

STUDY OF THE THERMAL RADIATION OF BODIES DEPENDING ON THE GEOMETRY OF THE SURFACE AND THEIR STRUCTURE

Plamen Savov, Stanislav Stoykov, Liubomir Mihailov, Radostin Pazderov

University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, 1700 Sofia; E-mail: psavov@mgu.bg, stoykovst@gmail.com, l.89.mihaylov@gmail.com, rpazderovov@mgu.bg

ABSTRACT. According to world statistics, about a third of the energy used by people goes to heat their homes. That is why the search, development, and creation of materials with good thermal insulation properties, which are both moisture- and noise-insulating and at the same time relatively cheap, is a great challenge for scientists and engineers. The presented work discusses the results obtained from the study of the heat transfer process depending on the geometry of the surface and the structure of materials suitable for cladding. Based on Newton's equation for cooling, the values of the parameter in the exponent were calculated for different bodies with different surface roughness.

Key words: cooling equation, heat transfer, thermal insulation materials.

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ТОПЛИННОТО ИЗЛЪЧВАНЕ НА ТЕЛАТА В ЗАВИСИМОСТ ОТ ГЕОМЕТРИЯТА НА ПОВЪРХНОСТТА И СТРУКТУРАТА ИМ

Пламен Савов, Станислав Стойков, Любомир Михайлов, Радостин Паздеров

Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София

РЕЗЮМЕ. Според световната статистика, около една трета от енергията, използвана от хората, се консумира за отопление на техните домове. Ето защо търсенето, разработването и създаването на материали с добри термоизолационни свойства, които да са и влаго-, и шумоизолиращи, и едновременно с това и сравнително евтини, е голямо предизвикателство пред учените и инженерите. В представената работа се дискутират резултати, получени от изследване на процеса на топлоотдаване в зависимост от геометрията на повърхността и структурата на подходящи за облицовка материали. На базата на уравнението на Нютон за охлаждането са пресметнати стойностите на параметъра в експонентата за различните тела с различна грапавост на повърхността.

Ключови думи: уравнение на охлаждане, топлоотдаване, топлоизолационни материали.

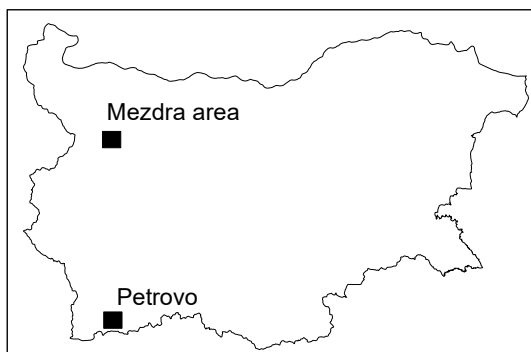
Въведение

В публикацията се дискутират експерименталните резултати, получени в резултат на изследване на процеса на топлоотдаване на два типа скално-облицовъчни материали (варовици и мрамори), в зависимост от тяхната геометрия и текстуриране (степен на заглаждане на повърхността им).

Мраморите и варовиците се разкриват на големи площи в Южна и Западна България (мрамори) и предимно Северна България (варовици). Мраморите са широко използвани като скално-облицовъчен материал, инертен материал за гражданското и пътното строителство, както и като суровина за химическата промишленост.

Варовиците (тип „врачански камък“) са традиционен скално-облицовъчен материал.

Предмет на настоящите изследвания са варовиците от района на Мездра – находище „Требежа“, и мраморите от Находище „Петрово“, фиг. 1.



Фиг. 1. Схема на районите на находищата на варовици и мрамори

Целта на настоящото изследване е да се оценят свойствата на карбонатните скали като материал за съхранение на топлинна енергия, генерирана през деня от възобновяеми енергийни източници и нейното потенциално използване през нощта (Coletti et al., 2021; Фокин, 1973). В представената работа се дискутират резултати, получени в резултат на изследване на процеса на топлоотдаване, в зависимост от геометрията на повърхността и структурата на подходящи за облицовка материали. На базата на уравнението на Нютон за охлаждането са пресметнати стойностите на параметъра в експонентата за различните тела с различна грапавост на повърхността.

Мраморът от находище Петрово е част от птотерозойската Асеновградска група на Родопската супергрупа. Находището се намира край село Петрово Югозападна България. Мраморите са бели, снежнобели до сиви и фини до среднозърнести (Б. Петров). Те показват масивна структура и фина до едрозърнеста или гранобластна текстура. Изследваните проби са изработени от снежнобели сортове фини до среднозърнести скали (0,1 до 0,5 mm). Минералният състав на мраморите е представен от калцит (90 – 95 %) и второстепенни минерали като доломит (0 – 6 %), мусковит, плагиоклаз, титанит и рутил. Химичният състав на мраморите от находище Петрово показва съдържание на CaO (53,6 тегл. % средно при 86 анализа), MgO – 1,4 тегл. % (Петров, 1979).

