

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Pedagogická fakulta - Katedra fyziky

Měření tepelně technických vlastností stavebních materiálů a konstrukcí

Diplomová práce

Vedoucí práce: doc. PaedDr. Petr Adámek, Ph.D.

Autor: Vlasta Urbánková

Anotace

Diplomová práce je zaměřena na šíření tepla stavebními materiály a konstrukcemi. Obsahuje přehled reprezentativních vzorků konstrukčních a izolačních materiálů používaných ve stavebnictví. Dále seznamuje se zkušebním ústavem, který v České republice odborné zkoušky z oboru stavební tepelné techniky provádí. Popisuje fyzikální principy a metody, které jsou aplikované pro měření vybraných tepelně technických vlastností stavebních materiálů a konstrukcí a prezentuje ukázkou protokolů o jejich měřeních. Příloha obsahuje údaje o konkrétních hodnotách součinitele tepelné vodivosti vybraných druhů konstrukčních a izolačních materiálů používaných ve stavebnictví.

Abstract

This thesis is focused to the heat flow through the construction materials and building constructions. It contains selected list of representative examples of constructions and building insulating materials using in civil engineering. Thereafter is mentioned the Institute of testing of materials in Czech Republic, where the testing of building materials is performed. Thesis describes physical principles and methods applied to measurements of selected thermal parameters of building materials and constructions in civil engineering. This work includes examples of measuring protocols of tested materials. Appendicies contain data about real parameters and values of thermal conductivity selected building construction and building insulating materials used and applied in civil engineering.

Prohlašuji, že předloženou práci jsem vypracovala samostatně, pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách.

V Českých Budějovicích dne 17. dubna 2009

.....

Vlasta Urbánková

Ráda bych na tomto místě poděkovala Ing. Pavlu Zemanovi za ochotné poskytnutí informací a protokolů, které mi pomohly k vypracování diplomové práce a doc. PaedDr. Petru Adámkovi, Ph.D., za cenné rady a připomínky při jejím zpracování.

Obsah:

Úvod a cíle práce	7
1 Teoretický úvod	8
1.1 Šíření tepla	8
1.1.1 Šíření tepla vedením	9
1.1.1.1 Tepelná vodivost.....	10
1.1.1.1.1 Vliv hustoty, objemové hmotnosti a pórovitosti na tep. vodivost ...	10
1.1.1.1.2 Vliv směru tepelného toku na tepelnou vodivost.....	13
1.1.1.1.3 Vliv struktury a složení na tepelnou vodivost	14
1.1.1.1.4 Vliv teploty na tepelnou vodivost.....	15
1.1.1.1.5 Vliv vlhkosti na tepelnou vodivost	15
1.1.1.2 Měrná tepelná kapacita	19
1.1.1.3 Teplotní vodivost	20
1.1.1.4 Tepelná jímavost.....	21
2 Přehled konstrukčních a izolačních materiálů používaných ve stavebnictví	22
2.1 Betony	22
2.1.1 Druhy betonů	22
2.2 Cihly a cihlářské výrobky	23
2.2.1 Druhy cihel a cihlářských výrobků	23
2.3 Cementy, malty a omítky	23
2.3.1 Druhy cementů, malt a omítek.....	24
2.4 Dřevo a výrobky ze dřeva, organické materiály	24
2.4.1 Druhy dřeva	24
2.4.2 Druhy výrobků ze dřeva a organických materiálů.....	24
2.5 Kameniva, zrnité a sypké materiály.....	25
2.5.1 Druhy kameniva, zrnitých a sypkých materiálů	25
2.6 Horniny a zeminy.....	26
2.6.1 Druhy hornin a zemin	26
2.7 Anorganické vláknité materiály.....	26
2.7.1 Druhy anorganických vláknitých materiálů.....	26
2.8 Plasty.....	27
2.8.1 Druhy plastů.....	27
2.9 Izolace fóliové.....	28
2.9.1 Druhy fóliových izolací	28
2.10 Deskové, obkladové a krytinové materiály.....	28
2.10.1 Druhy deskových, obkladových a krytinových materiálů	28
2.11 Sklo	29
2.11.1 Druhy skla.....	29
2.12 Kovy.....	29
2.12.1 Druhy kovů	30
3 Zkušební a certifikační organizace v oblasti stavebnictví	31
3.1 Technický a zkušební ústav stavební Praha, s. p., pobočka České Budějovice (0200), zkušební laboratoř 1018.3	31
3.2. 1 Činnosti a služby poskytované zkušební laboratoří 1018.3 akreditovanou podle ČSN EN ISO/IFC 17025.....	33
4 Principy a metody aplikované pro měření součinitele tepelné vodivosti stavebních materiálů	35
4.1 Měřicí přístroj POENSGEN®	35
4.1.1 Princip měření přístrojem POENSGEN®	37
4.1.2 Ukázky protokolů měření součinitele tepelné vodivosti.....	37

4.2 Nový měřicí přístroj HFM 436/3/1E Lambda®	46
5 Principy a metody aplikované pro termovizní měření teplotních polí	49
5.1 Charakteristika termovizního měření.....	49
5.2 Fyzikální principy termografie	49
5.3 Termovize ve stavebnictví.....	51
5.3.1 Programové a technické prostředky termovizní techniky.....	51
5.3.2 Nové prostředky termovizního měření teplotních polí.....	53
5.3.3 Termovizní měření stavebních konstrukcí z exteriéru.....	54
5.3.3.1 Příklady tepelných ztrát budov	54
5.3.4 Termovizní měření stavebních konstrukcí z interiéru	56
5.3.4.1 Příklady plísni v interiéru	56
5.3.4.2 Příklad oroseného okna.....	57
5.3.5 Základní výhody termovizního měření.....	58
5.3.6 Přednosti a přínosy termovizního měření	58
5.3.7 Ukázky protokolů termovizního měření	58
6 Závěr	62
7 Seznam citované literatury	63
8 Přílohy – součinitel tepelné vodivosti stavebních a izolačních materiálů	64
8.1 Betony	64
8.2 Cihly a cihlářské výrobky	65
8.3 Cementy, malty a omítky.....	66
8.4 Dřevo a výrobky ze dřeva, organické materiály	68
8.5 Kameniva, zrnité a sypké materiály.....	70
8.6 Horniny a zeminy.....	71
8.7 Anorganické vláknité materiály.....	72
8.8 Izolace fóliové.....	73
8.9 Plasty.....	74
8.10 Deskové, obkladové a krytinové materiály.....	74
8.11 Sklo	75
8.12 Kovy.....	77

Úvod a cíle práce

Důležitou součástí projektování a výstavby budov je znalost tepelné vodivosti materiálů používaných ke konstrukcím. Jedná se především o obvodové zdivo, podlahy, stropy, střešní konstrukce, otvory – dveře a okna, omítky a nátěry a další. Znalost tepelné vodivosti materiálů, respektive souvisejících tepelných ztrát, je stále důležitější pro kvalitní tepelné izolace budov. Dobře izolovaná budova přináší významné snížení spotřeby energie potřebné pro vytápění a přispívá tak nepřímo k omezení spotřeby vysokopotenciálních zdrojů tepla, jako jsou fosilní paliva, především zemního plynu, v menším rozsahu kamenného uhlí a je též snižována produkce skleníkových plynů. Přímo dochází k úspoře elektrické energie. Taktéž jsou omezeny ekonomické náklady na provoz budov [1, 2].

