

EXPERIMENTÁLNA ZOSTAVA PRE POROVNANIE RÔZNYCH SPÔSOBOV CHLADENIA A JEJ VYUŽITIE VO VYUČOVACOM PROCESE

OHANKA, Lukáš – ČERNECKÝ, Jozef, SK

Resumé: Príspevok je zameraný na návrh experimentálnej zostavy pre porovnanie rôznych spôsobov chladenia. Navrhnutá zostava umožňuje porovnávať rôzne spôsoby odvádzania tepla zo zdroja do okolitého prostredia - odvádzanie tepla sálaním do okolia, odvádzanie tepla prirodzenou aj nútenou konvekciou a odvádzanie tepla pomocou tepelnej trubice. Uvedené spôsoby chladenia sú v praxi často používané a experimentálna zostava umožní študentom vo vyučovacom procese názorným spôsobom porozumieť ich princípu a tiež ich vzájomne porovnať. Navrhnutá zostava je určená ako didaktická pomôcka pre študentov v predmetoch zameraných na prenos tepla.

Key words: sálanie, nútená konvekcia, tepelná trubica

EXPERIMENTAL SETUP FOR COMPARISON OF DIFFERENT COOLING METHODS AND ITS USE IN EDUCATIONAL PROCESS

Abstract: The paper is focused on the design of experimental setup for comparing different methods of cooling. The designed setup allows to compare different methods of heat disposal from the source to the environment - the disposal of heat by radiation into the environment, the disposal of heat by natural and forced convection and heat disposal performed by heat pipe. Mentioned cooling methods are in practice frequently used and experimental setup will allow students in the learning process illustratively understand their principle and also compare each other. The designed setup is designated as a didactic aid for students in subjects dealing with heat transfer.

