

| | | | |
|--|---|---|---|
| | Český metrologický institut Okružní 31 638 00 Brno | Identifikační číslo dokumentu: 112-MP-C007 | Počet příloh: 5 Strana: 1 z 13 |
| Název dokumentu: Měření součinitele tepelné vodivosti a tepelného odporu izolačních materiálů | | | |
| Doplňkové údaje (účel a obsah dokumentu), Anotace: Interní pracovní postup ČMI | | | |
| Zařazení dokumentu dle úrovně: 3. úroveň Metodický pokyn | | | |
| Návaznost na dokument: 011-PJ-C001 | | | |
| Dokument přezkoumává: 101211 vedoucí oddělení 1012, 1x za 5 let | | | |
| Dokument je závazný pro zaměstnance útvarů: všechny pověřené zaměstnance ČMI | | | |
| Poznámky: Dokument je řízen útvarem 1012 | | | |
| Upozornění: Pořizování kopií dokumentu a poskytování dokumentu cizím osobám není bez souhlasu zaměstnance, který dokument schválil, dovoleno. | | | |
| Rozdělovník (uvedena čísla středisek nebo VOJ, funkční čísla, na která je dokument distribuován je uveden v ŘOD): 0800; 100111; 100112 1012; 1x: centrální spisovna ČMI; | | | |
| Nahrazuje dokument: 112-MP-C007 s účinností od: 25. 4. 2023 | | | |
| Datum: schválení: dle elektronického podpisu vydání: 9. 10. 2024 účinnosti: 9. 10. 2024 | | | |
| Zpracoval - funkce: 101211 | Přezkoumal - funkce: 100111 | Schválil a vydal - funkce, elektronický podpis: 100111 | |



Český metrologický institut

Okružní 31
638 00 Brno

Identifikační číslo dokumentu:

112-MP-C007

Počet příloh: **5**

Strana: **2 z 13**

Seznam změn

| Kapitola | Datum změny | Důvod změny |
|-----------------------------|-------------|---|
| Celý dokument | 6. 4. 2023 | Přezkoumání dokumentu, oprava titulního listu, jinak beze změn |
| celý dokument | 24. 4. 2023 | Odstranění možnosti jednovzorkového měření, úprava |
| Příloha č. 1 | 24. 4. 2023 | Zrušení přílohy, převedení do textu postupu |
| Celý dokument včetně příloh | 28. 8. 2024 | Revize celého dokumentu, rozšíření rozsahu o vysokoteplotní GHP |

**Doplňkové informace k dokumentu****Klíčová slova:**

kalibrace, tepelná vodivost, tepelný odpor, izolační materiály, akreditace

Přiřazení atributů:

| | |
|----------|--|
| | Autoprovoz |
| | Bezpečnost a zdraví při práci (BOZP), požární ochrana (PO), chemické látky |
| | Certifikace a osvědčování způsobilosti personálu |
| | Certifikace referenčních materiálů |
| | Certifikace zdravotnických prostředků |
| | Fakturace |
| | Finanční kontrola (interní audit) |
| | Finanční účtárna, tuzemské a zahraniční pracovní cesty |
| | Informační systém ČMI (včetně Spisové služby a archivnictví) |
| X | Kalibrace a zkoušky měřidel |
| | Majetek |
| | Metrologická kontrola hotově baleného zboží |
| | Mezilaboratorní porovnání |
| | Mzdy, personalistika, osobní údaje |
| X | Navazující dokument na PJ ČMI |
| | Ověřování měřidel |
| | Posuzování shody koncových telekomunikačních zařízení (autorizovaná osoba 256) |
| | Posuzování shody měřidel (autorizovaná osoba 250) |
| | Posuzování způsobilosti subjektů pro autorizaci |
| | Převzaté a rozpracované dokumenty a pokyny MPO |
| | Registrace pro opravy a montáž měřidel |
| | Schvalování typu měřidel a související agenda |
| | Smlouvy (nájemní smlouvy, smlouvy na metrologický výkon, kolektivní smlouva) |
| | Správa kmitočtového spektra |
| | Škodní komise, náhrada škod |
| | Technický rozvoj |
| | Tvorba a uchování státních etalonů |
| | Tvorba metrologických předpisů, pokynů, norem |
| | Účetnictví |
| | Validace softwaru |
| | Vymáhání pohledávek |
| | Výkon SMD |
| | Vzdělávání personálu a osvědčování způsobilosti personálu v metrologii |
| | Znalecké posudky, odborná posouzení |