Kromě průchodu tepla způsobeném kondukcí materiálů tak zvanými tepelnými mosty, dochází k tepelným ztrátám budov různými vadami, jako jsou mechanické poruchy, trhliny, časová degradace tepelně izolačních vlastností. Tyto tepelné ztráty je třeba diagnostikovat a následně odstraňovat. K účinné a rychlé detekci uvedených vad a ztrát je používáno termovizní kamery, která umožňuje zobrazit pseudobarevné rozložení teplot na zkoumaných plochách, v relativně velkém rozsahu [2, 3].

Předložená práce se zabývá právě touto stále velmi aktuální tematikou, neboť při nedostatečném řešení, obecně spotřeby energie, hrozí relativně brzké vyčerpání zásob vysokopotenciálních energetických zdrojů [3].

Cílem této práce bylo seznámit s materiály používanými ve stavebnictví, s jejich vybranými fyzikálními vlastnostmi, především jejich tepelnou vodivostí, která úzce souvisí s tepelnými ztrátami. Za tím účelem byly též popsány principy a metody pro měření tepelné vodivosti materiálů a tepelných ztrát, na něž navazuje ukázka konkrétních praktických měření, jednak tepelné vodivosti stavebních materiálů a termovizních měření budov pro diagnostiku tepelných ztrát.

1 Teoretický úvod

Základy teorie tepelně technických vlastností stavebních materiálů a konstrukcí tvoří především zákony šíření tepla, pohybu vlhkosti a filtrace vzduchu. Zákony charakterizují jejich určující veličiny, jejichž hodnoty se pak následně dále využívají při řešení tepelně technických a energetických problémů budov [2].

1.1 Šíření tepla

Teplu se šíří v daném prostředí tehdy, jestliže v něm existuje rozdíl teploty. Směr šíření tepla probíhá vždy od vyšší teploty k nižší. Jelikož je teplo zvláštní druh energie, jde při šíření tepla o proud energie [1, 2].

Teplu se může šířit trojím způsobem:

1. vedením (kondukcí) – teplo samo přechází z teplejších míst tělesa na místa studenější, energii si vyměňují jen bezprostředně spolu sousedící částice látky. Vedení tepla tedy vzniká v důsledku výměny energie mezi mikročásticemi, např. molekulami látky. Probíhá v pevných (tuhých) látkách a také v kapalinách a plynech, pokud jsou v klidu [1, 2].
2. prouděním (konvekcí) – teplo přenáší teplé látky při svém proudění, což se projevuje jen v kapalinách a plynech. Částice látky mění v prostoru svou polohu ve větším měřítku a unášejí přitom svou energii sebou [1, 2].
3. sáláním (radiací, tepelným zářením) – teplo se šíří z teplého tělesa všemi směry v přímočarých paprscích jako elektromagnetické vlnění o určité vlnové délce. Sálavé teplo proniká průteplivými látkami a šíří se i ve vakuu – nepotřebuje tedy ke svému šíření látkové prostředí [1, 2].

V tepelné technice budov se zpravidla předpokládá, že se šíří teplo [2]:

- a) prouděním a sáláním mezi vzduchem a povrchem konstrukcí,
- b) vedením v pevných vrstvách konstrukcí,
- c) vedením, prouděním a sáláním ve vrstvách konstrukcí vyplněných vzduchem (plynem).

Pozn. Práce je zaměřena v této kapitole na šíření tepla vedením, kde vystupují veličiny tepelné charakteristiky materiálů - tepelná vodivost, měrná tepelná kapacita, teplotní vodivost a tepelná jímavost. Dále pak v souvislosti s termovizním měřením je v práci v páté kapitole uvedena teorie šíření tepla sáláním, které je podmiňujícím předpokladem pro termovizní měření teplotních polí termovizní kamerou.

1.1.1 Šíření tepla vedením

Přestože je šíření tepla vedením charakterizováno jako mikrostrukturní proces, vychází se při řešení tepelně technických a energetických problémů budov z analytické (matematické) teorie vedení tepla. Ta je založena na dvou Fourierových zákonech [2].

První zákon vyjadřuje úměrnost mezi hustotou tepelného toku a teplotním gradientem ($\partial T/\partial n$). Ve skalární formě má tvar viz (1) [1, 2]:

$$q = \lambda \cdot \frac{\partial T}{\partial n} = -\lambda \cdot \text{grad } T, \quad (1)$$

kde q je hustota tepelného toku, [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$],
 λ součinitel tepelné vodivosti, [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$],
 T teplota, [K],
 n délka ve směru normály n , [m].

Teplotní gradient ($\text{grad } T$) znamená růst teploty a je největší ve směru normály n . Vedle pojmu teplotní gradient se používá také pojem teplotní spád. Teplotní spád značí největší pokles teploty ve směru normály n . Z toho plyne, že teplotní spád je roven teplotnímu gradientu se záporným znaménkem tj.: $-\text{grad } T$ [2].

Druhý zákon udává závislost mezi časovou změnou teploty ($\partial T/\partial \tau$) a místní změnou teploty. V jednosměrném vyjádření, např. ve směru souřadnice x , je tato změna zapsána ve tvaru ($\partial^2 T/\partial x^2$), takže druhý Fourierův zákon viz (2) má formu diferenciální rovnice [2]:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}, \quad (2)$$

kde T je teplota, [K],
 τ čas, [s],
 a teplotní vodivost, [$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$],
 x délka ve směru souřadnice x , [m].

Rovnice (2) popisuje šíření tepla v neustáleném tzv. nestacionárním stavu (Teplotní rozdíly mezi jednotlivými částmi tělesa mezi kterými se teplo přenáší se postupně vyrovnávají.). V případě, že je časová změna teploty nulová, tj. ($\partial T/\partial \tau = 0$), je z hlediska času teplota konstantní a pak pravá strana rovnice (2) charakterizuje šíření tepla vedením v ustáleném tzv. stacionárním stavu (Teplotní rozdíl mezi jednotlivými částmi tělesa se v čase nemění.) [2, 4].

