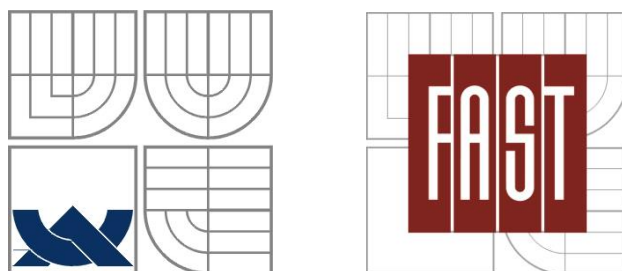


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A DÍLCŮ



BJ07

Izolační materiály

Návody do cvičení

BRNO 2011

Obsah:

1. Zkoušení živičných materiálů.....	4
1.1 Stanovení bodu měknutí kroužkem a kuličkou	4
1.2 Stanovení penetrace jehlou	5
2. Zkoušení hydroizolačních pásů a fólií	8
2.1 Plošná hmotnost	9
2.2 Jakost impregnace	9
2.3 Tloušťka	9
2.4 Druh živice	9
2.5 Zkouška pevnosti tahem (tržné zatížení a tažnost)	10
2.6 Ohebnost	10
2.7 Nasákavost vodou	10
2.8 Nepropustnost pro vodu (krabicová zkouška)	11
3. Stanovení součinitele tepelné vodivosti λ stavebních materiálů.....	12
3.1 Stanovení součinitele tepelné vodivosti pomocí Bockova přístroje:	13
3.2 Stanovení tepelné vodivosti metodou topného drátu.....	17
4. Stanovení součinitele teplotní vodivosti a	20
5. Stanovení činitele zvukové pohltivosti α.....	22
6. Stanovení dynamické tuhosti izolačních materiálů s'	26
7. Stanovení koeficientu kapilární absorpce.....	30
8. Stanovení emisivity stavebních materiálů	32
9. Příloha – Energetická náročnost budov.....	35

Návody do cvičení z předmětu BJ07 Izolační materiály byly inovovány za finanční podpory projektu FRVŠ G1 465/2011 „Inovace studijního předmětu Izolační materiály“.

Jitka Hroudová, Jiří Zach

Brno 2011

1. Zkoušení živičných materiálů

Pro hodnocení asfaltů a jejich roztřídění k různému použití existuje řada fyzikálně-mechanických a chemických zkoušek. Základní zkoušky prováděné na asfaltech jsou: *bod měknutí, penetrace, duktilita, bod lámavosti, penetrační index, popel, bod vzplanutí, tepelná stálost asfaltů, stékvost asfaltů, obsah živičných látek*. Vzhledem k časovým možnostem budou v laboratorních cvičeních provedeny 2 základní zkoušky prováděné u živičných materiálů, tj. Stanovení bodu měknutí kroužkem a kuličkou a Stanovení penetrace jehlou.

1.1 Stanovení bodu měknutí kroužkem a kuličkou

Bod měknutí kroužkem a kuličkou (KK) je stav, při kterém dle ČSN EN 1427 v předepsaném přístroji a předepsaným způsobem zahříváný vzorek změkne tak, že se tlakem ocelové kuličky o dané hmotnosti protáhne do předepsané délky. Účelem zkoušky je zjištění teploty ve °C, při které vzorek změnil svoji konzistenci. Bod měknutí je důležitým kritériem pro třídění a posuzování živičných hmot pro krytiny, izolace proti vodě, zalévací hmoty, tmely apod.

Při zkoušce se dva kotoučky, odlité z asfaltového pojiva do mosazných kroužků, zahřívají řízenou rychlostí v kapalinové lázni, přičemž na každém z nich je umístěna ocelová kulička. Za bod měknutí je považován průměr teplot, při kterých ocelová kulička vlivem změknutí zkušebních vzorků poklesne o vzdálenost $25,0 \pm 0,4$ mm.

Potřebné zařízení:

Pro zkoušku budou potřebné následující pomůcky a zařízení:

- 2 mosazné kroužky s vnitřním osazením, opatřené nákrůžky k přesnému usazení na nosné desce,
- 2 kuličky o průměru $9,20 \pm 0,05$ mm a hmotnosti $3,50 \pm 0,05$ g,
- odlévací destička o rovném povrchu a rozměru přibližně 50 mm x 75 mm a 1,5 mm až 2,0 mm s dolů zahnutými hranami,
- 1 kovový stojánek pro dva kroužky, sestávající ze tří kovových vodorovných desek spojených kovovými sloupky. Prostřední deska má dva kruhové otvory pro vložení mosazných kroužků a ve středu otvor pro teploměr. Horní deska má rovněž otvor pro teploměr. Aparatura se zavěsí do kádinky tak, aby spodní deska stojáčku byla ode dna kádinky 13–19 mm. Kádinka je tenkostěnná, výšky nejméně 120 mm a dolního průměru nejméně 85 mm,
- analogový teploměr,
- regulovatelný tepelný zdroj (vaříč),
- vzorek asfaltu,
- další drobné pomůcky (řezací nůž, ochranné rukavice, hadr, vazelína, ...).



Obr. 1: Přehled pracovních pomůcek a zařízení

Postup zkoušky:

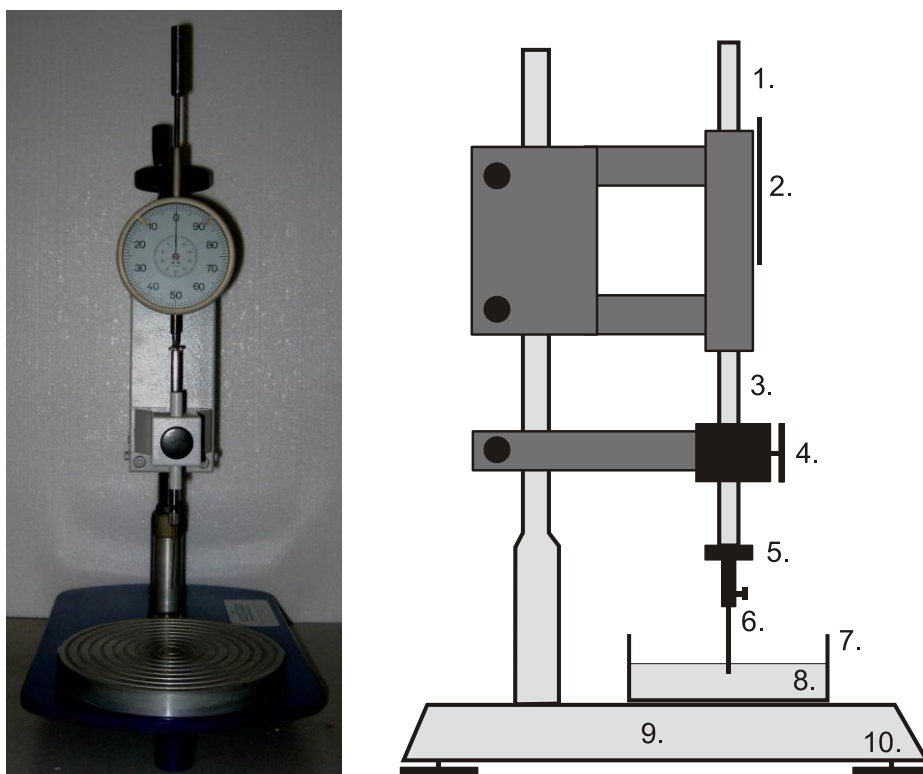
Mosazné kroužky předehřáté na teplotu cca o 90 °C vyšší, než je předpokládaný bod měknutí, se umístí na odlévací destičku, která je pokryta separačním přípravkem. Do kroužků se nalije mírně předehřátý přebytek asfaltu a vzorky se chladí při laboratorní teplotě minimálně 30 min.

Poté se přebytek vzorku odřízne mírně nahřátým nožem v rovině horního okraje kroužku. Kádinka se naplní převařenou destilovanou vodou (při předpokládaném bodu měknutí do 80°C) nebo glycerínem (při předpokládaném bodu měknutí nad 80°C) do výšky 51 mm nad horní okraj kroužků. Kroužky se zasadí do stojánku, kuličky na dno kádinky a 15 minut se temperují na teplotu $+5 \pm 1$ °C. Pak se kuličky vloží na vzorky, ponoří se znovu do kádinky naplněné vodou a provádí se zahřívání tak, aby teplota stoupala rovnoměrně o 5°C za minutu. V okamžiku, kdy vzorek změkne a kulička s protaženým vzorkem se dotkne spodní desky přístroje, se zaznamená teplota s přesností na 0,5°C. Aritmetický průměr z obou hodnot odpovídá bodu měknutí. Výsledky u vzorků s bodem měknutí do 80°C se nemají lišit o 1,0°C; s bodem měknutí nad 80°C o 2,0°C.

U asfaltů s vyšším bodem měknutí, kde je třeba použít glycerinové lázně, se tato lázeň předehřeje na teplotu 30 ± 1 °C a potom je postup stejný jako s vodní lázní.

1.2 Stanovení penetrace jehlou

Penetrace (dle ČSN EN 1426) je spolu s bodem měknutí nejdůležitější zkouškou pro hodnocení živíc. Je mírou konzistence asfaltu, vyjádřenou hloubkou vniku normalizované jehly, na kterou působí určitou dobu předepsané zatížení při dané teplotě. Standardní zkouškou se rozumí - zatížení 100 g, doba vniku 5 sekund a teplota 25°C (případně 15°C). Chceme-li získat podrobnější znalosti o vlastnostech asfaltu, můžeme měnit všechny zkušební parametry penetrace. Zatížení se volí 50, 200 a 500 g, doba se mění od 5 do 60 sekund a teplota od 2 do 60°C.



Obr. 2: Přístroj pro stanovení penetrace jehlou - Penetrometr
(1- vřeteno, 2- stupnice, 3- držák jehly, 4- uvolňovací zařízení, 5- 50g závaží, 6- jehla a koncovka, 7- zkušební miska, 8- zkušební vzorek, 9- podkladní deska, 10- stavěcí šroub) [1]

Potřebné zařízení:

- vhodný penetrometr s držákem o hmotnosti $47,50 \pm 0,05$ g, závaží o hmotnosti $50,00 \pm 0,05$ g, které se upevní nad jehlu dle obr. 2,
- penetrační jehla o průměru 1,00 mm až 1,02 mm se symetrickým zabroušením pod úhlem $9^{\circ}10' \pm 30'$,
- zkušební nádoby pro penetraci dle tab. 1.,
- vodní lázeň s kapacitou min. 10 l pro udržení požadované teploty s přesností $\pm 0,1$ °C,
- teploměry,
- přenášecí miska pro zkoušky mimo vodní lázeň o objemu min. 350 ml,
- zařízení na měření času s přesností 0,1 s.

Tab. 1.: Doporučené rozměry zkušební nádoby

Penetrace [0,1 mm]	Vnitřní hloubka [mm]	Vnitřní průměr [mm]
penetrace < 200	35	55
$200 \leq$ penetrace < 350	45	70
$305 \leq$ penetrace < 500	60	70

Postup zkoušky:

K jedné zkoušce je zapotřebí asi 100 g vzorku. Vzorek se připraví stejným způsobem jako u bodu měknutí a pak se jím naplní nádoba (teplota vzorku nesmí překročit 200°C). Nádobku naplníme tak, aby výška vzorku byla nejméně o 10 mm větší než předpokládaná hloubka průniku jehly. Nádobka se vzorkem se přikryje kádinkou s okrajem vhodné velikosti (pro odstranění bublinek ze zkušebního vzorku). Vzorky se chladí na teplotu 15°C až 30°C.

Dále se vzorky umístí do řízené teplotní lázně a nechají se temperovat na zkušební teplotu. Teplota, při které se zkouška provádí, je při hodnotách penetrace menších jak $500 \times 0,1$ mm 25°C, při hodnotách vyšších je 15°C.

Poté se stolek penetrometru vyrovná do vodorovné polohy, na něj se umístí vodní lázeň se vzorkem. Hrot jehly se nastaví přesně na povrch asfaltu tak, aby nebyl zapíchnut do vzorku. Stupnice penetrometru se nastaví na nulu. Na 5 sekund se uvolní jehla se zatížením 100 g. Údaj penetračních jednotek se odečte na stupnici. Stanovení se opakuje 3x, jednotlivé vpichy jsou vzdáleny alespoň 1 cm od sebe a hrot jehly musí být vždy před každým vpichem očištěný.

Vyhodnocení výsledků:

Za výsledek zkoušky se považuje aritmetický průměr nejméně tří stanovení, přičemž rozdíly hodnot při penetraci 25°C musí být nižší než hodnoty uvedené v tab. 2.

Tab. 2.: Maximální rozdíl platných stanovení

Počet stanovení	Maximální rozdíl [%]
do 50	rozdíl mezi hodnotami max. 2
50-150	rozdíl mezi hodnotami max. 4
150-250	rozdíl mezi hodnotami max. 6
nad 250	3 % od aritmetického průměru

Standardní penetrace se označuje jako "Penetrace $\times 0,1$ mm". Byla-li provedena při jiné teplotě, tato se vyznačí za zlomkovou čáru.

Kontrolní otázky:

1. Co jsou to živice?

2. Vyjmenujte jednotlivé druhy asfaltů.
3. Popište chemické složení asfaltů.
4. Vyjmenujte alespoň 2 základní zkoušky prováděné u živičných hmot.
5. Co jsou to dehty?
6. Co sledujeme při zkoušce stanovení bodu měknutí kroužkem a kuličkou?
7. Jaká byla penetrace vzorku asfaltu, když byla naměřena hloubka vniku jehly do vzorku 8 mm.