| | |
|---|-----------|
| 1. Úvod | 6 |
| 1.1. Princip měření | 6 |
| 1.2. Metrologická návaznost | 7 |
| 2. Oprávnění | 7 |
| 3. Související předpisy | 7 |
| 4. Zařízení a pomůcky | 8 |
| 4.1. Etalonová a měřicí zařízení | 8 |
| 4.2. Ostatní zařízení | 8 |
| 4.2.1. Specifické pro HTGHP | 8 |
| 5. Vlastní pracovní postup | 8 |
| 5.1. Zajištění podmínek prostředí | 8 |
| 5.2. Vnější prohlídka vzorků | 8 |
| 5.3. Měření rozměrů a hmotnosti, uložení v definovaných podmínkách | 8 |
| 5.4. Měření součinitele tepelné vodivosti – LTGHP | 9 |
| 5.4.1. Umístění vzorků do přístroje | 9 |
| 5.4.2. Obsluha měřicího softwaru | 9 |
| 5.4.3. Průběh měření | 9 |
| 5.4.4. Vyhodnocení měření | 10 |
| 5.5. Měření součinitele tepelné vodivosti – HTGHP | 10 |
| 5.5.1. Umístění vzorků do přístroje | 10 |
| 5.5.2. Nulování multimetru | 10 |
| 5.5.3. Obsluha měřicího softwaru | 10 |
| 5.5.4. Průběh měření | 10 |
| 5.6. Vyhodnocení | 10 |
| 5.6.1. Výpočet pomocí Fourierova zákona vedení tepla | 11 |
| 5.6.2. Měření teplotního rozdílu mezi deskami | 11 |
| 5.6.3. Stanovení topného výkonu | 11 |
| 5.6.4. Stanovení plochy vnitřní zóny topné desky | 11 |
| 5.6.5. Stanovení tloušťky vzorku | 12 |
| 5.7. Vystavení protokolu o zkoušce | 12 |
| 6. Nejistoty měření | 12 |
| 6.1. Rozbor zdrojů nejistot | 12 |



6.2. Konfirmační systém **13**

- 6.2.1. Pravidelná návaznost 13
- 6.2.2. Křížové navázání etalonů 13
- 6.2.3. Reprodukovatelnost 13

7. Závěrečné ustanovení **13**

Seznam příloh

- Příloha č. 1 1012-PT-860XX-24 součinitel tepelné vodivosti CZ (Verze 24-001)
- Příloha č. 2 LTGHP GUM_vyhodnocení+nejistota (Verze 24-001)
- Příloha č. 3 1012-PT-86XXX-24 (LTGHP), 112-MP-C007 - 5.2 vnější prohlídka vzorků + 5.3 charakterizace vzorků + vyhodnocení (Verze 24-001)
- Příloha č. 4 HTGHP GUM_vyhodnocení+nejistota (Verze 24-001)
- Příloha č. 5 1012-PT-86XXX-24 (HTGHP), 112-MP-C007 - 5.2 vnější prohlídka vzorků + 5.3 charakterizace vzorků + vyhodnocení (Verze 24-001)

1. Úvod

Metoda GHP (Guarded Hot Plate, metoda chráněné topné desky) slouží ke stanovení součinitele tepelné vodivosti materiálů s vysokým až středním tepelným odporem. Předmětem tohoto postupu jsou dvě zařízení: nízkoteplotní GHP (low temperature, LTGHP), kterým lze měřit součinitel tepelné vodivosti v rozmezí teplot (-5 až 65) °C, a vysokoteplotní GHP (high temperature, HTGHP), kterým lze měřit součinitel tepelné vodivosti v rozmezí teplot (200 až 750) °C.