Rovnice (2) platí pro jednorozměrné vedení tepla. Je-li teplota udána v závislosti na dvou souřadnicích, jde o dvourozměrné vedení tepla, popř. na třech souřadnicích o trojrozměrné vedení tepla. Ve všech případech může být vedení tepla ustálené nebo neustálené [1, 2].

Charakteristickými veličinami šíření tepla vedením jsou tepelná vodivost (součinitel tepelné vodivosti) a teplotní vodivost. Další veličinou, která se uplatňuje při šíření tepla vedením, je tepelná jímavost [2].

Veličinami tepelné charakteristiky materiálů jsou: Tepelná vodivost (součinitel tepelné vodivosti), měrná tepelná kapacita, teplotní vodivost, tepelná jímavost. Pozn.: U posledních dvou veličin je součástí objemová hmotnost (hustota) [2].

1.1.1.1 Tepelná vodivost

Tepelná vodivost (součinitel tepelné vodivosti) je definována jako tepelný tok Q , který proudí krychlí z dané látky o hraně 1 m mezi jejími protilehlými stěnami při rozdílu teplot 1 K, jsou-li ostatní stěny krychle tepelně izolovány. V ustáleném stavu je dána rovnicí (3) [1, 2]:

$$\lambda = \frac{Q \cdot d}{S \cdot \Delta T}, \quad (3)$$

kde λ je součinitel tepelné vodivosti, [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]
 Q tepelný tok, [W],
 d tloušťka materiálu, [m],
 S plocha, [m^2],
 ΔT rozdíl teplot, [K].

Podle hodnoty součinitele tepelné vodivosti se rozdělují materiály na dobré a špatné vodiče tepla. K dobrým vodičům tepla patří kovy, např. stříbro má tepelnou vodivost $419 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$, hliník $209 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ a zinek $113 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ [1, 2].

Vodivost kapalin je zhruba asi tisíckrát menší než kovů. Ještě menší vodivost mají plyny. Proto jsou porézní látky špatnými vodiči tepla, jelikož obsahují hodně vzduchu. Stavební a izolační materiály také patří ke špatným vodičům tepla. Jejich hodnota se pohybuje v rozmezí ($0,024 \div 5,000$) $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ [1, 2].

Tepelná vodivost závisí na různých parametrech. Nejdůležitější jsou: Hustota, objemová hmotnost a pórovitost; směr tepelného toku; struktura a složení; teplota a vlhkost [2].

1.1.1.1.1 Vliv hustoty, objemové hmotnosti a pórovitosti na tepelnou vodivost

Mezi hustotou, objemovou hmotností a pórovitostí platí vztah (4) [2]:

$$\rho_s = \rho \cdot \left(1 - \frac{p}{100}\right), \quad (4)$$

kde ρ_s je objemová hmotnost v suchém stavu, [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$],
 ρ hustota, [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$],
 p pórovitost, [%].

Pórovitost p [%], vyjadřuje množství pórů v materiálu viz vztah (5) [2]:

$$p = \frac{V_p}{V} \cdot 100, \quad (5)$$

kde V_p je objem pórů, [m^3],
 V objem pórovitého materiálu, [m^3].

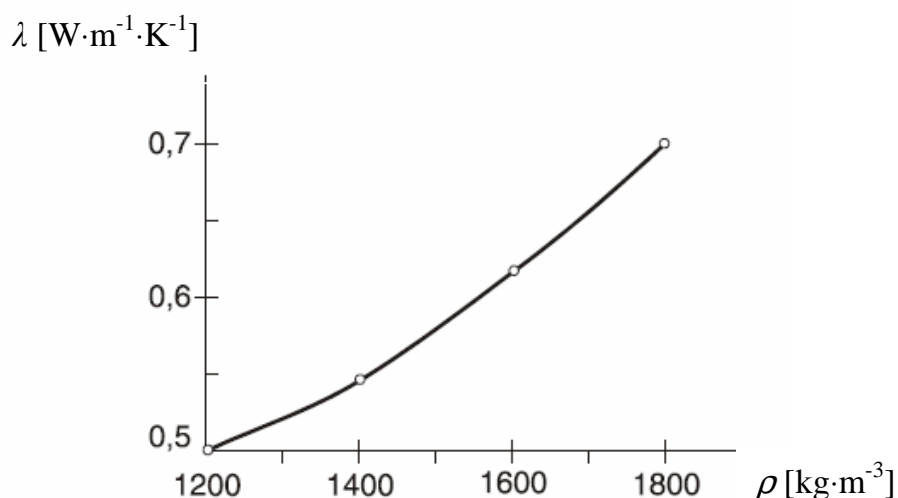
Zanedbá-li se hmotnost vzduchu v pórech a je-li materiál suchý, může se pórovitost vyjádřit také pomocí vzorce (6) [2]:

$$p = \frac{\rho - \rho_s}{\rho_s} \cdot 100, \quad (6)$$

kde p je pórovitost, [%],
 ρ hustota, [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$],
 ρ_s objemová hmotnost v suchém stavu, [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$].

V pórech (dutinách) materiálů je vzduch, jehož hodnota tepelné vodivosti, za normálních podmínek, udává nejnižší možnou hodnotu tepelné vodivosti stavebních a tepelně izolačních materiálů, pokud jsou pórovité. Vzhledem k tomu, že pevné části materiálů mají několikanásobně větší tepelnou vodivost než vzduch, je zřejmé, že čím je větší pórovitost materiálů, tím může být menší jejich tepelná vodivost [2].

Ze vztahu (4) vyplývá, že mezi pórovitostí a objemovou hmotností platí nepřímá úměrnost: Čím je větší pórovitost, tím je menší objemová hmotnost, nemění-li se hustota materiálu. Za tohoto předpokladu je možné vyjádřit tepelnou vodivost buď v závislosti na pórovitosti nebo na objemové hmotnosti. Protože objemová hmotnost se zjišťuje snadněji než pórovitost, uplatňuje se nejčastěji objemová hmotnost. Příklad vlivu objemové hmotnosti na tepelnou vodivost škvárobetonu je na obr. 1.1 [2].

