

# POMEN POZNANJA TOPLOTNIH IN ELASTIČNIH LASTNOSTI NARAVNEGA KAMNA PRI UPORABI V GRADBENIŠTVU

## THE IMPORTANCE OF KNOWING THE THERMAL AND ELASTIC PROPERTIES OF NATURAL STONE WHEN USED IN THE BUILDING INDUSTRY

Ana Mladenovič<sup>1</sup>, Nada Vižintin<sup>1</sup>, Breda Mirtič<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Zavod za gradbeništvo Slovenije, Dimičeva 12, 1000 Ljubljana

<sup>2</sup>Oddelek za geologijo, NTF, Aškerčeva 12, 1000 Ljubljana

*Prejem rokopisa – received: 1998-11-10; sprejem za objavo – accepted for publications: 1999-01-07*

Pri uporabi naravnega kamna v gradbeništvu, še zlasti pri projektiranju fasadnih oblog, so izjemno pomembni podatki o njegovih toplotnih in elastičnih lastnostih, ki so bile na enajstih izbranih vrstah slovenskega naravnega kamna določene prvič. Izmerili smo toplotno prevodnost, linearni toplotni razteznostni koeficient, module elastičnosti in Poissonovo število. Ugotovili smo, da sta najpomembnejša dejavnika, ki določata vrednost toplotnih in elastičnih parametrov preiskanih vrst naravnega kamna, mineralna sestava in tekstura. V splošnem imajo apnenci, če jih vrednotimo s kakovostnimi merili za naravni kamen, boljše toplotne in elastične lastnosti v primerjavi s silikatnimi ali tistimi kamninami, ki imajo izraženo nehomogeno teksturo zaradi poroznosti in mikrorazpokanosti (lehnjak, peščenjak, breča). Rezultati so osnova za optimalno dimenzioniranje in vgrajevanje preiskanih vrst naravnega kamna.

Ključne besede: naravni kamen, toplotne lastnosti, elastične lastnosti, gradbeništvo

When natural stone and its products are used in the building industry, particularly for cladding panels, it is very important that the designer should have available all necessary data about the thermal and elastic properties of such material. These properties have been determined systematically for the first time for eleven different types of stone found naturally in Slovenia. Measurements were made of their thermal conductivities, coefficients of linear thermal expansion, moduli of elasticity and Poisson's ratios. It was found that the most important factors affecting the measured thermal and elastic characteristics of the investigated types of stone are mineral composition and texture. In general, limestones, when assessed by known quality criteria for natural stone, have better thermal and elastic properties than those of stone obtained from silicate rocks or rocks having a relatively non-homogeneous texture due to porosity and the presence of micro-cracks (tuffs, sandstone, breccia). The results obtained provide a good basis for the optimization of the design and installation of the investigated types of stone.

Key words: natural stone, thermal properties, elastic properties, building industry

### 1 UVOD

V gradbeništvu vedno obravnavamo naravni kamen kot samostojen konstrukcijski gradbeni element, ki mora ustrezati zahtevam glede dolgoročne obstojnosti, estetskega videza, funkcionalnosti in zlasti varnosti v načrtovani dobi uporabnosti.

Pri tem je pomembno evidentiranje in kvantificiranje napetosti, ki bodo delovale na kamen na mestu vgradnje in poznanje ter pravilna interpretacija njegovih obstojnostnih in tehničnih karakteristik.

Zlasti za projektiranje fasadnih oblog iz naravnega kamna so izjemno pomembne toplotne in elastične lastnosti, ki so bili na slovenskem naravnem kamnu določene prvič.

Pri reprezentativnih vzorcih naravnega kamna iz enajstih kamnolomov smo določili toplotno prevodnost, linearni toplotni razteznostni koeficient, module elastičnosti in Poissonovo število.

Potreba po določitvi toplotne prevodnosti izhaja iz ugotovitev v svetu, da je propadanje naravnega kamna tesno povezano s toplotnimi karakteristikami kamnine<sup>1</sup>. Pojav je v neposredni zvezi s temperaturo, ki jo doseže površina kamna, pri čemer je ta sorazmerna z albedom,

toplotno prevodnostjo in specifično toploto kamna. Temen kamen z nizko toplotno prevodnostjo toplote ne bo prepuščal v globino, temveč jo bo zadržal na površini, kjer bo visoka temperatura delovala kot katalizator procesov propadanja.