Изследваните **варовици от района на с. Горна Кремена, Врачанско** са типичен представител на т.нар. кариерни варовици, ползвани за добив на скално-облицовъчен материал. Варовиците са бели до кремави, порцелановидни, плътни биодетритусни с фин до дребен псамит. Изградени са от микрит (микрозърнест калцит) в количество до

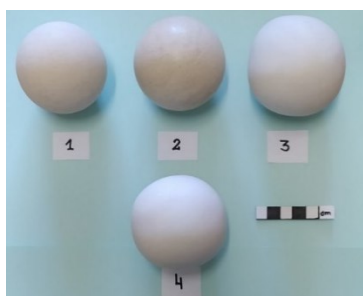
25-30% и прекристализирал микрит от матрикса до бистър микроспорит. Всред микритната маса се наблюдават сравнително равномерно разпределени алохеми в количество до 70-80%, представени от биокласти от цели, запазени фосилни останки и от заоблени организмови фрагменти: фораминифери, изградени от микрозърнест калцит с останки от бодлокожи – криноиди и схиниди, изградени от калцит, прекристализирал до монокристали, заоблени останки от мидени – гастроподни черупки, по-малко остраподни черупки. Теригенните примеси не надвишават 1%. Представени са от кварц под формата на единични монокристални зърна или агрегати от 2-3 зърна. Размерите им са в рамките на фин псамит (0,06-0,1 mm). Химичният състав на варовиците от района на Мездра показва следното съдържание на основни оксиди: CaO 46,06 тегл. %, SiO₂ 19,27 тегл. % и MgO 0,29 тегл. %. Някои от основните физични свойства са специфично тегло: 2,71 g/cm³, обем на порите: 16,61 %, водопоглъщане: 3,2 %, Таблица 1.

Таблица 1. Физикомеханични показатели на изследваните варовици и мрамори

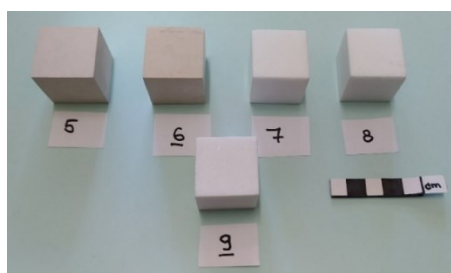
Параметър	Мрамор	Варовик
Специфична плътност	2.74	2.71
Обемна плътност	2.68	2.26
Обем на порите [%]	2.47	16.61
CaO [wt. %]	53.6	46.06
MgO [wt. %]	1.4	0.29
SiO ₂ [wt. %]		19.27

Материали и изследване на пробните тела

За да се установи зависимостта на коефициента на топлопреминаване k от вида на материала, формата и неговата повърхност, експериментите са проведени на кубична и сферична форми от варовик и мрамор, които са с различна степен на изглаждане (степен на грапавост) на повърхността им – фино шлифовани, грубо шлифовани и набраздени (фиг. 2, 3 и 4, таблица 2). Пробните тела са с различна геометрия, като сферите са с по-голям обем от кубчетата.



Фиг. 2. Пробни тела – сфери от варовик и мрамор - фино и грубо шлифовани



Фиг. 3. Пробни тела – кубчета от варовик и мрамор - фино и грубо шлифовани



Фиг. 4. Пробни тела – кубчета и сфери от варовик и мрамор - набраздени

Таблица 2. Пробни тела – кубчета и сфери за изследване на процеса на топлоотдаване

№	материал	Степен на изглаждане
1, 5	варовик	грубо шлифован - limestone 1
2, 6	варовик	фино шлифован -limestone
3, 9	мрамор	грубо шлифован – marble 1
4, 7, 8	мрамор	фино шлифован - marble
10, 11	варовик	набразден - limestone 2
12, 13	мрамор	набразден – marble 2

Резултати и дискусия

Законът на Нютон за охлаждането е основният закон, който описва скоростта на пренос на топлина от тялото към околната среда чрез радиация. Скоростта на охлаждане на дадено тяло е правопрпорционална на температурната разлика тяло–околна среда и намалява експоненциално с времето (Frank, 2007).

