во овој труд се прикажани јакостните карактеристики на зеолитот, добиен од рудникот Стрмош, како и неговата способност за впивање на вода. Образложена е постапката за испитување на материјалот, а потоа се изнесени резултатите со дискусија во врска со добиените вредности.

*Клучни зборови: зеолит, туф, јакост на притисок, порозност, механички карактеристики*

<sup>1</sup> MSc student, Ministry of Culture–Cultural Heritage Protection Office, Republic of Macedonia, Skopje, [m.mateska@uzkn.gov.mk](mailto:m.mateska@uzkn.gov.mk)

<sup>2</sup> Assoc. Prof. PhD, Faculty of Civil Engineering, University “Ss. Cyril and Methodius”, Skopje, Republic of Macedonia, [samardzioska@gf.ukim.edu.mk](mailto:samardzioska@gf.ukim.edu.mk)

<sup>3</sup> Assoc. Prof. PhD, Faculty of Architecture, University “Ss. Cyril and Methodius”, Skopje, Republic of Macedonia, [agavriloska@arh.ukim.edu.mk](mailto:agavriloska@arh.ukim.edu.mk)

<sup>4</sup> Assoc. Prof. PhD, Faculty of Natural and Technical Sciences, University “Goce Delcev”, Stip, Republic of Macedonia

<sup>5</sup> Prof. PhD, Faculty of Civil Engineering, University “Ss. Cyril and Methodius”, Skopje, Republic of Macedonia, [jovanovski@gf.ukim.edu.mk](mailto:jovanovski@gf.ukim.edu.mk)

## 1. ВОВЕД

Зеолитите се 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. Како материјал, тие се карактеризираат со висока отворена порозност, која всушност е ефективна порозност и е директно поврзана со отворената специфична површина, односно површината на контакт на материјалот со медиумот.

Поради нивната способност за адсорпција, катјонска измена, дехидратација-рехидратација, зеолитите се сметаат за еколошки најчисти материјали и истите широко се употребуваат во земјоделството, медицината, градежништвото и заштитата на животната средина, особено за третман на градски отпадни води и деконтаминација на радиоактивна отпадна вода.

Употребата на зеолитот во градежништвото датира многу одамна, пред сè поради неговите одлични механички карактеристики, Chmielevska, [1]. Имено, впивањето на вода, порозноста, волуменската тежина и јакостните карактеристики се параметрите кои ја наметнуваат неговата примена. Во светот постојат голем број на истражувања поврзани со механичките карактеристики на вулканските туфови кои се однесуваат за неговата примена во градежништвото, Hudyma et al., [3], Marcari et al., [4], како подлога за фундација, Price, [6] или како блокови за зидање на објекти, Marcari, [5]. Исто така, истражувањата покажуваат дека карактеристиките на поодделните зеолити зависат од местоположбата на самото наоѓалиште. Испитувањата направени на примероци од туф од повеќе наоѓалишта во Турција, во однос на јакоста на притисок, абразијата, порозноста, впивањето на вода, волуменската тежина, го прикажуваат како материјал со голема порозност, голема способност на впивање на вода и висока јакост на притисок, чии карактеристики се менуваат во зависност од наоѓалиштето, Yasar et al., [7]. Споредбата на механичките карактеристики на зеолитниот туф во Çanakkale, Турција искористен за изградба на храмот на Аполон и туфот кој се наоѓал во блиската околина, Ergenç, [2] ги потврдуваат неговите одлични карактеристики како градежен камен.

Експлоатацијата на зеолит во Република Македонија е во последните години на локалитетот Славишко поле кај село Ветуница од рудникот Стрмош АД - Рудници за неметали. Со цел да започне примена на овој тип на зеолит, а тргнувајќи од фактот дека карактеристиките на поодделните зеолити зависат од местото на наоѓалиштето, потребно е да се направат обемни испитувања за дефинирање на неговите карактеристики и својства.