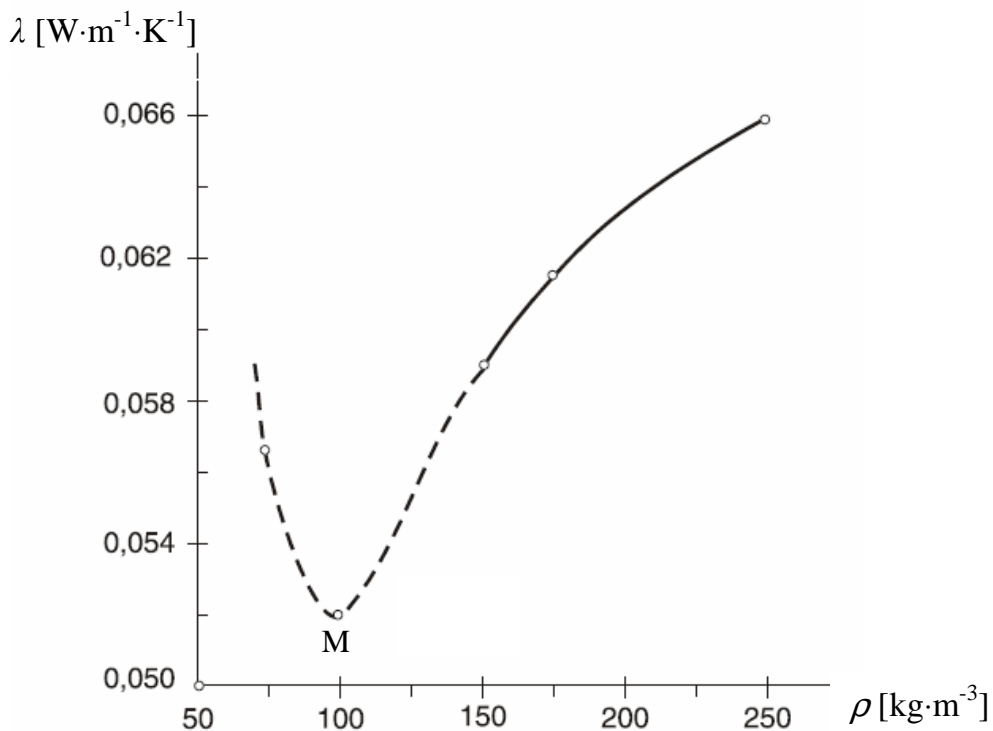


Obr. 1.1 Tepelná vodivost λ škvárobetonu v závislosti na objemové hmotnosti ρ , převzato a upraveno z [2]

Z obrázku je patrné, že tepelná vodivost je tím větší, čím je větší objemová hmotnost materiálu. Proto u stavebních a tepelně izolačních materiálů je tepelná vodivost tím větší, čím je větší jejich objemová hmotnost. Toto pravidlo však neplatí obecně, tedy neplatí pro všechny materiály a za všech okolností. Např. na obr.1.2 je uvedena závislost tepelné vodivosti na objemové hmotnosti v suchém stavu pro minerální vlnu [2].

Křivka znázorňující tuto závislost má dva rozdílné úseky, které jsou rozděleny bodem M s nejnižší hodnotou tepelné vodivosti. V pravém úseku uvedené křivky odpovídá průběh závislosti tepelné vodivosti na objemové hmotnosti podle výše vyjádřeného pravidla – tepelná vodivost roste, zvětšuje-li se objemová hmotnost. V levém úseku téže křivky je závislost opačná – tepelná vodivost se zmenšuje, přestože objemová hmotnost roste [2].

Tato okolnost se vysvětluje tím, že z hlediska šíření tepla ve vzduchových dutinách není důležitá jen celková pórovitost, ale také velikost dutin, pórů (kromě toho může mít vliv na tepelnou vodivost také tvar pórů a jejich rozmístění v materiálu) [2].



Obr. 1.2 Tepelná vodivost λ minerální vlny v závislosti na objemové hmotnosti ρ , (M – nejnižší hodnota tepelné vodivosti), převzato a upraveno z [2]

V pórovitých materiálech se šíří teplo nejen vedením, ale také sáláním a za jistých podmínek i prouděním. Výsledná tepelná vodivost suchého pórovitého materiálu, která se označuje, z výše uvedených důvodů, za zdánlivou nebo ekvivalentní, je dána vztahem (7) [2].

$$\lambda = \lambda_v + \lambda_k + \lambda_s, \quad (7)$$

kde	λ	je výsledný (zdánlivý, ekvivalentní) součinitel tepelné vodivosti,
	λ_v	součinitel tepelné vodivosti charakterizující šíření tepla vedením (nazývá se také kontaktní tepelná vodivost),
	λ_k	součinitel tepelné vodivosti charakterizující šíření tepla prouděním (nazývá se také konvektivní tepelná vodivost),
	λ_s	součinitel tepelné vodivosti charakterizující šíření tepla sáláním (nazývá se také sálavá tepelná vodivost).

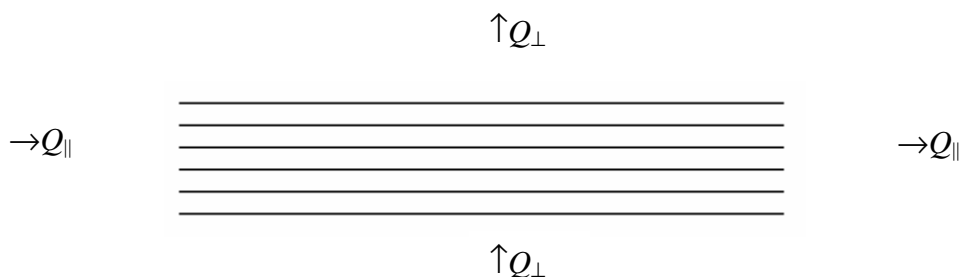
Veličina λ vyjádřená vztahem (7) by se měla nazývat jinak než tepelná vodivost. Např. „součinitel šíření tepla“. V praxi se však termín „tepelná vodivost“ uchoval, bez ohledu na to, které druhy šíření tepla se vedle „vlastního vedení tepla“ na celkovém procesu šíření tepla v pórovitém materiálu podílejí [2].

Tento terminologický problém má historické kořeny. Šíření tepla materiály, tedy i pórovitými materiály, se zjišťuje experimentálním způsobem a vyhodnocování výsledků měření se provádí podle rovnice vedení tepla, takže se i výsledek označuje jako tepelná vodivost – viz rov. (3). Z toho vyplývá důležitý závěr: K hodnotám tepelné vodivosti pórovitých materiálů zjištěných měřeními a vyhodnoceným podle rov. (3), musí být připojeny všechny určující parametry, při kterých příslušné hodnoty byly stanoveny. A dále, použití těchto hodnot při jiných parametrech než při kterých byly stanoveny, obsahuje vždy určité riziko nepřesnosti [2].