Toplotni razteznostni koeficient in parametri elastičnosti sodijo med najpomembnejše dejavnike pri načrtovanju uporabe in tehnologije vgrajevanja naravnega kamna<sup>2,3,4</sup>. Ali bo plošča iz naravnega kamna skozi načrtovano uporabnostno dobo fasade lahko prenesla predvidene obremenitve, je odvisno izključno od njenih notranjih karakteristik, od katerih so elastične lastnosti med najpomembnejšimi. Iz podatkov o vrednosti koeficienta linearnega toplotnega raztezka in modulov elastičnosti lahko namreč predvidimo obseg deformacij vgrajene kamnine, ki jih povzročajo napetosti, nastale zaradi temperaturnih nihanj in drugih sil, ki delujejo v konstrukciji. To je izjemno pomembno v primeru, ko je kamen vgrajen v konstrukcijo na takšen način, da so možnosti njegovega raztezanja omejene. Nevarnost nastanka deformacij, ki vplivajo na varnost, stabilnost in estetski videz materiala, je namreč tedaj mnogo večja. Vpogled v proces pa nam obenem



**Sliki 1 in 2:** Poškodbe nedilatirane kamnite obloge zaradi toplotnega raztezanja. Raztezanje je v ploščah marmorja povzročilo napetosti, ki se niso mogle sproščati v dilatacijski prostor. Zato se je pojavilo odpadanje obloge, kjer je bila prijemljivost z veznim materialom slaba ali pa je prišlo do predrabljanja zrn kalcita ob stičnih ploščah

**Figure 1 and 2:** The consequences of the fixing of marble cladding panels to a concrete beam using adhesive, without adequate anchorage. No thermal expansion joints were allowed for between the individual panels, resulting in large stresses. As a result, several panels fell off, and the remaining panels were damaged along their vertical edges, where the grains of calcite were locally crushed

omogoča, da z ustreznimi projektantskimi rešitvami napetosti korigiramo in nadzorujemo (**sliki 1 in 2**).

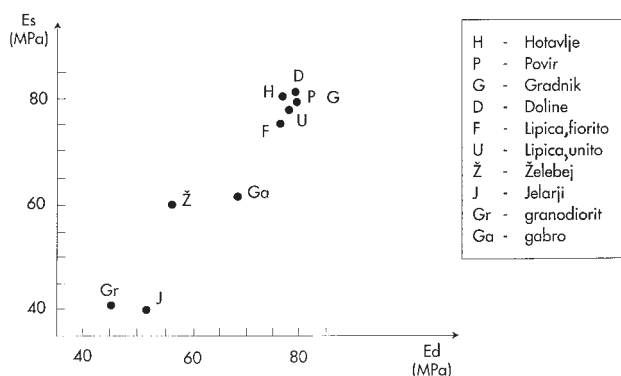
## 2 EKSPERIMENTALNO DELO

### 2.1 Uporabljeni materiali in metode

Meritve so bile izvedene na enajstih vzorcih naravnega kamna, in sicer na apnencih iz kamnolomov Lipica, Doline, Gradnik in Hotavlje, na apnenčevem peščenjaku iz kamnoloma Jelarji, apnenčevi breči iz kamnoloma Želebej, granodioritu iz kamnoloma Cezlak I in gabru iz kamnoloma Cezlak II.

Toplotna prevodnost je bila določena po standardizirani stacionarni metodi JUS U.A2.020<sup>5</sup>, ki je predpisana za meritve toplotne prevodnosti gradbenih materialov.

Linearni toplotni razteznostni koeficienti so bili določeni po modificirani metodi 25 P.E.M<sup>6</sup>, ki jo za ta namen predlaga RILEM. Prednosti te metode sta v primerjavi z meritvijo v klasičnem dilatometru dve: meritev poteka na preizkušancih, ki so dovolj veliki, da je vpliv nehomogenosti v kamnini minimaliziran, poleg tega pa ima v izbranem temperaturnem področju, v primerjavi z dilatometrom, dovolj veliko občutljivost.



**Slika 3:** Pozitivna koleracija med statičnim modulom elastičnosti  $E_s$  in longitudinalnim dinamičnim modulom elastičnosti  $E_d$

**Figure 3:** The experimentally-obtained positive correlation between the static elastic modulus  $E_s$  and the longitudinal dynamic elastic modulus  $E_d$  of the investigated natural stones

Parametri elastičnosti vzorcev naravnega kamna so bili določeni po standardih, ki so sicer vpeljani za potrebe določanja elastičnih konstant betona. Statični modul elastičnosti je bil določen po standardu JUS U.M1.025<sup>7</sup>, dinamični longitudinalni in transverzalni modul elastičnosti pa po standardu JUS U.M1.026<sup>8</sup>.

### 3 REZULTATI IN RAZPRAVA

Rezultati meritev so prikazani sumarno v **tabeli 1**.

#### Toplotna prevodnost

Mc Greevy<sup>1</sup> je dokazal odvisnost med parametri, ki določajo toplotne lastnosti in odpornostjo proti preperevanju. Najbolj občutljive so temne kamnine z nizko toplotno prevodnostjo. Te toploto zadržujejo na površini, kjer deluje kot katalizator preperevanja. Na podlagi meritev toplotnih parametrov sklepamo, da so na vrhu kakovostne lestvice že preizkušene in uveljavljene kamnine: oba različka apnenca iz kamnoloma Lipica in apnenec iz kamnoloma Hotavlje. Obe silikatni kamnini s Pohorja (granodiorit in gablo), apnenčev peščenjak iz kamnoloma Jelarji ter apnenec iz kamnoloma Doline po teh predpostavkah, ki jih bomo preverili tudi eksperimentalno, sodijo med kamnine, kjer ima pri preperevanju velik delež insolacija.