Законът на Нютон за охлаждането е специален случай на закона на Стефан-Болцман.

$$T(t) = T_A + (T_H - T_A)e^{-kt}$$

където,

$T(t)$ - температура в момент t ;

T_A - температура на околната среда;

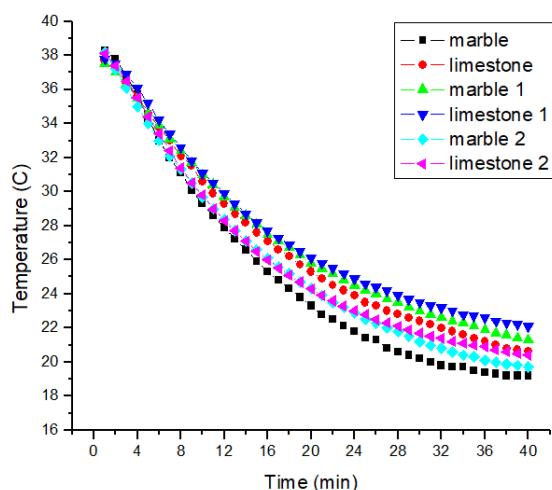
T_H - температура на нагретия обект;

k - е положителната константа и t е времето.

В закона на Нютон за охлаждане, k е константа на пропорционалност, известна като коефициент на топлопреминаване, определен от повърхността на охлаждащия се обект и материалите на обекта и околната среда. В случая се обсъжда коефициента на топлопреминаване k в уравнението на закона на Нютон за охлаждане. K е константата, която зависи от материала, площта на повърхността и формата, т.е. промяната на материала, повърхността или формата води до промяна на константата k в закона на Нютон за охлаждането.

За да бъде определена стойността на k , е необходимо да се изследва функцията на охлаждане на даденото тяло във времето.

За целта образецът се нагрява равномерно в термокамера, след което върху него се прикрепва термодатчика на термолотер. Термолотерът записва данните за температурата през зададен интервал (в случая през 1 min) след което, на базата на експерименталните данни се изчертава и съответната графика на процеса на охлаждане (фигури 5 и 6).



Фиг. 5. Резултатите от изследване на процеса на охлаждане на кубчетата с различна степен на грапавост

Вижда се, че при гладка повърхност кубчето мрамор се охлажда по-бързо от варовика. Това се дължи на факта, че мраморът има около 3 - 4 пъти по-голяма топлопроводност от тази на варовика.

Мраморът е с по-високо обемно тегло, т.е. по-голяма плътност и по-нисък % обем на порите. По-високият процент на порестост при **варовика** обуславя и по-високия процент въздух, съдържащ се в него. Въздухът е един от най-добрите топлоизолатори и поради това варовикът отдава топлината с по-ниска скорост, в случая – по-ниска в сравнение със скоростта на топлоотдаване на мрамора.

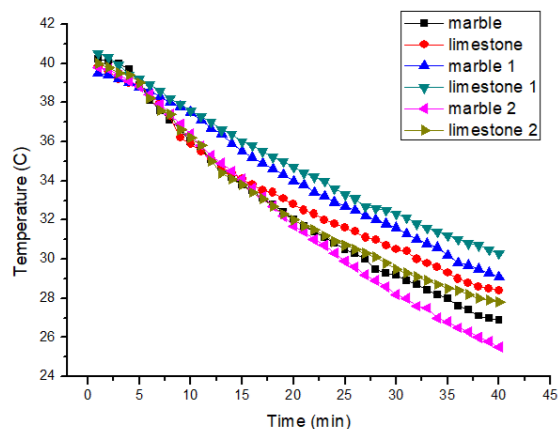
Върху скоростта на топлоотдаване явно оказва влияние и **степената на хомогенност и изотропност**, които доста се различават при двата типа скали.

При седиментните скали, в частност при изследваните образци от **варовик**, се наблюдава текстурираност, успоредна на плоскостта на напластяване, като изотропност по отношение на скоростта на топлоотдаване се проявява в направлениата, перпендикулярни на напластяването (Бабаев и др., 1987; Вахромеев и др., 1997).

Мраморите са преобладаващо мономинерални агрегати, в чийто състав над 90% присъстват изометрични зърна на прекристализирал калцит. Това обуславя и по-високата степен на изотропност, в сравнение с тази на варовиците (Кобранова, 1986; Ржевский и Новик, 1984; Фоменко, 2011).

Интересно е да се отбележи, че първоначално, при определена степен на грапавост, скоростта на охлаждане на образците намалява, като при по-нататъшно увеличение на грапавостта (и съответно на излъчващата повърхност) скоростта на охлаждане започва да нараства (фиг. 5). Наблюдава се също така и намаляване на разликата в скоростите на охлаждане между двата вида образци, което би могло да се дължи на включване и на конвективния начин на охлаждане, освен радиационния.

