

30. Setkání kateder mechaniky tekutin a termomechaniky



22.-24.6. 2011

Špindlerův Mlýn

Jednotlivý příspěvek ze sborníku



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Vplyv vlhkosti na tepelnú vodivosť hornín

Michaela Chovancová, Jana Stránska, Milan Malcho

- ¹ Ing. Michaela Chovancová, Žilinská univerzita v Žiline, Univerzitná 2, 01026 Žilina, michaela.chovancova@fstroj.uniza.sk
² Ing. Jana Stránska, Žilinská univerzita v Žiline, Univerzitná 2, 01026 Žilina, jana.stranska@fstroj.uniza.sk
³ Prof. RNDr. Milan Malcho, PhD., Žilinská univerzita v Žiline, Univerzitná 2, 01026 Žilina, milan.malcho@fstroj.uniza.sk

Abstrakt: *Väčšina hornín sa vyznačuje pomerne dobrým vedením tepla, ktoré možno kvantifikovať súčiniteľom tepelnej vodivosti. Ten ovplyvňuje nielen štruktúra hornín, ich pórovitosť a hustota, ale najmä ich vlhkosť. V príspevku sú uvedené niektoré experimentálne výsledky a analýza merania vplyvu vlhkosti na tepelnú vodivosť hornín.*

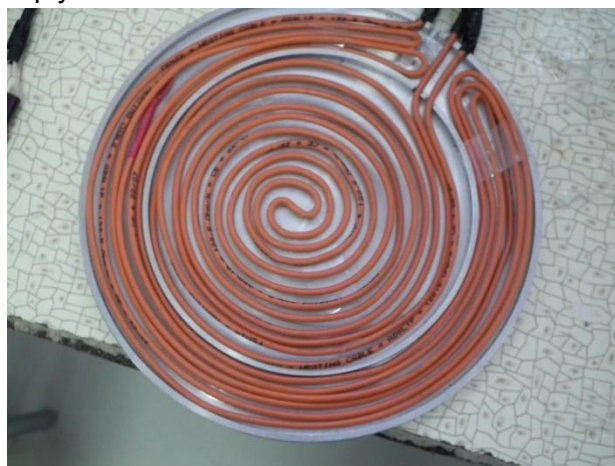
1. Úvod

Všetky materiály disponujú vlastnosťou vedenia tepla. Niektoré sú vynikajúcimi vodičmi, iné teplo nevedú takmer vôbec. Veľmi zaujímavou skupinou materiálov sú horniny. Na svete existuje veľmi veľa rôznych druhov a poddruhov. Využívajú sa prakticky všade a na rôzne účely. Niekedy je treba dobrá schopnosť vedenia tepla danej horniny, no v niektorých prípadoch požadujeme skôr vlastnosť opačnú. Túto vlastnosť určuje súčiniteľ tepelnej vodivosti. Podľa jeho nameraných hodnôt sa určuje ďalšie využitie horniny pri vedení a akumulovaní tepla resp. pri tepelnom izolovaní. Schopnosť horniny dostatočne viesť teplo je základnou podmienkou pre získavanie nízkopotencionálnej energie z horniny. Pretože na tepelnú vodivosť niektorých hornín výrazne vplyva obsah vody v hornine, je zaujímavé preskúmať, ako tento parameter ovplyvní vlhkosť. Experiment popísaný v príspevku je uskutočnený na meracom zariadení skonštruovanom na KET SJF v Žiline.

2. Popis meracej metódy

Jednou z metód pre určovanie tepelnej vodivosti je stacionárna metóda dosky^[1] a na jej princípe je navrhnuté a aj skonštruované

meracie zariadenie. Jedná sa o elektricky vyhrievanú kruhovú alumíniovú platňu o priemere 200 mm (obr.1), ktorej súčasťou sú dve odporové špirály navíjané zo špeciálnych odporových káblov. Jedna je umiestnená v strede dosky a má teplotu t_1 . Jej výkon je rovný tepelnému toku, ktorý vstupuje do zeminy. Druhá špirála je umiestnená po okrajoch platne, je zohrievaná na teplotu t_1 a jej úlohou je eliminácia okrajového efektu teplotného poľa. To znamená, že tepelné toky unikajúce do izolácie nebudú výraznejšie negatívne ovplyvňovať meranie.



