

## Parametar abrazije prirodnog kamena za javnu infrastrukturu i korelacije s drugim svojstvima

**Naser Kabashi**

Sveučilište u Prištini, Građevinski fakultet i Arhitektonski fakultet, Kosovo

**Enes Krasniqi**

Sveučilište u Prištini, Građevinski fakultet i Arhitektonski fakultet, Kosovo

**Rozafa Basha**

Sveučilište u Prištini, Građevinski fakultet i Arhitektonski fakultet, Kosovo

**Milot Muhaxheri**

Sveučilište u Prištini, Građevinski fakultet i Arhitektonski fakultet, Kosovo

**Sažetak:** Otpornost na habanje jedan je od ključnih parametara koje treba uzeti u obzir pri procjeni prirodnog kamena za upotrebu u javnoj infrastrukturi sa slabim prometom. Procjena i ocjena parametara abrazije može se provesti prema normi EN 14157, koristeći dva tipična prirodna kamena iz različitih izvora kako bi se usporedili potrebni parametri. Parametri će se analizirati u korelaciji s drugim čimbenicima kako bi se pronašle optimizacije. Rezultati su pokazali značajan koeficijent korelacije između suhog uzorka i ispitivanja zasićenosti vodom. Ovo sugerira da je otpornost prirodnog kamena na abraziju kada je suh usko povezana s njegovom otpornošću kada je zasićen vodom. Ove su informacije vrijedne pri odabiru odgovarajućih materijala od prirodnog kamena za javnu infrastrukturu, budući da pružaju uvid u to kako će se materijali ponašati u različitim uvjetima. Na trgovima se prirodni kamen često koristi kao materijal za popločavanje zbog svoje trajnosti, otpornosti na atmosferilije, estetike i drugih parametara. Međutim, različite vrste prirodnog kamena imaju različite razine otpornosti na habanje, što može utjecati na njihovu prikladnost za korištenje na javnim trgovima.

**Ključne riječi:** Bohme test abrazije EN 14157, prirodni kamen, svojstva stijene, korelacije svojstava

## Abrasion parameter of natural stone for public infrastructure and correlations with other properties

**Abstract:** The abrasion resistance is one of the crucial parameters to consider when evaluating natural stone for use in public infrastructure with light traffic. The assessment and evaluation of abrasion parameters can be carried out according to the EN 14157 standard, using two typical natural stones from different sources in order to compare the necessary parameters. The parameters will be analysed in correlation with other factors in order to find optimizations. The results showed a significant correlation coefficient between the dry sample and water saturation tests. This suggests that the abrasion resistance of natural stone when dry is closely related to its resistance when saturated with water. This information is valuable in selecting appropriate natural stone materials for public infrastructure, as it provides insights into how the materials will perform under different conditions. In public squares, natural stone is often used as paving material because of its durability, resistance to weathering, aesthetics and other parameters. However, different types of natural stone have different levels of abrasion resistance, which can affect their suitability for use in public squares.

**Key words:** Bohme abrasion test EN 14157, natural stone, rock properties, correlations of properties

Kabashi, N., Krasniqi, E., Basha, R., Muhaxheri, M.

## Parametar abrazije prirodnog kamena za javnu infrastrukturu i korelacije s drugim svojstvima

### 1. UVOD

Od početka civilizacije, prirodni kamen kao građevni materijal koristio se u izgradnji zgrada i javnih prostora različite složenosti i namjene, od jednostavnih skloništa do monumentalnih djela prošle i sadašnje arhitekture. Glavni parametri koji čine ovaj materijal prikladnim za korištenje u građevinarstvu su trajnost i sposobnost materijala da se odupre opterećenjima i uvjetima okoline.

U okviru razvoja i uporabe prirodnog kamena u brojnim građevinama i elementima, ova studija je usmjerena na analizu parametara kamena i procjenu svojstava potrebnih za primjenu prirodnog kamena u građevinarstvu. Važno je osigurati svojstva materijala prirodnog kamena koji se namjerava koristiti u izgradnji infrastrukture i javnih trgova. Korištenje prirodnog kamena izvađenog iz lokalnog kamenoloma uglavnom je važno pratiti svojstvima, kao što su trajnost i otpornost materijala, posebno za infrastrukturu i javne trgove na kojima će se prirodni kamen koristiti. Kako bi se odlučilo o primjenama prirodnog kamena, potrebno je ispitati svojstva, posebno ove parametre: test abrazije, otpornost na klizanje itd. Osim navedenih specifičnih ispitivanja, važno je razmotriti geološke karakteristike prirodnog kamena koji se koristi. Mineralni sastav, veličina zrna i tekstura sve mogu utjecati na čvrstoću i trajnost materijala. Na primjer, gusti, sitnozrnati granit može biti otporniji na vremenske uvjete i eroziju od poroznog, krupnozrnatog pješčenjaka.