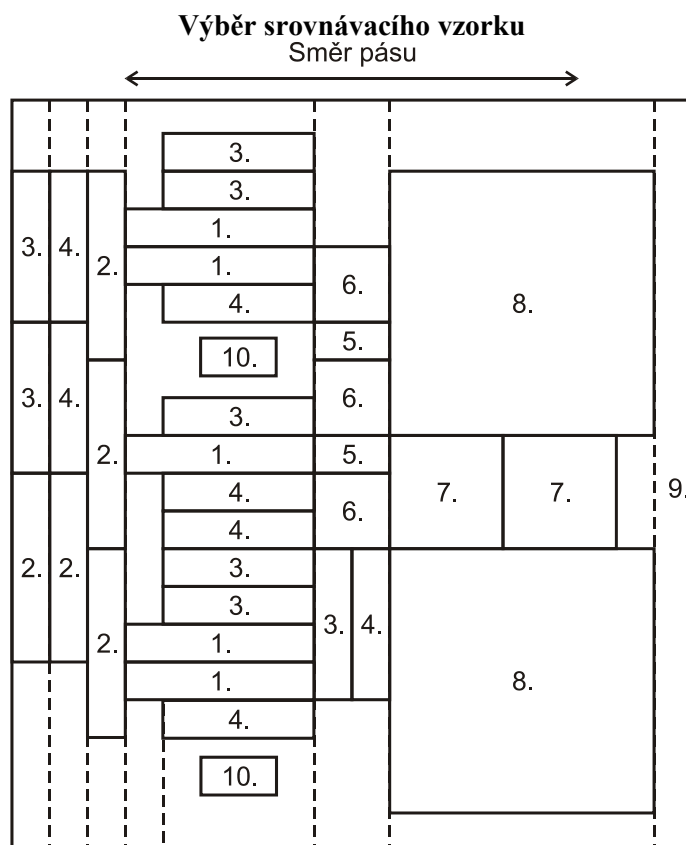
2. Zkoušení hydroizolačních pásů a fólií

U hydroizolačních pásů je možné dle požadavků provádět řadu zkoušek (dle ČSN 50 3602), které budou stručně popsány v dalším textu. Tyto zkoušky slouží především pro ověření výstupní kvality ve výrobních závodech a dále pro ověření vlastností materiálů při použití na stavbě. Pro střešní pásy a fólie je možné provést dále řadu dalších speciálních zkoušek, které nebudou v textu popsány, ale v závěru publikace je možné najít seznam platných technických norem, dle kterých je možné tyto zkoušky provádět. V rámci cvičení budou provedeny následující zkoušky, jejichž postup je podrobně popsán níže:

- plošná hmotnost,
- jakost impregnace,
- stanovení tloušťky,
- druh živice,
- zkouška pevnosti tahem (tržné zatížení a tažnost),
- ohebnost,
- nasákavost vodou.



Pro provedení zkoušek je nutné odebrat z role izolačního materiálu vzorek o délce minimálně 2,5 m (přes celou šířku), který se z role odřízne v minimální vzdálenosti 1 m od konce role. U zkušebního pásu je nutné stanovit hmotnost s přesností na 0,1 % celkové hmotnosti role a rozměry s přesností na 2 mm. Tento vzorek se v polovině své délky rozdělí na dvě části, přičemž jedna část se uschová pro kontrolní zkoušky a druhá část se rozdělí na zkušební vzorky pro jednotlivé zkoušky dle schématu (viz obr. 3).



Obr. 3: Rozvržení odběru jednotlivých zkušebních vzorků z porovnávacího vzorku izolačního pásu [1]

Tab. 3: Velikosti zkušebních vzorků pořízených z porovnávacího vzorku izolačního pásu

Č.	Zkouška	a [mm]	b [mm]	Přesnost [mm]
1	Tržné zatížení podélné	250	50	± 1
2	Tržné zatížení příčné	250	50	± 1
3	Ohebnost při 20°C	200	50	± 2
4	Ohebnost při -15°C	200	50	± 2
6	Nasákavost vodou	100	100	± 1
8	Nepropustnost (krabice)	350	350	± 2
9	Jakost impregnace	50	přes celou šířku	

2.1 Plošná hmotnost

Plošná hmotnost m' [$\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$] materiálu v roli se vypočte na základě naměřených hodnot dle vzorce:

$$m' = \frac{m}{l \cdot b} \quad (1)$$

kde:

m ... hmotnost zkušebního vzorku [g],

l ... délka zkušebního vzorku [m],

b ... šířka zkušebního vzorku [m].

2.2 Jakost impregnace

Jakost impregnace se posuzuje u asfaltových nebo dehtových lepenek tak, že se příčný pás (vzorek č. 9. z obr. 3) lepenky roztrhne minimálně na pěti místech tak, aby se obnažila vnitřní vrstva lepenky.

Jakost impregnace je vyhovující, pokud je vnitřní vrstva stejnoměrně zbarvena impregnačí a pokud neobsahuje neproimpregnovaná místa.

2.3 Tloušťka

Tloušťka lepenky se zjišťuje mikrometrickým měřením na porovnávacím vzorku před jeho úplným rozdělením. Tloušťka asfaltové lepenky je dána aritmetickým průměrem minimálně deseti měření, která jsou rovnoměrně rozdělená po ploše zkušebního vzorku lepenky.

2.4 Druh živice

Druh živice použité k výrobě izolačního materiálu je možné stanovit dvěma způsoby:

- Podle rozpustnosti v petroleji.** Vzorek lepenky o rozměrech 10 mm × 10 mm se při teplotě 20 ± 2 °C ponoří do petroleje nalitého do bílé porcelánové misky. Pokud se materiál v petroleji rozpouští a v misce vzniká hnědý roztok, jedná se o materiál vyrobený z asfaltové suroviny. V opačném případě se jedná o dehtový materiál.
- Podle zápachu a barvy.** Druh živice lze často stanovit podle specifického zápachu buď přímo, anebo zahřátím nad plamenem. Materiálové asfalty jsou většinou bez specifického zápachu, ale dehtové materiály vykazují charakteristický zápach dehtových hmot. Druh živice je možné určit i podle zbarvení lepenky. Při natržení lepenky je vnitřní vrstva asfaltových lepenek většinou zbarvena do hněda, přičemž lepenky dehtové jsou téměř černé.

2.5 Zkouška pevnosti tahem (tržné zatížení a tažnost)

Tržné zatížení F_{max} [kN] je maximální zatížení při zkoušce tahem, při které dochází k přetržení zkušební vzorku (vzorek 1. a 2. obr. 3).

Tažnost [%] je poměrné prodloužení zkušební vzorku namáhaného tahem v okamžiku přetržení. Zkouška se provádí na dvou sadách 5 vzorků 250×50 mm odebraných v podélném a příčném (ve smyslu směru pásu lepenky) směru ze zkušební materiálu při teplotě 20 ± 2 °C na trhačím stroji. Vzorek je upnut do zkušební stroje s posunem čelistí $100 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ při stanovených podmínkách, následně je spuštěn a postupně namáhán tahovým napětím. Sledované veličiny jsou odečteny ve chvíli přetržení vzorku. Nastane-li přetržení vzorku blíže než 20 mm od čelisti, je výsledek neplatný a je nutné použít další vzorek. Tažnost [%] se vypočítá v podélném a příčném směru dle vztahu:

$$\text{Tažnost} = \frac{l_{\max} - l_0}{l_0} \cdot 100 \quad (2)$$

kde:

l_{\max} ... délka zkušební vzorku při jeho přetržení [mm],

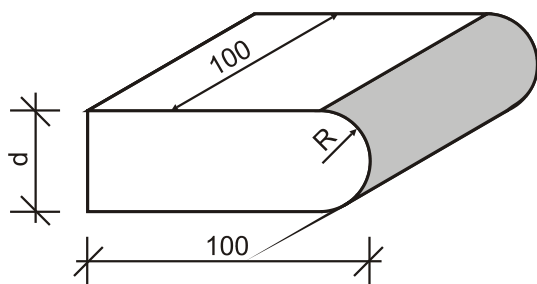
l_0 ... délka zkušební vzorku (100 mm) [mm].

Při zkoušce je provedeno pět měření pro vzorky odebrané v příčném směru a pět měření pro vzorky odebrané ve směru podélném, přičemž výsledné hodnoty se stanoví jako průměr měření v jednom a druhém směru.

2.6 Ohebnost

Ohebností se rozumí odolnost materiálu při namáhání ohybem za daných podmínek zkoušky. Při zkoušce se zjišťuje vznik trhlin v povrchu materiálu při jeho namáhání ohybem za teploty 20°C a -15°C.

Vzorek o rozměrech 200×50 mm (vzorky 3. a 4. obr. 3) je temperován na danou teplotu s přesností $\pm 2^\circ\text{C}$. Po vytemperování je vzorek dle obr. 4 ohnut bez napínání přes zkušební hranol z tvrdého dřeva. Ohyb má trvat 3 s při teplotě 20°C a 5 s pokud se zkouší při teplotě -15°C.



Obr. 4: Zkušební hranol pro zkoušku ohebnosti [1]

Zkouška se provádí na dvou sériích třech zkušebních vzorků odebraných v příčném a podélném směru. Jako vyhovující se označí série s nezměněným povrchem. Popraská-li jeden vzorek, připraví se tři vzorky nové a zkouška se opakuje. Je-li nová série beze změn, je vzorek označen jako vyhovující, v opačném případě je vzorek nevyhovující.

2.7 Nasákavost vodou

Zkouška nasákavosti ponořením vzorku do vody na 24 hod. umožňuje posoudit jakost impregnace lepenky, která je závislá na objemu pórů nevyplněných živící.

Tři vzorky o rozměrech 100×100 mm (vzorek 6. obr. 3) se zváží s přesností na 0,01 g a ponoří na dobu 24 hod. do vodní lázně s teplotou 20 ± 2 °C. Vzorky musí být zcela ponořeny a z jejich povrchu musí být odstraněny případné vzduchové bublinky.

Po této době se vzorky vyjmou a osuší se filtračními papíry. Po té se vzorky znovu zváží s přesností na 0,01 g.

Nasákavost vodou N [%] se stanoví dle vztahu:

$$N = \frac{m_N - m_0}{m_0} \cdot 100 \quad (3)$$

kde:

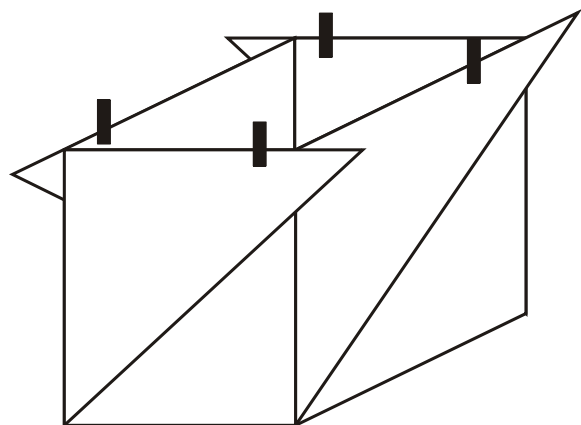
m_0 ... hmotnost vzorku před zkouškou [g],

m_N ... hmotnost nasáklého vzorku [g].

Výsledná hodnota nasákavosti N je určena jako aritmetický průměr ze tří měření.

2.8 Nepropustnost pro vodu (krabicová zkouška)

Zkouška charakterizuje schopnost materiálu odolávat účinku pronikání vody v závislosti na tlaku vody a době jejího působení. Tato zkouška je vhodná pouze pro lehké materiály. Pro těžké materiály, kterými za podmínek zkoušky nemůže projít žádné množství vody, zkouška vhodná není.



Pro zkoušku se připraví dva vzorky o rozměrech 350 × 350 mm (vzorek 8. obr. 3), z nichž se sestaví zkušební krabice dle obr. 5 tak, aby plocha dna byla 100 × 100 mm a výška krabice 125 mm. Tvar krabice se zajistí sepnutím rohů, např. kancelářskými svorkami. Krabice se umístí na rovnou podložku a naplní se vodou do předepsané výšky (dle požadavků na zkoušku). Během zkoušky se hladina vody ve zkušební krabici na tuto výšku doplňuje.

Obr. 5: Náčrt zkušební krabice pro stanovení nepropustnosti pro vodu [1]

Po uplynutí předepsané doby, většinou 72 hod., se krabice nadzvedne a zhodnotí se, zda voda zkušebním vzorkem prosákla či nikoliv. Pro zjednodušení sledování průsaku vody na podložku je možné vodu v krabici mírně okyselit a pod krabici položit indikátor citlivý na kyselé prostředí.

Zápis o zkoušce

Všechny naměřené a vypočtené údaje z výše popsanych zkoušek se uvádí do souhrnného protokolu, který se zpracuje dle pokynů v ČSN 50 3602.

Kontrolní otázky:

1. Vyjmenujte jednotlivé vrstvy asfaltových izolačních pásů.
2. Vyjmenujte alespoň 5 možných využití asfaltových izolačních pásů.
3. Z jakých materiálů jsou zhotoveny nosné vložky asfaltových pásů?
4. Jakou funkci má v asfaltových pásích nosná kovová vložka, nejčastěji z Al?
5. Na kolika místech je testován izolační pás při zkoušce jakosti impregnace?
6. O jaký druh živice se jedná, pokud při rozpouštění vzorku v petroleji vzniká hnědý roztok?

3. Stanovení součinitele tepelné vodivosti λ stavebních materiálů

Stanovení součinitele tepelné vodivosti lze provádět v praxi několika základními způsoby, které se od sebe liší jednak teplotním stavem zkušební vzorku během měření a dále způsobem stanovení a vyhodnocení součinitele tepelné vodivosti zkušební vzorku. Metody lze tedy obecně rozdělit na:

1. **Stacionární metody** (Metoda desky, Metoda chráněné teplé desky, Metoda měřidla tepelného toku, Metoda válce, Metoda koule)
2. **Nestacionární metody** (Metoda nestacionárního tepelného toku, Metody tepelných impulsů- Metoda horkého drátu (Hot Wire Method), Záblesková metoda (Laser Flash Method), Ostatní metody tepelných impulsů.

Stacionární metody stanovení hodnoty součinitele tepelné vodivosti λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] vycházejí ze vztahu:

$$\lambda = \frac{Q \cdot d}{(\theta_1 - \theta_0) \cdot S \cdot \tau} \quad (4)$$

kde:

Q ... množství prošlého tepla [J],

θ_0, θ_1 ... teplota horní, resp. spodní roviny desky [$^{\circ}\text{C}$],

d ... tloušťka desky [m],

S ... průřez [m^2],

τ ... čas [s].

Výchozím stavem je stacionární, tedy ustálený teplotní stav v měřeném vzorku.

$$\frac{\partial \theta}{\partial \tau} = \text{konst} \approx 0 \quad (5)$$

Vzhledem k tomu, že stacionární stav není při běžných podmínkách prakticky dosažitelný, považuje se za stacionární takový stav, kdy změna teploty je za daný časový úsek menší než smluvně definovaná teplotní změna (dle ČSN 72 7010).

$$\frac{d\theta}{d\tau} \leq \Delta T_{\max} \left|_{\text{sledovaný časový interval}} \right. \Delta \tau = \text{konst.} \quad (6)$$

U stacionárních metod je nezbytné zajistit ustálený tepelný tok procházející od teplejšího povrchu měřeného vzorku k chladnějšímu povrchu vzorku. Potom lze z rozdílu teplot, plochy vzorku a tloušťky vzorku vypočítat hodnotu součinitele tepelné vodivosti λ .

