

THERMODYNAMIC FEATURES OF SOME TYPES OF ROCK

R. Pazderov¹, P. Savov¹, P. Petrov²

¹University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, 1700 Sofia; E-mail: rpazderovov@mgu.bg, psavov@mgu.bg

²Earth and Man National Museum, 1421 Sofia; petkopet@abv.bg

ABSTRACT. Thermal, moisture and sound insulation are among the main properties of building materials. The necessity of environmental protection and the growing energy crisis are raising the issue of energy saving. A large share of energy loss occurs in poorly insulated buildings. The dependence of the thermal conductivity coefficient of some main types of rock depending on their specific weight and structure has been studied. Based on these measurements, the coefficient of thermal conductivity and heat capacity of the samples was calculated. Determining those thermodynamic parameters provides information about the thermal insulation properties of materials.

Key words: thermal conductivity, thermal insulation

ТЕРМОДИНАМИЧНИ ОСОБЕНОСТИ НА НЯКОИ ВИДОВЕ СКАЛИ

Р. Паздеров¹, П. Савов¹, П. Петров²

¹Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София

²НМ “Земята и хората”, 1421 София

РЕЗЮМЕ. Едни от основните свойства на строителните материали е тяхната термо-, влаго- и звукоизолация. Стремехът за опазване на околната среда и нарастващата енергийна криза поставят все по-остро въпросът от икономия на енергията. Голям дял от загубата на енергия се получава при недобре изолирани сгради. В представената работа са направени изследвания на зависимостта на коефициента на температуропроводност на някои основни видове скали, в зависимост от тяхното специфично тегло и структура. На базата на тези измервания е пресметнат и коефициента на топлопроводност и топлоемност на образците. Определянето на тази група термодинамични параметри дава информация за термоизолационните свойства на материалите.

Ключови думи: температуропроводност, топлопроводност, термоизолация.

Въведение

В гражданското строителство се използват разнообразни скално-облицовъчни материали като се цели от една страна постигане на декоративно художествен ефект, а от друга – осигуряване на колкото е възможно по-добра изолация на сградата (Фокин, 1973, Frank et al., 2007). Различните естествени скални материали притежават различни термо-, влаго- и звукоизолационни качества (Фоменко, 2011). В повечето изследвания, авторите разглеждат поведението на топлопроводността при различни гранични условия и скални образци. Теплопроводността обаче е типичен параметър при стационарни топлинни процеси. Обикновено в природата и бита процесите са нестационарни и тогава обективен показател за термичните свойства на скалите е температуропроводността (Ржевский, Новик, 1984). В тази работа, е изследвана температуропроводността на няколко скални образци. Направен е анализ как хомогенността, степента на текстуриране и спецификата в свойствата на минералите, изграждащи изследваните образци влияят върху този важен термодинамичен параметър.

Материали и подготовка на пробните тела

За провеждане на изследванията на температуропроводността бяха избрани четири различни скални образци – такива, които често се използват като скално - облицовъчен материал, както за външна, така и за вътрешна облицовка, а някои от тях - и като градежен камък:

- гнайс от района на Йвайловград;
- варовик от находище Требежа;
- мрамор от Копривлен;
- зеолитизиран туф от района на Джебел;

От тези материали бяха изработени пробни тела - кубчета с дължина на ръбовете от по 3 cm (фиг 1.).

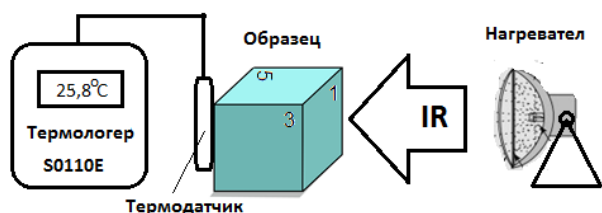


Фиг 1. Анализирани пробни тела; от ляво на дясно: гнайс, варовик, мрамор, зеолитизиран туф.

Размерът от 3 cm на пробните тела е избран така, че да съответства на най-често ползваната дебелина на плочите за външна облицовка на сградите.

Еднаквите по форма и размери пробни тела – кубчета, осигуряват избягване на влиянието на размера на пробното тяло и съпоставимост на получените резултати. При тази опитна постановка максимално изпъкват породените от петрографските особености на образеца анизотропии на показателите при различните петрографски разновидности.