Korištenje prirodnog kamena u izgradnji može pružiti lijepu i dugotrajnu opciju za zgrade i javne prostore. Međutim, važno je pažljivo procijeniti svojstva kamena i razmotriti čimbenike kao što su održivost i tehnike ugradnje kako bi se osigurala uspješna i dugotrajna primjena.

### 2. MATERIJALI I METODE

#### 2.1 Prirodni kamen za popločavanje javnih prostora

Kamen je prirodno otporan i ponaša se učinkovito u različitim vrstama urbanih *hardscapea*. Prirodni kamen je dugotrajan materijal koji nudi širok raspon funkcionalnih i estetskih rješenja kada se primjenjuje kao završna obloga trgova i drugih otvorenih javnih prostora. Prirodni kamen smatra se održivim materijalom jer spada u građevinske materijale s najnižom razinom ugljika. Različita svojstva tvrdoće i trajnosti obično se uzimaju u obzir ovisno o vrsti i intenzitetu prometa, bilo pješачkog ili biciklističkog. Ali kada je riječ o popločavanju, važno je primijeniti kamen s grubom završnom obradom, a ne glatkom, kao parametar sigurnosti korisnika za sprječavanje klizanja i padova. Prirodni kamen u urbanom okruženju obično zahtijeva minimalno održavanje (većinom blagim sapunom i vodom). Općim procjenama kamena za primjenu u područjima učestalog prometa potrebno je ocijeniti svojstva u izravnim odnosima, kao što su ispitivanje abrazije i otpornost na klizanje, koji se moraju razmatrati u bliskom odnosu s drugim fizičkim i mehaničkim svojstvima kamena, [4].

##### 2.1.1 Ispitivanje abrazije prema EN 14157

Ponašanje i primjena prirodnog kamena u graditeljstvu prvenstveno se određuje ispitivanjem njegovih fizikalnih i mehaničkih svojstava. U europskim standardima kojima se reguliraju zahtjevi za prirodni kamen navode se metode ispitivanja i svojstva kamena koja se ispituju ovisno o njegovoj primjeni. Ako je prirodni kamen namijenjen za korištenje kao podne pločice (EN 1341), blokovi za popločavanje (EN 1342) na vanjskim cestovnim površinama ili kao elementi podova i stubišta (EN 12057, EN 12058), važno je ispitati njegovu otpornost na habanje. Abrazija kamenih materijala koji se koriste u izgradnji proizlazi iz njihove svakodnevne uporabe, [1], [2], [3].

Otpornost na habanje je jedno od mehaničko-fizikalnih svojstava koja omogućuju procjenu korisnosti pojedine vrste kamena u različitim položajima i uvjetima. To također utječe na

Kabashi, N., Krasniqi, E., Basha, R., Muhaxheri, M.

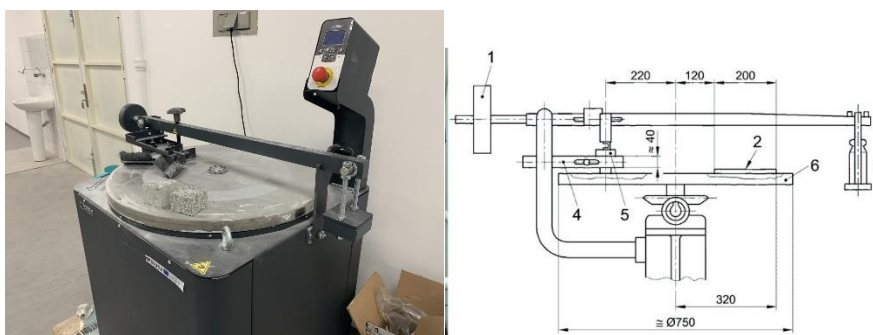
## Parametar abrazije prirodnog kamena za javnu infrastrukturu i korelacije s drugim svojstvima