Z noremního přehledu stacionární metoda vychází z obecně platných zásad. Předně je to definice ustáleného tepelného stavu, pro který se požaduje, aby nedocházelo ve vztažné části vzorku k časové změně hustoty tepelného toku větší, než stanovují závazné požadavky pro zkušební normy. Vztažnou částí vzorku se dle této normy rozumí ta část vzorku, kterou protéká tepelný tok Φ [W], uvažovaný při vyhodnocení součinitele tepelné vodivosti λ .

Pro určení součinitele tepelné vodivosti jsou určující fyzikální vlastnosti vzorku a okrajové podmínky měření. Za okrajové podmínky při vyhodnocování součinitele tepelné vodivosti se považuje:

- objemová hmotnost suchého ρ_s [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$], případně zdánlivě suchého ρ_{ss} [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$] vzorku s tím, že suchý vzorek se získá sušením při teplotě 105°C až 110°C do ustáleného hmotnostního stavu a zdánlivě suchý vzorek se získá sušením při teplotě nižší než 105°C do ustáleného hmotnostního stavu,

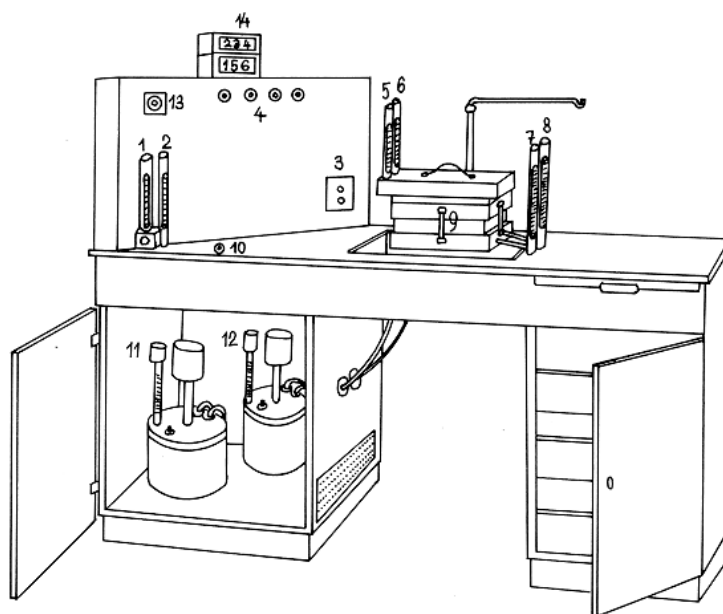
- střední teplota při měření $\theta_{stř}$ [°C], což je aritmetický průměr teplot vztažných ploch teplejšího i chladnějšího povrchu vzorku, které se uvažují do vyhodnocení měření,
- hmotnostní vlhkost w_m [%] nebo objemová vlhkost w_v [%], což je hmotnostní, resp. objemový poměr kapaliny a sušiny, včetně obsaženého vzduchu. Hmotnostní, resp. objemová vlhkost materiálu se získá jako aritmetický průměr z hodnot naměřených před a po měření součinitele tepelné vodivosti.

Na rozdíl od stacionárních metod je měření nestacionární metodou založeno na sledování dynamického vývoje teplot. Nestacionární metody však nepožadují ustálený teplotní stav, nýbrž se sleduje průběh šíření teplotní vlny měřeným vzorkem. Na základě různého způsobu sledování nestacionárního vývoje během měření potom existuje řada variant pro stanovení hodnoty součinitele tepelné vodivosti λ .

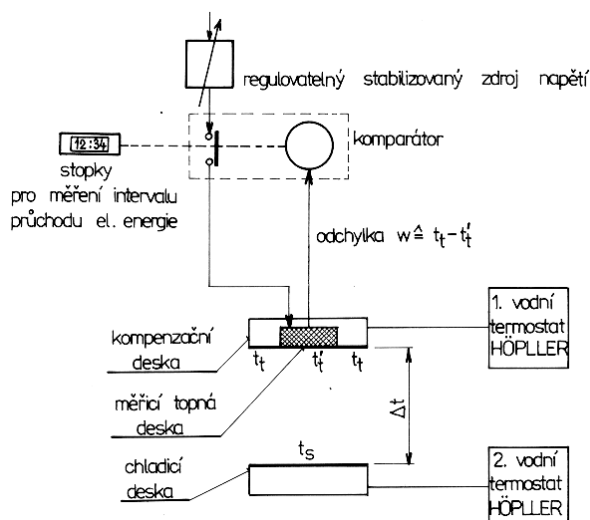
3.1 Stanovení součinitele tepelné vodivosti pomocí Bockova přístroje:

Jedním ze způsobů používaných při stanovení součinitele tepelné vodivosti λ je přístrojem podle Dr. Bocka. Měření je založeno na průchodu stacionárního toku tepla z měřicí topné desky do desky kompenzační zkoušeným deskovitým fragmentem vzorku. Měřicí topná deska je zabudována do desky kompenzační, která je temperována na stejnou teplotu jako měřicí topná deska a tím se eliminují tepelné ztráty do okolí mimo vzorek. Při ustáleném (stacionárním) tepelném toku, kdy teploty měřicí topné desky a desky kompenzační jsou stejné (teplotní spád mezi nimi je nulový), může tepelný tok z měřicí topné desky procházet pouze a jen měřeným materiálem k chladicí desce.

Kompenzační deska je temperována na stanovenou teplotu protékající vodou z termostatu a rovněž tak i deska chladicí je temperována protékající vodou z druhého termostatu. Měřicí topná deska je otápěna elektrickou energií a množství spotřebované elektrické energie za časový interval je registrováno. Z množství tepla, dodaného měřicí topnou deskou za časovou jednotku, tloušťky vzorku, teplotního spádu na vzorku a individuální konstanty přístroje se vyjádří hodnota součinitele tepelné vodivosti λ zkoušeného materiálu.



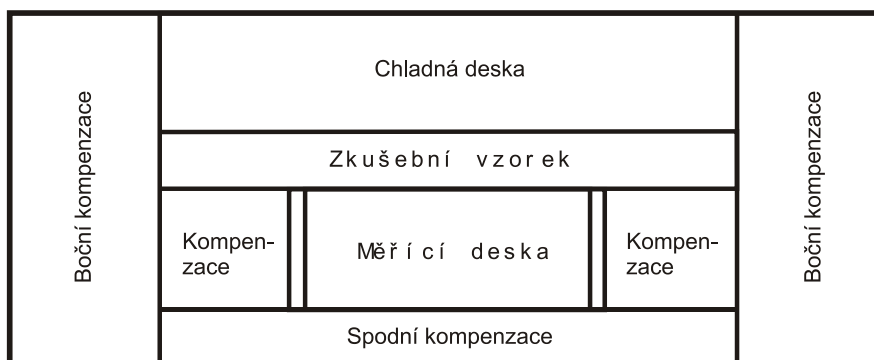
Obr. 6.: Uspořádání Bockova přístroje [2]



Obr. 7: Funkční schéma Bockova přístroje [2]

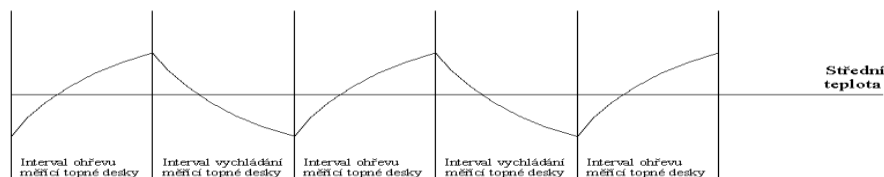
Popis přístroje

Měřicí část Bockova přístroje se skládá z horizontálně uložených hliníkových desek o rozměru 250 x 250 mm, mezi něž se vkládá měřený deskovitý materiál. Horní deska je topná. Uprostřed této desky je umístěna měřicí topná deska o průměru 116 mm zabudovaná do desky kompenzační. Měřicí topná deska je vytápěna z regulovatelného stabilizovaného zdroje stejnosměrného napětí přes komparátor, který je řízen napětím diferenční termočlávkové termobaterie. Jestliže jsou stejné teploty měřicí topné desky i desky kompenzační, termoelektrický potenciál diferenční termočlávkové termobaterie je nulový. Jestliže se však vyskytne teplotní rozdíl mezi oběma deskami, potom se na výstupní svorce objeví takový potenciál, který je úměrný teplotnímu rozdílu (polarita je závislá na tom, která deska je chladnější či teplejší).



Obr. 8: Schéma měřicí části Bockova přístroje [1]

Komparátor je přímo spojen s diferenční termočlávkovou termobaterií a přes relé připojuje měřicí topnou desku ke zdroji stabilizovaného napětí jen tehdy, jestliže teplota měřicí topné desky poklesne vůči teplotě desky kompenzační. Při vyrovnání teplot obou desek se vypne přívod proudu do měřicí topné desky. Vytápění měřicí topné desky na teplotu desky kompenzační probíhá v podobě pravidelných elektrických impulsů.



Obr. 9: Vyobrazení průběhu teploty měřicí topné desky řízené dvoustavovým regulátorem [2]

Tepelný tok vzorkem je závislý na jeho tepelně-izolačních vlastnostech a podle toho je třeba nastavit velikost stabilizovaného napětí zdroje pro vyhřívání měřicí topné desky. Napětí se nastavuje víceotáčkovým potenciometrem. Pro korektní stanovení hodnoty součinitele tepelné vodivosti λ měřeného vzorku je nutné, aby spotřeba elektrické energie byla přímo úměrná tepelnému toku. Toho se dosáhne, jestliže impulsy elektrického proudu do měřicí topné desky byly v pravidelných časových intervalech. Splnění této podmínky lze sledovat na elektrických stopkách (doba jejich zapnutí musí být stejná jako doba vypnutí).

Chladicí i kompenzační deska je temperována protékající vodou z termostatů typu Höppler, jejichž teplota se nastavuje na regulačních teploměrech. Pro správnou funkci termostatů je do vodního systému zavedena chladná voda z vodovodní sítě. Ovládání se provádí ventilem, který řídí průtok chladicí vody.

Teplota přitékající a odtékající vody v obou deskách přístroje se měří cejchovanými rtuťovými teploměry. Údaje teploměrů je proto nutné převést podle příslušné cejchovní křivky na skutečnou teplotu.

Postup měření

- 1) Pro měření se použije deskových čtvercových vzorků o délce hrany 250 mm. Vzorek musí být na protilehlých plochách rovnoběžně zabroušen, aby desky přístroje těsně doléhaly k jeho povrchu. V případě nerovných povrchů by mezery mezi styčnými plochami ovlivnily výsledek měření.
- 2) Suchý připravený vzorek se vloží mezi desky přístroje, dbá se přitom, aby se při vkládání vzorku desky nepoškrábaly a aby doléhaly těsně na vzorek. Po uložení vzorku se měří výška vzorku (přitom je třeba zohlednit korekci na nulovou polohu mikrometrických šroubů). Přesahuje-li výška vzorku 50 mm, našroubují se na mikrometrické šrouby nástavce. Mikrometrickými šrouby se měří na "slabý doraz" a zaznamenají se. Po uložení vzorku se měřicí soustava zakryje izolační skříní.
- 3) Na zadní straně přístroje se otevře přívod vody. Množství protékající vody se řídí ventilem a udržuje v intervalu 0,5 - 1,0 dm³/min. Nastavení kontaktních teploměrů v termostatech má být takové, aby rozdíl teplot mezi topnou a chladicí deskou byl asi 10 K, přičemž nastavení teploty na kontaktním teploměru pro chladicí desku musí být o 3–4 K vyšší než teplota chladicí vody přitékající z vodovodu (*při cvičení neprovádět, je již nastavena!*).
- 4) Zapne se hlavní vypínač na rozvodné desce. Správný chod termostatů, stejná doba zapnutí a vypnutí elektrického okruhu v topném tělese, se upraví potřebným průtokem chladicí vody pomocí ventilu (*pro cvičení je již nastaveno*). Podobně se upraví stejná doba zapnutí a vypnutí elektrického okruhu v měřicí topné desce nastavením potřebného výkonu víceotáčkovým potenciometrem. Nastavení se seřizuje podle poměru časů digitálních stopek. Jsou-li zapnuty dlouho, znamená to, že měřicí topná deska není dostatečně vytápěna a je třeba stupeň výkonu zvýšit. Podobně je tomu i v opačném případě - při krátké době vyhřívání měřicí topné desky je třeba stupeň výkonu snížit. Po jisté době (*pro cvičení asi 30 minut*) se teplota na styčných plochách vzorku vyrovná a tepelný tok ustálí.

Stacionární tepelný tok se projeví pravidelným chodem stopek, které se v pravidelných intervalech zastaví.

- 5) Při měření se zaznamenávají v následujícím pořadí tyto údaje:
- i) Teplota prostředí (teploměr uložen ve skřínce přístroje).
 - ii) Před začátkem každého měřicího intervalu se odečítá teplota na teploměrech 5, 6, 7 a 8 na dvě desetinná místa. U všech teploměrů hladina rtuti mírně kolísá, bere se proto jejich střed. Odečítání má trvat co nejkratší dobu, nemá přesáhnout 5 minut.
 - iii) Nastavení napětí víceotáčkovým potenciometrem, k němuž odečteme příslušné napětí na voltmetru, se po ustálení tepelného toku nesmí měnit (*napětí bude nastaveno, případně upraveno, vedoucím cvičení*).
 - iv) Ve vymezeném časovém intervalu τ_1 , který je doporučen 15–30 minut, se sleduje doba vytápění měřicí topné desky elektrickým proudem ze stabilizovaného zdroje napětí τ_2 . Měření sestává nejméně ze tří intervalů τ_1 .

Vyhodnocení

Pro výpočet součinitele tepelné vodivosti λ neznámých vzorků se vychází z ekvivalence velikosti tepla vybaveného na elektrickém odporu měřicí topné desky Q_1 a velikosti tepla prošlého měřeným vzorkem Q_2 . Jouleovo teplo:

$$Q_1 = \frac{U^2}{R} \cdot \tau_2 \quad (7)$$

kde:

U ... napětí přiložené na elektrický odpor měřicí topné desky [V],

R ... elektrický odpor měřicí topné desky [Ω],

τ_2 ... časový interval, po který je elektrický topný odpor napájen ze stab. zdroje [s].

Množství tepla prošlého zkušební vzorkem během měřicího intervalu τ_1 vzorkem se určí dle vztahu:

$$Q_2 = \frac{\lambda}{d} \cdot \Delta\theta \cdot S \cdot \tau_1 \quad (8)$$

Kde:

λ ... součinitel tepelné vodivosti měřené látky [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$],

d ... tloušťka vzorku [m],

$\Delta\theta$... teplotní spád na vzorku ve směru tepelného toku (rozdíl teploty mezi chladnou a teplou deskou [K],

S ... plocha měřicí topné desky [m^2] - průměr desky činí 116 mm,

τ_1 ... časový interval pozorování [s].