Key words: radiation, forced convection, heat pipe

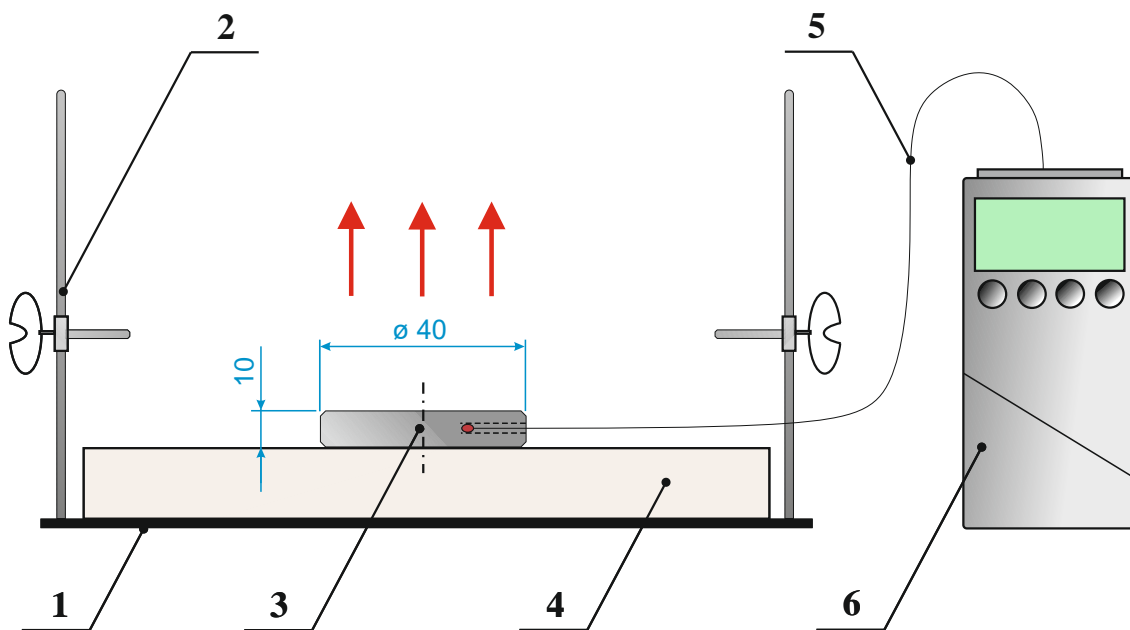
1 Úvod

Súčasný trend neustále zdokonaľujúcej sa techniky emitujúcej veľké množstvá nežiaduceho odpadového tepla vyvoláva dopyt po technológiách umožňujúcich zabezpečovať efektívne spôsoby chladenia. Problematika výskumu prenosu tepla vedením, prúdením, sálaním alebo kombináciou týchto spôsobov je v súčasnej dobe veľmi aktuálna, pretože je veľmi úzko spätá s pojmami ako sú chladiaci výkon alebo intenzita prenosu tepla. V mnohých technických aplikáciách, predovšetkým v oblasti výpočtovej techniky, je nevyhnutné zabezpečovať dostatočný odvod odpadového tepla z teplovýmenných povrchov a zároveň minimalizovať rozmery chladiacich prvkov. Práve tepelné trubice v sebe kombinujú vysoký tepelný výkon pri zachovaní pomerne malých rozmerov samotného zariadenia. Umožňujú pracovať pri malom teplotnom spáde, transportovať teplo na väčšie vzdialenosti, nespôsobovať ekologické zaťaženie a pritom si zachovať nenáročnosť na údržbu. Existuje viacero variantov vyhotovení chladičov s tepelnými trubicami, ktoré zlepšujú chladenie komponentov výpočtovej techniky. Napríklad vsadením tepelných trubíc do bežného hliníkového chladiča sa zlepši jeho tepelný výkon až o 20 %. Tieto typy chladičov sa používajú v miestach, kde je potrebné odvádzat' vysoké tepelné toky. Spojením tepelnej trubice s klasickým rebrovaným chladičom sa vytvorí kompaktný chladič, ktorý sa používa na chladenie procesorov, grafických jednotiek alebo plošných spojov. Použitím tepelnej

trubice v kombinácii s rebrovaným chladičom sa odvod tepla stáva v porovnaní s bežnými chladičmi podstatne efektívnejší [1, 2].

2 Experimentálna zostava

Experimentálna zostava je navrhnutá tak, aby umožňovala študentom vo vyučovacom procese názorným spôsobom porozumieť princípu rôznych spôsobov chladenia a tiež ich vzájomne porovnať. Experimentálna zostava existuje v troch rôznych konfiguráciách (Obr. 1 až Obr. 3) podľa toho, aký spôsob chladenia skúšobného telesa je aktuálne zvolený. V konfigurácii A je chladenie realizované okolitým vzduchom. Schéma a časti experimentálnej zostavy v konfigurácii A je uvedená na Obr. 1.



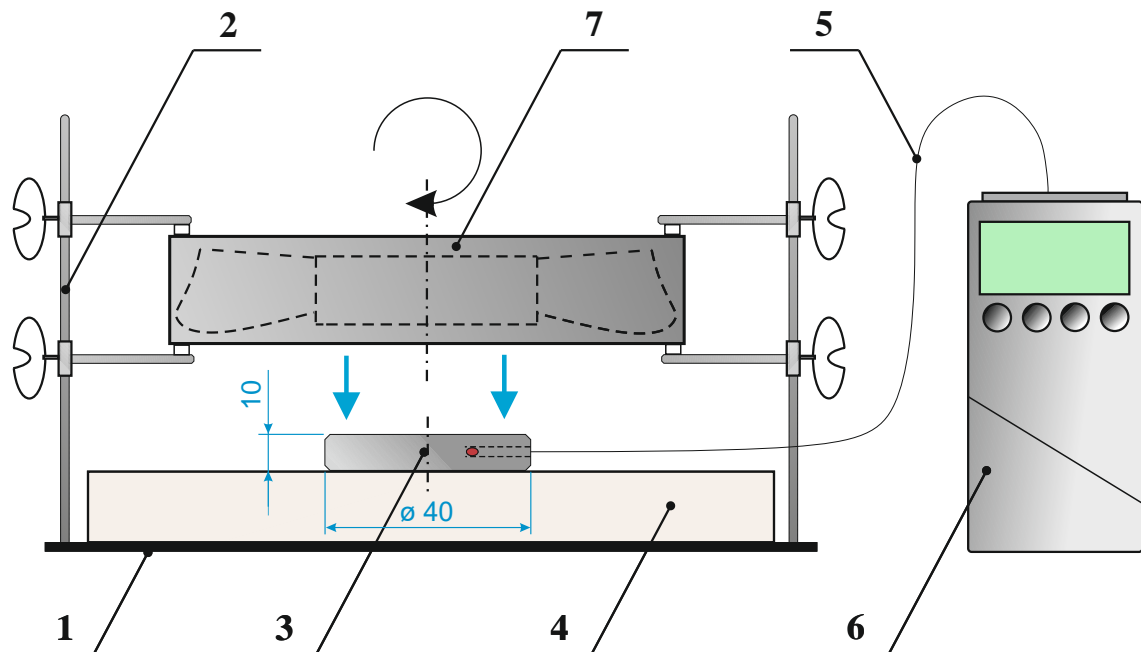
Obr. 1: Schéma a časti experimentálnej zostavy – konfigurácia A