Obr. 1: Umiestnenie odporových vodičov v elektricky vyhrievanej platni

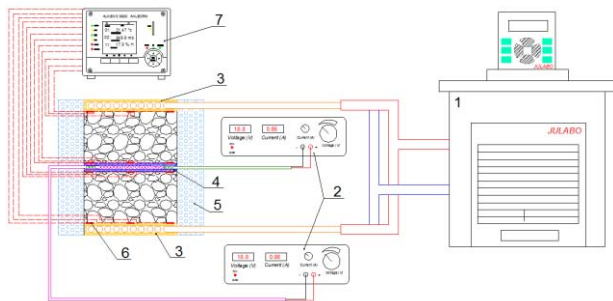
Odporové vodiče sú napojené na dvojitý jednosmerný laboratórny napájací zdroj elektrickej energie, ktorý má plynule nastaviteľné výstupné napätie alebo plynule nastaviteľný výstupný prúd.

Na celú plochu alumíniovej dosky sa z hornej aj zo spodnej časti umiestni meraná vzorka horniny o celkovej ploche S , ktorej celková hrúbka je od 10 do 100 mm. Vzorka musí mať po celej ploche rovnakú hrúbku a paralelné povrchy. Konštantná teplota t_2 na vonkajšej strane horniny je zabezpečená termostatizovanými doskami (termoplatňami) (obr. 2). Termoplatne sú alumíniové dosky o priemere 200 mm, ktoré majú v sebe navinuté kapilárne rúrky o vonkajšom priemere 4 mm.



Obr. 2: Uloženie kapilárnej rúrky v termoplatni

V kapilárach za pomoci obehového termostatu prúdi chladiaca voda o konštantnej teplote t_2 . Aby sa získali presné hodnoty teplôt, na okrajové časti vzoriek sa z oboch strán umiestnia fóliové teplomery. Celé zariadenie je odizolované od okolia polystyrénom ISOVER EPS 50.



Obr.3: Zapojenie zariadenia na meranie tepelnej vodivosti hornín, 1) obehový termostat Julabo, 2) regulovateľné zdroje jednosmerného elektrického prúdu, 3) termoplatne, 4) elektricky vyhrievaná alumíniová platňa, 5) izolácia isover EPS50, 6) fóliové teplomery, 7) meracia ústredňa

Aby sa mohol určiť tepelný tok cez horninu, je potrebné nastaviť elektrickým výkonom špirály potrebný tepelný spád na vrstve horniny. Tepelný výkon sa určí jednoducho ako Joulove teplo uvoľnené na odporovej špirále. Z hodnoty jednosmerného elektrického napätia prúdu sa potom vypočíta tepelný výkon na odporovom telese ako

$$P = U \cdot I \quad [\text{W}]. \quad (1)$$

Tepelný tok, ktorý sa transportuje do zeminy sa rovná elektrickému výkonu špirály a môžeme ho stanoviť z Fourierovho zákona

$$\dot{Q} = \frac{\lambda(t_1 - t_2) \cdot S}{l} \quad [\text{W}]. \quad (2)$$

Tepelná vodivosť sa potom určí z meraných veličín vyjadrením z rovnice (2) podľa vzťahu

$$\lambda = \frac{\dot{Q} \cdot l}{(t_1 - t_2) \cdot 2S_1} \quad [\text{W/m.K}], \quad (3)$$