Sloučením obou vztahů za předpokladu ekvivalence

$$Q_1 = Q_2 \quad (9)$$

platí :

$$\frac{\lambda}{d} \cdot \Delta\theta \cdot S \cdot R = U^2 \cdot \frac{\tau_2}{\tau_1} \quad (10)$$

Po zavedení korekční hodnoty Θ , z důvodu tepelných ztrát bočním vyzařováním, získáme vztah:

$$\lambda = \frac{U^2 \cdot d \cdot \frac{\tau_2}{\tau_1}}{(\Delta\theta - \Theta) \cdot S \cdot R} \quad (11)$$

Konstanty přístroje: $R = 72,4352 \Omega$,
 $S = 0,0105683 \text{ m}^2$,
 $\Theta =$ korekční hodnota uvedená na přístroji [K],
 $U =$ hodnota napětí odečtená na voltmetru [V].

Výpočet provedeme pro všechny měřicí intervaly a výslednou ekvivalentní hodnotu součinitele tepelné vodivosti stanovíme jako průměrnou hodnotu ze všech měřicích intervalů, v nichž bylo dosaženo stacionárního teplotního stavu měřicí soustavy.

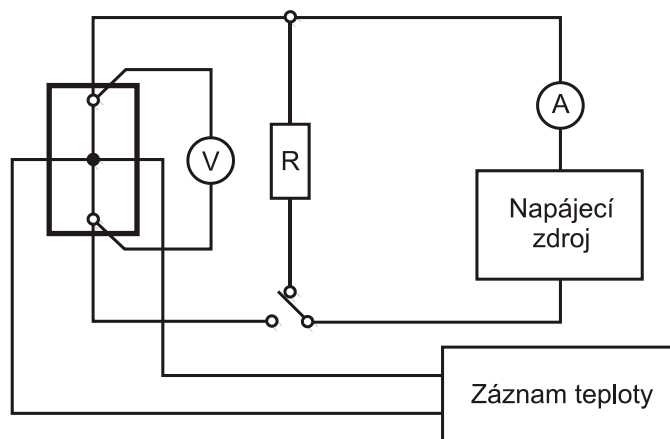
3.2 Stanovení tepelné vodivosti metodou topného drátu

Měření se provádí v souladu s noremním postupem dle ČSN EN ISO 8894-1, kde je definován měřicí postup stanovení součinitele tepelné vodivosti žárovzdorných výrobků a materiálů metodou topného drátu. Metodou lze měřit jak materiály hutné, tak i zrnité nebo práškové.

Měření se provádí tak, že se nejprve připraví dva až tři vzorky, jejichž rozměry jsou minimálně $200 \times 100 \times 50 \text{ mm}$. Tyto vzorky tvoří zkušební celek. Povrchové plochy dvou vzorků, které se ve zkušebním celku navzájem dotýkají, musí být zabroušené tak, aby odchylka od rovinnosti dvou bodů nebyla větší než 0,2 mm. Do hutných materiálů je třeba vytvořit zářezy pro umístění měřicího obvodu. Měřicí obvod se v zářezích zatmelí tmelem z jemně mletého zkušebního vzorku smíšeného s malým množstvím vhodného pojiva.

Před započítím měření je nutné vytemperovat měřicí soustavu do stacionárního stavu. Dále se připojí obvod topného drátu ke zdroji, který je nastaven tak, aby nárůst teploty topného drátu dosahoval max. 100°C za 15 min. Od tohoto okamžiku dochází k záznamu teploty topného drátu. Měření se ukončí po 10 ~ 15 min.

Dále se vyčká do stavu ustálení teploty a měření se ještě dvakrát opakuje. Tímto postupem se naměří tři hodnoty rychlosti nárůstu teploty topného drátu za stejných podmínek. Schématický náčrt konstrukce měřicího zařízení je zachycen na obr. 10.



Obr. 10: Uspořádání měřicího zařízení [1]

Hodnota součinitele tepelné vodivosti λ se vypočítá ze vztahu:

$$\lambda = \frac{I^2 \cdot R_m}{4 \cdot \pi} \cdot \frac{\ln\left(\frac{\tau_2}{\tau_1}\right)}{\Delta t_2 - \Delta t_1} \quad (12)$$

resp.

$$\lambda = \frac{I \cdot U_m}{4 \cdot \pi} \cdot \frac{\ln\left(\frac{\tau_2}{\tau_1}\right)}{\Delta t_2 - \Delta t_1} \quad (13)$$

kde:

I ... topný proud [A],

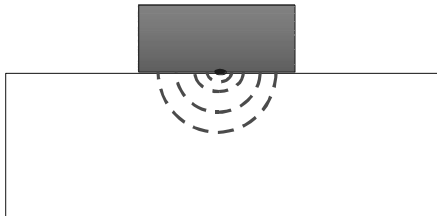
U_m ... úbytek napětí na délkovou jednotku topného drátu [$V \cdot m^{-1}$],

R_m ... elektrický odpor na délkovou jednotku topného drátu [$\Omega \cdot m^{-1}$],

τ_1, τ_2 ... časy od zapojení topného okruhu [min.],

$\Delta t_1, \Delta t_2$... zvýšení teploty topného drátu po zapojení okruhu v časech τ_1, τ_2 [$^{\circ}C$].

Tato metoda bývá často používána v průmyslových přístrojích, přičemž pro zjednodušení měření je tepelný zdroj integrován v tělese zkušební sondy daných vlastností (*tento přístroj bude použit v případě cvičení*). Tedy měřicí soustava se potom skládá ze dvou ohraničených poloprostorů - zkušební sondy a zkušební vzorku. Tato metoda je obecně označována jako „Metoda horkého drátu“.



Obr. 11: Stanovení součinitele tepelné vodivosti metodou horkého drátu [1]

Protože vlastnosti zkušební sondy jsou při všech měřeních konstantní, lze tyto přístroje nakalibrovat dvěma referenčními materiály se známou hodnotou tepelné vodivosti λ_1 a λ_2 .

$$\begin{aligned} b &= \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{x_2 - x_1} \\ a &= \lambda_1 - b \cdot \lambda_2 \end{aligned} \quad (14)$$

Přičemž veličina x představuje okamžitou rychlost regulárního ohřevu:

$$x = \frac{\ln\left(\frac{\tau_2}{\tau_1}\right)}{\Delta t_2 - \Delta t_1} \quad (15)$$

Hodnota součinitele tepelné vodivosti λ zkušební materiálu je určena pomocí kalibračních konstant podle vztahu:

$$\lambda = a + b \cdot x \quad (16)$$

Při laboratorních cvičeních bude použit komerční přístroj Shotherm firmy Shova Denco, který pracuje zcela automaticky a výstupní veličinou přístroje je přímo hodnota součinitele tepelné vodivosti zkušební vzorku.



Obr. 12: Fotografie měřicího přístroje Shotherm pro stanovení hodnoty součinitele tepelné vodivosti

Postup měření

Před započítím měření je nutné upravit povrch zkušební vzorku tak, aby odchylka od rovinnosti dvou bodů nebyla větší než 0,2 mm. Dále se na povrch zkušební vzorku volně položí zkušební sonda. Rozměry zkušební vzorku musí být minimálně o 50 mm větší než rozměry zkušební sondy, přičemž minimální tloušťka zkušební vzorku je 100 mm.

Po přiložení zkušební sondy se nechá měřicí soustava minimálně 60 sekund vytemperovat a poté se na řídicím přístroji aktivuje měřicí proces (stisk tlačítka START).

Po ukončení měření se na displeji zkušební přístroje objeví číselný údaj představující naměřenou hodnotu součinitele tepelné vodivosti zkušební vzorku.

Během celého měřicího intervalu musí být zkušební sonda v kontaktu s povrchem zkušební vzorku. Dojde-li k přerušení kontaktu zkušební vzorku a měřicí sondy, je nutné měření opakovat.

Měření je nutné opakovat na jednom zkušebním vzorku 5x, přičemž při každém měření je nutné opakovaně přiložit zkušební sondu na povrch zkušební vzorku. Interval mezi jednotlivými měřeními je 5 minut.

Výsledná ekvivalentní hodnota součinitele tepelné vodivosti se stanoví jako aritmetický průměr z naměřených hodnot (případné odlehlé hodnoty je nutné vyloučit).

Kontrolní otázky:

1. Jaké znáte metody pro stanovení součinitele tepelné vodivosti?
2. Jak označujeme a jaké jsou jednotky součinitele tepelné vodivosti?
3. Jakou hodnotu součinitele tepelné vodivosti má EPS, minerální vlna?
4. Jak ovlivňuje vlhkost materiálu součinitel tepelné vodivosti?

4. Stanovení součinitele teplotní vodivosti a

Součinitel teplotní vodivosti a [$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$] vyjadřuje rychlost vyrovnávání teploty při neustáleném šíření tepla v tělese podle Fourierova vztahu:

$$\frac{d\theta}{d\tau} = a \cdot \frac{d^2\theta}{dx^2} \quad (17)$$

Součinitel teplotní vodivosti je možné stanovit jako poměr součinitele tepelné vodivosti materiálu λ [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$] a jeho tepelné kapacity C [$\text{J} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}$].

$$a = \frac{\lambda}{C} = \frac{\lambda}{\rho \cdot c} \quad (18)$$

kde:

c ... měrná tepelná kapacita [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$],

ρ ... hustota (objemová hmotnost ρ_v) [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$],

Měřicí zařízení sestává z měděné nádoby, která je naplněná vodou a zahřívána k varu vaříčem. Ve víku měděné nádoby s vodou je otvor pro umístění menší nádoby naplněné roztaveným kovem (Woodův kov nebo rtuť). Vzorky zkoušeného materiálu se zbrúšením upraví na plochá tělíska, jejichž tloušťka má být 5–10 mm a jejichž plochy mají být rovnoběžné a hladké.

Zkušební vzorky se pro vlastní proměření připraví tak, že se na střed horní plochy vytemperovaného zkušebního tělíska (na teplotu prostředí laboratoře asi 20°C) umístí na střed horní plochy několik krystalků difenylaminu, který má bod tání $\theta_f = 54^\circ\text{C}$. Vytemperované zkušební tělísko se pokládá doprostřed nádoby naplněné roztaveným kovem a od okamžiku položení na hladinu kovu se sleduje časový interval do roztavení krystalků difenylaminu. Takto zjištěný časový interval definuje rychlost průchodu teplotní vlny zkoušeným vzorkem.

Postup měření

Nejprve se mikrometrickým měřítkem odměří tloušťky jednotlivých vzorků a rovněž i tloušťky kalibračních tělísek, u nichž je předem známá hodnota součinitele teplotní vodivosti a (sklo). Po tomto měření se doprostřed tělísek umístí několik krystalků difenylaminu (3–5 krystalků, poněvadž při nepatrné hmotnosti teplotního indikátoru se dosáhne okamžité fázové přeměny bez významné deformace teplotní vlny). Dále se zkušební tělíska uloží do skleněné nádoby – exsikátoru – s teploměrem, jehož vnitřní prostředí zajistí ustálení teplotní úrovně vzorků na stejnou teplotu. Tato doba by neměla být kratší než 15 minut. Mezitím se uvede vodní lázeň varu a rovněž se na stejnou teplotu ohřeje vnitřní nádoba s roztaveným kovem. (Pro cvičení lze namísto temperované nádoby s kapalným kovem použít temperovanou kovovou desku).

Ze skleněné nádoby pro temperování vzorků se laboratorními kleštěmi vyjme vzorek opatřený několika krystalky difenylaminu na horní lícové ploše a položí na hladinu kovu. V tom okamžiku se uvedou do chodu stopky a sleduje se čas do okamžiku roztavení krystalků difenylaminu. Po měření se zkušební tělísko laboratorními kleštěmi vyjme a vloží do misky, v níž se ještě za horka setře hadříkem roztavený difenylamin a případné zbytky ulpěného kovu na povrchu vzorku.

Stanovení součinitele teplotní vodivosti a se provádí nejméně na třech vzorcích a za výsledek se považuje aritmetický průměr ze získaných naměřených hodnot.

Vyhodnocení měření

Pro výpočet součinitele teplotní vodivosti a neznámých vzorků je nezbytné stanovit konstantu k měřicího zařízení za základě měření kalibračního zkušebního tělíska, u něhož je známa hodnota součinitele teplotní vodivosti a .

Výpočetní vztah pro určení součinitele teplotní vodivosti a je formulován:

$$a = k \cdot \frac{h^{1,7}}{\tau} \quad (19)$$

kde:

k ... konstanta měřicího zařízení

h ... tloušťka zkušebního tělíska [m]

τ ... doba průchodu teplotní vlny zkušebním tělískem [s].

Ke stanovení kalibrační konstanty k měřicího zařízení se použije křemičité sklo, u něhož jsou známy všechny potřebné fyzikální veličiny pro výpočet a :

$$\lambda = 0,828 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1},$$

$$\rho = 2491 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3},$$

$$c = 754 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}.$$

Podle uvedených údajů se vypočítá součinitel teplotní vodivosti a . Po vyčíslení konstanty zařízení k se vypočítá součinitel teplotní vodivosti jako aritmetický průměr nejméně tří jednotlivých výsledků. Výsledná hodnota se vyjádří na tři desetinná místa s exponentem $10^{-7} \text{ m}^2\cdot\text{s}^{-1}$.

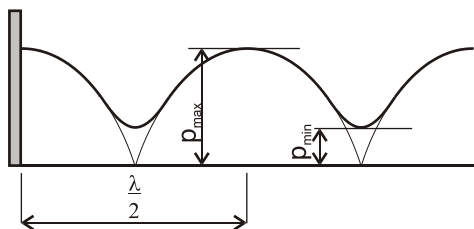
Kontrolní otázky:

1. Popište zkoušku stanovení součinitele teplotní vodivosti?
2. Jak označujeme a jaké jsou jednotky součinitele teplotní vodivosti?
3. Jaká chemická látka, konkrétně její krystalky, jsou při zkoušce součinitele teplotní vodivosti využívány a proč?
4. Uveďte výpočtový vztah pro součinitel teplotní vodivosti?

5. Stanovení činitele zvukové pohltivosti α

Metoda spočívá ve vytvoření stojatého vlnění v trubici, na jejímž konci je vzorek. Z naměřeného maxima a minima akustického tlaku stojaté vlny se vypočítá činitel zvukové pohltivosti.

Předností této metody je její přesnost a malý rozměr vzorků, nevýhodou je stanovení veličin jen pro kolmý dopad rovinných zvukových vln, který se v praxi vyskytuje jen výjimečně. Proto se tato metoda používá především ve vývoji nebo kontrole materiálů a akustických obkladů. Při měření činitele zvukové pohltivosti dochází k interferenci vlnění přicházejícího z akustického zdroje s vlněním odraženým od zkoumaného vzorku.