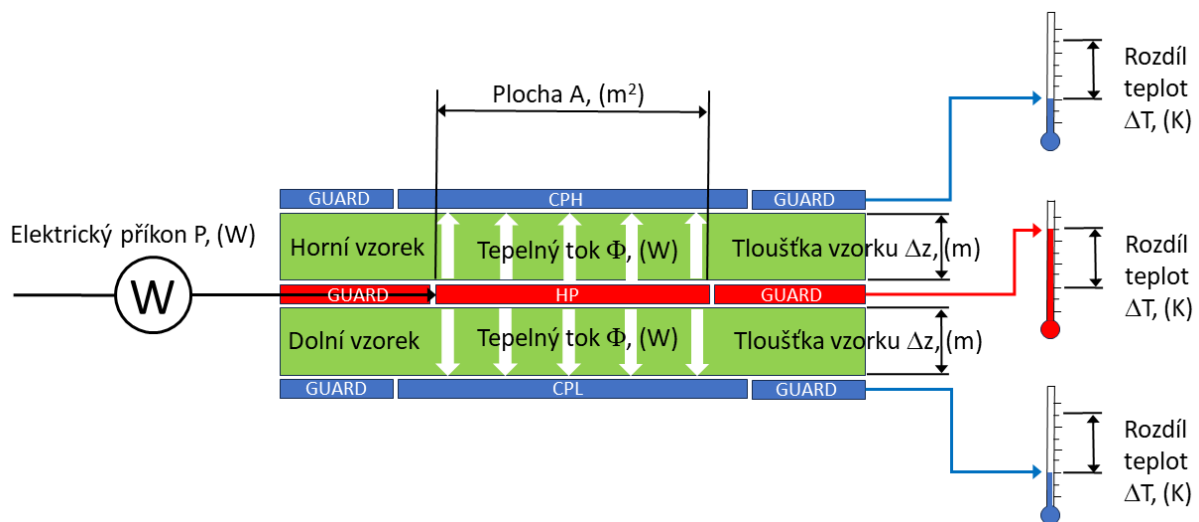
1.1. Princip měření

Zkoušený materiál je umístěn do prostředí s teplotním gradientem, který je realizován topnými deskami (horkou deskou HP a dvěma studenými deskami CPH a CPL), přičemž součinitel tepelné vodivosti se získá na základě měření elektrického výkonu horké desky (HP) z jednorozměrného Fourierova zákona o vedení tepla:

$$\Phi = \lambda 2A \frac{dT}{dz},$$

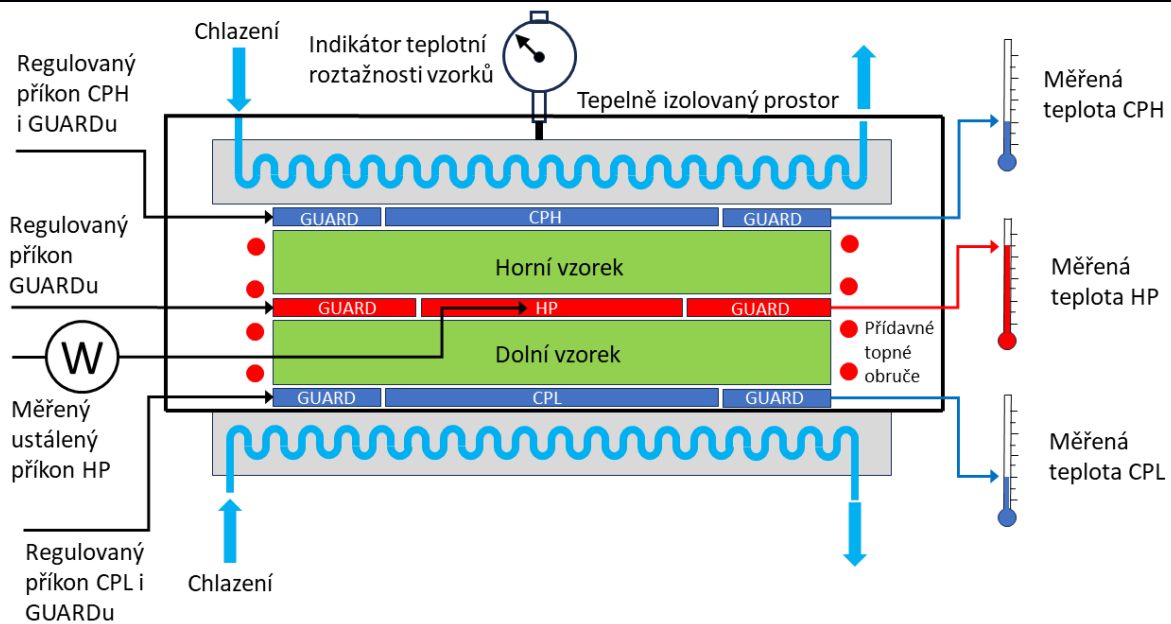
kde Φ je tepelný tok (ve W), λ součinitel tepelné vodivosti materiálu, A kontaktní plocha, kterou prochází teplo a dT/dz odpovídá teplotnímu rozdílu dT vzhledem k tloušťce materiálu dz .