1 – podstava, 2 – výškovo nastaviteľný stojan, 3 – skúšobné teleso, 4 – izolačná doska,
5 – snímač teploty, 6 – datalogger

Pozostáva z podstavy (1), do ktorej sú zabudované výškovo nastaviteľné stojany (2) pre uchytenie prídavného chladenia. V základnej konfigurácii sa však prídavné chladenie nenachádza, keďže chladenie je v tomto prípade realizované okolitým vzduchom. Skúšobné teleso (3) má tvar valca, ktorého priemer je 40 mm výška 10 mm. Hrana valca je zrazená tak, že priemer obidvoch podstáv valca je 38 mm. Materiál, z ktorého skúšobné teleso (3) pozostáva je hliník, ktorý bol zvolený pre jeho dobrú tepelnú vodivosť. Tá je pri teplote 25 °C stanovená na 237 W.m⁻¹.K⁻¹. Do skúšobného telesa (3) je zo strany vyvrtaný otvor hĺbky 20 mm a priemeru 3 mm. Do tohto otvoru je zavedený Ntc snímač teploty (5) s rozsahom -20÷100 °C a presnosťou ±0,1 °C napojený na datalogger (6) ALMEMO 2290-3. Aby sa zabránilo prenosu tepla zo skúšobného telesa (3) do podstavy (1), skúšobné teleso je umiestnené na polystyrénovej doske (4) hrúbky 2 cm.

Experimentálna zostava je v konfigurácii B sa od konfigurácie A líši tým, že je doplnená o štandardný ventilátor (7) priemeru 80 mm používaný na chladenie komponentov vo výpočtovej technike. Ventilátor môže byť od skúšobného telesa (3)

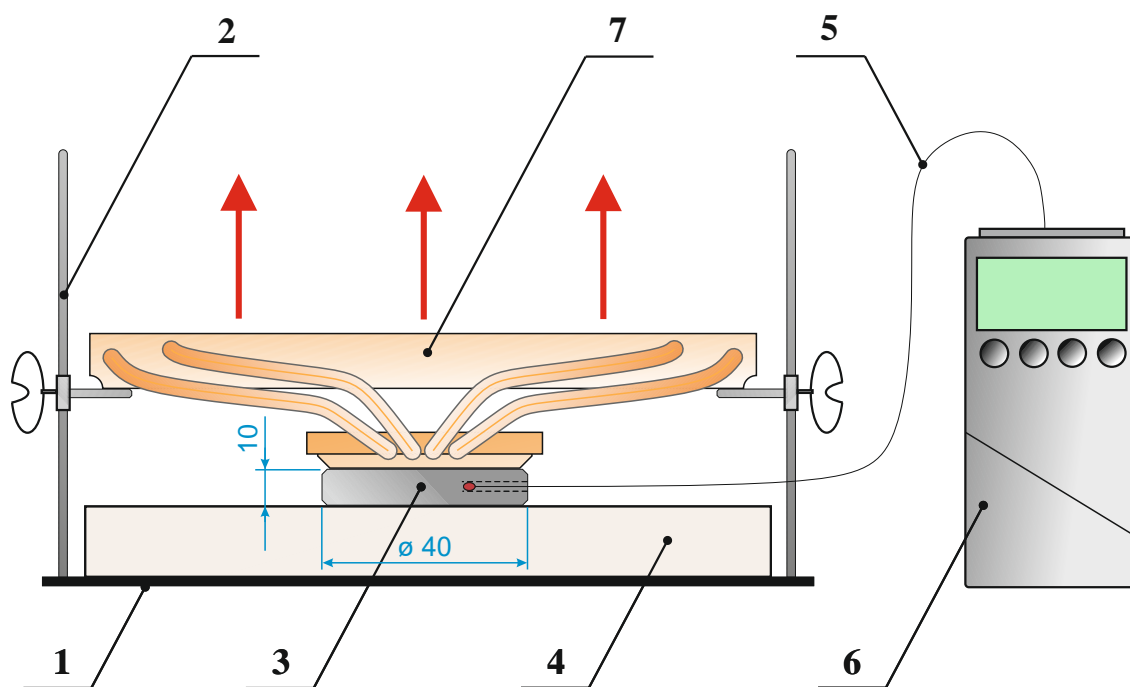
umiestnený v rôznej vzdialenosti. Túto možnosť zabezpečuje výškovo nastaviteľný stojan (2), ktorý tiež fixuje ventilátor (7) v pevnej pozícii nad skúšobným telesom (3). Podrobný popis ostatných častí, ich rozmery ako aj použité meracie zariadenie zostáva rovnaké ako v prípade konfigurácie A. Schéma a jednotlivé časti experimentálnej zostavy v konfigurácii B je uvedená na Obr. 2 [3].