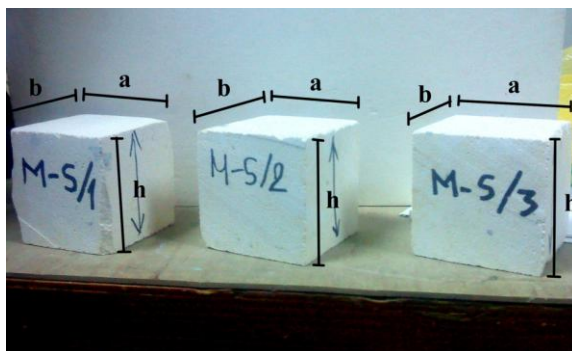
Во овој труд се прикажани експериментални испитувања за определување на физичко-механичките карактеристики на зеолитот добиен од рудникот Стрмош. Опишана е постапката на испитувањето спроведена на две серии коцки зеолит, во сува состојба и во водозаситена состојба. При тоа, определена е јакоста на притисок и добиени се параметрите за способноста на впивање на вода на материјалот.

## 2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ МЕТОДИ ЗА ИСПИТУВАЊЕ

Експерименталните испитувања за определување на механичките карактеристики на зеолитот беа изведени во лабораторијата за геотехничко испитување во склоп на Градежниот факултет во Скопје. Експерименталното испитување е конципирано во два дела: определување на процентот на впивање на вода и определување на јакоста на притисок. Јакоста на притисок, како една од суштинските механички карактеристики на секој материјал, за зеолитот е определена на пробни тела во сува состојба, како и на пробни тела во водозаситена состојба.

Со цел да се добијат веродостојни резултати, експерименталните испитувања се извршени согласно стандардите EN 13755:2008 (Natural stone test methods - Determination of water absorption atmospheric pressure) и EN 14617-15:2005 (Agglomerated stone - Test methods - Part 15: Determination of compressive strength). Испитувањата се извршени на пробни тела во вид на коцки извадени од зеолитен блок со поголеми димензии, а согласно стандардот EN 14617-15:2005 (Agglomerated stone - Test methods - Part 15: Determination of compressive strength), од

нив се отстранети сите оштетени и лабави делови. Со цел да се добијат рамни и планпаралелни површини на кои се нанесува силата на притисок, истите беа израмнети со брусење, сè додека не беа отстранети трагите од сечење на пробните тела. Пробните тела, односно коцките, се со стандардни димензии од  $50 \pm 1 \text{ mm}$ , слика 1, и маса од 180 до 200 gr, во зависност од примерокот, табела 1. Примероците во сува состојба се означени со ознака M-S, додека примероците во водозаситена состојба се означени со ознака M-W. Броевите 1,2 и 3 после соодветните ознаки го означуваат испитуваното пробно тело.



Слика 1. Геометриски карактеристики на пробните тела

Експерименталните истражувања за определување на јакоста на притисок во сува состојба и водозаситена состојба се изведени на две серии од по три пробни тела. Двете серии пробни тела најпрво се исушени на температура од  $105 \pm 5^\circ \text{C}$ , по што истите се оладени и измерени на вага со точност од  $\pm 0,01 \text{ g}$ , со што е определена масата во сува состојба за секое пробно тело соодветно, Табела 1.

Примерок	Димензии			Маса во сува состојба
	a (cm)	b (cm)	h (cm)	$m_s$ (g)
M-S/1	5,17	5,18	5,16	185,41
M-S/2	5,16	5,20	5,13	189,42
M-S/3	5,17	5,18	5,16	191,91
M-W/1	5,16	5,17	5,18	188,54
M-W/2	5,20	5,16	5,15	193,34
M-W/3	5,18	5,18	5,16	189,16

Табела 1. Геометриски карактеристики и маса на пробните тела

Втората серија пробни тела за определување на јакоста на притисок при водозаситена состојба е искористена и за определување на процентот на впивање вода. Експерименталното испитување за определување на процентот на впивање вода на зеолитот е извршено според методата на постепено потопување под атмосферски притисок. Испитувањето е започнато со потопување на пробните тела до  $\frac{1}{4}$  од нивната висина во сад со дестилирана вода. Постепено садот е надополнуван со вода после 1 h до половина, а после 2 h до  $\frac{3}{4}$  од висината на пробното тело. После 22 h пробното тело е потполно потопено во вода. По 24 h од започнувањето на потопувањето е пристапено кон мерење на масата на пробното тело. Пред секое мерење на масата пробните тела се избришани со мека крпа, а со цел да се спречи испарување на впиената вода, согласно стандардот EN 13755:2008 (Natural stone test methods - Determination of water absorption atmospheric pressure), поодделните мерења на масата се извршени за 2 минути, сметајќи од моментот кога телото е извадено од водата. Мерењето на масата за секое пробно тело е изведено на секои 24 h, сè до определување на константната маса, односно додека примерокот до крај не се засити со вода, табела 2.