Metoda předpokládá, že nedochází k postranním tepelným tokům a veškeré teplo generované horkou deskou slouží k udržení stálého teplotního gradientu. Vlastní přístroj GHP je tedy konstruován tak, aby postranní tepelné toky byly minimalizovány v největší možné míře a příslušný tepelný tok vzorkem byl jednosměrný a kolmý k povrchu topných desek. Toho je dosaženo pomocí topného prstence (GUARDu), který má nastavenou stejnou teplotu, jako vnitřní měřicí část topné desky. Guardem jsou v ideálním případě opatřeny všechny topné desky, horká i obě studené. Typické schéma přístroje v uspořádání se dvěma vzorky je ukazuje Obrázek 1 - teplo, které je generováno horkou deskou umístěnou mezi dvěma totožnými vzorky, je odváděno směrem ke studeným deskám.



Obrázek 1: Typické schéma uspořádání měření součinitele tepelné vodivosti se dvěma vzorky metodou GHP.

Pro měření teplot, resp. teplotního gradientu se užívá odporových teploměrů Pt100 (LTGHP), nebo termoelektrických snímačů teploty (HTGHP), které jsou umístěny ve vývrtech uvnitř topných desek tak, aby byl zajištěn dostatečný přenos tepla mezi teploměrem a deskou. Schéma přístroje HTGHP je ukazuje Obrázek 2.


Obrázek 2: Schéma přístroje HTGHP.

Tepelný tok je stanoven jako elektrický příkon P horké desky. Z hodnot naměřených teploměry, změřené tloušťky vzorku a velikosti měřicí plochy horké desky se následně vypočítá součinitel tepelné vodivosti měřeného materiálu.

1.2. Metrologická návaznost

Návaznost používaných etalonů i návaznost, kterou laboratoř provádí, respektuje Schéma návaznosti měřidel teploty, elektrických veličin, délky a hmotnosti. Laboratoř měří součinitel tepelné vodivosti izolačních materiálů. Součinitel tepelného odporu je získán přepočtem z naměřených dat součinitele tepelné vodivosti a tloušťky jednotlivých měřených vzorků.

2. Oprávnění

Provádět zkoušku podle tohoto postupu mohou zaměstnanci ČMI, kteří mají příslušné osvědčení vydané ČMI.

3. Související předpisy

- ISO 8302, Thermal insulation – Determination of steady-state thermal resistance and related properties – Guarded hot plate apparatus. First edition, 1991-08-01
- ČSN EN 12667, Tepelné chování stavebních materiálů a výrobků – Stanovení tepelného odporu metodami chráněné topné desky a měřidla tepelného toku – Výrobky o vysokém a středním tepelném odporu
- ČSN P CEN/TS 15548-1, Tepelněizolační výrobky pro zařízení budov a průmyslové instalace - Stanovení tepelného odporu metodou chráněné topné desky - Část 1: Měření při zvýšených teplotách od 100 °C do 850 °C JCGM 100:2008, Evaluation of measurement data — Guide to the expression of uncertainty in measurement, https://www.bipm.org/utls/common/documents/jcgm/JCGM_100_2008_E.pdf



4. Zařízení a pomůcky

4.1. Etalonová a měřicí zařízení

Podrobný seznam etalonových a měřicích zařízení je uveden v databázi etalonů.

4.2. Ostatní zařízení

- přepínače měřicích míst
- napěťové a proudové zdroje
- teploměr/vlhkoměr pro měření teploty a vlhkosti okolí
- sušárna
- čisticí prostředky, ochranné rukavice

4.2.1. Specifické pro HTGHP

- izotermické svorkovnice
- laserový dilatometr
- vysokoteplotní pec
- chladič zařízení

5. Vlastní pracovní postup

Měření součinitele tepelné vodivosti izolačních materiálů je u LTGHP obdobné jako u HTGHP, liší se pouze v dílčích detailech. Pracovní postup se sestává z těchto částí:

- zajištění podmínek prostředí,
- vnější prohlídka vzorků,
- uložení vzorků v definovaných podmínkách / sušení vzorku,
- měření rozměrů, hmotnosti, rovinnosti a ověření splnění podmínek normy ISO 8302:1991 (minimální tloušťka, rovinnost a maximální rozdíl tloušťky dvou vzorků),
- měření součinitele tepelné vodivosti,
- měření rozměrů a hmotnosti po měření součinitele tepelné vodivosti,
- vyhodnocení naměřených hodnot,
- vystavení protokolu o zkoušce,
- označení měřeného materiálu, je-li to možné.

