

## Linearno toplotno širenje građevinskog kamena poreklom iz plutonskih magmatskih kompleksa Eksterne vardarske zone Srbije

LIDJA M. KUREŠEVIĆ, Institut IMS, Beograd

DEJAN D. LUŽAIĆ, Institut IMS, Beograd

IVANA M. DELIĆ-NIKOLIĆ, Institut IMS, Beograd

Stučni rad

UDC: 552.3:691.2(497.11)

DOI: 10.5937/tehnika2005580K

*Toplotna svojstva građevinskog kamena koji se koristi za oblaganje vertikalnih i horizontalnih površina građevinskih objekata, naročito u eksterijeru, imaju veliki značaj za stabilnost i vek trajanja, ali i estetska svojstva obloženih površina. Linearno toplotno širenje elemenata od prirodnog kamena određuje se laboratorijskim ispitivanjima, kako bi se pri ugradnji ovih elemenata obezbedio odgovarajući prostor za dilataciju i kontrakciju materijala. Na vertikalnim i horizontalnim površinama obloženim elementima od prirodnog kamena, na kojima nije predviđen ovaj prostor, pri povišenju ambijentalne temperature, nastaju naponi koji uzrokuju deformacije i narušavanje integriteta elemenata i površina.*

*U literaturi se relativno retko nailazi na podatke o linearnom toplotnom širenju prirodnog kamena, naročito za kamen poreklom iz nalazišta u Srbiji, pa je shodno tome cilj ovog rada da doprinese poznavanju toplotnih svojstava za domaće vrste kamena.*

*Ispitivanje linearnog toplotnog širenja kamena poreklom iz osam plutonskih kompleksa Eksterne vardarske zone Srbije pokazalo je da su njihove vrednosti vrlo male, delovi milimetra, i niže u poređenju sa vrednostima toplotnog širenja genetski srodnih vrsta stena iz Kine, Brazila i istočne Srbije. Zapaženo je jasno grupisanje vrednosti toplotnog širenja kamena prema genetskim grupama kojima pripadaju plutoni iz kojih kamen potiče. Mineraloški sastav, krupnoća zrna i prisustvo metalčnih minerala u uzorcima nisu pokazali značajan uticaj na vrednosti toplotnog širenja, ali nehomogenost sklopa utiče na povišenje ovih vrednosti.*

**Ključne reči:** linearno toplotno širenje, plutoni, prirodni kamen, granit, granodiorit

### 1. UVOD

Svojstvo prirodnog kamena, bez obzira na njegovo genetsko poreklo (magmaške, metamorfne, ili sedimentne stene) je da se širi pri povišenju ambijentalne temperature, i skuplja pri opadanju (izuzeci su vrlo retki). Zato su osmišljene metode laboratorijskog ispitivanja linearnog toplotnog širenja kamenih elemenata. Ovo svojstvo prirodnog građevinskog kamena je od daleko većeg značaja za arhitektonski građevinski kamen, koji se koristi za dekorativno oblaganje horizontalnih i vertikalnih površina građevinskih objekata, naročito u eksterijeru, nego za tehnički građevinski kamen. Ako temperature oscilacije uzrokuju iznos širenja kamenih elemenata koji premašuje prostor koji je pri ugradnji kamena za ovu namenu ostavljen, nastaju

naponi i deformacije kamenih elemenata, i može doći do njihovog pucanja i ispadanja iz površine u koju su ugrađeni. Ove pojave narušavaju integritet, sigurnost i estetska svojstva površine objekta na kojem su ugrađene. Toplotno širenje nehomogenih prirodnih materijala, kao što je kamen (stena), zavisi od koeficijena širenja minerala od kojih je izgrađen, od iznosa promene ambijentalne temperature, od sklopa stene (orientacije mineralnih zrna, njihovih dimenzija), prisustva diskontinuiteta stenske mase (pora, šupljina, prslina, pukotina, žica i dr.), njihove ispunjenosti i tipa ispune, intenziteta i vrste alteracije stene.