estetska svojstva kamena u dugotrajnoj upotrebi. Abrazija kamena se definira kao oštećivanje njegovog gornjeg sloja uslijed trenja i/ili udarnog djelovanja elementa koji je u interakciji sa slojem kamena. Ovo trenje uzrokuje odvajanje čestica kamena (gubitak mase, volumena i debljine kamena) zbog grebanja. Informacije o abraziji prirodnog kamena, izražene kao gubitak gornjeg sloja tijekom ispitivanja, temeljne su za procjenu vijeka trajanja, uključujući trošenje, određene vrste kamena u određenoj primjeni.

Cilj ovog rada je utvrditi otpornost na habanje triju različitih vrsta kamena podrijetlom iz različitih kamenoloma, koji se smatraju materijalima za popločavanje javnih prostora, [7].

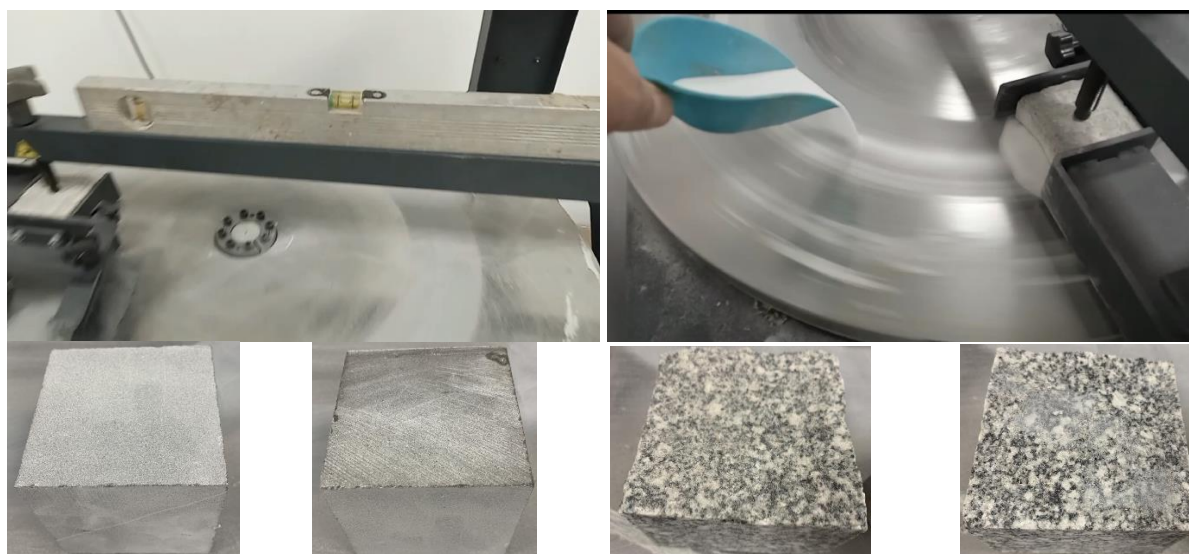
### 2.2 Eksperimentalni rad

Postupak ispitivanja je usmjeren na ispitivanje uzoraka različitih vrsta kamena dimenzija 71,7 x 69,6 s dodirnom površinom  $\sim 50 \text{ cm}^2$  ~ debljine  $t=70 \text{ mm}$ . Težina svih uzoraka za ispitivanje se određuje do točnosti od 0,1 gr kako bi se pristupilo ispitivanju u BOHME uređaju.



Slika 1. Bohme uređaj za ispitivanje abrazije  
1-protuuteg, 2-ispitna staza, 3-uteg za opterećivanje, 4-držač uzorka, 5-uzorak, 6-rotacijski disk

Postupak ispitivanja za sve uzorke provodi se prema EN 14157 (sl.1), a sastoji se od struganja uzorka prirodnog kamena tijekom procesa rotiranja diska i izračunavanja gubitka mase za svaki uzorak. Koraci tijekom ispitivanja su prikazani na slici 2, [1].



Slika 2. Postupak ispitivanja za različite vrste uzoraka kamena

Kabashi, N., Krasniqi, E., Basha, R., Muhaxheri, M.