5.1. Zajištění podmínek prostředí

Měřicí etalonové zařízení a jeho příslušenství je umístěno v samostatné laboratoři s klimatizací při teplotě $t = (23,0 \pm 2,5) ^\circ\text{C}$ a relativní vlhkosti ovzduší do 90 % RH, v bezprašném prostředí bez otřesů a chvění.

5.2. Vnější prohlídka vzorků

Při vnější prohlídce se kontroluje celkový stav dodaného materiálu s ohledem na požadavky normy ČSN EN 12667, předepsané označení a postup pro uchovávání materiálu.

5.3. Měření rozměrů a hmotnosti, uložení v definovaných podmínkách

Přístroj LTGHP je určen pro kruhové vzorky s průměrem 102 mm a s tloušťkou 5-30 mm. HTGHP je určen pro kruhové vzorky s průměrem 300-306 mm a s tloušťkou v rozmezí 30-60 mm. Pro měření jsou třeba dva kusy vzorků ideálně stejných rozměrů (horní a spodní). Oba kusy jsou nejprve temperovány při teplotě laboratoře minimálně 24 h a následně jsou změřeny jejich geometrické rozměry (tloušťka,



průměr) a hmotnost. Následně jsou ověřeny podmínky normy ISO 8302:1991 (minimální tloušťka, rovinnost a maximální rozdíl tloušťky obou vzorků).

Rovinnost vzorků je kontrolována nožovým pravítkem. Tloušťka vzorku se určuje posuvkou jako průměrná hodnota z 10 měření na různých místech vzorku. Rozdíl mezi hodnotou naměřenou pro horní a dolní vzorek nesmí přesáhnout 2 %. Podle normy dále platí požadavek, že maximální nejistota při měření tloušťky vzorku nesmí přesáhnout 0,5 % naměřené hodnoty. Požadavek je posuzován pomocí směrodatné odchylky ze tří měření, která jsou provedena na témže místě jednoho vzorku. Vychází se z nejistoty posuvky uvedené v jejím kalibračním listě. Požadavek na nejistotu měření tloušťky je vyhodnocen následovně:

$$U_{\text{vzorek}} = \sqrt{Sm^2 + \left(\frac{U_{\text{posuvka}}}{2}\right)^2} \leq 0,5\%$$

dde Sm je směrodatná odchylka ze tří měření a U_{vzorek} resp. U_{posuvka} je nejistota měření.

Hmotnost je měřena kalibrovanými laboratorními váhami. Pokud vzorek viditelně obsahuje vlhkost, jeho hmotnost je nekonstantní nebo je-li to požadováno zákazníkem či typem vzorku, je provedeno sušení v sušárně, nebo ve vysokoteplotní peci. Jako teplota sušení se v případě HTGHP použije první z plánovaných teplot měření, v případě LTGHP se teplota sušení stanoví jako bezpečně nižší než nejvyšší přípustná teplota, kterou materiál vzorku bez poškození snese. Vzorek se nejprve suší po dobu 6 hodin a poté jsou opět změřeny jeho geometrické rozměry a hmotnost. Pokud je změna hmotnosti vyšší než 1 %, sušení se opakuje. Vzorky se do doby měření vhodným způsobem chrání před vniknutím vlhkosti (např. umístěním do hermetického obalu společně s látkou pohlcující vlhkost).

Další požadavky na charakteristiku vzorků podle normy ISO 8302:1991 jsou uvedeny v Příloze č. 3.

5.4. Měření součinitele tepelné vodivosti – LTGHP

5.4.1. Umístění vzorků do přístroje

Vzorky se umístí do přístroje tak, aby jejich plocha lícovala s plochou desek, a obloží se tepelně izolačním materiálem ve formě prstenců z plsti. Pro další izolaci je využita bandáž z vaty, případně je vyvacuován okolní prostor. Při instalaci vzorků je třeba dbát na to, aby se nevysunuly nebo nepoškodily odporové teploměry umístěné ve vývrtech z boku desek. Dále je třeba dbát na volnou průchodnost hadic chlazení studených desek.

5.4.2. Obsluha měřícího softwaru

Při spuštění měřícího softwaru je třeba zkontrolovat načtení aktuálního konfiguračního souboru obsahujícího konstanty kalibrovaných odporových teploměrů a hodnotu odporu kalibrovaného resistoru/bočnicku.

V grafickém prostředí měřícího softwaru je třeba nastavit shodnou teplotu měřící části horké desky a jejího guardu. Rovněž všechny teploty na studených deskách musí být nastaveny na stejnou hodnotu.