Примероци	Маса во водозаситена состојба
	$m_v$ (g)
M-W1	232,48
M-W2	236,55
M-W3	232,69

Табела 2. Маса на пробните тела во водозаситена состојба

Експерименталното испитување на јакост на притисок беше извршено на уред за испитување тип 102/3000 НК-4, со капацитет од 3000 kN. Пробните тела беа поставени така што силата на притисок беше аплицирана нормално на слоевитоста на материјалот. Силата на притисок беше постепено зголемувана за 0,5 MPa/sec, сè до лом на пробното тело, при што беше регистрирана силата на лом  $F$  и напрегањето, слика 2.

а)



б)



Слика 2. Експериментално испитување: а) уред за испитување на јакост на притисок; б) пробно тело

### 3. АНАЛИЗА НА РЕЗУЛТАТИ

За првата серија пробни тела, пред да биде определена јакоста на притисок во водозаситена состојба, беше определен процентот на впивање вода. Добиените резултати од експерименталното испитување се презентирани во табела 3.

Примероци	Впивање на вода
	$U$ (%)
M-W1	23,31
M-W2	22,35
M-W3	23,01
<b>Средна вредност</b>	<b>22,89</b>

Табела 3. Експериментално определени резултати за процент на впивање вода

Од експериментално определените резултати може да се заклучи дека количеството на впиена вода кај секое од пробните тела е приближно исто, при што просечниот процент на впивање вода изнесува 23%.

Експериментално определените резултати за јакоста на притисок на зеолитот во сува состојба се прикажани во табела 4, додека експериментално определените резултати за јакоста на притисок на зеолитот во водозаситена состојба се прикажани во табела 5.

Примерок	Волуменска маса $\gamma = m_s/V$ (kg/m <sup>3</sup> )	Сила на лом F (kN)	Јакост на притисок $\sigma_p$ (MPa)
M-S1	1341,72	76,18	28,5
M-S2	1376,12	114,60	43,0
M-S3	1388,76	128,03	47,9
<b>Средна вредност</b>	<b>1369,87</b>	<b>106,27</b>	<b>39,8</b>

Табела 4. Механички карактеристики на зеолитни коцки во сува состојба при напрегање на притисок

Примерок	Сила на лом F (kN)	Јакост на притисок $\sigma_p$ (MPa)
M-W1	63,29	23,7
M-W2	90,87	33,9
M-W3	107,39	40,1
<b>Средна вредност</b>	<b>87,18</b>	<b>32,6</b>

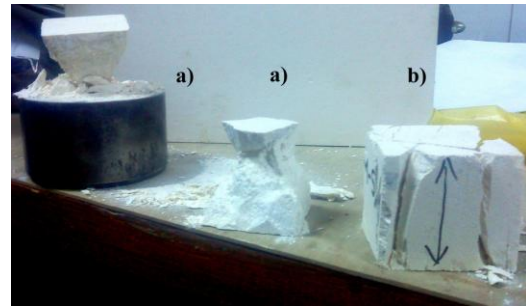
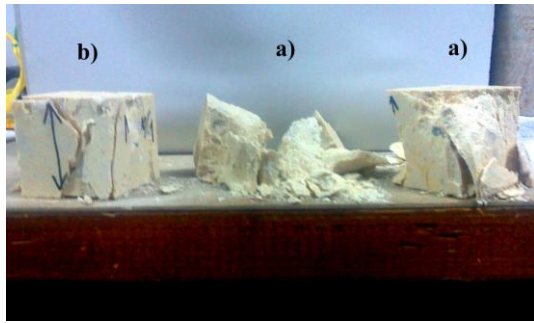
Табела 5. Механички карактеристики на зеолитни коцки во водозаситена состојба при напрегање на притисок

Според стандардот EN 14617-15:2005 (Agglomerated stone - Test methods - Part 15: Determination of compressive strength), јакоста на притисок на зеолитот се определува како средна вредност од јакоста на притисок на сите три пробни тела и таа изнесува 40 МПа. Од спроведените експериментални испитувања може да се заклучи дека јакоста на притисок на испитуваните пробни тела се движи во ранг од 28,5 МПа до 47,9 МПа.