Poznámka – Problém současného šíření tepla vedením a sáláním se charakterizuje v ČSN EN ISO 9288 Tepelná izolace. Šíření tepla sáláním. Fyzikální veličiny a definice [2, 11].

1.1.1.1.2 Vliv směru tepelného toku na tepelnou vodivost

Vliv směru tepelného toku se projevuje u neizotropních materiálů. Jsou to materiály vyznačující se různými vlastnostmi v různých směrech. Typickým představitelem neizotropního materiálu je materiál z minerálních vláken. Model struktury takového materiálu je na obr. 1.3. Rovnoběžné uspořádání vláken, jejichž délka je mnohonásobně větší než tloušťka, vytváří vzduchové dutiny s malou tloušťkou kolmo na vlákna a s velkou tloušťkou vzduchové dutiny rovnoběžné s vlákny [1, 2].



Obr. 1.3 Model struktury neizotropního materiálu, převzato a upraveno z [2]

Jak již bylo uvedeno, zvětšuje-li se velikost pórů (vzduchových dutin) roste hodnota tepelné vodivosti vzduchu v této dutině. Z toho vyplývá, že je-li směr tepelného toku rovnoběžný s vlákny (Q_{\parallel}), tj. ve směru vzduchových dutin s velkou tloušťkou, pak je jeho hodnota větší než proudí-li kolmo na vlákna (Q_{\perp}), kolmo na vzduchové dutiny s malou tloušťkou. U tepelné vodivosti to znamená, že tepelná vodivost vláknitého materiálu ve směru kolmém na vlákna je menší než tepelná vodivost ve směru rovnoběžném s vlákny [2].

Vláknité materiály, zvláště z minerální nebo skleněné vlny, patří k tzv. měkkým nebo polotuhým materiálům. Může se u nich proto měnit, vlivem stlačení, objemová hmotnost a tím také pórovitost. Dochází přitom nejen ke změně celkové pórovitosti, ale i ke změně velikosti dutin mezi vlákny. To má za následek změnu tepelné vodivosti v závislosti na objemové hmotnosti, např. podle průběhu znázorněného na obr. 1.2 [2].

U vláknitých materiálů má vliv na tepelnou vodivost také tloušťka vláken. Např. skleněná vlna při tloušťce vláken 15,5 μm má hodnotu součinitele tepelné vodivosti 0,041 $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ a při tloušťce vláken 35,2 μm hodnotu 0,044 $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Dále např. u minerální vlny působí nepříznivě na tepelnou vodivost také množství nerozvlákněného materiálu, který jeho tepelnou vodivost zvyšuje [2].

1.1.1.1.3 Vliv struktury a složení na tepelnou vodivost

Vliv struktury na tepelnou vodivost je vidět v tabulce 1. Jsou zde hodnoty tepelné vodivosti různých pevných částic skeletu pórovitého materiálu. Z porovnání největší a nejmenší hodnoty v tabulce 1 vyplývá, že se odlišují zhruba 17krát. To je také důvod, proč je tepelná vodivost různá u materiálů se stejnou objemovou hmotností. Ve skutečnosti však nejsou rozdíly v hodnotách tepelné vodivosti tak velké, jak ukazují uvedené hodnoty. Je to proto, že šíření tepla vedením tvoří jen část z celkového tepelného toku proudícího pórovitým materiálem [2].

Tabulka 1 Součinitel tepelné vodivosti λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] různých pevných částic skeletu pórovitého materiálu [2]

Materiál	λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]
Vápenec amorfní	0,43 – 0,88
Mramor bílý	2,99
Rula	3,86
Křemen kolmo k ose	7,44

Některé stavební a tepelně izolační materiály jsou složeny z materiálů s různou tepelnou vodivostí. Obecně platí, že výsledná tepelná vodivost je tím větší, čím je větší tepelná vodivost jednotlivých složek daného materiálu [2].

Chemické složení má rovněž vliv na tepelnou vodivost. Uvádí se, že materiály zásaditého charakteru jsou lepšími vodiči tepla než materiály kyselého charakteru [2].

1.1.1.1.4 Vliv teploty na tepelnou vodivost

Tepelná vodivost stavebních a tepelně izolačních materiálů se zvětšuje, rostou-li jejich teplota. Způsobuje to intenzivnější šíření tepla vedením v pevných částicích materiálu a šíření tepla prouděním a sáláním v pórech materiálu, jsou-li materiály pórovité. Závislost u stavebních a tepelně izolačních materiálů používaných pro výrobu stavebních konstrukcí se až na výjimky přímo nezjišťuje (Zjišťování závislosti tepelné vodivosti v závislosti na teplotě je však nutné u tepelných izolací, u kterých se předpokládá využití při izolování tepelných zařízení provozovaných při podstatně vyšších teplotách, než jsou teploty ve stavebních konstrukcích.). Pokud je známá závislost tepelné vodivosti na teplotě, postačuje obvykle uvažovat lineární závislost viz vztah (8) [1, 2]:

$$\lambda_T = \lambda_0 \cdot (1 + k \cdot T), \quad (8)$$

kde λ_T je součinitel tepelné vodivosti při teplotě T , [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$],
 λ_0 součinitel tepelné vodivosti při teplotě 0°C , [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$],
 k konstanta stanovená experimentálně, [-],
 T teplota, [K].

U suchých pórovitých materiálů je závislost $\lambda = f(T)$ zcela určena vztahem mezi objemem pevné a plynné fáze, tj. objemovou hmotností a rozměry zrn a pórů. Stěny pórů je možno považovat za clony zmenšující šíření tepla sáláním. Čím jsou póry menší, tím je větší počet clon zmenšující sálavý tok a tím i celkový tepelný tok proudící materiálem. Z toho plyne, že čím jsou póry menší, tím je menší výsledná tepelná vodivost – samozřejmě za předpokladu, že je celková pórovitost stejná. Jak již bylo uvedeno, v pórovitých materiálech se vzrůstající teplotou roste podíl sálavé složky na celkovém tepelném toku. Proto, čím je větší pórovitost a čím větší jsou póry materiálu, tím je vliv teploty na tepelnou vodivost materiálu výraznější. To se projevuje v konstantě k v rov. (8) [2].

1.1.1.1.5 Vliv vlhkosti na tepelnou vodivost

Vlhkost ve stavebních a tepelně izolačních materiálech může být obsažena v různé formě. Rozhodující je přitom způsob vazby vlhkosti s materiálem. Rozlišuje se [2]:

– Chemická vazba: Je součástí strukturální mřížky materiálu, do které se dostává při chemických reakcích a krystalizaci; vyznačuje se vysokou energetickou úrovní molekulární vazby s materiálem. Za normálních klimatických podmínek se ze stavebních konstrukcí nevysuší [2].