Usled prirodne anizotropnosti stene, mineralna zrna u njenom sastavu se šire u različitim iznosima duž različitih kristalografskih pravaca, i delom se međusobno potiru. Među petrogenim mineralima, kvarc ima najveću toplotnu provodljivost, i stoga se generalno uzima da njegov udeo u sastavu stene značajno utiče na iznose toplotnog širenja [1, 2].

Kamen poreklom iz plutonskih magmatskih kompleksa, generalno ima povoljna svojstva za primenu u

Adresa autora: Lidja Kurešević, Institut IMS, Beograd, Bulevar Vojvode Mišića 43

e-mail: lidja.kuresevic@institutims.rs

Rad primljen: 13.10.2020.

Rad prihvaćen: 15.10.2020.

oblaganju građevinskih objekata: nizak sadržaj pora i šupljina, nizak stepen hidrotermalnih alteracija (osim plutona iz orudnjenih područja), niži stepen tektoniziranosti (ispucalosti), povoljno lučenje i dimenzije prirodno lučenih blokova stenske mase, homogenost sklopa i boje (izgleda) stene na većim rastojanjima i dr. Ove karakteristike, povoljne sa aspekta primene kamena u arhitektonsko-građevinske svrhe, posledica su genetskih procesa – generalno laganim i postepenim hlađenjem magme na različitim dubinama ispod površine Zemlje.

Podaci o ispitivanju toplotnih svojstava kamena poreklom iz magmatskih kompleksa Srbije su veoma retki. Iz ovog razloga, uzorci kamena poreklom iz osam plutonskih magmatskih kompleksa Vardarske zone Srbije ispitani su u Laboratoriji za kamen i agregat Instituta IMS – Beograd, sa svrhom utvrđivanja vrednosti njihovog linearnog toplotnog širenja i upoređivanja ovih vrednosti sa referentnim vrednostima za druge tipove kamena ispitane prema istoj metodi u istoj laboratoriji.

## 2. METODA ISPITIVANJA

Od svakog uzorka odabranog kamena seku se po tri opitna tela pravilnog oblika, čije su dimenzije u skladu sa uređajem za merenje širenja, ali dužine ne manje od 50 mm (postupak u svemu usklađen sa međunarodnim standardom ISO 10545-8). Poprečni presek opitnih tela je kvadratnog oblika. Dimenzije prizmatičnih opitnih tela su (što bliže): 50 mm x 5 mm x 5 mm. Ispitivanja se vrše na temperaturi do 100°C, jer pod normalnim uslovima ambijentalnih temperatura ugrađeni kamen nije izložen višim temperaturama.

Osim toga, iznad ove temperature, u zagrevanom uzorku usled ekspanzije može doći do nastanka trajnih promena – nastanka mikroprslina, faznih transformacija, hemijskih reakcija, ili narušavanja kristalne rešetke [3]. Dužina potpuno osušenih uzoraka se meri dilatometrom na sobnoj temperaturi.

Dužina opitnog tela ( $L_0$ ) i sobna temperatura ( $T_0$ ) se beleže. Nakon zagrevanja do temperature od 100°C, meri se dužina dilatiranih opitnih tela, i beleži kao  $L_{100}$ . Iznos linearnog širenja ( $\Delta L$ ) usled zagrevanja iznosi:

$$\Delta L = L_{100} - L_0 \quad (1)$$

Radi praktičnosti primene ovog rezultata, vrednost  $\Delta L$  izražena u milimetrima, deli se sa prvobitnom dužinom opitnog tela  $L_0$  izraženom u metrima, i dobija se jedinična vrednost linearnog toplotnog širenja po dužnom metru ispitivanog kamena, izražena u milimetrima ( $\Delta L'$ ).