При сферичните образци се наблюдава подобна зависимост на охлаждането. Скоростта на охлаждане на мраморното кълбо е по-висока от тази на кълбото от варовик (фиг. 6). Този процес се наблюдава и при различните степени на грапавост. Тук е интересно да се отбележи, че кривите на охлаждане при грапава повърхност на сферите започват да се отклоняват от експоненциалния профил, който се генерира от формулата на Нютон за охлаждането.



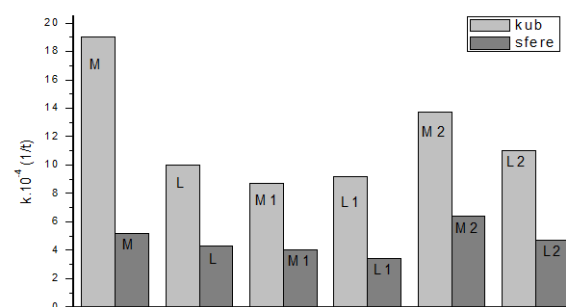
Фиг. 6. Резултатите от изследване на процеса на охлаждане на сфери с различна степен на грапавост

За да се пресметне параметъра **k** за всеки един от експерименталните образци, е необходимо да се реши уравнението на Нютон за охлаждането спрямо **k**.

След логаритмуване и кратки преобразования уравнението придобива вида:

$$k = -\frac{1}{t} \left(\frac{T(t) - T_A}{T_0 - T_A} \right)$$

След като се заместят стойностите на температурите за всеки един образец и за всеки експеримент за **k** на кубчетата и сферите се получават стойности – представени на фиг. 7.



Фиг. 7. Стойности на параметъра **K** при всеки един от изследваните образци

От фиг. 7 се вижда, че и при двете геометрични форми на образците стойностите на параметъра **k** за мрамора са по-големи в сравнение с тези на варовика.

Освен това, стойността на параметъра **k** е значително по-голяма при малките кубчета в сравнение с тази на по-големите по обем сфери.

Интересно е да се отбележи, че тенденцията на промяна на параметъра **k** с нарастване на грапавостта и за двете форми и двата материала има еднакво поведение, като се наблюдава първо един минимум в стойностите при първата степен на грапавост (фигури 5 и 6).

Заклучение

От получените експериментални резултати и техния анализ може да се заключи следното:

- Независимо от формата и грапавостта на тялото, при еднаква повърхност, мраморния образец се охлажда радиационно с 2 – 3 пъти по-голяма скорост от варовика;
- Първоначално, при определена степен на грапавост скоростта на охлаждане на образците намалява, като при по-нататъшно увеличение на грапавостта (и съответно на излъчващата повърхност) скоростта на охлаждане започва да нараства;
- Тенденцията на промяна на параметърът k с нарастване на грапавостта и за двете форми и двата материала има еднакво поведение, като се наблюдава първо един минимум в стойностите при първата степен на грапавост.

Благодарности: на Георги Цветков, управител на фирма „Председник“ ООД, за оказаното съдействие при предоставяне и обработка на материалите – пробни тела, необходими за извършване на експериментите.

Литература

- Бабаев, В. В., Будымка В. Ф., Сергеева Т. А. (1987). *Термофизические свойства горных пород*. М., Недра, 157 стр.
- Вахромеев, Г. С., Ерофеев Л. Я., Канайкин В. С., Номоконова Г. Г. (1997). *Петрофизика*, Томск.
- Кобранова, В. Н. (1986). *Петрофизика*. М., Недра, 392 стр.
- Ржевский, В. В., Новик, Г. (1984). *Основы физики горных пород*. Москва, Недра, 360 стр.
- Фокин, К. (1973). *Строительная теплотехника ограждающих частей зданий*. Стройиздат, Москва, 1973, 289 стр.
- Фоменко, Н. (2011). *Физика горных пород*. Новочеркасск, 144.
- Coletti, Ch., Al. Borghi R. Cossio, M. Chiara Dalconi, Giorgia Dalla Santa, Luca Peruzzo, Raffaele Sassi, Arianna Vettorello, Antonio Galgaro. (2021). A multi-scale methods comparison to provide granitoid rocks thermal conductivity. *Construction and Building Materials* 304 (2021) 2-13.
- Frank, I. (2007). *Fundamentals of heat and mass transfer*. John Wiley & Sons. 2007, 1070 p.