Проведени са измервания на температуропроводността в три взаимни перпендикулярни посоки – тези на срещуположните стени на кубчетата (фиг. 1 и 2).



Фиг. 2. Схема на експерименталната постановка.

Кратка минералого-петрографска характеристика на подобрите образци

Гнайс от района на Ивайловград:

Макроскопски гнайсите са левкократни, сивкавожълтеникави, дребнозърнести, с неиздържан дребноочковидност строеж. Текстурата им е ивичесто-шистозна, дребноочковидност-шистозна, а структурата - катаклазна, мирмекитова, лепидо-гранобластова, пойкилобластова, дребноочковидна и катакластична. В минералният състав вземат участие: първични минерали: плагиоклаз, калиев фелдшпат, кварц, биотит, мусковит, гранат, апатит, циркон, руден минерал; вторични минерали: железни хидроокиси, хлорит, рутил и серицит-хидрослюда.

Микроскопски гнайсите се определят като тектонизирани, дребноочковидности, двуслюдени, мигматични.

Варовик от находище Требежа, Врачанско: изследваният образец е от района на с. Горна Кремена, Врачанско и типичен представител на т.нар. карирени 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).

Мрамор от Илинден:

Изграден е от калцит, като се срещат единични люспи мусковит и редки дребни зърна от кварц и апатит. Калцитовите зърна са ксенобластни, неправилни и изометрични, по-рядко лещоподобни или ромбодричноподобни. В тях се наблюдават срастъчни ламели, които са разположени както паралелно, така и косо на посоката на субпаралелните ивици. Малки калцитови зърна по периферията на поедриите калцитови зърна са с идентична ориентация и вероятно са показател за рекристализация с миграция на зърновите граници тип "left-over grains", която е характерна за калцита още при ниска степен на метаморфизъм.

Зеолитизиран туф/игнимбрит от района на Джебел:

Розова пирокластична скала със зеленикави и розови стъклени фрагменти, с размери около 1 cm и кристалокласти от кварц, фелдшпати и биотит. Текстурата е масивна, псевдофлуидална, а структурата - кристаловитрокластична, игнимбритова, аксиолитова.

В състава вземат участие стъклени фрагменти (фияме), кристалокласти (кварц, плагиоклаз, санидин, биотит, титанит), литокласти, пепелни стъклени частици. Стъклените фрагменти (фияме) са около 20%. Те са удължени, по-рядко изометрични. Изградени са от девитрифицирано до влакнест и микрозърнест агрегат вулканско стъкло, на места с аксиолитова структура. Част от тях съдържат редки фенокристали от магматично кородирани кварц. Кристалокластите са от кварц, плагиоклаз, санидин, биотит и титанит. Литокластите са представени от много редки късове от кисели вулканити. Пепелните стъклени частици запълват пространството между стъклените фрагменти и кристалокластите. Те са безцветни, до бледожълтозеленикави, девитрифицирани във влакнест и микрозърнест агрегат, променени в глинести минерали, хлорит и зеолити. Формата им е неправилна, огъната и деформирана, с типична псевдофлуидална текстура. Най-често обтичат кристалокластите.

Методика на изследванията и провеждане на експериментите

На фиг. 2 е показана схема на постановката, използвана за измерване на температуропроводността на образците.

По дефиниция температуропроводността е право пропорционална на топлопроводността и обратно пропорционална на топлинния капацитет на тялото.

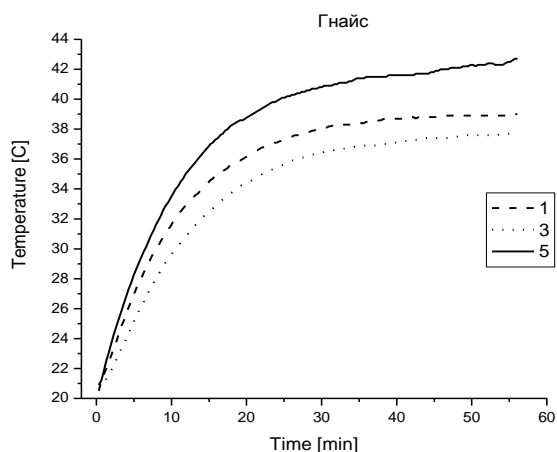
Температурата и влажността на околния въздух при всички експерименти (с изключение на последния) бяха еднакви – съответно 25°C и 45%. За измервания и запис на промяната на температурата на противоположната на нагряваната стена на образеца беше използван термологер SO110E. Той записваше стойностите на температурата на всеки 30 s. Продължителността на записите бе избрана достатъчно дълга, така че да се гарантира установяване на термично равновесие в образеца.