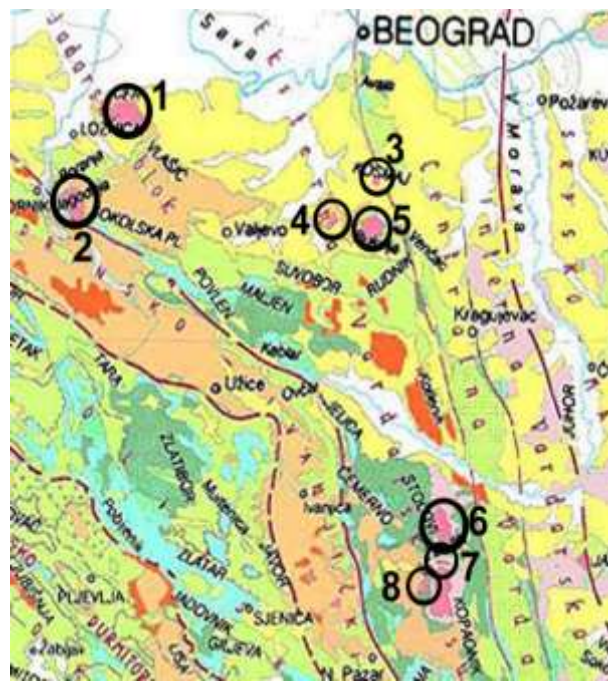
Izduženje tela jedinične dužine pri povišenju temperature za jedan stepen, ili koeficijent linearnog toplotnog širenja ( $\alpha$ ) izračunava se prema formuli:

$$\alpha = \Delta L/L_0 \cdot (100^\circ\text{C} - T_0) = \Delta L/L_0 \cdot \Delta T \quad (2)$$

## 3. REZULTATI ISPITIVANJA

Ispitani su uzorci kamena uzeti iz osam plutonskih magmatskih kompleksa Eksterne vardarske zone (slika 1), pri čemu u okviru dva plutonska masiva postoje jasne razlike u sklopu i izgledu stene između dva prisutna varijeteta, pa su ispitana oba. U masivu Boranje, varijetet A potiče iz centralnih delova masiva, i karakteriše se homogenom, masivnom teksturom, dok varijetet B potiče iz severozapadnog oboda masiva, i odlikuje se planparalelnom teksturom.

U masivu Cera, varijetet A predstavlja tamnije stene (sa većim udelom tamnih minerala), nastale u ranijoj fazi magmatske aktivnosti, dok varijetet B predstavlja svetlije (kiselije) stene, iz kasnije faze magmatske aktivnosti. Na terenu se zapaža da su oba varijeteta intimno izmešana na svim opservaciji dostupnim lokalitetima.



Slika 1 – Lokacije plutonskih masiva iz kojih su uzeti uzorci za ispitivanje (1. Cer, 2. Boranja, 3. Kosmaj, 4. Brajkovac, 5. Bukulja, 6. Željin, 7. Drenje, 8. Kremiči)[karta iz: 4, modifikovano]

U tabeli 1 su prikazani rezultati ispitivanja linearnog toplotnog širenja i koeficijenta linearnog toplotnog širenja kamena poreklom iz navedenih osam plutona (slika 1 i tabela 1), sa navedenim petrološkim tipovima stena iz kojih su uzorci uzeti.

U tabeli 2 su navedene vrednosti dobijene ispitivanjem uzoraka kamena pod istim uslovima u istoj laboratoriji, a koji potiču iz više svetskih ležišta i jednog ležišta u Srbiji, koje se nalazi u istočnoj Srbiji – izvan geotektonske jedinice Vardarske zone.