kde

λ - tepelná vodivosť vzorky [W/mK],

\dot{Q} - tepelný tok vysielaný z elektrickej platničky [W],

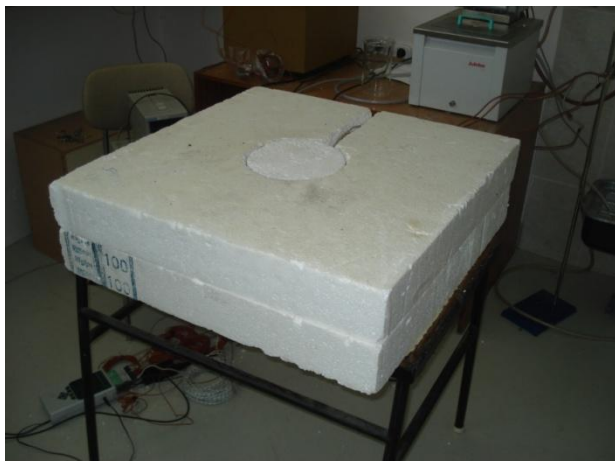
l - hrúbka jednej vzorky [m],

S_1 - plocha vzorky umiestnenej nad špirálou navinutou v strede dosky [m²],

t_1 - teplota vzorky na vstupe tepelného toku [°C]

t_2 - teplota vzorky na výstupe tepelného toku [°C].

Kontrolné meranie tepelnej vodivosti sa uskutočnilo na polystyréne o priemere 200 mm a výške 50 mm. Hodnoty tepelnej vodivosti polystyrénu sa pohybujú v rozmedzí od 0,039 do 0,08 W/m.K v závislosti na jeho hustote. Pomocou nášho meracieho zariadenia bola nameraná hodnota 0,075 W/m.K. Výsledok merania sa pohybuje v reálnych číslach.



Obr. 4: Meracie zariadenie uložené v izolácii a pripravené na meranie

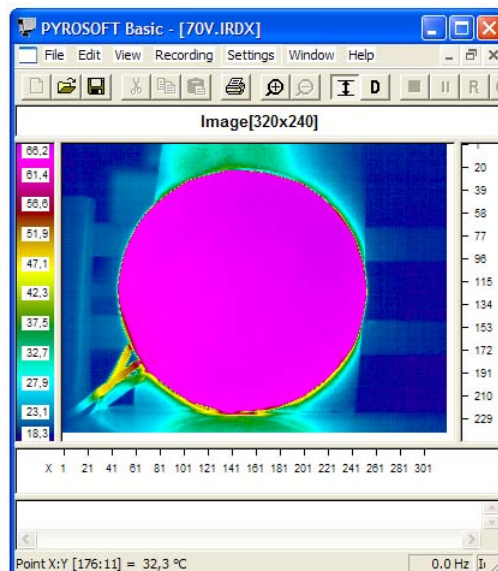
3. Príprava vzoriek

Pre určenie vplyvu vlhkosti na tepelnú vodivosť hornín bol ako skúšobná hornina použitý piesok jemnozrnný znečistený. Na meranie bolo nutné pripraviť dve totožné vzorky o priemere 200 mm a výške 50 mm. Aby experiment nebol negatívne ovplyvnený rôznymi objemovými hmotnosťami vzoriek pre daný objem vzorky bolo použité rovnaké množstvo piesku a to 2,2 kg. Prvé meranie sa uskutočnilo na piesku pri jeho pôvodnej vlhkosti 7%. Pre ďalšie zisťovanie vplyvu vlhkosti na tepelnú vodivosť sa použila tá istá vzorka, ktorá sa v prvom rade vysušila na hodnotu blížiacu sa k 0% vlhkosti a následne sa dovlhčovala. Dôležité bolo zabezpečiť, aby vzorky všetkých meraní mali totožnú mernú hmotnosť (hmotnosť bez vody), pretože ich rôzne hodnoty by ovplyvnili výsledky merania. Keďže vzorky boli rovnakým spôsobom pripravované a stláčané, vplyv pórovitosti sa pri meraní zanedbal.

4. Meranie vplyvu vlhkosti na tepelnú vodivosť piesku

Pred samotným meraním bolo nutné zahriať elektrickú platničku a zistiť, za akú dobu sa plne nahrejú odporové káble a či sa teplota na povrchu platničky rovnomerne rozloží. Pomocou termovíznej kamery bolo zistené, že platnička umiestnená v miestnosti pri priestorovej teplote 20 °C napájaná

elektrickým napätím v rozsahu od 50 - 90 V, sa plne nahriala za 3 hodiny a dosiahla maximálnu teplotu 90°C. Podobne boli zmerané aj termoplatne, ktoré dosiahli teplotu 15°C a rovnomerné rozloženie teplôt za 90 minút.