Při nastavování teploty je nutné vzít v úvahu rozdíl mezi teplotou naměřenou regulačním teploměrem a teplotou naměřenou kalibrovaným měřícím teploměrem. Tato konstanta je vlastností přístroje a je poznamenána přímo na regulátoru, resp. v komentářích konfiguračního souboru.

5.4.3. Průběh měření

Po dosažení nastavené teploty nebo teplotního gradientu na vzorku a po ustálení teploty se vypne regulace měřící části horké desky a nastaví se stálé napájecí napětí na základě předchozích průměrných hodnot.

Po ustálení teploty při stálém napájecím napětí se zkontroluje požadovaný teplotní gradient na vzorku a shoda teploty měřící části a guardu na horké desce. Pokud je to nutné, napájecí napětí se upraví a postup se opakuje, dokud není dosažen rovnovážný stav se stejným teplotním gradientem na celé ploše obou vzorků. V dosaženém rovnovážném stavu se zaznamenávají data po dobu alespoň 24 hodin.



5.4.4. Vyhodnocení měření

Vyhodnocení se provádí v aplikaci GUM. Vstupními daty jsou naměřené tloušťky vzorků, teploty na horké desce, teploty na studených deskách, napětí na topení horké desky a změřený úbytek napětí na bočníku.

Posoudí se stabilita za posledních 24. hodin záznamu a pokud se jedná o stabilní ustálený záznam (podle ISO 8302:1991 se maximální a minimální hodnota nesmí lišit o více než 2 %) k vyhodnocení se použije poslední hodina tohoto záznamu. V programu GUM se vypočte součinitel tepelné vodivosti. Za výsledek měření se tedy považuje součinitel tepelné vodivosti vypočítaný z 24. hodiny zápisu dat.

5.5. Měření součinitele tepelné vodivosti – HTGHP

5.5.1. Umístění vzorků do přístroje

Pro vložení obou kusů vzorku do přístroje je třeba do měřicího prostoru umístit zdvihací přípravek. Tímto přípravkem se jednotlivé desky a horní dvě topné obruče nadzdvihnou tak, aby bylo možné umístit první kus vzorku mezi CPL a HP a druhý kus vzorku mezi HP a CPH. Poté se pomocí izolačního materiálu zaizoluje prostor mezi deskami a topnými obručemi a celý prostor se uzavře.

5.5.2. Nulování multimetru

Multimetry je třeba před spuštěním měřicího programu vynulovat. Vybraný kanál se na jednom z přepínačů PT16 manuálně vyzkratuje měděným drátkem a po ustálení drobné napěťové odchylky se provede manuální vynulování tlačítkem Null. Hodnotu naměřenou na vynulovaném kanálu je třeba v průběhu měření sledovat a pokud se odchýlí od nuly o požadovanou přesnost, naměřené hodnoty teplot u ostatních kanálů je třeba přepočítat.

5.5.3. Obsluha měřicího softwaru

Měřicí aparatura se ovládá příslušným měřicím softwarem s grafickým rozhraním. V něm lze nastavovat požadované teploty v jednotlivých segmentech aparatury a přepínat mezi automatickým a manuálním režimem. Software zobrazuje jak vstupní napěťové signály, tak přepočítané hodnoty teplot, napětí, délek atd., které v reálném čase zobrazuje do grafů. Data jsou pro další zpracování ukládána do výstupních souborů.

5.5.4. Průběh měření

Po umístění obou kusů vzorku do měřicí aparatury, jejím utěsnění, zapnutí všech měřicích komponent a měřicího softwaru jsou nastaveny požadované hodnoty teplot všech tří topných desek. Parametry měření (počet měřených hodnot, rozdíl mezi teplotou HP a CPH/CPL) je třeba určit podle požadavků zákazníka.

Požadovaných teplot je dosaženo pomocí regulátorů, nicméně pro výpočet součinitele tepelné vodivosti materiálu je zásadní ustálená hodnota elektrického výkonu, dodaného do HP, jejíž analýzu cyklování regulátoru neumožňuje. Ustálení je tedy nutné zajistit buď vhodnou úpravou regulačních konstant nebo manuálním nastavením výkonu topení. Při správném nastaveném výkonu teplota HP konverguje přibližně k požadované hodnotě. Regulace požadovaných teplot CPH a CPL i vnějšího ochranného prstence („guardu“) HP je zachována. Po dosažení ustálených hodnot je pro účely vyhodnocení součinitele tepelné vodivosti materiálu použita poslední hodina měření na dané teplotě, poté lze postoupit k ustalování vyšší teploty. Časová prodleva mezi posledním zásahem do regulace systému a dosažením hodnot, dále použitých pro výpočet součinitele tepelné vodivosti, musí být minimálně 24 h.