Tabela 1. Vrednosti linearnog toplotnog širenja i koeficijenta linearnog toplotnog širenja uzoraka iz plutonskih masiva Eksterne vardarske zone Srbije

Redni broj	Plutonski masiv	Petrološki tip stene	Lin. toplotno širenje $\Delta L'$ [mm/m]	Koef. linearnog topl. širenja $\alpha$ [ $\cdot 10^{-6}$ 1/°C]
1.	Cer	A – granodiorit	0.422	5.83
			0.432	5.91
			0.556	7.51
		B – granit	0.596	8.17
			0.602	8.25
			0.622	8.40
2.	Boranja	A – granodiorit (centralni delovi masiva)	0.583	7.88
			0.622	8.52
			0.685	9.13
		B – granodiorit (obodna facija)	0.476	6.34
			0.538	7.27
			0.556	7.51
3.	Kosmaj	moncogranit	0.505	6.56
			0.527	7.03
			0.543	7.24
4.	Brajkovac	granodiorit	0.382	5.40
			0.408	5.77
			0.445	6.06
5.	Bukulja	granit	0.588	7.55
			0.596	7.73
			0.604	7.74
6.	Željina	granodiorit	0.589	7.56
			0.626	8.03
			0.644	8.05
7.	Drenje	granodiorit	0.614	7.49
			0.672	8.41
			0.681	8.73
8.	Kremiči	granodiorit	0.466	5.76
			0.486	6.00
			0.544	6.88

Tabela 2. Vrednosti linearnog toplotnog širenja i koeficijenta linearnog toplotnog širenja odabranih vrsta granita izvan Eksterne vardarske zone

Redni broj	Zemlja, lokalitet	Komercijalni naziv kamena	Lin. toplotno širenje $\Delta L'$ [mm/m]	Koef. linearnog topl. širenja $\alpha$ [ $\cdot 10^{-6}$ 1/°C]
1.	Kina	"Peach Red"	0.515	6.36
			0.616	7.95
			0.636	8.10
2.	Kina	G603 "Continental"	0.566	7.35
			0.606	7.61
			0.609	7.87
3.	Brazil	"Royal red"	0.575	7.77
			0.682	8.97
			0.708	9.45
4.	Srbija, Knjaževac	"Ravno Bučje"	0.542	7.44
			0.578	7.80
			0.599	8.01

## 4. DISKUSIJA

Vrednosti linearnog toplotnog širenja kamena poreklom iz plutonskih masiva Eksterne vardarske zone Srbije pokazuju variranje u opsegu od 0.382 mm/m (granodiorit brajkovačkog masiva) do 0.685 mm/m (granodiorit boranjskog masiva, centralni delovi masiva – varijetet A).

Vrednosti koeficijenta linearnog toplotnog širenja variraju od  $5.40 \cdot 10^{-6} \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$  (granodiorit brajkovačkog masiva) do  $9.13 \cdot 10^{-6} \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$  (granodiorit boranjskog masiva, centralni delovi masiva – varijetet A). Na grafiku, slika 2, može se videti da najmanje rasipanje vrednosti pokazuju graniti Cera (varijetet B) i graniti Bukulje. Nešto veće rasipanje vrednosti od njih pokazuju granodioriti Željina.

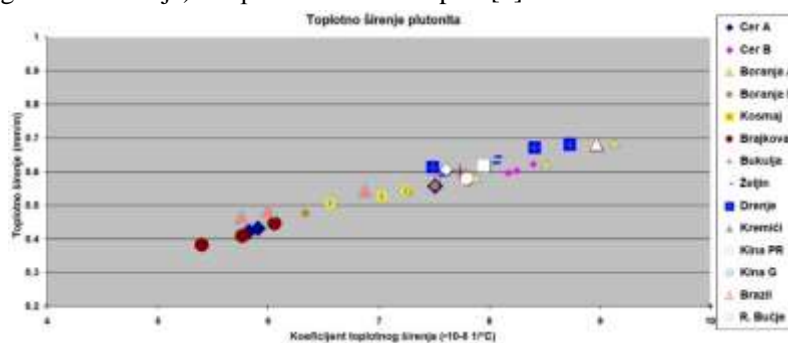
Kada se uporede dobijene vrednosti ispitanih uzoraka kamena iz plutonskih masiva sa vrednostima iz tabele 2, može se konstatovati da su opsezi vrednosti toplotnog širenja plutonita niži (granodioriti Brajkovca, Cera, Kremića i Boranje varijetet B – obodna facija, kao i moncograniti Kosmaja) do približno isti

(graniti Bukulje, granodioriti Željina, Boranje varijetet A – centralne facije) kao opsezi vrednosti za plutonske magmatske stene iz Brazila, Kine i istočne Srbije.