Obr. 13: Interference přímé a odražené stojaté akustické vlny v interferometru [1]

Pro vlnění v interferenční trubici platí:

$$\begin{aligned} p_{\max} &= p_1 + p_2 \\ p_{\min} &= p_1 - p_2 \end{aligned} \quad (20)$$

kde:

p_1 ... akustický tlak přímé vlny [Pa],

p_2 ... akustický tlak odražené vlny [Pa].

Pro stanovení hodnoty činitele odrazu zvukové vlny r [-] platí vztah:

$$r = \frac{p_2}{p_1} \quad (21)$$

Hodnota činitele zvukové pohltivosti α [-] se stanoví jako:

$$\alpha = 1 - r^2 = 1 - \frac{p_2^2}{p_1^2} \quad (22)$$

Pokud poměr maxima a minima akustického tlaku označíme s [-]:

$$s = \frac{p_{\max}}{p_{\min}} = \frac{p_1 + p_2}{p_1 - p_2} \quad (23)$$

odtud podle (22) vyplývá vztah:

$$\alpha = 1 - \left(\frac{s-1}{s+1} \right)^2 = \frac{4s}{(s+1)^2} \quad (24)$$

Dle ČSN ISO 10534 je možné při měření činitele zvukové pohltivosti vycházet z akustického tlaku v logaritmické závislosti, tedy z hladiny akustického tlaku. Měřením v akustickém interferometru se stanoví hodnota maximální hladiny akustického tlaku L_{\max} [dB] a minima L_{\min} [dB] a rozdíl hladin akustických tlaků ΔL [dB].

$$\Delta L = L_{\max} - L_{\min} \quad (25)$$

Poměr stojaté vlny s potom nabývá tvaru:

$$s = 10^{\frac{\Delta L}{20}} \quad (26)$$

Hodnota činitele zvukové pohltivosti se vyjádří dle vztahu:

$$\alpha = \frac{4 \cdot 10^{\frac{\Delta L}{20}}}{\left(10^{\frac{\Delta L}{20}} + 1\right)^2} \quad (27)$$

Odběr vzorků se provede dle noremních požadavků. Vzorky musí mít tvar válce o odpovídající tloušťce materiálu.

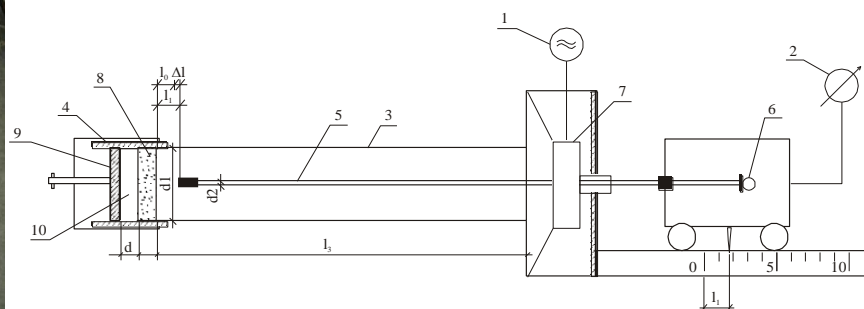
Při zkoušení akustických obkladů nebo heterogenních (složených) materiálů, musí mít vzorek skladbu odpovídající skladbě při skutečném zabudování do konstrukce. Pokud vzniknou na obvodu vzorku neodstranitelné mezery, musí být zality pryskyřicí, sádrou nebo utěsněny z obou stran plastickým tmelem. Průřez vzorku tím smí být zmenšen nejvýše o 5 %.

Vzorky tenkých tkanin nebo děrovaných desek mohou být sevřeny mezi čelo trubice a držák nebo vložku držáku.

Vzorky akustických obkladů typu kmitající deska nebo membrána, mající větší plošnou hmotnost než $100 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$, nelze v interferometrech měřit, protože poddajnost obvodu vzorku je podstatně menší než u skutečných obkladů.

Měřicí zařízení

K měření činitele zvukové pohltivosti se nejčastěji používá měřicí soustava s názvem *Kuntova trubice*.



Obr. 14: Kuntova trubice: (1 - generátor; 2 - analyzátor; 3 - trubice; 4 - držák vzorku; 5 - sonda; 6 - mikrofon; 7 - reproduktor; 8 - vzorek; 9 - píst (dno) držáku; 10 - vzduchový polštář) [1]

Interferometr se sestává z reproduktoru, odnímatelné kovové trubice s držákem vzorku a akustické sondy.

Na kmitočet 250–1800 Hz se používají trubice o vnitřním průměru (d_1) od 85 do 115 mm a délce od 690 do 1000 mm (velká trubice) a na kmitočet od 1801 do 6300 Hz trubice o vnitřním průměru od 24 do 33 mm a délce 190 až 280 mm (malá trubice).

Má-li se měřit akustický tlak ve dvou uzlech, je nejnižší kmitočet f_1 [Hz] dán vztahem:

$$f_1 = \frac{255}{l_3} \quad (28)$$

kde:

l_3 ... vzdálenost mezi vzorkem a reproduktorem [m].

Lze měřit od nejnižšího kmitočtu f_2 [Hz] pro polovinu vlnové délky:

$$f_2 = \frac{170}{l_3} \quad (29)$$

Příčný rozměr trubice musí být menší, než polovina vlnové délky, čímž je dán požadavek na nejvyšší kmitočet f_3 [Hz] trubice o kruhovém průřezu d_1 [m], při kterém v ní lze provádět měření podle vztahu:

$$f_3 = \frac{200}{d_1} \quad (30)$$

Na jednom konci trubice je držák vzorku s pístem o tloušťce nejméně 10 mm. Reprodukter vytváří v interferenční trubici akustický tlak o 10 dB vyšší než úroveň šumů v pásmu 250–6300 Hz.

Akustická sonda sestává z vozíčku, mikrofonu a sondy. U velké trubice musí mít délku nejméně 1180 mm a vnější průměr nejvýše 8 mm. U malé trubice musí mít délku nejméně 450 mm a vnější průměr nejvýše 5 mm. Mikrofonní konec sondy je vzduchotěsně připojen ke komůrce před membránou mikrofonu.

Postup měření (Metoda stanovení hodnot akustického tlaku)

Měření se provádí při teplotě $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ a tlaku $(101,3 \pm 2,7)$ kPa. Vzorek materiálu se do držáku vloží bez deformací tak, aby rubová strana přiléhala na píst (dno) držáku a lícová strana souhlasila s rovinou konce trubice. Potom se zapnou přístroje. Na generátoru se nastaví žádaný kmitočet. Posune se akustickou sondou do vzorku. Stanoví se akustický tlak v nejbližší kmitně a uzlu stojaté vlny. Nejdříve se nalezne kmitna akustického tlaku a při odpovídajícím zesílení se na analyzátoru nastaví výstupní napětí U_{max} na plnou, nejvyšší možnou výchylku voltmetru. Tím se zjednoduší výpočty a umožní se okamžité porovnání výsledků měření na sousedních kmitočtech.

Pak se nalezne pohybem sondy směrem ke vzorku uzlu akustického tlaku. Velikost posuvu měřicí sondy je možné odvodit z aktuální frekvence akustického zdroje, který určuje velikost vlnové délky akustické vlny (posun o $\lambda/4$). V uzlu odečteme napětí na voltmetru U_{min} na tři platná místa (při malých hodnotách je nutné zvýšit citlivost měřidla). V případě, že je nejbližší ke vzorku kmitna, posunujeme sondou v opačném směru.

Protože se při výpočtu používá poměr akustických tlaků, není třeba stanovit jejich absolutní hodnoty a postačí přečíst jen jim úměrná elektrická napětí.

Měří se na kmitočtech třetinooktávové řady v rozsahu 250–6300 Hz. Pro laboratorní účely je možné provádět měření i pro frekvence jiné. Při rozdílu činitelů zvukové pohltivosti sousedních třetinooktávových kmitočtů větších než 0,3 se doporučuje volit kmitočty v odstupu 1/6 oktávy.

Vyhodnocení měření

Činitel zvukové pohltivosti α_N na měřicím kmitočtu se stanoví podle vztahu:

$$\alpha_N = \frac{4}{n + \frac{1}{n} + 2} = \frac{4n}{(n+1)^2} \quad (31)$$

kde:

$$n = U_{max}/U_{min}$$

U_{max} ... napětí na výstupu voltmetru analyzátoru v kmitně akustického tlaku [mV],

U_{min} ... napětí na výstupu voltmetru analyzátoru v uzlu akustického tlaku [mV].

Výsledky měření se uvádí v tabulce, jejíž příklad je v informační příloze ČSN ISO 10534. Činitel zvukové pohltivosti se uvádí jako aritmetický průměr tří měření na každém kmitočtu. Z výsledků se vynáší graf závislosti činitele zvukové pohltivosti na frekvenci. Graf se sestavuje většinou s logaritmickým dělením kmitočtu f na ose x . Graf musí být doplněn výstižným popisem vzorku a uvedením tloušťek a plošných hmotností použitých materiálů, výšky vzduchového polštáře. U složitějších vzorků se doporučuje uvést kótovaný řez vzorkem.

Pozn.: Pro účely cvičení proveďte stanovení činitele zvukové pohltivosti na frekvencích: 100, 125, 250, 500, 1000, 2000 a 3150 Hz.

Kontrolní otázky:

1. Definujte zvukovou pohltivost a uveďte výpočtový vztah včetně jednotek.
2. Uveďte jednotku činitele zvukové pohltivosti?
3. Jakých hodnot může nabývat činitel zvukové pohltivosti?
4. Popište zkoušku stanovení činitele zvukové pohltivosti.

6. Stanovení dynamické tuhosti izolačních materiálů s'

Dynamická tuhost představuje schopnost materiálů utlumovat mechanické kmity. Tato veličina se uplatňuje především v oblasti kročejové neprůzvučnosti a je dána poměrem dynamické síly k dynamické výchylce. Používá se dynamická tuhost vztažená na jednotku plochy s' [MPa.m⁻¹]. Tato veličina je dána vztahem:

$$s' = \frac{F}{\Delta d \cdot S} \quad (32)$$

kde:

S ... plocha vzorku [m²],

F ... dynamická síla působící na zkušební vzorek kolmo [N],

Δd ... výsledná dynamická změna tloušťky vzorku [m].

Vlastní kmitočet f_0 [Hz] je kmitočet volných kmitů soustavy. Vlastní kmitočet pružné plovoucí vrstvy lze vyjádřit následujícím vztahem:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{s'}{m'}} \quad (33)$$

kde:

s' ... dynamická tuhost pružného materiálu zabudovaného pod pevnou deskou [Pa.m⁻¹],

m' ... plošná hmotnost pevné plovoucí desky [kg.m⁻²].

Míru kročejové neprůzvučnosti udává akustický útlum ΔL [dB], který udává, jakou částí se přenáší působící síla F na konstrukci svojí částí F' .

$$\Delta L = 10 \cdot \log \left(\frac{F}{F'} \right)^2 = 20 \cdot \log \left(\frac{F}{F'} \right) = 40 \cdot \log \frac{f}{f_r} \quad (34)$$

kde:

ΔL ... hodnota útlumu [dB],

F, F' ... působící a přenášená síla [N],

$f, (f_r)$... frekvence (rezonanční) [Hz].

Zdánlivou dynamickou tuhost zkušební vzorku lze stanovit v laboratorních podmínkách rezonanční metodou. Zjistí se základní rezonanční kmitočet mechanické soustavy tvořené plošným zkušebním vzorkem a zatěžovací deskou. Vibrace se při zkoušce budí ve vertikálním směru kolmo na plochu vzorku.

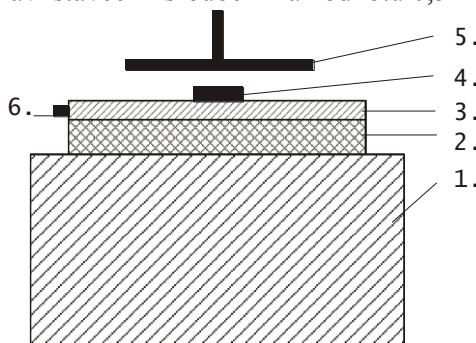


Obr. 15: Fotografie zkušební aparatury pro zkoušku dynamické tuhosti

Zkušební zařízení

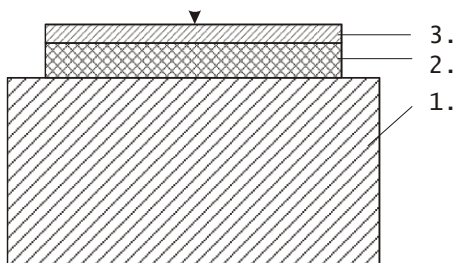
Při laboratorní zkoušce je zkušební vzorek umístěn mezi dvě vodorovné plochy – základnu a zatěžovací těleso. Zatěžovací těleso tvoří ocelová deska o rozměrech $(200 \pm 3) \text{ mm} \times (200 \pm 3) \text{ mm}$. Základna i zatěžovací deska v rovině styku se vzorkem musí být rovné s tolerancí 0,5 mm a musí mít dostatečnou tuhost, aby se vyloučily ohybové kmity v pásmech měřených rezonančních kmitočtů.

Buzení se uskutečňuje pomocí elektromagnetu na zatěžovací desce a permanentního magnetu, který je prvně umístěn nad elektromagnetem. Vzdálenost permanentního magnetu a elektromagnetu se upraví stavěcím šroubem na hodnotu $0,5 \div 2 \text{ mm}$.



Obr. 16: Schéma zkušební soustavy:

1. betonová základna,
 2. zkušební vzorek,
 3. zatěžovací deska,
 4. elektromagnetický budič kmitů,
 5. závěs s permanentním magnetem a stavěcím šroubem,
 6. elektromagnetický snímač kmitů.
- [1]



Obr. 17: Budící síla působící na zatěžovací desku:

1. betonová základna,
2. zkušební vzorek,
3. zatěžovací deska. [1]

Celková hmotnost zatěžovacího tělesa, včetně snímače a budiče, která působí na zkušební vzorek, musí být $(8 \pm 0,5) \text{ kg}$, (což odpovídá dle ČSN 73 0532 zatížení zkušebnímu vzorku 2 kPa).

Stanovení dynamické tuhosti se provádí nejméně na třech vzorcích čtvercového tvaru o straně 200 mm. Přípustná tolerance drsnosti povrchu je 3 mm.