### Parametar abrazije prirodnog kamena za javnu infrastrukturu i korelacije s drugim svojstvima

Ispitivanje se sastojalo od postavljanja uzorka u stezaljku i njegovog opterećivanja osnom silom. Tijekom ispitivanja posebna pažnja je bila usmjerena na zadržavanje abrazivnih materijala i rotiranje uzorka za sljedeći ciklus. Abrazija je izračunata kao gubitak volumena u ispitnom uzorku  $\Delta V [cm^3]$ .

$$\Delta V = \frac{\Delta m}{\rho} [cm^3] \quad (1)$$

Tablica 1. Rezultati ispitivanja tri vrste prirodnog kamena

Uzorak	Vrsta kamena	Gustoća [gr/cm <sup>3</sup> ]	Upijanje vode [%]	Tlačna čvrstoća [N/mm <sup>2</sup> ]	Čvrstoća na savijanje [N/mm <sup>2</sup> ]	Volumen abrazije $\Delta V [cm^3/50 cm^2]$
*	Mramor-bijeli	2,64	0,44	144,1	13,5	9,70
**	Mramor-crni	2,65	0,40	150,3	14,5	9,2
***	Andezit	2,74	0,25	190,2	17,4	7,50

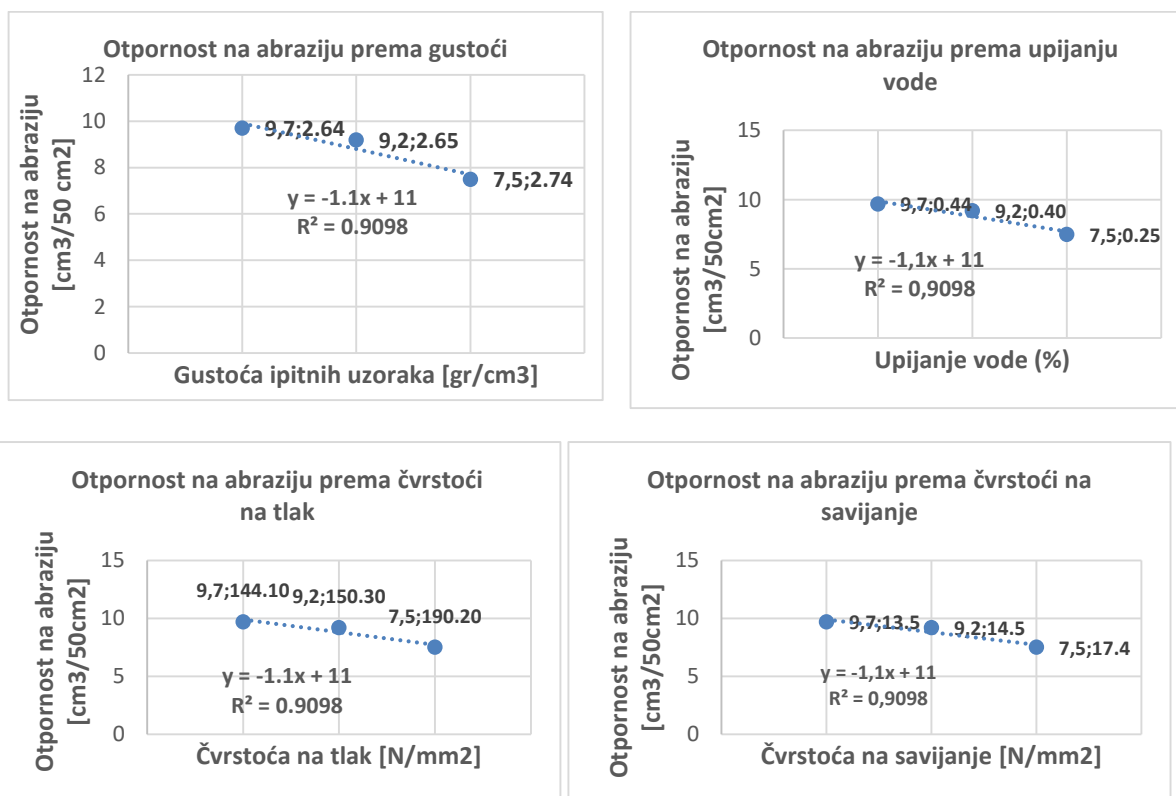
\*Mramor-bijeli – Kamenolom - tvornica kamena - Kosovo

\*\*Mramor-crni - Kamenolom - tvornica kamena - Kosovo

\*\*\*Prirodni kamen – Prirodni pločnik – Andezit-kaldrma - Kamenolom -Makedonija

Rezultati će se analizirati u odnosu na otpornost na abraziju, koja je jedan od ključnih parametara u određivanju prikladnosti primjene prirodnog kamena u javnom prostoru pri popločavanju javnih prostora.