– Fyzikálně chemická vazba: Vzniká při adsorpci vlhkosti na povrchu pórů a kapilár; ani tato vlhkost se nevysuší za normálních klimatických podmínek [2].

– Fyzikálně mechanická vazba: Udržuje se v pórech a kapilárách v důsledku kapilárního tlaku a smáčivosti hydrofilních materiálů; tento druh vlhkosti se vypařuje z konstrukcí poměrně snadno za normálních klimatických podmínek (v procesu přirozeného vysušování) [2].

Relativně velmi těsnou vazbu s materiálem má vlhkost v mikrokapilárách o průměru menším než 10^{-7} m. Vlhkost v makrokapilárách (průměr větší než 10^{-7} m) má fyzikální vlastnosti blízké vlastnostem volné vody. Má velmi slabou vazbu s materiálem a nejsnadněji se vypařuje z povrchových vrstev konstrukcí [2].

V tepelné technice se uvažuje zpravidla jen vlhkost sorpční a volná. Sorpční vlhkostí se rozumí adsorbovaná (nahromaděná na povrchu materiálu) a absorbovaná (pohlčená do vláken materiálu) vlhkost. Přiřazuje se k ní i kapilární vlhkost. Její původ je v kapilární kondenzaci, ke které dochází ve spojitých kapilárách s menším průměrem než 10^{-7} m a v uzavřených kapilárách s větším průměrem než 10^{-7} m. K volné vlhkosti patří také kapilární vlhkost ve spojitých makrokapilárách o větším průměru než 10^{-7} m. Ta vzniká kondenzací vodní páry pronikající do konstrukce z okolního vzduchu a také vlhkost, která proniká do konstrukce při jejím bezprostředním styku s vodou [2, 4].

Jestliže je materiál vlhký, znamená to, že vlhkost zaplnila póry materiálu – buď částečně nebo úplně. Množství vlhkosti v nich obsažené se vyjadřuje nejčastěji ve formě hmotnostní nebo objemové vlhkosti [2].

Hmotnostní vlhkost u_m [%] je dána vztahem (9) [2]:

$$u_m = \frac{m_{vh}}{m_s} \cdot 100 = \frac{m_v - m_s}{m_s} \cdot 100, \quad (9)$$

kde u_m je hmotnostní vlhkost, [%],
 m_{vh} hmotnost vlhkosti obsažené v materiálu, [kg],
 m_s hmotnosti suchého materiálu, [kg],
 m_v hmotnost vlhkého materiálu, [kg].

Ze vztahu (9) je vidět, že hmotnost vlhkosti v materiálu se stanoví jako rozdíl hmotnosti vlhkého materiálu a suchého materiálu ($m_v - m_s$) [2].

Hmotnost suchého materiálu m_s se stanovuje zpravidla vysušováním vlhkého materiálu do konstantní hmotnosti. Aby se vypařila sorpční a volná vlhkost, musí být teplota vzduchu v sušárně ($105 \div 110$) °C [2].

Objemová vlhkost u_v [%] je dána vztahem (10) [2]:

$$u_v = \frac{V_{vh}}{V} \cdot 100, \quad (10)$$

kde u_v je objemová vlhkost, [%],
 V_{vh} objem vlhkosti v materiálu, [m³],
 V objem materiálu, [m³] - přitom se předpokládá, že objem suchého a vlhkého materiálu je stejný.

Vztah mezi hmotnostní u_m [%] a objemovou u_v [%] vlhkostí má tvar (12) [2]:

$$u_m = u_v \cdot \frac{1000}{\rho_s}, \quad (12)$$

kde u_m je hmotnostní vlhkost, [%],
 u_v objemová vlhkost, [%],
 ρ_s objemová hmotnost v suchém stavu, [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$].

Opačný vztah mezi objemovou u_v [%] a hmotnostní u_m [%] vlhkostí má tvar (13) [2]:

$$u_v = u_m \cdot \frac{\rho_s}{1000}, \quad (13)$$

kde u_v je objemová vlhkost, [%],
 u_m hmotnostní vlhkost, [%],
 ρ_s objemová hmotnost v suchém stavu, [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$].

Vliv vlhkosti na tepelnou vodivost, za teplotních podmínek, kterým jsou vystaveny stavební konstrukce, se projevuje tak, že roste-li vlhkost materiálu, zvětšuje se jeho tepelná vodivost [2].

Vzrůst tepelné vodivosti vlivem rostoucí vlhkosti se vysvětluje dvěma příčinami. První vychází z faktu, že voda v pórech materiálu, která je v nich místo vzduchu, má tepelnou vodivost zhruba 25krát větší než vzduch. Druhá příčina má oporu ve skutečnosti, že při působení rozdílu teplot ve vlhkém materiálu vzniká, vedle šíření tepla vedením, prouděním a sáláním, také přenos tepla proudící vlhkostí [2].

Jako příklad tohoto zdůvodnění slouží tepelná vodivost cihly. Její hodnota součinitele tepelné vodivosti v suchém stavu je $0,47 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Voda má součinitel tepelné vodivosti $0,58 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. V případě, že by platila jen první příčina, byl by součinitel tepelné vodivosti vlhké cihly nejvýše $0,58 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Experimentálně byla však zjištěna hodnota součinitele tepelné vodivosti vlhké cihly až $1,05 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ [2].

Vliv vlhkosti na tepelnou vodivost materiálu může být ještě výraznější, jestliže se změní voda v led. Je to proto, že hodnota součinitele tepelné vodivosti ledu je $2,2 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ což je hodnota zhruba čtyřikrát větší než hodnota platná pro vodu. Problém je však v tom, že je složité stanovit teplotu, při které se mění voda v led v pórech materiálu. Z experimentálních výsledků je známo, že tato přeměna se děje při teplotách nižších než je bod mrazu volné vody, tj. $0 \text{ }^\circ\text{C}$. V principu platí, že čím jsou póry materiálu menší, tím nižší je teplota, při které se voda změní v led. Např. při pokusu se zjistilo, že voda v pórech ve formě filmu o tloušťce $3,2 \text{ }\mu\text{m}$ zamrzla při teplotě $-4 \text{ }^\circ\text{C}$ a při tloušťce $1,4 \text{ }\mu\text{m}$ až při teplotě $-17 \text{ }^\circ\text{C}$ [2].

Vznik ledu v materiálech stavebních konstrukcí je postupný s klesající teplotou. Předpoklad je, že čím níže poklesne teplota, tím větší množství vody se změní v led [2].