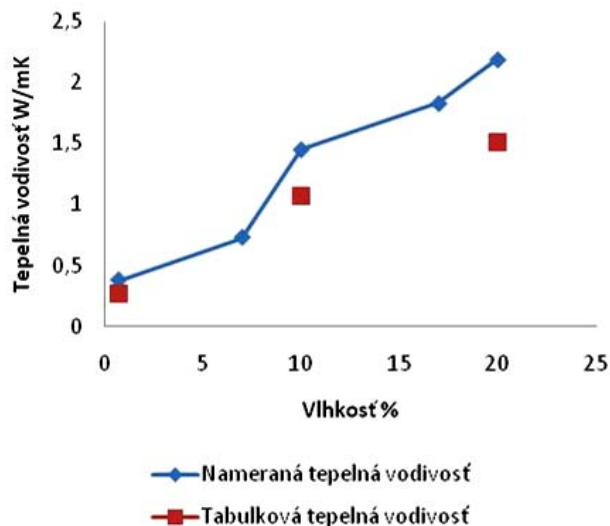
Obr. 5: Snímka z termovíznej kamery - elektrická platnička

Termoplatne a pripravené vzorky boli vkladané priamo do polystyrénu slúžiaceho ako izolácia (podľa obr.3). Pri meraní sa tepelná vodivosť λ určovala pre vysušenú vzorku, s vlhkosťou 0,706%, ďalej pre vzorku s vlhkosťou 7%, 10%, 17%, a 20%. Meranie jednej vzorky trvalo v priemere 4 hodiny. Výsledky experimentu spracované podľa vzťahov (1), (3) sú uvedené v tabuľke 1. Pri všetkých meraniach bola totožná kontaktná plocha vzorky (0,0153 m²) a aj hrúbka vzorky (do vzťahu bola zadaná hodnota 44mm, pretože teplotné snímače sú uložené z každej strany 3 mm v hornine).

Tab. 1 Namerané hodnoty a výsledky merania

Vlhkosť [%]	\dot{Q} [W]	t_1 [°C]	t_2 [°C]	λ [W.m ⁻¹ K ⁻¹]
0,71	15	81	24	0,379
7	15	46	16,6	0,73
10	19,2	36	17	1,45
17	19,2	28,7	13,6	1,83
20	30,5	55	35	2,19

Z výsledkov merania vyplýva, že vplyv vlhkosti na súčiniteľ tepelnej vodivosti nie je spravidla priamo úmerný množstvu vlhkosti, lebo rastie pri menších vlhkostiach rýchlejšie ako pri väčších.



Obr. 6: Graf závislosť tepelnej vodivosti od vlhkosti a porovnanie s tabuľkovými hodnotami

Namerané hodnoty boli porovnané s tabuľkovými hodnotami pre znečistený piesok. Ako vidieť na grafe, čím väčšia vlhkosť, tým sú väčšie absolútne odchýlky medzi nameranými a tabuľkovými hodnotami. Keďže nie je jednoduché presne definovať znečistenie piesku, nami namerané hodnoty môžeme považovať za reálne.

5. Záver

Meranie nám potvrdilo dobre známy fakt, že tepelná vodivosť rastie rýchlejšie pri nižších vlhkostiach. Ako ukázalo porovnávanie s tabuľkovými hodnotami, nami namerané hodnoty sa pohybujú v reálnych hodnotách. Prípadné odchýlky môžu byť spôsobené umiestnením teplotných snímačov (pri stláčaní vzorku mohlo dôjsť ich posunutiu). Pri vlhkých vzorkách mohlo dôjsť k nasiaknutiu izolácie vodou a k zníženiu jej izolačných vlastností. Hlavnou úlohou nasledujúcich meraní bude eliminovať nedostatky meracieho zariadenia a určiť vplyv geometrie zariadenia a umiestnenie teplotných snímačov na neistotu merania. Uvedená metodika merania tepelnej vodivosti

hornín bude použitá na určenie hodnôt tepelnej vodivosti horniny, v ktorej je realizovaný vrt na získavanie nízkopotenciálneho geotermálneho tepla a pre vstupné hodnoty simulačných modelov nestacionárnych teplotných polí v hornine.