Од резултатите прикажани во табела 5 може да се заклучи дека кај сите испитувани пробни тела јакоста на притисок во водозаситена состојба на зеолитот е приближно иста. Очекувано, добиените резултати се со пониска вредност отколку јакоста на притисок во сува состојба. И покрај тоа што материјалот е доста порозен и впива големо количество на вода до 23%, табела 3, просечната јакост на притисок во водозаситена состојба изнесува 33 МПа.

Споредувајќи ги резултатите презентирани во табела 4 и табела 5, може да заклучи дека јакоста на притисок на зеолитот опаѓа за 22% при заситување на материјалот со вода.

Обликот на лом на пробните тела зависи од големината на триењето што се јавува на контактот помеѓу примерокот и плочите преку кои се аплицира аксијалната сила на притисок. Контактното триење го спречува напречното деформирање на пробното тело и во него се јавува дополнително напрегање на смолкнување, предизвикувајќи разрушување по наклонети рамнини, слика 3 а). Овој тип на лом е регистриран кај четири од испитуваните пробни тела. Кај останатите примероци се појавува лом во вертикални рамнини паралелни на страните, слика 3 б). Овој тип на лом се должи на појава на пукнатини во самиот материјал и истиот е регистриран кај примероците M-S/1 и M-W/1. Кај овие примероци јакоста на притисок е за околу 60% помала, табела 4 и табела 5, од јакоста на притисок на останатите примероци.



Слика 3. Облик на лом на испитаните примероци: а) разрушување по наклонети рамнини, б) разрушување по вертикални рамнини паралелни со страните на примерокот

#### 4. ЗАКЛУЧОК

Во овој труд се изложени резултати од експериментални испитувања на две серии на пробни тела од зеолит. Добиените резултати за јакосните карактеристики на зеолитот во сува и во водозаситена состојба, како и за неговата способност на водовпивање, се главни параметри за дефинирање на неговите карактеристики и својства. Со тоа се потенцира оправданоста за примена на овој тип на зеолит во градежните објекти. Добиените резултати од спроведените испитувања покажуваат висока вредност на јакост на притисок на материјалот. Како резултат на големата порозност на материјалот, проследена со голем процент на впивање на вода, јакоста на притисок на серијата примероци во водозаситена состојба е пониска од јакоста на притисок на серијата примероци во сува состојба. Од презентираниите резултати може да се заклучи дека обликот на лом игра голема улога во јакоста на притисок на материјалот. Кај примероците разрушени по вертикални рамнини паралелни со страните, јакоста на притисок е значително помала. Резултатите добиени од експерименталните испитувања се одличен показател за употреба на овој тип на зеолит како во суви, така и во услови каде влажноста е доста голема.

#### РЕФЕРЕНЦИ

- [1] E. Chmielevska, “Zeolites – Materials of sustainable significance (short retrospective and outlook)”, Environment Protection Engineering, vol.36, No.4, 129-135, 2010
- [2] D. Ergenç, “Investigation of tuff quarries around the Temple of Apollon Smitheus (Çanakkale, Turkey)”, Middle East Technical University, 2011
- [3] N. Hudymaa, B.B. Avarb, M. Karakouzian, “Compressive strength and failure modes of lithophysae-rich Topopah Spring Tuff specimens and analog models containing cavities”, Engineering Geology 73, 179–190, 2004
- [4] G. Marcari, G. Fabbrocino, P.B. Lourenço, “Mechanical properties of tuff and calcarenite stone masonry panels under compression”, 8th International Masonry Conference in Dresden, 1083-1092, 2010
- [5] G. Marcari, G. Fabbrocino, P. B. Lourenço, “Investigation on compressive behavior of tuff masonry panels”, University of Minho, 2010
- [6] R.H. Price, “Analysis of Rock Mechanics Properties of Volcanic Tuff Units from Yucca Mountain, Nevada Test Site”, Sandia National Laboratories, Albuquerque, 1983
- [7] E. Yasar, A. Tolgay, A. Teymen, “Industrial Usage of Nevsehir-Kayseri (Turkey) Tuff Stone”, World Applied Sciences Journal 7 (3), 271-284, 2009
- [8] EN 13755:2008, “Natural stone test methods - Determination of water absorption atmospheric pressure”, CEN/TC 246 -Natural stones
- [9] EN 14617-15:2005, “Agglomerated stone - Test methods - Part 15: Determination of compressive strength”, CEN/TC 246 -Natural stones