При експериментите бе извършено ориентирано нагряване на всяко едно от пробните тела в три взаимно перпендикулярни посоки – от едната към другата срещуположна стена на кубчето. Нагряването на образците бе проведено по следните схеми:

- нагриване в посока перпендикулярна на пластовостта/шистозността;
- нагриване в посока на пластовостта/шистозността и перпендикулярна на линейността;
- нагриване в посока на пластовостта/шистозността и успоредно на линейността.

Експериментални резултати и дискусия

На фиг. 3, 4, 5 и 6 са представени графиките на промяната на температурата с времето при нагриване на четирите вида образци/пробни тела. По абсцисата е нанесено времето в минути, а по ординатата – температурата в градуси по Целзий. Степента на температуропроводността може да бъде отчетена по стойността на ъгъла, който сключва кривата с ординатата (температурната ос) т.е. „стръмнината на кривата“ – по-стръмна крива (по-малък ъгъл) – по-висока температуропроводност.



Фиг. 3. Графиките на температуропроводността при гнайса.

При гнайса (фиг. 3) ясно се вижда различната температуропроводност в зависимост от направлението на нагриване. По направление, успоредно на шистозността и перпендикулярно на линейността, скоростта (направление 3) е най-ниска, а по направление, успоредно на шистозността и успоредно на линейността (направление 5) – най-висока. Температурно равновесие се постига за около 20 min след началото на нагриване. Разликата при двете направления в стойностите на температурно равновесие („платото“ на кривите) е около 4 – 5 градуса. Вижда се, че по направление, успоредно на шистозността и перпендикулярно на линейността, (направление 3), термоизолационните свойства са най-силно изразени.

Температуропроводността на скалите зависи не само от минералния състав, но и от много други фактори – структурно-текстурни особености, порестост, относителен и абсолютен размер на зърната. При наличие на текстурна анизотропия, обусловена от слоестостта при седиментните и шистозността при метаморфните скали, температуропроводността винаги е по-висока в направление, успоредно на текстурирането (слоестост, шистозност).

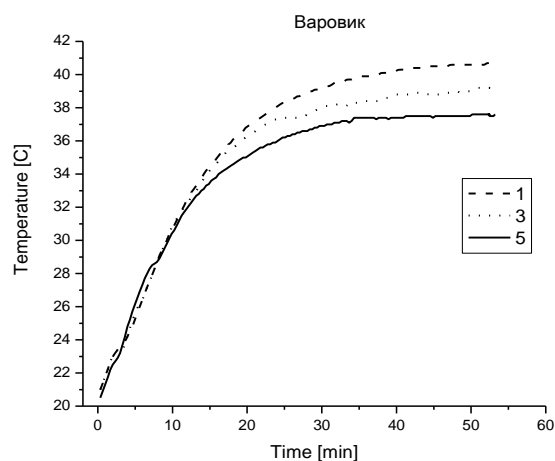
При изследвания образец от гнайс, в направление 1, явяващо се перпендикулярно на плоскостта на нашистява-

не, се отчита междинна стойност за скоростта на температуропроводност (крива 1 на фиг. 3).

В направления, успоредни на паралелната шистозност и съответно перпендикулярно и успоредно на линейността, се отбелязва значителна разлика в скоростите на температуропроводност. Кварцът като главен скалообразуващ минерал в гнайсите е един от минералите с много висока температуропроводност, но върху нея оказва влияние и ориентировката на зърната.