Budući da među petrogenim mineralima, salski minerali (kvarc, feldspati) imaju više koeficijente toplotnog širenja nego femski (olivin, pirokseni, amfiboli) [2], logično je da kiselije stene imaju viši koeficijent toplotnog širenja u odnosu na bazičnije.

Ovo podrazumeva da bi, generalno, graniti Bukulje i Cera trebalo da imaju veći koeficijent toplotnog širenja nego granodioriti. U našim ispitivanjima, dobijeni podaci potvrđuju ovu postavku, mada je zbog rasipanja vrednosti za svaki pojedinačni pluton nemoguće povući oštre granice u ovom smislu. Vrednosti toplotnog širenja ispitanih granita variraju od 0.588 do 0.622 mm/m.

Vrednosti toplotnog širenja ispitanih granodiorita variraju od 0.382 mm/m do 0.685 mm/m. Na slici 3 prikazane su vrednosti toplotnog širenja ispitanih uzoraka kamena uz uzimanje u obzir i merne nesigurnosti tip-A [5].



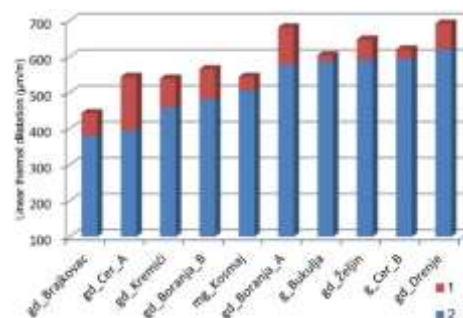
Slika 2 – Dijagram vrednosti toplotnog širenja  $\Delta L'$  i koeficijenta toplotnog širenja  $\alpha$  za plutonite sa deset uzorkovanih lokaliteta i četiri referentne vrednosti za plutonite iz svetskih i domaćih nalazišta.

U genetskom smislu, svi ispitani plutoniti, nastali su nakon završetka subdukcionih procesa u Vardarskoj zoni, zatvaranja poslednjeg okeanskog domena u oblasti Balkana (kolizije), i otpočinjanja transpresionih, relaksacionih (postkolizionih) i ekstenzionih tektonskih procesa, i pripadaju [6] kasnopaleogeno-ranoneogenoj granitoidnoj formaciji, u okviru koje su podeľjeni u dve, odnosno tri grupe:

a) magmati dinaridskog granitoidnog pojasa (Boranja, Kosmaj, Željina, Kremići, Drenja; pretežno kalkoalkalni, geohemijski I-tip; geotektonski afinitet – graniti vulkanskih lukova i postkolizioni graniti; starost kasni eocen-rani neogen) i

b) magmati južnog oboda Panonskog basena (Cer, Brajkovca, Bukulja; peraluminijski i kalkoalkalni; stariji I-tip je nastao u kasnom eocenu odnosno oligocenu [7, 8], a mlađi S-tip je nastao u ranom miocenu; geotektonski afinitet – graniti vulkanskih lukova, sin- i postkolizioni graniti).

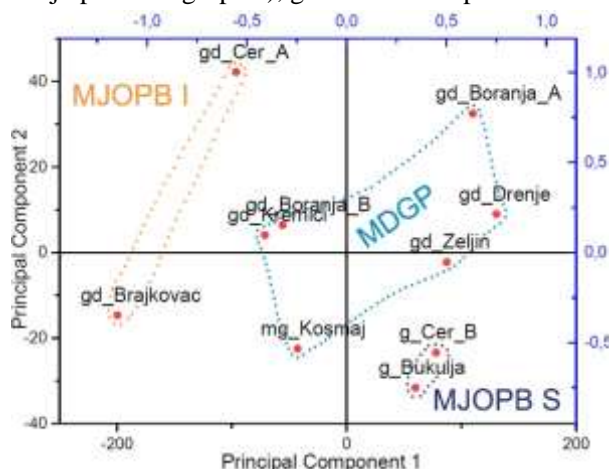
U odnosu na ovu podelu, uzorci uzeti sa dostupnih izdanaka, mogu se razvrstati na sledeći način: a) magmati dinaridskog granitoidnog pojasa – granodioriti Boranje, moncograniti Kosmaja, granodioriti Željina, Kremića i Drenja; b) magmati južnog oboda Panonskog basena, i) I-tip – granodioriti Cera (varijetet A) i Brajkovca; ii) S-tip – graniti Bukulje i Cera (varijetet B).