PodĎakovanie

Článok bol spracovaný v rámci operačného programu Výskum a vývoj - 26220220057 „Zariadenie na využitie nízkopotenciálneho tepla bez núteného obehu nosiča v hĺbkovom vrte.“

6. Literatúra

- [1] ANTAL, Š. a kol.: LABORATÓRNE CVIČENIA Z TERMOMECHANIKY, BRATISLAVA 1972.
- [2] BAEHR, H. D., STEPHAN, K.: HEAT AND MASS TRANSFER, BERLIN, SPRINGER, 2006. 688S.
- [3] ČARNOGURSKÁ, M.: ZÁKLADY MATEMATICKÉHO A FYZIKÁLNEHO MODELOVANIA V MECHANIKE TEKUTÍN A TERMODYNAMIKE. VIENALA, KOŠICE, 2000, 176 S., ISBN 80 - 7099 - 344 - 8.
- [4] KAPJOR, A., HUŤVÁR, J., PILÁT, P.: COOPER EQUIPMENT FOR HEAT TRANSFER IN MICRO COGENERATION UNIT, ERIN 2011, 5TH ANNUAL INTERNATIONAL TRAVELLING CONFERENCE FOR YOUNG RESEARCHERS AND PHD STUDENTS, ISBN 978-80-89347-04-9
- [5] KLENOVČANOVÁ, ALEXANDRA - BRESTOVIČ, TOMÁŠ - CAP, R.: ŠTÚDIUM TEPELNÉHO OBSAHU VYBRANÝCH DRUHOV BIOMASY A ODPADOV. IN: ACTA METALLURGICA SLOVACA. ROČ. 13, MIMORIADNE Č. 3 (2007), S. 160-165. ISSN 1335-1532
- [6] LENHARD, R., JAKUBSKÝ, M.: PRO-ENERGY MAGAZÍN, ZARIADENIE NA VYUŽITIE NÍZKO POTENCIÁLNEHO GEOTERMÁLNEHO TEPLA BEZ NÚTENÉHO OBEHU TEPELNÉHO NOSIČA V HLBOKOM VRTE., 4/2010, ISSN 1802-4599
- [7] NOSEK, R., JANDAČKA, J. SZLEK, A: SIMULATION OF COAL COMBUSTION PROCESS IN SMALL BOILER, FOURTH GLOBAL CONFERENCE ON POWER CONTROL AND OPTIMALIZATION, ROČNÍK 4, ROK 2010, ČÍSLO 1. ISBN 978/983-44483-32
- [8] SAZIMA, M. a kol., SDÍLENÍ TEPLA. Praha: STNL – NAKLADATELSTVÍ TECHNICKÉ LITERATURY, 1989.
- [9] SIDEROVÁ, M., WITTENBERGER, G. 2006. STABILITA SYSTÉMU VYUŽITIA TEPELNEJ ENERGIE ZEME. IN ACTA MONTANISTICA SLOVACA. 2006, ROČ. 11.
- [10] VAJDA, D. a kol.: NÁVODY K LABORATÓRNÝM CVIČENIAM Z FYZIKY. ŽILINA: EDIS, 2003. 196 S.
- [11] RAŽNEVIČ, K.: TERMODYNAMICKÉ TABUĽKY, BRATISLAVA 1975
- [12] VITÁZEK, I.: TEPLOTECHNIKA A HYDROTECHNIKA. LABORATÓRNE ÚLOHY A PRÍKLADY. NITRA: VYDAVATEĽSTVO SPU, 2011, 118 S.