При метаморфните скали, линейността в плоскостта на нашистяването довежда до удължаване на кварцовите агрегати в направление на тази линейност. Поради това, като цяло, в това направление има повече кварцови зърна, контактуващи едно с друго и е най-малък броят на граници между минералните зърна (във връзка с удължените зърна на минералите в това направление). В плоскостта на нашистяването, но в посока перпендикулярна на линейността (направление 3) има повече на брой граници между минерални зърна. Освен това влияние оказват не само кварцовите зърна, но и от другите скалообразуващи минерали в гнайса – фелдшпати и слюди. Допуска се, че се наслабва и влиянието на още един фактор – порестостта; по-високата порестост се свързва с по-ниска температуропроводност. С това авторите свързват получения резултат в направление, успоредно на паралелната шистозност и перпендикулярно на линейността (направление 3) – контрастно изразени термоизолационни свойства, респективно – ниска скорост на температуропроводност. В направление 5, успоредно на плоскостта на нашистяване и съвпадащо с линейността (удължението на „очите“ в гнайсите) температуропроводимостта е по-голяма, в съответствие с по-голямата температуропроводност на кварца (Coletti et al., 2021).

При варовика (фиг. 4) отново се наблюдава разлика в стойностите на температуропроводността, като тук, обаче, разликите по различните направления при достигане на температурно равновесие (нивото на платото) са в диапазона 3 – 4 градуса.

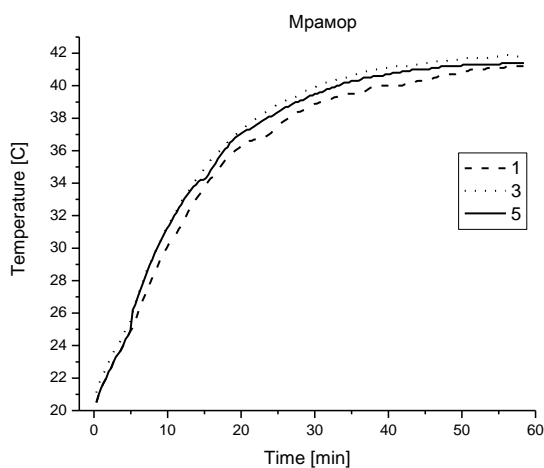


Фиг. 4. Графиките на температуропроводността при варовик

В случая най-добре се изолира по направление 5, успоредно на плоскостта на напластяване и перпендикулярно на удължението на алохемите в образеца. В тази посока са най-добрите термоизолационни свойства на варовика. При седиментните скали като цяло се проявява изот-

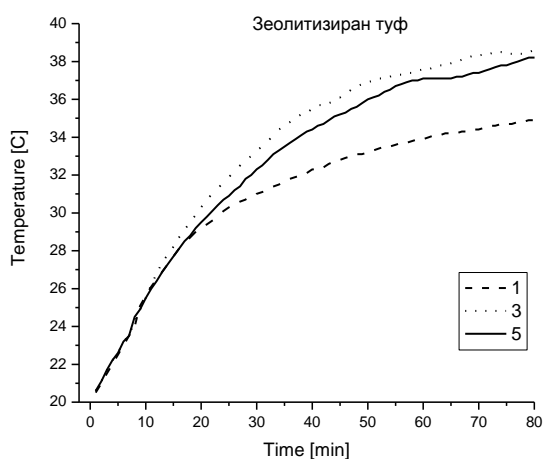
ропност в направлението, перпендикулярни на напластяването.

При **мрамора** (фиг. 5) се установява най-малката разлика в стойностите на температурите, достигнати при равновесие (по-малка от градус). Това се свързва с най-високата степен на изотропност на мрамора и съответно малките отклонения в стойностите на температуропроводността в различните посоки. Мраморите са преобладаващо мономинерални агрегати, в чийто състав над 90% присъстват изометрични зърна на прекристализиран калцит. Това предопределя тяхната изотропност във всяко едно от трите взаимно перпендикулярни направления и получените почти идентичните резултати за стойността на температуропроводност. Примерно, **направление 5** е по удължението на агрегатите - псевдофлуидалност.



Фиг. 5. Графики на температуропроводността при мрамор

При **зеолитизирания туф** (фиг. 6) се наблюдава силна аномалия между направление, успоредно на удължението на псевдофлуидалността (1) и останалите две.