Slika 3 – Dijagram toplotnog širenja sa prikazom merne nesigurnosti (1. 2u – merna nesigurnost tip-A, 2. linearno toplotno širenje uzoraka)



Kada se dobijene vrednosti toplotnog širenja posmatraju sa aspekta ove genetske podele, može se konstatovati da relativno niže vrednosti toplotnog širenja imaju plutoniti grupe b), granodioriti I-tipa.



Slika 4 – Raspodela dobijenih vrednosti toplotnog širenja ispitivanog kamena uzimanjem u obzir rasipanja vrednosti (gd – granodiorit, g – granit, mg – monocgranit; MDGP – magmati dinaridskog granitoidnog pojasa; MJOPB – magmati južnog oboda Panonskog basena; S – S-tip; I – I-tip)

Principal component 1 približno odgovara meri toplotnog širenja, a Principal component 2 meri rasipanja rezultata.

Kada se uzmu u obzir samo vrednosti toplotnog širenja i opsezi rasipanja vrednosti za svaki pluton pojedinačno, na PCA biplot [9] dijagramu se zapaža jasno, mada ne oštro, grupisanje vrednosti u skladu sa navedenim genetskim grupama (slika 4). Na levoj strani grafika se grupišu uzorci sa nižim apsolutnim vrednostima toplotnog širenja, a na desnoj strani grafika sa višim vrednostima.

## 5. ZAKLJUČAK

Vrednosti toplotnog širenja ispitivanog kamena poreklom iz osam plutona Eksterne vardarske zone su generalno vrlo niske. Pri povišenju temperature do 100°C, dilatacija iznosi deo milimetra po dužnom metru kamena. Poređenjem sa ranije objavljenim podacima toplotnog širenja za vulkanite iz iste geotektonske jedinice, može se videti da su vrednosti toplotnog širenja za vulkanite i plutonite iz iste geotektonske jedinice i iste facije magmatizma vrlo bliske [10]. Iako se plutonske stene karakterišu slabije izraženom nehomogenošću i promenljivošću sklopa, stepena i tipa hidrotermalnih alteracija u poređenju sa vulkanskim stenama, u oba tipa stena vrednosti toplotnog širenja pokazuju relativno širok opseg variranja za sve ispitane lokalitete. Tendencija promene dužine je unutar opsega od 300 do 700  $\mu\text{m}/\text{m}$ . Promenljiv stepen

variranja vrednosti toplotnog širenja pokazao je da ove vrednosti nisu vezane isključivo za genetske faktore, kao ni za udeo kvarca.

Petrološki tip stene utiče na pojavu razlika u vrednostima toplotnog širenja samo u pojedinim slučajevima. Vrednosti dobijene za granite i granodiorite veoma su bliske, bez obzira na razliku u sadržaju salskih minerala [11]. Krupnoća zrna nema jasno izražen uticaj na toplotno širenje (npr. veoma krupna zrna feldspata u kosmajskom monocgranitu), kao ni prisustvo metalinih minerala (npr. pirit u obodnim facijama boranjskog i brajkovačkog granodiorita). Prisustvo planparalelne teksture (granodiorit Boranje – obodna facija i granodioriti Željina i Drenja), kao i nehomogenog sklopa uopšte, može se pozitivno korelisati sa višim vrednostima toplotnog širenja, mada je situacija u cerskom plutonu, gde je nehomogenost najintenzivnije izražena, takva da se od dve faze (stariji I-tip i mlađi S-tip granitoida) jedna javlja među najnižim, a druga među najvišim vrednostima toplotnog širenja (slika 2).