5.6. Vyhodnocení

Vyhodnocení měření je prováděno v následujících jednotlivých úkonech:

1. výpočet součinitele tepelné vodivosti pomocí Fourierova zákona vedení tepla,
2. stanovení teplotního rozdílu mezi teplotou a studenými deskami,
3. stanovení topného výkonu,

4. stanovení plochy vnitřní zóny topné desky,
5. stanovení tloušťky vzorku.

5.6.1. Výpočet pomocí Fourierova zákona vedení tepla

Výpočet součinitele tepelné vodivosti, pro dvouvrzorkové uspořádání, se provádí následujícím způsobem:

$$\lambda = \frac{P}{2A} \left(\frac{\Delta T_1 + \Delta T_2}{d_1 + d_2} \right)^{-1},$$

kde P je výkon elektrického topení vnitřní části topné desky, A je kontaktní plocha vnitřní části topné desky, ΔT_1 a ΔT_2 jsou teplotní rozdíly mezi teplou a studenou deskou náležící k jednotlivým vzorkům a d_1 a d_2 jsou tloušťky daných vzorků.

Součinitel tepelného odporu je převrácenou hodnotou součinitele tepelné vodivosti a stanoví se jako

$$R = \frac{d_1 + d_2}{2 \cdot \lambda}.$$

5.6.2. Měření teplotního rozdílu mezi deskami

Teplotní rozdíl ΔT se stanoví jako rozdíl teplot měřený kalibrovanými teploměry, umístěnými v centrální části topných desek ve vzájemně protilehlých polohách. Teplota měření, ke které je výsledná hodnota součinitele tepelné vodivosti přiřazena, je určena jako průměr teplot teplé a studené desky.

5.6.3. Stanovení topného výkonu

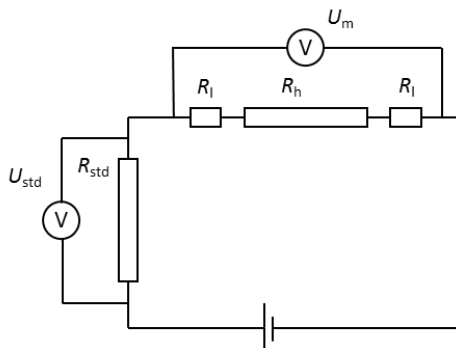
Topný výkon P centrální části teplé desky se vypočte na základě měření stejnosměrného napětí U a stejnosměrného proudu I , které přísluší odporovému drátu instalovanému uvnitř topné desky, jako

$$P = U \cdot I.$$

Obrázek **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**3 ukazuje zjednodušené schéma měření elektrického výkonu. Stejnoseměrný proud procházející topným elementem o odporu R_h se stanoví měřením úbytku napětí U_{std} na bočniku s odporem R_{std} . Pro přesné stanovení výkonu, který odpovídá vnitřní části topné desky, je nutné korigovat měřený úbytek napětí U_m vzhledem k odporu napájecích vodičů, které leží mimo vnitřní zónu topné desky. Pro výsledný výkon odpovídající centrální části topné desky pak vychází:

$$P = U_m \frac{R_h}{R_h + 2R_l} \frac{U_{std}}{R_{std}},$$

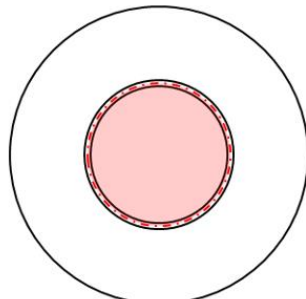
kde člen $2R_l$ odpovídá celkovému odporu přívodních vodičů.



Obrázek 3: Zjednodušené schéma měření stejnosměrného elektrického výkonu topného elementu v centrální části teplé desky.

5.6.4. Stanovení plochy vnitřní zóny topné desky

Plocha vnitřní zóny topné desky je definována dle normy ISO 8302 jako plocha vymezená středem mezery mezi vnitřní a vnější částí topné desky (viz. Obrázek 4: Vymezení plochy vnitřní zóny teplé desky).