Postup měření

Při zkoušce dynamické tuhosti zjišťujeme rezonanční kmitočet f_r soustavy měřený vzorek – zatěžovací těleso, která kmitá ve svislém směru. Rezananční kmitočet se stanoví pomocí sinusového signálu o konstantní amplitudě, který generuje soustava frekvenční generátor – elektromagnet.

Nejprve umístíme za základnu vzorek, který vyhovuje daným rozměrům pro zkoušku dynamické tuhosti (viz níže). Poté na vorek umístíme zatěžovací desku s elektromagnetem a pomocí stavěcího šroubu na závěsu umístíme permanentní magnet nad zatěžovací desku tak, aby mezera mezi magnety byla optimálně asi 1mm.

Dále zapojíme měřicí soustavu a postupným zvyšováním frekvence na budícím generátoru hledáme rezonanční frekvenci, která se projeví maximální výchylkou na analyzátoru. Po zapsání hodnoty rezonanční frekvence z frekvenčního čítače zkoušku ještě dvakrát opakujeme a výsledná hodnota je aritmetickým průměrem těchto tří výsledků.

Vyhodnocení zkoušky

Při vyhodnocení experimentu je nejprve nutné vypočítat hodnotu zdánlivé dynamické tuhosti na jednotku plochy s'_t , která je dána vztahem:

$$s'_t = 4 \cdot \pi^2 \cdot m'_t \cdot f_r^2 \quad (35)$$

kde:

m'_t ... celková plošná hmotnost zatěžovacího tělesa při zkoušce [kg.m⁻²],
 f_r ... extrapolovaná hodnota rezonančního kmitočtu [Hz].

Dynamická tuhost pružného materiálu je závislá na hodnotě stejnosměrného odporu proti proudění v příčném směru dle *ISO 9053*.

- a) Pro materiál s vysokým odporem proti proudění ($r_{ss} > 100$ kPa.s.m⁻²) je dynamická tuhost zkoušeného materiálu rovna hodnotě dynamické tuhosti zdánlivé:

$$s' = s'_t \quad (36)$$

- b) Pro materiál se středním odporem proti proudění je hodnota dynamické tuhosti s' dána vztahem:

$$s' = s'_t + s'_a \quad (37)$$

kde:

s'_a ... dynamická tuhost vzduchu [MPa.m⁻¹],
 s'_t ... dynamická tuhost vzorku zdánlivá [MPa.m⁻¹].

Dynamická tuhost vzduchu ve struktuře vzorku na jednotku plochy s'_a se vypočítá ze vztahu:

$$s'_a = \frac{E_{air}}{d \cdot \varepsilon} \quad (38)$$

kde:

d ... tloušťka vzorku [m],
 E_{air} ... dynamický modul pružnosti vzduchu [Pa],
 ε ... pórovitost vzorku [-].

- c) Pro materiály s nízkým odporem proti proudění ($r_{ss} < 10$ kPa.s.m⁻²) a je-li současně dynamická tuhost vzduchu ve struktuře materiálu stanovena dle vztahu níže, zanedbatelná ve vztahu k dynamické tuhosti zkušební vzorku, platí:

$$s'_a = \frac{E_{air}}{d \cdot \varepsilon} \quad (39)$$

Vztah lze pro $E_{air} = 0,1$ MPa a $\varepsilon = 0,9$ zjednodušit:

$$s'_a = \frac{111000}{d} \quad (40)$$

kde:

d ... tloušťka vzorku [m].

$$s' = s'_t \quad (41)$$

V závěru protokolu je nutné zařadit materiál do skupin akusticko izolačních materiálů dle následující tabulky:

Tab. 4: Přehled kategorií akusticko izolačních materiálů dle dynamické tuhosti dle ČSN 73 0532

Kategorie podložky	s' [MPa.m ⁻¹]
I. kategorie	$s' \leq 30$
II. kategorie	$30 < s' \leq 200$
III. kategorie	$s' > 200$

Tab. 5: Přehled skupin akusticko izolačních materiálů dle pružnosti při zatížení 2 kPa (ČSN 73 0532)

Typ podložky	ε [%]
Pružná	$\varepsilon \geq 90$ %
Polopružná	$50 \% \leq \varepsilon < 90$ %
Nepružná	$\varepsilon < 50$ %

Pozn. **Pružnost** ε v % se určí ze vztahu:

$$\varepsilon = \frac{h'_0 - h_n}{h_0 - h_n} * 100$$

Kde: h'_0 ... tloušťka podložky v ustáleném stavu po odlehčení, h_n ... tloušťka podložky při zatížení 2 kPa, h_0 ... tloušťka podložky v nezatíženém stavu

Tab. 6: Přehled typů akusticko izolačních materiálů dle stlačitelnosti při zatížení 2 kPa (ČSN 73 0532)

Typ podložky	K [%]
Měkká	$K \geq 20$ %
Polotuhá	$5 \% \leq K < 20$ %
Tuhá	$K < 5$ %

Pozn. **Stlačitelnost** K v % se určí ze vztahu:

$$K = \frac{h_0 - h_n}{h_0} * 100$$

Kde: h_n ... tloušťka podložky při zatížení 2 kPa, h_0 ... tloušťka podložky v nezatíženém stavu

Kontrolní otázky:

1. Definujte dynamickou tuhost.
2. Uveďte jednotku dynamické tuhosti?
3. Co zjišťujeme při zkoušce stanovení dynamické tuhosti?
4. Popište zkoušku stanovení dynamické tuhosti.
5. Nakreslete schéma zkušební aparatury.
6. O jaký akusticko izolační materiál se jedná, jestliže byla zjištěna dynamická tuhost materiálu 24 MPa.m⁻¹?

7. Stanovení koeficientu kapilární absorpce

Stanovení koeficientu kapilární absorpce se provádí v souladu s ČSN EN 1015-18: Stanovení koeficientu kapilární absorpce vody v zatvrdlé maltě. Popisovaný zkušební postup je mírně zjednodušen pro účely cvičení.

Koeficient kapilární absorpce nám popisuje schopnost stavebního materiálu absorbovat kapalnou vlhkost v závislosti na čase. Jeho hlavní význam je především u hodnocení vnějších povrchových úprav a povrchů obecně, kdy hodnota součinitele kapilární absorpce představuje konstantu úměrnosti nasákavosti povrchu srážkovou vlhkostí.

Koeficient kapilární absorpce vody C [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{min}^{-0,5}$] popisuje na plochu vztaženou nasákavost způsobenou kapilárními nebo absorpčními silami materiálů při povrchovém smáčení bez přetlaku.

Při stanovení součinitele kapilární absorpce je nutné zjistit časovou závislost kapilárního nasákání zkušební vzorku při kontaktu s kapalinou. Měření se provádí od vysušeného stavu zkušební vzorku do jeho nasáknutí.

Zkouška se provádí na zkušebních vzorcích o rozměrech 40 x 40 x 160 mm. Zkouší se při teplotě $23\pm 5^\circ\text{C}$, při relativní vlhkosti vzduchu $50\pm 5\%$. Po vysušení do ustálené hmotnosti se jedna plocha zkušební tělesa ponoří do vody do hloubky 5 až 10 mm.

Potřebné zařízení

- miska s hloubkou nejméně 20 mm s potřebnou plochou pro ponoření všech zkušebních těles,
- podnožky nebo rošt pod zkušební tělesa,
- stopky s možností odečtu v sekundách,
- laboratorní váhy s přesností 0,1% celkové hmotnosti suchého zkušební tělesa,
- sušárna,
- tkanina,
- mikrometrické posuvné měřidlo.

Postup zkoušky

Připravená zkušební tělesa se zváží a následně se umístí do misky do vody s výškou hladiny 5 až 10 mm, aktivní zkušební plochou dolů (zkušební tělesa se staví na čelní plochu 40 x 40 mm). Mezi dno a zkušební těleso se umístí distanční podložky nebo rohož. Výška hladiny se po celou dobu udržuje v předepsané výši tak, aby bylo dosažené výše uvedeného ponoření zkušebních vzorků.

Pro zajištění dokonalého styku zkušební vzorku s vodou je nutné odstranit vzduchové bublinky tak, že se zkušební tělesa vkládají do vody v šikmé poloze.

Po ponoření těles do vody se spustí stopky a provede se kontrola hladiny, resp. ponoření vzorků. Zkušební tělesa se vyjmou každých 10 minut, na povrchu se rychle otřou vlhkou tkaninou, zváží se a znovu se umístí do misky s vodou. Zkouška se ukončí v 90-ti minutách, kdy se tělesa naposledy zváží.

Vyhodnocení zkoušky

Vyhodnocení zkoušky se provede graficky. Do grafu se vynesou hmotnosti zkušebních vzorků v závislosti na čase a dále se provede výpočet koeficientu kapilární absorpce dle následujícího vztahu:

$$C = 0,1 (m_{90} - m_{10}) [\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{min}^{-0,5}] \quad (42)$$

kde: m_{10} – hmotnost zkušební vzorku v čase 10 min [g],
 m_{90} – hmotnost zkušební vzorku v čase 90 min [g].



Obr. 18.: Fotografie zkušebních vzorků v misce během provádění zkoušky

Kontrolní otázky:

1. Charakterizujte koeficient kapilární absorpce. Pro které materiály je tato vlastnost důležitá a proč?
2. Uveďte jednotku koeficientu kapilární absorpce?
3. Popište zkoušku stanovení koeficientu kapilární absorpce.

8. Stanovení emisivity stavebních materiálů

Infračervená termografie představuje zcela novou kvalitu v experimentální termomechanice. Pro měřicí techniku je po nástupu termografie zásadní změna v přechodu od měření lokálních teplot ke zjišťování teplotního pole jako výsledku měření v nekonečné množině měřicích míst. Termografie se používá k zobrazování teplotních polí zejména ve vědě, průmyslových, lékařských a vojenských aplikacích více jak 30 let. K nejprogresivnějším metodám měření teplotních polí patří termovizní kamera, která dokáže snímat v určitém pásmu vlnových délek tepelné záření z povrchu měřeného předmětu. Z intenzity tohoto tepelného záření, měřeného detektory v kameře, lze následně stanovit žádanou povrchovou teplotu. Je k tomu však zapotřebí znalost následujících parametrů:

- emisivita z měřeného povrchu (součinitel emisivity povrchu a úhlový součinitel),
- odraz záření z okolí od měřeného povrchu (součinitel odrazivosti a teplota okolí),
- průzračnost prostředí mezi měřeným povrchem a termovizní kamerou (teplota vzduchu a vlhkost).

Neznalost skutečných hodnot těchto parametrů může znamenat chybu v určení teploty v desítkách procent, u lesklých povrchů ve stovkách procent.

Emisivita ε je bezrozměrná veličina, která charakterizuje schopnost tělesa emitovat infračervené záření. Je definována jako poměr intenzity vyzařování reálného tělesa k intenzitě vyzařování absolutně černého tělesa o stejné teplotě. Emisivita absolutně černého tělesa je rovna 1. Emisivita vyzařování běžných materiálů z povrchu objektů se pohybuje přibližně od 0,80 do 0,98. Mohlo by se zdát, dle tabulkových hodnot, že emisivita je konstantní. Ve skutečnosti však emisivita závisí na níže uvedených parametrech:

- úhlu odklonu od normály povrchu,
- teplotě objektu,
- vlnové délce,
- barvě povrchu,
- struktuře povrchu a dalších.

Tab. 7: Hodnoty emisivit ε vybraných materiálů používaných stavebních konstrukcích:

Materiál	ε [-]
Hliník leštěný	0,05
Hliník drsný	0,07
Hliník oxidovaný	0,20-0,30
Dřevo	0,90
Střešní lepenka	0,93
Beton suchý	0,95
Žula přírodní	0,96
Cihla obkladová	0,92
Omítka	0,91
Papír	0,92
Voda	0,94

Měření intenzity vyzařování z povrchu měřeného objektu je obvykle nejvíce ovlivněno součinitelem emisivity měřeného povrchu- jeho teplotní závislostí a homogenitou. V praxi se používají převážně dva způsoby řešení:

- měřený povrch se pokryje barvou o známé emisivitě (zjištěna dodatečným laboratorním měřením) a dobré prostorové homogenitě záření (použitá barva musí odolávat zvýšené teplotě povrchu během laboratorního měření),
- povrchová teplota se měří lokálně termočlánky a emisivita se určí tak, aby povrchová teplota měřená termovizním systémem v místě termočlánku souhlasila s jeho teplotou - metoda známé teploty zdroje záření.

Popis měřícího zařízení

Pro laboratorní měření bude použita ruční termovizní kamera testo 882, s detekcí infračerveného záření v rozmezí 8–14 μm , dále měřidlo pro stanovení teploty a relativní vlhkosti vzduchu (digitální teploměr/vlhkoměr).



Obr. 19: Fotografie termovizní kamery testo 882 [3]

Tab. 8: Parametry Termokamery testo 882

Typ detektoru	FPA 320 x 240 pixelů, a.Si
Teplotní citlivost (NETD)	< 60 mK při 30°C
Zorné pole / min. vzdálenost ostření	32° x 23° / 0,2 m
Geometrické rozlišení (IFOV)	1,7 mrad
SuperResolution (pixely/IFOV) - volitelně	640 x 480 pixelů / 1,1 mrad
Ostření	manuální a motorické
Spektrální rozsah	8–14 μm
Teplotní rozsah	-20°C–100°C / 0°C–350°C (přepínatelný)
Měření vysokých teplot - volitelně	+350°C–+550°C
Přesnost	$\pm 2^\circ\text{C}$, $\pm 2\%$ z nam. h. $\pm 3\%$ z nam. h. (+350°C–+550°C)
Nastavení stupně emisivity	0,01–1

Postup při stanovení

Na úvod laboratorní úlohy bude provedeno stanovení:

- teploty vzduchu v laboratoři θ_a [$^\circ\text{C}$]
- relativní vlhkosti vzduchu v laboratoři φ [%], ve které bude prováděno měření.

Na pevnou podložku s osazenou topnou deskou budou umístěny vybrané stavební materiály o dané emisivitě. Informace o zkušebních vzorcích budou na počátku cvičení zadány vyučujícím.