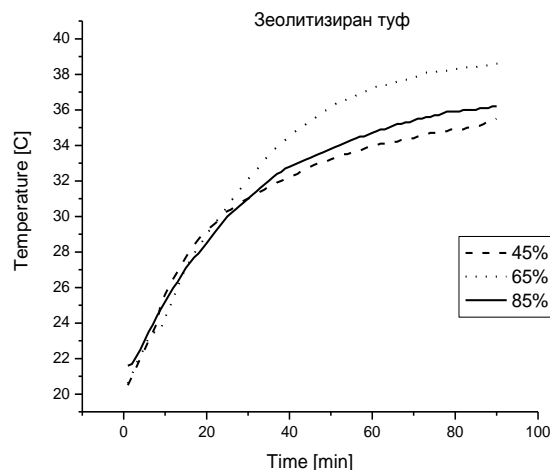


Фиг. 6. Графики на температуропроводността при зеолитизирания туф.

Разликата между стойността на температурата в областта на платото при тази посока 1 е повече от 2 градуса, докато между другите две посоки 3 и 5 разликата е под градус. Наблюдаваната аномалия би могла да се дължи на

анизотропията на образеца. В скалата се наблюдава отчетлива псевдофлуидалност - линейност (видна и макроскопски), обусловена от паралелно-линейното подреждане на стъкловидните фрагменти т.нар. „фияме“, кристалокласти и литокласти.

На фиг. 7 са показани кривите на промяната на температурата на образеца във времето при различна влажност на околния въздух. И трите измервания са проведени по едно и също направление на нагряване.



Фиг. 7. Графики на температуропроводността при зеолитизирания туф при различна степен на влажност.

От фигурата се вижда, че при повишаване на влажността от 45% до 65% разликата в температурите на равновесие е около 4 градуса, като при по-нататъшно повишаване на овлажняването разликата спада до около 1 градус. Това аномално поведение се дължи на факта, че крайният резултат се дължи на едновременното действие на два антагонистични процеса. По дефиниция температуропроводността е право пропорционална на топлопроводността и обратно пропорционална на топлинния капацитет на тялото. При невисоки стойности на овлажняване температуропроводността се увеличава за сметка на увеличението на топлопроводността. При по-нататъшно нарастване на влажността на образеца температуропроводността расте по-бавно заради нарастване на топлинния капацитет на овлажнения образец, който започва да доминира като фактор над ефекта от топлопроводността.

Заключение

На този етап от изследванията, авторите се абстрахират от анализа на абсолютните стойности на температуропроводността, а се прави една сравнителна нейна оценка – при кой скален образец и в коя от трите взаимно перпендикулярни негови посоки се получава по-висока скорост на **температуропроводност**, съответно и най-силно изразени термоизолационни свойства, както и опит за обяснението на тези резултати. При различните петрографски разновидности се отчита влиянието на различни фактори върху температуропроводността: степен на хомогенност или хетерогенност по отношение на минералния състав, степен на текстуриране (степен на подреденост/ориентираност на съставните части/минералните

зърна в скалния образец), дължащ се на слоестост, шистозност (паралелна, линейна), както и на специфика на свойствата на минералите, изграждащи изследваните образци.

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

- при скали с видимо изразено текстуриране се вижда, че в различните направления има ясно изразена анизотропия в термоизолационните свойства;
- най-добра изотропност на температуро-проводността се наблюдава при преобладаващо мономинерални агрегати, каквито са мраморите;
- показано е, че влиянието на влажността върху температуро-проводността (особено при някои скали като туфите) е сложна функция на взаимното влияние на топлопроводността и топлинния капацитет на скалите.

Благодарности: Авторите изказват благодарност на проф. д-р С. Приставова, доц. д-р Б. Банушев за предоставените минералого-петрографски определения на изследваните петрографски

образци, благодарности на геолог Димитър Стоянов и на Стефан Стефанов за подготовката на кубичните пробни тела.

Литература

- 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. *Fundamentals of heat and mass transfer*. John Wiley & Sons. 2007, 1070 p.
- Ржевский, В. В., Новик Г. 1984. *Основы физики горных пород*. Москва, Недра, 360 стр.
- Фокин, К. 1973. *Строительная теплотехника ограждающих частей зданий*. Стройиздат, Москва, 289 стр.
- Фоменко, Н. 2011. *Физика горных пород*. Новочеркасск, 144.