Obrázek 4: Vymezení plochy vnitřní zóny teplé desky

Pro přesná měření při vyšších teplotách je nutné korigovat plochu na **tepelnou** roztažnost materiálu topné desky. Výslednou plochu vnitřní zóny lze přibližně vypočítat z rovnice:

$$A_t = A_0(1 + \alpha(t - t_0))^2,$$

ve které α odpovídá koeficientu délkové tepelné roztažnosti materiálu topné desky, A_t je plocha při teplotě experimentu t a A_0 je plocha při referenční teplotě t_0 .

5.6.5. Stanovení tloušťky vzorku

Pro vyhodnocení měření při všech teplotách je potřeba vzít do úvahy **tepelnou** roztažnost instalovaných vzorků. Na základě znalosti koeficientu **tepelné** roztažnosti testovaného materiálu α je možné tloušťku vzorku d při experimentální teplotě t určit jako:

$$d_t = d_0(1 + \alpha(t - t_0)),$$

kde rozměr d_0 odpovídá tloušťce materiálu při referenční teplotě t_0 .

V případě neznámého koeficientu tepelné roztažnosti lze u HTGHP tloušťku vzorku měřit laserovým dilatometrem v průběhu měření.

5.7. Vystavení protokolu o zkoušce

Vystavení protokolu o zkoušce je řízeno příslušným dokumentem řízené dokumentace. Protokol může, v případě požadavku zákazníka, obsahovat výrok o shodě naměřených hodnot s technickou specifikací, která je dohodnuta před vlastní zkouškou a je vyznačena v „záznamu o převzetí měřidla“.

6. Nejistoty měření

Jsou stanoveny v souladu s dokumentem JCGM 100:2008.

Pro jednotlivé zkušební teploty se provede vyhodnocení nejistot měření. Při vyhodnocování nejistot se pracuje pouze se standardní nejistotou ($k = 1$). Je třeba brát v úvahu nejistoty popsané níže.

6.1. Rozbor zdrojů nejistot

Standardní nejistota typu A u_A .

Vychází ze statistické analýzy opakované série měření. Odhad výsledné hodnoty pro počet měření N je vyjadřován aritmetickým průměrem:

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$$

Nejistota tohoto odhadu se určí jako výběrová směrodatná odchylka této hodnoty podle vztahu:

$$u_A = \sqrt{\frac{1}{N(N-1)} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}$$

Nejistota typu B u_B – skládá se z mnoha složek spojených s kalibrací a použitím multimetru, odporových snímačů teploty, stanovením měřeného napětí, bočníku nebo stanovení geometrických rozměrů vzorků. Jako příklad je seznam jednotlivých složek je v Příloze č.1 tohoto postupu. Hodnota související nejistoty se pak počítá v prostředí programu GUM Workbench Pro pomocí souboru připojeného v Příloze č.2.

Kombinovaná standardní nejistota u_c – vypočte se podle vztahu:

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_B^2}$$

Takto vypočtená kombinovaná standardní nejistota se přepočte na rozšířenou nejistotu s koeficientem rozšíření, k který má zpravidla hodnotu cca 2:

$$U = k u_c$$

Výsledná nejistota může být vyjádřena také rovnicí jako funkce teploty.

6.2. Konfirmační systém

Účelem konfirmačního systému je minimalizovat riziko, že měřicí zařízení bude vykazovat výsledky s nepřijatelnými chybami.

6.2.1. Pravidelná návaznost

Etalony a používaná pracovní měřidla jsou v rámci druhu a rozsahu pravidelně kalibrovány. Doba platnosti kalibrace, resp. rekalibrační interval jsou předmětem „metrologické karty“ příslušného měřidla.

6.2.2. Křížové navázání etalonů

V případě podezření na nesprávné údaje etalonu se provede křížové navázání etalonů. Potvrdí-li se odchylka etalonu, která přesahuje jeho nejistotu kalibrace, je podroben nové kalibraci. O těchto porovnáních je veden záznam.

6.2.3. Reprodukovatelnost

V případě podezření na nesprávné výsledky (velký rozptyl naměřených hodnot, velká odchylka údaje měřidla od nominální hodnoty, velký rozdíl naměřených hodnot od hodnot naměřených při poslední kalibraci) je měření zopakováno.

7. Závěrečné ustanovení

Tento pracovní postup je závazný pro všechny pracovníky příslušných laboratoří. Vedoucí každé laboratoře je povinen prokazatelně seznámit se zněním tohoto pracovního postupu všechny současné i nově nastupující pracovníky. Tento pracovní postup musí být neustále k dispozici každému pracovníkovi laboratoří.