Najviše vrednosti toplotnog širenja utvrđene su kod uzoraka granodiorita iz centralnih delova boranjskog plutona. Međutim, jedan od najznačajnijih objekata u Beogradu, u koji je ugrađen kamen sa ovog lokaliteta – zgrada Glavne pošte, nije pokazao nikakva oštećenja na kamenu koja bi se mogla dovesti u vezu sa toplotnim širenjem, čak ni posle 85 godina od izgradnje [12].

Specifičnost ovog objekta je što nije obložen tankim kamenim pločama, već je izgrađen od krupnih tesanih blokova granodiorita. Ovo je pokazatelj koliki značaj ima odabir oblika u kojem će kamen biti ugrađen, i koliko su solidni tesani kameni blokovi vremenski stabilniji od ploča za oblaganje.

Značaj ovih ispitivanja za praktične namene ogleda se u poznavanju vrednosti razmaka između dekorativnih elemenata od prirodnog kamena, koji se mora ostaviti kako bi se ugrađenom kamenu omogućilo neometano širenje i skupljanje pod uticajem dnevnih i godišnjih oscilacija temperature, i sprečilo narušavanje celovitosti i estetskog izgleda kamenih površina i povređivanje prolaznika usled stvaranja napona pri dilataciji, pucanja kamenih elemenata i obrušavanja kamenih fasada.

Vrednosti toplotnog širenja kamena ugrađenog u enterijeru, od značaja su samo u određenim retkim slučajevima kada temperature imaju veliki opseg variranja, dok se u eksterijeru značajna variranja temperature odvijaju na dnevnom i godišnjem nivou bez prestanka.

Za plutonske stene kao izvor građevinskog kamena za oblaganje i gradnju, pod uslovom da nisu bile izložene hidrotermalnim alteracijama i tektonizaciji,

uticaj toplotnog širenja ima manji značaj nego za kamen poreklom iz vulkanskih masiva. Ipak, ovaj parametar treba uzeti u obzir pri eksternom oblaganju objekata.

Još jedan značajan aspekt toplotnih svojstava građevinskih materijala se ogleda u razlikama iznosa toplotnog širenja i veličina koeficijentata linearnog toplotnog širenja prirodnog kamena i proizvedenih građevinskih materijala kao što su malter i beton. Kada se zajedno ugrađuju u fasadu, obično dolazi do odvajanja ploča od maltera u njihovoj podlozi. Jedan od uzroka ove pojave je svakako razlika u njihovim toplotnim svojstvima. Rezultati ovde prikazanih ispitivanja pokazali su da se koeficijent toplotnog širenja prirodnog kamena – prvenstveno granodiorita i granita, kreće u opsegu  $5\text{-}9\cdot 10^{-6}$   $1/^{\circ}\text{C}$ , dok te vrednosti iznose  $7\text{-}14\cdot 10^{-6}$   $1/^{\circ}\text{C}$  za cementni malter i beton [13]. Stoga je potrebna primena inovativnih rešenja koja će sprečiti otpadanje ploča prirodnog kamena sa obloženih površina usled različitih vrednosti toplotnog širenja različitih slojeva fasade.