Tyto materiály budou řízeně zahřívány termostatem na dané teploty:

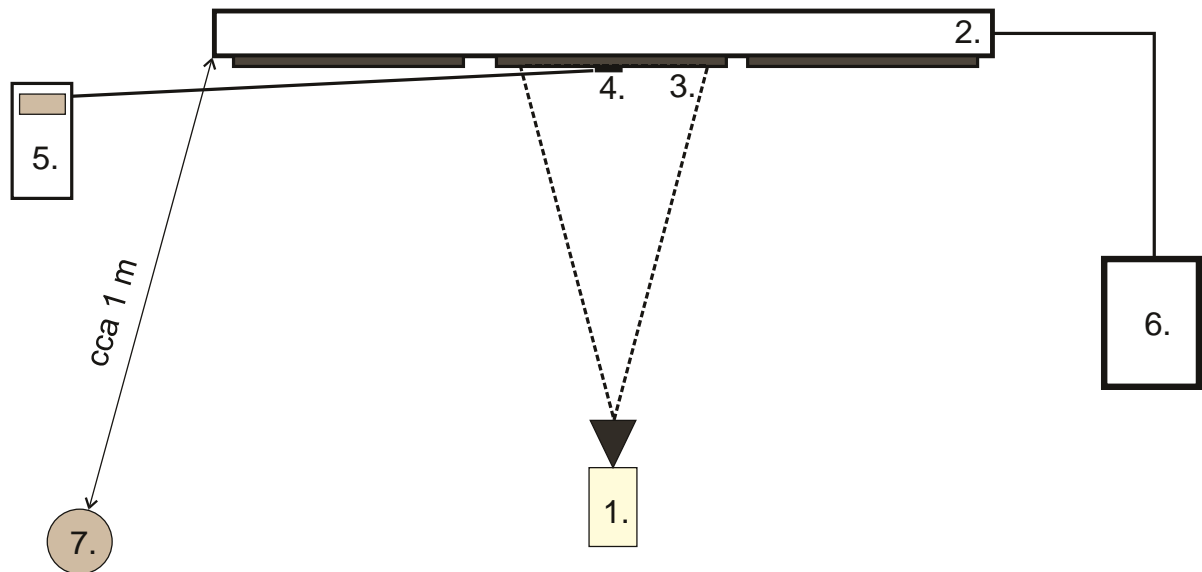
- 30°C,
- 50°C,
- 80°C.

Současně bude prováděno měření radiační teploty okolního prostředí θ_R teploměrem pro stanovení teploty vzduchu. Toto měření bude prováděno ve vzdálenosti 1m od měřící soustavy. Termokamerou testo 882 bude sledována teplota zahříváných materiálů při nastavení emisivity na

přístroji na hodnotu $\varepsilon = 1$. Při měření bude kamera umístěna na stativu ve vzdálenosti cca 1 m od zkušebních vzorků takovým způsobem, aby:

- osa kamery byla kolmo k rovině zkušebních vzorků,
- v záběru kamery byl vždy právě jeden zkušební vzorek,
- bylo možné snímat průměrnou teplotu ve vnitřním výřezu z termosnímku na kameře.

Na každém zkušebním vzorku bude provedeno celkem 5 měření s měřicím intervalem 1 minuta pro každou zadanou teplotu. Před započítím měření bude nastavena na termostatu požadovaná teplota a bude sledován průběh teploty na povrchu zkušebních vzorků pomocí měřicích termočlánků. Po 30 s budou prováděny odečty povrchových teplot. Měření započne ve chvíli, kdy bude dosaženo rovnovážného stavu (změna teploty po 5, po sobě jdoucích intervalech bude menší než $0,5^{\circ}\text{C}$).



Obr. 20: Schématický náčrt provádění úlohy (1. – termovizní kamera, 2. – topná deska, 3. – zkušební vzorky, 4. – měřicí termočlánek, 5. – dataloger pro zobrazení a záznam povrchových teplot z měřicích termočlánků, 6. – regulátor topné desky, 7 – teploměr pro stanovení radiační teploty prostředí)

Vyhodnocení:

Emisivita zkušebních vzorků bude stanovena postupně pro každou teplotu. Na základě naměřených povrchových teplot bude určena výpočtem emisivita ε_0 [-] materiálů při dané teplotě dle následujícího výpočtového vztahu:

$$\varepsilon_0 = \frac{(\theta_{TK} - \theta_R)}{(\theta_{TC} - \theta_R)}$$

- kde: θ_{TK} – povrchová teplota naměřená termovizní kamerou [$^{\circ}\text{C}$],
 θ_R – radiační teplota prostředí [$^{\circ}\text{C}$],
 θ_{TC} – povrchová teplota naměřená termočlánkem [$^{\circ}\text{C}$].

Protože je emisivita materiálu závislá na teplotě, bude v protokolu uveden celkový přehled naměřených a vypočítaných hodnot a závislost emisivity na teplotě, pro každý zkušební vzorek.

Kontrolní otázky:

1. Co je to emisivita?
2. Charakterizujte absolutně černé těleso.
3. Vyjmenujte parametry, které ovlivňují výslednou emisivitu materiálů.

9. Příloha – Energetická náročnost budov

Průkaz energetické náročnosti budov (PENB)

Průkaz energetické náročnosti budov posuzuje úroveň stávajícího energetického hospodářství objektu a na základě toho zařídí tento dokument objekt na stupnici A až G energetické náročnosti. Průkaz objekt hodnotí z hlediska potřeby všech energií, tedy nejen potřeby energie na vytápění, ale i z hlediska potřeby energie na ohřev teplé vody, potřeby energie na vzduchotechnická zařízení a klimatizaci (pokud je instalováno), i z hlediska potřeby energie na umělé osvětlení.

Podle novely energetického zákona (177/2006 Sb.) je od 1.1.2009 průkaz energetické náročnosti budov povinnou součástí dokumentace:

- při výstavbě nových budov
- při větších změnách dokončených budov s celkovou podlahovou plochou nad 1000 m², které ovlivňují jejich energetickou náročnost (např. při výměně oken, zateplení či rekonstrukce zdroje)
- při prodeji nebo pronájmu budov nebo jejich částí

PENB nesmí být starší 10 let. Provozovatelé budov s podlahovou plochou nad 1000 m² využívaných pro školství, zdravotnictví, kulturu, obchod, sport, ubytovací a stravovací služby a také budovy veřejné správy a zákaznických středisek v odvětví vodního hospodářství, energetiky, dopravy a telekomunikací mají povinnost zpracovat a na veřejně přístupném místě vystavit PENB.

Důvodem zavedení PENB je snižování energetické náročnosti budov a emisí CO₂. Sektor budov se nemalým procentem podílí na spotřebě primárních energetických zdrojů a proto je kladen důraz na snižování tohoto podílu. Prostředkem k dosažení těchto cílů je hodnocení staveb z pohledu potřeby energie a stanovení požadavku na ně. Energetická náročnost objektu je též přímo spojena s provozními náklady a tak tento průkaz, resp. energetická náročnost objektu bude hrát i důležitou roli při oceňování budovy na trhu ať už v případě prodeje, koupě nebo pronájmu.

Forma průkazu je dána vyhláškou Ministerstva průmyslu a obchodu č. 148/2007 Sb. O energetické náročnosti budov. Existuje zde stupnice energetické náročnosti objektu od A po G a ukazatel, do jaké třídy, na stupnici A až G, hodnocený objekt spadá. Minimální požadavek na novou a rekonstruovanou budovu je stanoven horní hranici třídy C. Tzn., každý nový projekt budovy nebo nová a nově rekonstruovaná budova musí být maximálně ve třídě C. Výjimku tvoří různé speciální budovy, popř. provozy nebo např. památkově chráněné objekty. Pod grafickou stupnicí se nachází podíl potřeby energie na celkové potřebě energie pro jednotlivá místa spotřeby (vytápění, ohřev teplé vody, VZT a klimatizace, umělé osvětlení). Každý průkaz je označen datem vydání a datem maximální platnosti. Průkaz potvrzuje osoba autorizovaná pro vystavování těchto průkazů (přezkoušená Ministerstvem průmyslu a obchodu).

Tab. 7: Klasifikace energetické náročnosti budovy je rozdělena do klasifikačních tříd A až G

Třída energ. náročnosti budovy	Slovní vyjádření energ. náročnosti budovy
A	<i>Mimořádně úsporná</i>
B	<i>Úsporná</i>
C	<i>Vyhovující</i>
D	<i>Nevyhovující</i>
E	<i>Nehospodárná</i>
F	<i>Velmi nehospodárná</i>
G	<i>Mimořádně nehospodárná</i>

PRŮKAZ ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOVY					
				Hodnocení budovy	
				stávající stav	po realizaci doporučení
Celková podlahová plocha:				0 m ²	
kWh/(m ² .rok)	VELMI USPORNÁ			kWh/m ²	trída EN
0	A				
42	B				
43	B				
82	C				
83	C				
120	D				
121	D				
162	E				
163	E				
205	F				
206	F				
245	G				
>245	G				
MIMORÁDNĚ NEHOSPODÁRNA					
Měma vypočtená roční spotřeba energie v kWh/m ² .rok					
				-	-
Celková vypočtená roční dodaná energie v GJ				0,00	-
Podíl dodané energie připadající na:					
Vytápění a větrání	Chlazení	Mech. větrání	Teplá voda	Osvětlení	Celkem
0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0%
Doba platnosti průkazu				není stanoveno	
Průkaz vypracoval				Není uvedeno jméno zpracovatele EP	
				Osvědčení č.:	Není

Obr. 21: Ukázka PNB [4]

Metodika stanovení energetické náročnosti budov dle vyhlášky 148/2007 Sb.

Energetická náročnost budovy se stanovuje výpočtem celkové roční dodané energie v GJ potřebné na vytápění, větrání, chlazení, klimatizaci, přípravu teplé vody a osvětlení při jejím standardizovaném užívání bilančním hodnocením.

Bilanční hodnocení se provádí intervalovou bilanční metodou v souladu s ČSN EN ISO 13790 Tepelné chování budov – Výpočet potřeby energie na vytápění, nejlépe s měsíčním obdobím. Případně v souladu s národními normami zavádějící evropské normy prEN 14335 Výpočtová metoda pro stanovení energetických potřeb a účinnosti soustav, prEN 15315 Topné systémy budov – Celková spotřeba energie, primární energie a emise CO₂. Pro budovy s nízkou tepelnou setrvačností se může použít intervalová výpočtová metoda hodinová, s ještě kratším časovým intervalem, s odlišnými podrobnostmi metod výpočtu a vstupních údajů. Podrobnosti hodnocení požadavků na energetickou náročnost budovy jsou uvedeny v příloze 1 vyhlášky 148/2007 Sb.

Celková roční dodaná energie se při bilančním hodnocení stanoví jako součet jednotlivých vypočtených dílčích spotřeb dodané energie pro všechny časové intervaly v roce a pro všechny vytápěné, chlazené, větrané či klimatizované zóny budovy. Výpočet se provádí s rozlišením podle energonositelů.

Pro vzájemné porovnání energetické náročnosti budov stejného typu se stanovuje měrná roční spotřeba energie budovy, vyjádřená poměrem celkové roční dodané energie na jednotku celkové podlahové plochy budovy v kWh.m².

Výpočet měrné spotřeby energie budovy:

$$EP_A = 277,8 * \frac{EP}{A_C} \left[\frac{kWh}{m^2 \cdot rok} \right]$$

Kde:

EP ... vypočtená celková roční dodaná energie [GJ.rok⁻¹],

A_C ... celková podlahová plocha [m²].

Požadované vstupní údaje pro hodnocení energetické náročnosti budov

A) *Výpočet potřeby energie*

- celkový tepelný tok,
- tepelné zisky z vnitřních zdrojů tepla,
- sluneční tepelné zisky.

B) *Výpočet dodané energie*

- dodaná energie na vytápění,
- spotřeba tepelné energie na vytápění VZT jednotkami,
- dodaná energie na chlazení,
- spotřeba pomocné energie na vytápění a chlazení,
- spotřeba pomocné energie na mechanické větrání.

C) *Spotřeba a výroba energie z kombinované výroby elektřiny a tepla*

Tab.8: *Klasifikační třídy EN hodnocení energetické náročnosti budovy podle vyhlášky 148/2007 Sb., hodnoty jsou uvedeny v kWh.m⁻²*

Druh budovy	A	B	C	D	E	F	G
Rodinný dům	<51	51 - 97	98 - 142	143 - 191	192 - 240	241 - 286	<286
Bytový dům	<43	43 - 82	83 - 120	121 - 162	163 - 205	206 - 245	<245
Hotel a restaurace	<102	102 - 200	201 - 294	295 - 389	390 - 488	489 - 590	<590
Administrativní budova	<62	62 - 123	124 - 179	180 - 236	237 - 293	294 - 345	<345
Nemocnice	<109	109 - 210	211 - 310	311 - 415	416 - 520	521 - 625	<625
Budova pro vzdělávání	<47	47 - 89	90 - 130	131 - 174	175 - 220	221 - 265	<265
Sportovní zařízení	<53	53 - 102	103 - 145	146 - 194	195 - 245	246 - 297	<297
Budova pro velkoobchod a maloobchod	<67	67 - 121	122 - 183	184 - 241	242 - 300	301 - 362	<362

POUŽITÁ LITERATURA:

- [1] Šťastník, S., Zach, J., Zkoušení izolačních materiálů, CERM, Brno 2002, ISBN 80-214-2253-X
- [2] Šťastník, S., Znajda, T., Fyzika stavebních látek – návody do cvičení, VUT v Brně, FAST 2000
- [3] *Profesionální termokamery pro průmysl a stavebnictví* [online]. 2011, [cit. 10. 12. 2011]. Dostupné z: <<http://www.termokamera.com/testo/eshop/1-1-Termokamera-testo-882/0/5/1-termokamera-testo-882>>.
- [4] *Energetické průkazy* [online]. 2011, [cit. 10. 12. 2011]. Dostupné z: <<http://www.energeticke-prukazy.cz/energeticky-prukaz.php>>
- [5] Halahyja, M., Beřko, B., Bloudek, K., Puškáš, J., Tomašovič, P., Stavebná tepelná technika, akustika a osvětlení. ALFA, Bratislava, 1985, ISBN 63-560-85
- [6] Šťastník, S., Zach, J., Stavební akustika a zvukoizolační materiály, CERM, Brno 2002, ISBN 80-214-2117-7
- [7] Mouric, K., Stavební akustika, SNTL, Praha, 1969
- [8] Čechura, J., Stavební fyzika 10 – Akustika stavebních konstrukcí, ČVUT, Praha 1999
- [9] Šorin S.N.: Sdílení tepla, SNTL/ALFA, Praha 1968

SEZNAM CITOVANÝCH A SOUVISEJÍCÍCH NOREM:

- [1] **ČSN ISO 10534-1** Akustika - Určování činitele zvukové pohltivosti a akustické impedance v impedančních trubcích - Část 1: Metoda poměru stojaté vlny, Český normalizační institut, Praha 1999
- [2] **ČSN ISO 10534-2** Akustika - Určování činitele zvukové pohltivosti a akustické impedance v impedančních trubcích - Část 2: Metoda přenosové funkce, Český normalizační institut, Praha 1999
- [3] **ČSN EN 29053** Akustika. Materiály pro použití v akustice. Stanovení odporu proti proudění vzduchu, Český normalizační institut, Praha 1994
- [4] **ČSN ISO 9052-1** Akustika. Stanovení dynamické tuhosti. Část 1: Materiály pro izolaci plovoucích podlah v bytových objektech, Český normalizační institut, Praha 1993
- [5] **ČSN 72 7010** Stanovení součinitele tepelné vodivosti materiálů v ustáleném tepelném stavu. Společná ustanovení, Úřad pro normalizaci a měření, Praha 1989
- [6] **ČSN 72 7011** Stanovení součinitele tepelné vodivosti materiálů v ustáleném tepelném stavu. Metoda válce, Český normalizační institut, Praha 1994
- [7] **ČSN 72 7012-1** Stanovení součinitele tepelné vodivosti materiálů v ustáleném tepelném stavu. Metoda desky. Část 1: Společná ustanovení, Český normalizační institut, Praha 1993
- [8] **ČSN 72 7012-2** Stanovení součinitele tepelné vodivosti materiálů v ustáleném tepelném stavu. Metoda desky. Část 2: Metoda chráněné teplé desky, Český normalizační institut, Praha 1993
- [9] **ČSN 72 7012-3** Stanovení součinitele tepelné vodivosti materiálů v ustáleném tepelném stavu. Metoda desky. Část 3: Metoda měřidla tepelného toku, Český normalizační institut, Praha 1993
- [10] **ČSN 72 7013** Stanovení součinitele tepelné vodivosti materiálů v ustáleném tepelném stavu. Metoda koule, Český normalizační institut, Praha 1994
- [11] **ČSN 72 7014** Stanovení součinitele tepelné vodivosti materiálů v ustáleném tepelném stavu. Vyhodnocení zkoušek, Český normalizační institut, Praha 1993
- [12] **ČSN EN ISO 8894-1** Žárovzdorné materiály – Stanovení tepelné vodivosti – Část 1: Metoda topného drátu (křížové uspořádání a uspořádání s odporovým teploměrem), TZÚS, Plzeň 2011
- [13] **ČSN 72 1105** Stanovení součinitele tepelné vodivosti metodou nestacionárního tepelného toku, Český normalizační institut, Praha 1990
- [14] **ČSN 50 3602** Zkoušení krytinových a izolačních materiálů v rolích, Český normalizační institut, Praha 1967 (novelizováno 1976)
- [15] **ČSN EN 1427** Asfalty a asfaltová pojiva - Stanovení bodu měknutí - Metoda kroužek a kulička, Český normalizační institut, Praha 2000
- [16] **ČSN ISO 4625** Pojiva pro nátěrové hmoty - Stanovení bodu měknutí - Metoda kroužek – kulička, Český normalizační institut, Praha 1997
- [17] **ČSN EN 58** Asfalty a asfaltová pojiva – Vzorkování asfaltových pojiv, Český normalizační institut, Praha 2005
- [18] **ČSN EN 1426** Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení penetrace jehlou, Český normalizační institut, Praha 2007
- [19] **ČSN EN 1425** Asfalty a asfaltová pojiva – Posouzení zjevných vlastností, Český normalizační institut, Praha 2006
- [20] **ČSN EN 1015-18** Zkušební metody malt pro zdivo – Část 18: Stanovení koeficientu kapilární absorpce vody v zatvrdlé maltě, ČNI 2003

- [21] **ČSN 64 0526** Zkoušení plastů. Stanovení součinitele tepelné vodivosti, Český normalizační institut, Praha 1995
- [22] **ČSN EN 993-15** Zkušební metody pro žárovzdorné výrobky tvarové hutné - Část 15: Stanovení tepelné vodivosti metodou topného drátu (paralelní uspořádání), Český normalizační institut, Praha 2005
- [23] **ČSN EN 821-2** Advanced technical ceramics – Monolithic ceramics – Thermo-physical properties – Part 2: Determination of thermal diffusivity by the Laser flash (or heat pulse) method, Český normalizační institut, Praha 1998
- [24] **ČSN 73 2901** Provádění vnějších tepelně izolačních kompozitních systémů (ETICS), ČNI 2005
- [25] **ČSN 73 0540-2** Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky, Český normalizační institut, Praha 2011
- [26] **ČSN 73 3710-1** Navrhování, příprava a provádění vnějších a vnitřních omítek - Část 1: Vnější omítky, ČNI 2006
- [27] **ČSN 73 3710-2** Navrhování, příprava a provádění vnějších a vnitřních omítek - Část 2: Příprava návrhu a základní postupy pro vnitřní omítky, ČNI 2006
- [28] Machatka, M., Šála, J., Svoboda, P., Kontaktní zateplovací systémy, Cech pro zateplování budov, Praha 1998
- [29] **ČSN EN 20140-2** Akustika. Měření zvukové izolace stavebních konstrukcí a v budovách. Část 2: Určení, ověření a aplikace přesných údajů, ČSNI PRAHA, listopad 1994
- [30] **ČSN EN 20140-9** Akustika. Měření zvukové izolace stavebních konstrukcí a v budovách. Část 9: Laboratorní měření vzduchové neprůzvučnosti mezi místnostmi pro stanovení zvukové izolace zavěšeného podhledu s průběžnou vzduchovou vrstvou (ISO 140-9:1985), ČSNI PRAHA, květen 1995
- [31] **ČSN EN 20140-10** Akustika. Měření zvukové izolace stavebních konstrukcí a v budovách. Část 10: Laboratorní měření vzduchové neprůzvučnosti malých stavebních prvků (ISO 140-10:1991), ČSNI PRAHA, červen 1995
- [32] **ČSN EN ISO 140-1** Akustika - Měření zvukové izolace stavebních konstrukcí a v budovách - Část 1: Požadavky na uspořádání laboratoří s potlačeným bočním přenosem, ČSNI PRAHA, leden 1999
- [33] **ČSN EN ISO 140-3** Akustika. Měření zvukové izolace stavebních konstrukcí a v budovách. Část 3: Laboratorní měření vzduchové neprůzvučnosti stavebních konstrukcí (ISO 140-3:1995), ČSNI PRAHA, říjen 1996
- [34] **ČSN EN ISO 140-4** Akustika - Měření zvukové izolace stavebních konstrukcí a v budovách - Část 4: Měření vzduchové neprůzvučnosti mezi místnostmi v budovách, ČSNI PRAHA, leden 2000
- [35] **ČSN EN ISO 140-5** Akustika - Měření zvukové izolace stavebních konstrukcí a v budovách - Část 5: Měření vzduchové neprůzvučnosti obvodových plášťů a jejich částí na budovách, ČSNI PRAHA, srpen 2000
- [36] **ČSN EN ISO 140-6** Akustika - Měření zvukové izolace stavebních konstrukcí a v budovách - Část 6: Laboratorní měření kročejové neprůzvučnosti stropních konstrukcí, ČSNI PRAHA, únor 2000
- [37] **ČSN EN ISO 140-7** Akustika - Měření zvukové izolace stavebních konstrukcí a v budovách - Část 7: Měření kročejové neprůzvučnosti stropních konstrukcí v budovách, ČSNI PRAHA, únor 2000

- [38] **ČSN EN ISO 140-8** Akustika - Měření zvukové izolace stavebních konstrukcí a v budovách - Část 8: Laboratorní měření snížení přenosu kročejového zvuku podlahou na těžkém referenčním stropu, ČSNI PRAHA, červenec 1999
- [39] **ČSN EN ISO 140-12** Akustika - Měření zvukové izolace stavebních konstrukcí a v budovách - Část 12: Laboratorní měření vzduchové a kročejové neprůzvučnosti v horizontálním směru podlah s průběžnou vzduchovou vrstvou, ČSNI PRAHA, listopad 2001
- [40] **ČSN EN 12354-1** Stavební akustika - Výpočet akustických vlastností budov z vlastností stavebních prvků - Část 1: Vzduchová neprůzvučnost mezi místnostmi, ČSNI PRAHA, duben 2001
- [41] **ČSN EN 12354-2** Stavební akustika - Výpočet akustických vlastností budov z vlastností stavebních prvků - Část 2: Kročejová neprůzvučnost mezi místnostmi, ČSNI PRAHA, duben 2001
- [42] **ČSN EN ISO 3382-2** Akustika – Měření parametrů prostorové akustiky – Část 2: Doba dozvuku v běžných prostorech, Brusel, 2008
- [43] **ČSN 73 0525** Akustika - Projektování v oboru prostorové akustiky - Všeobecné zásady, ČSNI PRAHA, únor 1998
- [44] **ČSN 73 0526** Akustika - Projektování v oboru prostorové akustiky - Studia a místnosti pro snímání, zpracování a kontrolu zvuku, ČSNI PRAHA, únor 1998
- [45] **ČSN 73 0527** Akustika - Projektování v oboru prostorové akustiky - Prostory pro kulturní, školní a veřejné účely, ČSNI PRAHA, únor 2005
- [46] **ČSN 73 0532** Akustika - Ochrana proti hluku v budovách a související akustické vlastnosti stavebních výrobků – Požadavky, ČSNI PRAHA, březen 2000
- [47] **ČSN EN ISO 11654** Akustika - Absorbéry zvuku používané v budovách - Hodnocení zvukové pohltivosti, ČSNI PRAHA, prosinec 1998
- [48] **ČSN EN ISO 11821** Akustika - Měření útlumu zvuku in situ přemístitelné clony, ČSNI PRAHA, únor 1999
- [49] **ČSN 73 0530** Akustika. Stanovení hladin hluku a dob dozvuku v nevýrobních pracovních prostorech, ČSNI PRAHA, únor 1998
- [50] **ČSN EN ISO 717-1** Akustika - Hodnocení zvukové izolace stavebních konstrukcí a v budovách - Část 1: Vzduchová neprůzvučnost, ČSNI PRAHA, červen 1998
- [51] **ČSN EN ISO 717-2** Akustika - Hodnocení zvukové izolace stavebních konstrukcí a v budovách - Část 2: Kročejová neprůzvučnost, ČSNI PRAHA, červen 1998
- [52] **ČSN ISO 3382** Akustika - Měření doby dozvuku místností a sálů s uvedením jiných akustických parametrů, ČSNI PRAHA, květen 2000
- [53] **ČSN EN 1793-1** Zařízení pro snížení hluku silničního provozu – Zkušební metody pro stanovení akustických vlastností – Část 1: Určení zvukové pohltivosti laboratorní metodou, ČSNI PRAHA, září 1998
- [54] **ČSN EN 1793-2** Zařízení pro snížení hluku silničního provozu – Zkušební metody pro stanovení akustických vlastností – Část 2: Určení vzduchové neprůzvučnosti laboratorní metodou, ČSNI PRAHA, září 1998
- [55] **ČSN EN 1793-3** Zařízení pro snížení hluku silničního provozu – Zkušební metody pro stanovení akustických vlastností – Část 3: Normalizované spektrum hluku silničního provozu, ČSNI PRAHA, září 1998
- [56] **ČSN 50 3602** Zkoušení krytinových a izolačních materiálů v rolích, Český normalizační institut, Praha 1967 (novelizováno 1976)

- [57] **ČSN EN 822** Tepelně-izolační výrobky pro použití ve stavebnictví. Stanovení délky a šířky, Český normalizační institut, Praha 1997
- [58] **ČSN EN 823** Tepelně-izolační výrobky pro použití ve stavebnictví. Stanovení tloušťky, Český normalizační institut, Praha 1997
- [59] **ČSN EN 824** Tepelně-izolační výrobky pro použití ve stavebnictví. Stanovení pravouhlosti, Český normalizační institut, Praha 1997
- [60] **ČSN EN 825** Tepelně-izolační výrobky pro použití ve stavebnictví. Stanovení rovinnosti, Český normalizační institut, Praha 1997
- [61] **ČSN EN 826** Tepelně-izolační výrobky pro použití ve stavebnictví. Zkouška tlakem, Český normalizační institut, Praha 1998
- [62] **ČSN EN 1603** Tepelně-izolační výrobky pro použití ve stavebnictví. Stanovení rozměrové stability za konstantních laboratorních podmínek (23 °C/50 % relativní vlhkosti), Český normalizační institut, Praha 1998
- [63] **ČSN EN 1604** Tepelně-izolační výrobky pro použití ve stavebnictví. Stanovení rozměrové stability za určených teplotních a vlhkostních podmínek, Český normalizační institut, Praha 1998
- [64] **ČSN EN 1605** Tepelně-izolační výrobky pro použití ve stavebnictví. Stanovení deformace při určeném zatížení tlakem a určených teplotních podmínkách, Český normalizační institut, Praha 1998
- [65] **ČSN EN 1606** Tepelně-izolační výrobky pro použití ve stavebnictví. Stanovení dotvarování tlakem, Český normalizační institut, Praha 1998
- [66] **ČSN EN 1607** Tepelně-izolační výrobky pro použití ve stavebnictví. Stanovení pevnosti v tahu kolmo k rovině desky, Český normalizační institut, Praha 1998
- [67] **ČSN EN 1608** Tepelně-izolační výrobky pro použití ve stavebnictví. Stanovení pevnosti v tahu v rovině, Český normalizační institut, Praha 1998
- [68] **ČSN EN 1609** Tepelně-izolační výrobky pro použití ve stavebnictví. Stanovení krátkodobé nasákavosti při částečném ponoření, Český normalizační institut, Praha 1998
- [69] **ČSN EN 12085** Tepelně-izolační výrobky pro použití ve stavebnictví. Stanovení lineárních rozměrů zkušebních vzorků, Český normalizační institut, Praha 1998
- [70] **ČSN EN 12086** Tepelně-izolační výrobky pro použití ve stavebnictví. Stanovení propustnosti pro vodní páru, Český normalizační institut, Praha 1998
- [71] **ČSN EN 12087** Tepelně-izolační výrobky pro použití ve stavebnictví. Stanovení dlouhodobé nasákavosti při ponoření, Český normalizační institut, Praha 1998
- [72] **ČSN EN 12088** Tepelně-izolační výrobky pro použití ve stavebnictví. Stanovení dlouhodobé navlhavosti při difúzi, Český normalizační institut, Praha 1998
- [73] **ČSN EN 12089** Tepelně-izolační výrobky pro použití ve stavebnictví. Zkouška ohybem, Český normalizační institut, Praha 1998
- [74] **ČSN EN 12090** Tepelně-izolační výrobky pro použití ve stavebnictví. Zkouška smykem, Český normalizační institut, Praha 1998
- [75] **ČSN EN 12091** Tepelně-izolační výrobky pro použití ve stavebnictví. Stanovení odolnosti při střídavém zmrazování a rozmrazování, Český normalizační institut, Praha 1998