Tepelná vodivost stavebních a tepelně izolačních materiálů se stanovuje experimentálně buď v závislosti na hmotnostní nebo objemové vlhkosti. Jako příklad výsledků měření součinitele tepelné vodivosti v závislosti na hmotnostní vlhkosti se uvádí v tab. 2, kde jsou uvedeny naměřené hodnoty pro pěnobeton. Zároveň je zde také závislost součinitele tepelné vodivosti na objemové hmotnosti pěnobetonu v suchém stavu ρ_s . Hodnoty $u_m = 0$ označují suchý stav pěnobetonu [2].

Tabulka 2 Součinitel tepelné vodivosti λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] pěnobetonu v závislosti na objemové hmotnosti v suchém stavu ρ_s [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$] a hmotnostní vlhkosti u_m [%] [2]

ρ_s [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] při u_m [%]					
	0	5	10	15	20	25
400	0,116	0,137	0,157	0,178	0,198	0,219
500	0,145	0,171	0,197	0,222	0,247	0,272
600	0,169	0,198	0,228	0,257	0,286	0,316
700	0,204	0,240	0,274	0,311	0,347	0,381
800	0,238	0,280	0,322	0,364	0,405	0,447
900	0,279	0,328	0,377	0,426	0,475	0,523

Závislost tepelné vodivosti na hmotnostní vlhkosti je zpravidla lineární nebo velmi blízká lineárnímu průběhu až do určité hodnoty hmotnostní vlhkosti. Jestliže je závislost tepelné vodivosti na vlhkosti známá, odvozuje se z ní zpravidla přírůstek součinitele tepelné vodivosti v procentech na jedno procento vlhkosti, a to buď hmotnostní nebo objemové, a to podle vztahu (14) [2]:

$$\Delta\lambda_i = \frac{\lambda - \lambda_s}{\lambda_s} \cdot 100, \quad (14)$$

kde $i = m$ nebo v – podle toho, je-li součinitel tepelné vodivosti stanoven v závislosti na hmotnostní vlhkosti u_m nebo objemové vlhkosti u_v ; v prvním případě je $\Delta\lambda_m$, [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$], přírůstek na 1% hmotnostní vlhkosti a ve druhém případě je $\Delta\lambda_v$, [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$], přírůstek na 1% objemové vlhkosti,
 λ součinitel tepelné vodivosti ve vlhkém stavu, [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$],
 λ_s součinitel tepelné vodivosti v suchém stavu, [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$].

Tepelná vodivost se potom stanoví pro zadanou vlhkost ze vztahů (15) a (16) [2]:

$$\lambda = \lambda_s \cdot \left(1 + \frac{\Delta\lambda_m \cdot u_m}{100} \right), \quad (15)$$

$$\lambda = \lambda_s \cdot \left(1 + \frac{\Delta\lambda_v \cdot u_v}{100} \right). \quad (16)$$

kde	λ	je součinitel tepelné vodivosti ve vlhkém stavu, $[\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$,
	λ_s	součinitel tepelné vodivosti v suchém stavu, $[\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$.
	$\Delta\lambda_m$	součinitel tepelné vodivosti stanovený v závislosti na u_m , $[\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$,
	$\Delta\lambda_v$	součinitel tepelné vodivosti stanovený v závislosti na u_v , $[\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$,
	u_m	hmotnostní vlhkost, [%],
	u_v	objemová vlhkost, [%].

Jestliže je známá hodnota přírůstku tepelné vodivosti na vlhkosti, uplatňuje se při řešení daných problémů. Musí se při tom brát na vědomí, že materiál, u kterého byl použit, je identický s materiálem, pro který byl stanovený. Často však vzniká situace, že u nového materiálu závislost tepelné vodivosti na vlhkosti není známá. V takovém případě se používají hodnoty přírůstků tepelné vodivosti na vlhkosti zjištěné pro podobné materiály – používají se tzv. „obecné hodnoty“ [2].

1.1.1.2 Měrná tepelná kapacita

Měrná tepelná kapacita c se definuje jako množství tepla Q , které je potřebné k dosažení jednotkové změny teploty ΔT , při ohřevu jednotkové hmotnosti látky m viz vztah (17) [1, 2]:

$$c = \frac{1}{m} \cdot \frac{Q}{\Delta T}, \quad (17)$$

kde	c	je měrná tepelná kapacita, $[\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$,
	Q	teplo, [J],
	m	hmotnost, [kg],
	ΔT	změna teploty, [K].

Měrná tepelná kapacita stavebních a tepelně izolačních materiálů se stanovuje experimentálně. Nejsou-li známé hodnoty měrné tepelné kapacity stavebních a tepelně izolačních materiálů, je možno použít následujících orientačních hodnot [2]:

$c = 1\,880 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ - pro materiály organické přirozeného původu,

$c = 1\,250 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ - pro materiály organické umělého původu a smíšené
anorganicko-organického původu,

$c = 840 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ - pro materiály anorganického původu.

Jsou-li stavební a tepelně izolační materiály složeny z několika různých materiálů, lze stanovit výslednou hodnotu měrné tepelné kapacity orientačně ze vztahu (18) [2]:

$$c = \frac{c_1 \cdot m_1 + \dots + c_n \cdot m_n}{m_1 + \dots + m_n}, \quad (18)$$

kde c je výsledná hodnota měrné tepelné kapacity, [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$],
 $c_{(1 \div n)}$ měrná tepelná kapacita jednotlivých materiálů, [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$],
 $m_{(1 \div n)}$ hmotnost jednotlivých materiálů, [kg],
 n počet materiálů.

Z hlediska tepelné techniky je důležitá znalost závislosti měrné tepelné kapacity na vlhkosti. Stanovuje se experimentálně. Např. v tabulce 3 je měrná tepelná kapacita škvárobetonu v závislosti na hmotnostní vlhkosti [2].

Tabulka 3 Měrná tepelná kapacita c [$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$] škvárobetonu v závislosti na hmotnostní vlhkosti u_m [%] [2]

u_m [%]	0	5	10	15	20
c [$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]	0,808	0,963	1,097	1,214	1,310

Vzhledem k tomu, že měření měrné tepelné kapacity vlhkých materiálů je poměrně složité, používá se často orientačního způsobu výpočtu měrné tepelné kapacity c [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$] stavebních a tepelně izolačních materiálů v závislosti na hmotnostní vlhkosti, podle vzorce (19) [2]:

$$c = \frac{c_s + 42 \cdot u_m}{1 + 0,01 \cdot u_m}, \quad (19)$$

kde c je výsledná hodnota, [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$],
 c_s měrná tepelná kapacita materiálu v suchém stavu, [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$],
 u_m hmotnostní vlhkost, [%].