#### LITERATURA

- [1] Bilbija N. *Tehnička petrografija – svojstva i primene kamena*, Naučna knjiga, Beograd, 1984.
- [2] Hockman A, Kessler D. W. Thermal and Moisture Expansion Studies of Some Domestic Granites, *Journal of Research of the National Bureau of Standards*, vol. 44, pp. 395-410, 1950.
- [3] Robertson EC. Thermal properties of rocks, Open-file report 88-441, *U.S. Geological survey*, Virginia, 1988.
- [4] Dimitrijević M. *Geološki atlas Srbije 1:2000000*. Republički fond za geološka istraživanja i Geološki zavod – Gemini, 1992.
- [5] ISO 5725 Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results.
- [6] Cvetković V, Knežević V, Pécskay Z. Tertiary igneous formations of the Dinarides, Vardar Zone and adjacent regions: from recognition to petrogenetic implications, in Karamata S. and Janković S. (Eds), *Geology and Metallogeny of the Dinarides and the Vardar zone*, The Academy of Sciences and Arts of the Republic of Srpska, p. 245-252, 2000.
- [7] Cvetković V, Koroneos A, Christofides G, Poli G, Knežević V, Erić V. Granitoids of mt. Cer and mt. Bukulja and their significance for geodynamics of the Southern Pannonian realm. in *Proc. 17th congress of Carpathian-balkan geological association*, Bratislava, Slovakia, 1-4 September 2002.
- [8] Koroneos A, Poli G, Cvetković V, Christofides G, Krstić D. Pécskay Z. Petrogenetic and tectonic inferences from the study of the Mt Cer pluton (West Serbia). *Geological magazine*, vol. 148, no. 1, pp. 89-111, 2011.
- [9] Everit B, Hothorn T. *An Introduction to Applied Multivariate Analysis*, Springer, 2016.
- [10] Kurešević L, Delić-Nikolić I, Vušović O. Linearno termičko širenje arhitektonskog kamena vulkanskog porekla iz Vardarske zone. U *Proc. simpozijuma Društva građevinskih konstruktora Srbije*, Zlatibor 15-17.09.2016., str. 1005-1012, 2016.
- [11] Kurešević L. *Potencijalnost tercijarnih magmatskih kompleksa Vardarske zone Srbije sa aspekta arhitektonskog građevinskog kamena*, Doktorska disertacija, Rudarsko-geološki fakultet Univerziteta u Beogradu, 254 str, 2013.
- [12] Marčeta L, Ivović B, Delić-Nikolić I. Ocena stanja građevinskog kamena ugrađenog u eksterijer objekta Glavne pošte u Beogradu. U *Proc. 6. naučno-stručnog savetovanja „Ocena stanja, održavanje i sanacija građevinskih objekata i naselja“*, Divčibare, 19-21 May 2009, pp. 391-396, 2009.
- [13] Engineering ToolBox, (2003). Coefficients of Linear Thermal Expansion. [online] Available at: [https://www.engineeringtoolbox.com/linear-expansion-coefficients-d\\_95.html](https://www.engineeringtoolbox.com/linear-expansion-coefficients-d_95.html) [Accessed 18-09-2020].

## SUMMARY

### LINEAR THERMAL EXPANSION OF THE BUILDING STONE FROM PLUTONIC MASSIFS OF THE VARDAR ZONE OF SERBIA

*Thermal properties of the building stone used for cladding and flooring, especially in exteriors, are significant for durability and lifespan of buildings' surfaces covered with it, but also their aesthetic properties in the sense of integrity. Linear thermal expansion of natural stone units is determined in laboratory examinations, aiming to provide the value of yield between the units as free space for their dilatation and contraction upon temperature oscillations. Where this space is not provided, diurnal changes, especially temperature increase, create stone expansion and tension which can lead to deformations of stone units and mar units' and covered surfaces' integrity and aesthetics.*

*Data on linear thermal expansion values of natural stone, especially from Serbia, are very rare in the literature, so our aim is to contribute to this type of knowledge.*

*Examination of thermal dilatation of stone originating from eight plutonic massifs in External Vardar zone of Serbia has shown that the values are very small, parts of millimetres, and lower than those of the similar rock types originating from China, Brazil and eastern Serbia. A clear grouping of the values of thermal expansion of the stone according to the genetic groups to which the plutons belong to can be observed. Mineral composition, grain size and presence of metallic minerals in samples have shown no clear influence on thermal dilatation values, but fabric inhomogeneity appears to cause the increase of these values.*

**Key words:** *linear thermal expansion, plutons, natural stone, granite, granodiorite*