#### Linearni toplotni razteznostni koeficient

Z meritvami toplotnih razteznostnih koeficientov smo pridobili podatek o pričakovanem obsegu raztezanja suhe kamnine pod določenimi temperaturnimi obreme-

**Tabela 1**

Vrsta kamnine, kamnolom	Toplotna prevod. (W/mK)	Linearni toplotni raztezn. koeficient ( $\times 10^{-6}/K$ )	Statični modul elastičnosti (MPa)	Dinamični longitud. modul elastičnosti (MPa)	Dinamični transverz. modul elastičnosti (MPa)	Poissonovo število
<b>APNENCI</b>						
Kamnolom Lipica, unito	$1,5 \pm 0,1$	6,1(1) 7,1(2)	77733	78567	30082	0,30
Kamnolom Lipica, fiorito	$1,6 \pm 0,1$	6,2 7,5	74860	75904	29170	0,30
Kamnolom Doline	$1,2 \pm 0,1$	6,4 7,5	80271	78789	29930	0,31
Kamnolom Povir	–	7,3	78423	78827	30230	0,30
Kamnolom Hotavlje	$1,6 \pm 0,1$	7,3	78212	77053	29156	0,32
Kamnolom Gradnik	$1,6 \pm 0,1$	7,0	79026	79384	30591	0,30
<b>APNENČEVA BREČA</b>						
Kamnolom Želebej	$1,3 \pm 0,1$	7,3	56223	60039	24144	0,24
<b>APNENČEV PEŠČENJAK</b>						
Kamnolom Jelarji	$1,1 \pm 0,1$	9,7	40541	51579	22603	0,14
<b>LEHNJAK</b>						
Kamnolom Jezersko	–	9,7	10180	12961	5261	0,23
<b>GRANODIORIT</b>						
Kamnolom Cezlak I	$1,0 \pm 0,1$	8,4	41437	45204	19684	0,13
<b>GABRO</b>						
Kamnolom Cezlak II	$1,1 \pm 0,1$	9,9	62075	68987	30055	0,15

nitvami in možnost presoje termične kompatibilnosti z drugimi materiali v konstrukciji. V okviru meritev je bilo ugotovljeno tudi nelinearno razmerje med raztežkom in temperaturnim območjem. V višjem temperaturnem območju je raztežek kamnine večji.

#### *Elastične lastnosti*

Najvišje vrednosti parametrov elastičnosti in Poissonovega koeficienta imajo apnenci, kar kaže, da so te kamnine težko deformabilne in sposobne razmeroma enakomerno prenašati obremenitve, ne glede na smer delovanja sile. Granodiorit in gabro imata nekoliko nižje vrednosti elastičnih konstant v primerjavi z apnenci, bistvena razlika pa je v vrednosti Poissonovega števila. Ugotovljena je bila pozitivna korelacija med statičnim modulom elastičnosti  $E_s$  in longitudinalnim dinamičnim modulom elastičnosti  $E_d$  (slika 3).

#### **4 SKLEP**

Najpomembnejša dejavnika, ki določata vrednost toplotnih in elastičnih lastnosti preiskanih vrst naravnega kamna, sta mineralna sestava in tekstura. V splošnem imajo apnenci, če jih vrednotimo s kakovostnimi merili za naravni kamen, boljše toplotne in elastične lastnosti v

primerjavi s silikatnimi ali ostalimi kamninami, ki imajo izraženo nehomogeno teksturo zaradi poroznosti in mikrorazpokanosti (lehnjak, peščenjak, breča). Rezultati so osnova za optimalno dimenzioniranje in vgrajevanje preiskanih vrst naravnega kamna.

#### **5 LITERATURA**

- <sup>1</sup> McGreevy, J.P.: Thermal properties as controls on rock surface temperature maxima, and possible implications for rock weathering, *Earth Surface Processes and Landforms*, (1985) 10, 125-136
- <sup>2</sup> Bilbija, N.: Tehnička petrografija, Naučna knjiga, Beograd, (1984)
- <sup>3</sup> Donaldson, B.: New Stone Technology, Design and Construction for Exterior Wall Systems, ASTM Committee C18 on Natural Building Stones and ASTM Committee E6 on Performance of Building Constructions, 1988
- <sup>4</sup> Wang, M.L., Sakamoto, I. and Bassler, B.L.: Cladding, Council on Tall Buildings and Urban Habitat, Committee 12A, McGraw - Hill Inc., 1992
- <sup>5</sup> JUS U.A2.020, Preiskava gradbenih materialov. Ugotavljanje toplotne prevodnosti s pomočjo grelnih plošč, Savezni zavod za standardizacijo, Beograd, 1983, 11 str.
- <sup>6</sup> Test N° VI. 3, Thermal Expansion. RILEM 25 P.E.M. Commission, Paris, 1978
- <sup>7</sup> JUS U.M1.025, Beton, Određivanje statičkog modula elastičnosti pritiskom, Savezni zavod za standardizacijo, Beograd, 1982, 3 str.
- <sup>8</sup> JUS U.M1.026, Beton, Određivanje dinamičkih modula elastičnosti i Poissonovega koeficijenta, Savezni zavod za standardizacijo, Beograd, 1992, 5 str.