Iz rezultata je moguće vidjeti da ispitni kamen ima različita svojstva na temelju mineraloških i petrografskih svojstava. Korelacije između parametara su opisane razdiobom vjerojatnosti. Ova analiza će pomoći u razumijevanju koja svojstva više ukazuju na otpornost na abraziju, što je i cilj ovog rada. Detaljna analiza prikazana je u sljedećim dijagramima, [6], [8].



Slika 3. Dijagrami otpornosti na abraziju u odnosu na svojstva prirodnog kamena

Kabashi, N., Krasniqi, E., Basha, R., Muhaxheri, M.

## Parametar abrazije prirodnog kamena za javnu infrastrukturu i korelacije s drugim svojstvima

Korelacije parametara ispitivanja prikazanih u dijagramima analizirat će se jednadžbama u tablici 2.

Tablica 2. Korelacijske jednadžbe koje se odnose na otpornost na abraziju

Svojstva ispitnih uzoraka	Regresijska jednadžba Odnosi otpornosti na abraziju prema parametrima
1	$y=64,39+20,77 D$
2	$y=4,61+11,51 WA$
3	$y=16,21-0,04 CS$
4	$y=17,41-0,57 FS$

### 3. ZAKLJUČCI

Prema rezultatima nakon ispitivanja za različite vrste prirodnog kamena i u korelacijama svojstava, usmjerenim na utjecaj drugih svojstava na otpornost na abraziju, daju se sljedeći zaključci:

- Mineralogija prirodnog kamena, predstavljenog u mramoru i andezitu, utjecala je na parametar abrazije u procesu primjene u javnim prostorima, posebno u umjerenom i velikom prometu.
- Određivanje karakteristika otpornosti prirodnog građevinskog kamena na abrazijsko habanje važno je za odabir odgovarajućeg materijala za javne prostore.
- U procjenama, utjecaj niskih vrijednosti svojstava ispitnog uzorka dovodi do velikog gubitka mase abrazijskim trošenjem, s posljedicama na trajnost javnih prostora.
- Kao ključni parametri u ovom slučaju, svi parametri ispitivanja su u visokoj korelaciji s ocjenama abrazije.

### LITERATURA

1. EN 14157. (2004). Natural Stone Test Methods – Determination of the Abrasion Resistance of Natural Stone Subjected to Foot Traffic. European Committee for Standardization.
2. ASTM International. (1990). ASTM C241-90: Standard Test Method for Abrasion Resistance of Stone Subjected to Foot Traffic. ASTM International.
3. EN 1341:2001. Slabs of natural stone for external paving - Requirements and test methods. European Committee for Standardization.
4. Figarska-Warchol, B., & Stanczak, G. (2019). The effect of petrographic characteristics on the physical and mechanical properties of currently exploited Pinczow Limestones-a type of Leitha Limestone (Carpathian Foredeep, southern Poland). Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 78(1), 297-309.
5. EN 1936. (2006). Natural Stone Test Methods – Determination of Real Density and Apparent Density, and of Total and Open Porosity. European Committee for Standardization.
6. Pathri, B. P., Chaudhary, R., Mali, H. S., & Nagar, R. (2017). Abrasion wear characterization of natural stones subjected to foot traffic and correlation between abrasion and mechanical properties. Journal of Building Engineering, 13, 77-87.
7. Yates, T., Richardson, D., & Miglio, B. (n.d.). Changes in Engineering Properties of Natural Stone. Proceedings of the International Conference on Engineering Geology and the Environment, 119-125.
8. Strzalkowski, P., & Koken, E. (2022). Assessment of Bohme Abrasion Value of Natural Stones through Artificial Neural Networks (ANN). Materials, 15(1), 95.