Obr. 2: Schéma a časti experimentálnej zostavy – konfigurácia B

1 – podstava, 2 – výškovo nastaviteľný stojan, 3 – skúšobné teleso, 4 – izolačná doska,
5 – snímač teploty, 6 – datalogger, 7 – ventilátor

Tretou variantou experimentálnej zostavy je konfigurácia C. Schéma tejto konfigurácie experimentálnej zostavy je na Obr. 3. V tejto konfigurácii je chladenie skúšobného telesa realizované sústavou tepelných trubíc, na konci ktorých je rebrovanie slúžiace na zväčšenie teplovýmenného plochy. Takýto chladič pozostávajúci zo sústavy tepelných trubíc a rebrovania (7) je využívaný vo výpočtovej technike na chladenie komponentov generujúcich veľké množstvo nežiaduceho odpadového tepla. Takéto typy chladičov sa používajú v takých aplikáciách, kde je sú priestorové možnosti malé a kde je potrebné odvádzať vysoké tepelné toky. Chladič pozostávajúci zo sústavy tepelných trubíc a rebrovania (7) je v priamom kontakte so skúšobným telesom (3). Pre dosiahnutie lepšieho prestupu tepla a eliminovanie strát spôsobených nerovnomernosťou povrchu dvoch dotýkajúcich sa teplovýmenných plôch bola na miesto kontaktu aplikovaná vrstva teplovodivej pasty. Presnú pozíciu chladiča (7) zabezpečuje podobne ako v predchádzajúcom prípade výškovo nastaviteľný stojan (2). Teplovýmenná plocha chladiča pozostávajúceho zo sústavy tepelných trubíc a rebrovania (7) má kruhový tvar priemeru 36 mm a teda je rozmerovo vhodná na chladenie skúšobného telesa (3) s teplovýmennou plochou kruhového tvaru s priemerom 38 mm. Podrobný popis ostatných častí, ich rozmery ako aj použité meracie zariadenie zostáva rovnaké ako v prípade konfigurácie A.



Obr. 3: Schéma a časti experimentálnej zostavy – konfigurácia C

1 – podstava, 2 – výškovo nastaviteľný stojan, 3 – skúšobné teleso, 4 – izolačná doska, 5 – snímač teploty, 6 – datalogger, 7 – chladič pozostávajúci zo sústavy tepelných trubíc a rebrovania

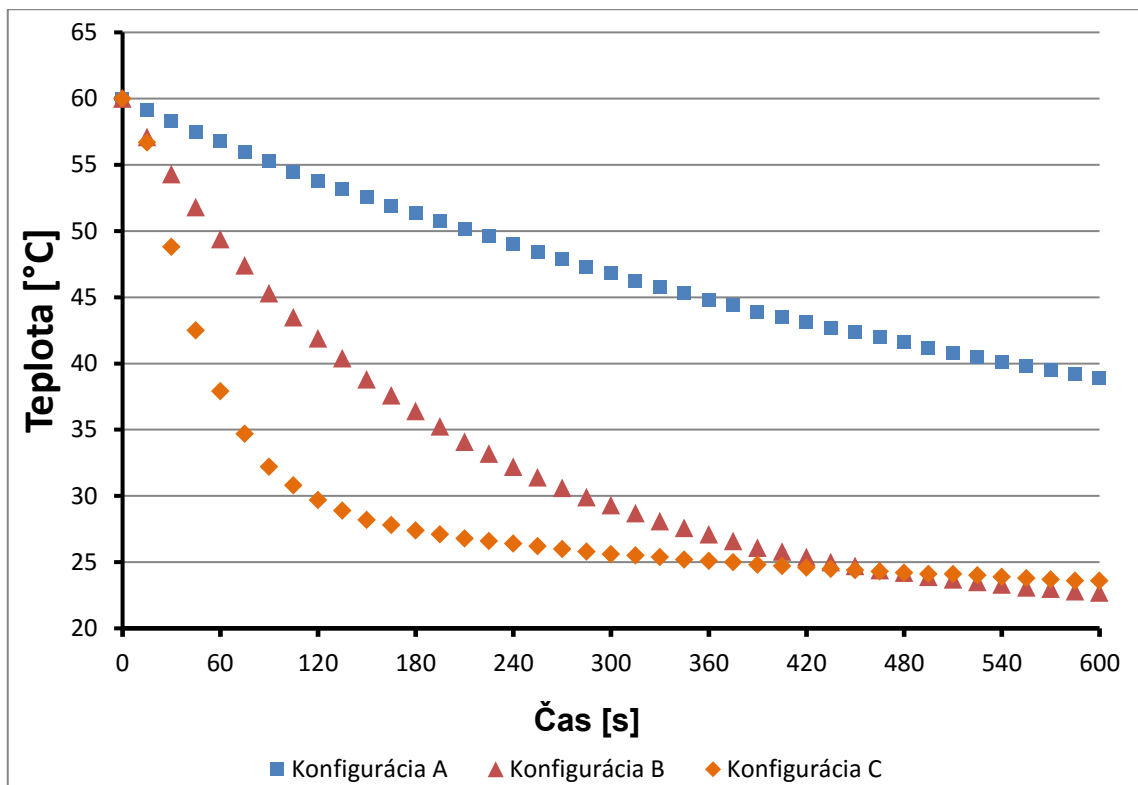
3 Experimentálne meranie

Podľa predloženého návrhu bola skonštruovaná experimentálna zostava vo všetkých troch konfiguráciách. Následne boli na nej realizované experimenty, ktorých cieľom bolo porovnať rôzne druhy chladenia, ktoré fungujú na odlišných fyzikálnych princípoch. V prípade konfigurácie A ide o voľné ochladzovanie skúšobného telesa okolitým vzduchom. V prípade konfigurácie B je cieľom poukázať na nútenú konvekciu, ktorú zabezpečuje pripojený ventilátor. Konfigurácia C v sebe kombinuje niekoľko fyzikálnych princípov. V tomto prípade by sa pozornosť mala zamerať na prenos tepla vedením zo skúšobného telesa cez teplovodivú pastu do výparnej oblasti sústavy tepelných trubíc, ďalej na prenos tepla tepelnou trubicou prostredníctvom zmeny fázy pracovného média, následný prenos tepla vedením zo stien tepelných trubíc na jednotlivé rebrá chladiča a sálanie tepla do okolia. Postup merania bol pri všetkých troch konfiguráciách rovnaký.

Skúšobné teleso bolo rovnomerne ohriate na teplotu 62 °C. Následne bolo umiestnené na svoje miesto v experimentálnej zostave. Do pripraveného otvoru v ohriatom skúšobnom telese bol zavedený Ntc snímač teploty s rozsahom -20÷100 °C a presnosťou $\pm 0,1$ °C napojený na datalogger ALMEMO 2290-3. Zaznamenávanie teploty začalo pri teplote 60 °C v čase $t = 0$ s. Pomocou pripojeného dataloggera bola zaznamenávaná teplota každých 15 sekúnd po dobu 10 minút. Meranie bolo realizované pri teplote okolitého vzduchu 22 °C a relatívnej vlhkosti vzduchu 45 %.

4 Výsledky a vyhodnotenie

Výsledky meraní všetkých troch zvolených spôsobov chladenia skúšobného telesa prostredníctvom jednotlivých konfigurácií experimentálnej zostavy sú graficky vyhodnotené na Obr. 4.



Obr. 4: Grafický priebeh teploty skúšobného telesa v závislosti od času

Z nameraných hodnôt možno názorne vidieť rozdiely medzi jednotlivými spôsobmi chladenia skúšobného telesa. Pri konfigurácii A, kedy bolo chladenie realizované prostredníctvom okolitého vzduchu má priebeh teplôt plynulo klesajúcu tendenciu takmer lineárneho charakteru. Po uplynutí 10 minút od začiatku merania teplota skúšobného telesa klesla tesne pod hranicu 40 °C. Z uvedeného priebehu možno predpokladať, že chladenie skúšobného telesa na teplotu blízku teplote okolia by zabralo viac ako dvojnásobok času v porovnaní s ďalšími uvedenými spôsobmi chladenia. Z uvedeného priebehu možno považovať tento spôsob chladenia za najmenej efektívny.

Spôsob chladenia nútenou konvekciou použitý v konfigurácii B dokázal zo všetkých troch uvedených spôsobov znížiť teplotu skúšobného telesa na najnižšiu teplotu. Tá klesla po 10 minútach merania takmer na hodnotu teploty okolitého prostredia.

Pri konfigurácii C, teda chladení skúšobného telesa chladičom pozostávajúcim zo sústavy tepelných trubíc a rebrovania je zreteľná vysoká efektívnosť prenosu tepla tepelnými trubícami. Ochladenie skúšobného telesa na teplotu 30 °C prebehlo za necelé 2 minúty od začiatku merania. Od teploty 30 °C klesá teplota skúšobného telesa veľmi pomaly. To je spôsobené vlastnosťami tepelnej trubice, predovšetkým rozsahom jej pracovných teplôt, na ktorý je tepelná trubica určená. Môžeme predpokladať, že pri teplote 30 °C sa proces vyparovania pracovnej kvapaliny v sústave tepelných trubíc výrazne spomalil, prípadne zastavil. Tým sa výrazne spomalil aj prenos tepla. Túto skutočnosť však nemôžeme považovať za nedostatok. V pracovnom rozsahu teplôt, na ktorý je tepelná trubica určená, pracuje mimoriadne efektívne, dokonca možno konštatovať, že z uvedených troch spôsobov chladenia najefektívnejšie.

Záver

Navrhnutá experimentálna zostava umožňuje v jednotlivých konfiguráciách vidieť, porovnať a porozumieť princípom činnosti rôznych spôsobov chladenia komponentov vo výpočtovej technike. Všetky spôsoby chladenia ako aj konkrétne komponenty zapracované do jednotlivých konfigurácií experimentálnej zostavy sú prebraté zo skutočných aplikácií v oblasti výpočtovej techniky a preto dokážu modelovo poskytnúť reálny pohľad na ich efektívnosť prenosu tepelného výkonu. Z výsledkov meraní možno vidieť rozdiely medzi jednotlivými spôsobmi chladenia. Ako najefektívnejší spôsob chladenia je na základe experimentu možné konštatovať chladenie využívajúce technológiu tepelných trubíc. Pri tomto spôsobe však treba dbať na správne určenie rozsahu pracovnej teploty použitých tepelných trubíc.

Experimentálna zostava je navrhnutá pre experimentálne merania študentov v rámci predmetov zameraných na problematiku prenosu tepla. Realizácia experimentálnych meraní umožní prehĺbenie experimentálnych zručností študentov a doplnení ich teoretické poznatky o prenose tepla názornými ukážkami.

PodĎakovanie

Príspevok vznikol v rámci riešenia grantového projektu KEGA 001TU Z-4/2016.

Bibliography

- [1] NEMEC, P., MALCHO, M., LENHARD, R. *Využitie tepelných trubíc pri chladení a ohreve v technike*. 1. Vyd. Žilina : Žilinská univerzita, 2015. 206 s. ISBN 978-80-554-1075-3.
- [2] ZHANG, P. et al. 2013. A high-precision instrumentation of measuring thermal contact resistance using reversible heat flux. In *Experimental Thermal and Fluid Science*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2013.12.012>, 2014, 54, 204–211.
- [3] HUST, J. G., LANKFORD, A. B., *Thermal conductivity of aluminum, copper, iron and tungsten for temperatures from 1 K to the melting point*. National Bureau of Standards, Boulder, Colorado, 1984. NBSIR 84-3007.

Lectured by: doc. Mgr. Elena Pivarčiová, PhD.

Kontaktná adresa:

Lukáš Ohanka, Ing.

Katedra environmentálnej a lesníckej techniky, Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky, Technická univerzita vo Zvolene, Študentská 26, 960 53 Zvolen, Slovenská republika, tel. +421 45 520 6809, e-mail: lukasohanka@gmail.com

Jozef Černecký, Prof. Ing., CSc.,

Katedra environmentálnej a lesníckej techniky, Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky, Technická univerzita vo Zvolene, Študentská 26, 960 53 Zvolen, Slovenská republika, tel. +421 45 520 6698, e-mail: jozef.cernecky@tuzvo.sk