1.1.1.3 Teplotní vodivost

Teplotní vodivost a je dána vztahem (20) [2]:

$$a = \frac{\lambda}{c \cdot \rho}, \quad (20)$$

kde a je teplotní vodivost, [$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$],
 λ součinitel tepelné vodivosti materiálu, [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$],
 c měrná tepelná kapacita, [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$],
 ρ hustota, (popř. u pórovitých materiálů objemová hmotnost), [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$].

Teplotní vodivost je rozhodující veličinou při řešení problémů neustáleného šíření tepla vedením, vyjadřuje rychlost vyrovnávání časové změny teploty v daném místě. Čím větší je její hodnota, tím rychleji se teplota v daném místě vyrovnává. Např. hliník má hodnotu teplotní vodivosti $a = 86,7 \cdot 10^{-6} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, vzduch $a = 18,76 \cdot 10^{-6} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ a beton $a = 0,69 \cdot 10^{-6} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$. Z uvedených údajů je zřejmé, že v hliníku se vyrovnává teplota podstatně rychleji než ve vzduchu a ve vzduchu podstatně rychleji než v betonu. Vzhledem k tomu, že teplotní vodivost je daná tepelnou vodivostí, měrnou tepelnou kapacitou a objemovou hmotností, je závislá na všech činitelích, na nichž jsou závislé vyjmenované veličiny [2].

U stavebních a tepelně izolačních materiálů je významná závislost teplotní vodivosti na vlhkosti. Zvláštností této závislosti je to, že tepelná vodivost, měrná tepelná kapacita a objemová hmotnost se mění se změnou vlhkosti různě, takže průběh teplotní vodivosti v závislosti na vlhkosti je rovněž rozdílný [2].

1.1.1.4 Tepelná jímavost

Tepelná jímavost b je dána vztahem (21) [2]:

$$b = \lambda \cdot c \cdot \rho, \quad (21)$$

kde b je tepelná jímavost, $[(\text{W} \cdot \text{s}^{1/2} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1})^2]$,
 λ součinitel tepelné vodivosti materiálu, $[\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$,
 c měrná tepelná kapacita, $[\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$,
 ρ hustota, (popř. u pórovitých materiálů objemová hmotnost), $[\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$.

Tepelná jímavost je veličina, která se používá v tepelné technice zejména pro hodnocení vlivu dvou dotýkajících se materiálů (těles), tj. vlivu na tzv. dotykovou (kontaktní) teplotu. Je to veličina, která se uplatňuje především při navrhování a hodnocení podlahových konstrukcí [2].

Tepelná jímavost, podobně jako teplotní vodivost, závisí na všech činitelích ovlivňujících tepelnou vodivost, měrnou tepelnou kapacitu a objemovou hmotnost. Na rozdíl od teplotní vodivosti se však tepelná jímavost jednoznačně zvětšuje, roste-li vlhkost materiálu [2].

2 Přehled konstrukčních a izolačních materiálů používaných ve stavebnictví

V přehledu jsou uvedeny vybrané konstrukční a izolační materiály, které se používají ve stavebnictví. Konstrukční a izolační materiály jsou přehledně rozděleny do dvanácti podkapitol s hlavními názvy materiálů, pod které jsou jednotlivé druhy konstrukčních a izolačních materiálů zařazeny. Přehled materiálů je radikálně zkrácen tak, aby stačil pro účely této práce.

2.1 Betony

Beton se skládá z kameniva (písku a štěrku), cementu a vody. Výslednou pevnost betonu ovlivňuje kvalita kameniva i vody, druh cementu a jeho množství v betonové směsi. Beton se vyrábí v míchačkách přímo na stavbách nebo se na stavby dováží z centrálních betonáren. Na stavbách se ukládá do bednění, zhutňuje vibrátory a následně se ošetřuje během tuhnutí a tvrdnutí. Je trvanlivý, dobře vzdoruje účinkům povětrnosti, vody i mechanickému opotřebení. Má velkou únosnost, především vysokou pevnost v tlaku. Nevýhodami jsou malá pevnost v tahu, velká objemová hmotnost, velká tepelná vodivost ($1,0 \div 1,8$) $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ [2, 5].

2.1.1 Druhy betonů

Podle objemové hmotnosti – lehký beton $\rho < 2000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, obyčejný beton ρ ($2000 \div 2800$) $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$, těžký beton $\rho > 2800 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ [6].

Podle tříd pevnosti (číslo za písmenem B udává krychelnou pevnost v tlaku v MPa) dle ČSN 732400 – B 5; B 7,5; B 10; B 12,5; B 15; B 20; B 25; B 30; B 35; B 40; B 45; B 50; B 55; B 60 [6, 11].

Podle použitých surovin pro výrobu betonů - Obyčejný beton s přírodním štěrkem, obyčejný beton s drceným štěrkem, železobeton, beton ze struskové pemzy, beton z expandované břidlice a písku, beton z keramzitu, škvárobeton, termobeton (Označení pro beton z termozitu, písku, cementu a vody. Termozit[®] je umělá pemza z vysokopecní strusky.), agloporitbeton, beton z perlitu, beton z lávy (Složení betonu z pórovité lávy: Láva 55 %, písek 45 %, cement 30 kg na 1 m³ hotového betonu.), cihlobeton, struskopazderový beton, hlinobeton (Složení hlinobetonu: Hlína, písek, cement, mleté vápno, struska, elektrárenský popílek.), hoblinoškvárobeton (Složení: Hobliny, škvára, cement, voda.), beton z viskózní houby (Složení: Roztrhaná viskózní houba, cement, voda.), Plynosilikát[®] (Beton z plynosilikátu - pórobeton na bázi popílku.), plynobeton (Pórobeton na bázi písku.), pěnobeton, Silikork[®] (Silikorkový beton – v podstatě lehčený beton, u něhož se vytvářejí póry parou vzniklou v autoklávu z nadbytečné vody, která se přidává při zpracování silikorkové hmoty. Suroviny pro výrobu silikorku: 725 kg popílku, 150 kg vápna, 4,5 kg sádrovce, křemíková látka z odpadu vzniklého při výrobě síranu hlinitého aj.), pěnosklobeton, cihelná drť prolévaná pěnobetonem, vápenoškvárobý beton, tufový beton (Tuf je druh horniny ze sopečného popelu vyvrženého během sopečné erupce a postupem času konsolidovaného do jednodílné masy.), beton s plastifikační přísadou, Struskokeramzitbeton[®] (Složení v objemových procentech: 50 % struskové pemzy, zrna do 8 mm, 80 % keramzit, zrna (16 ÷ 24) mm,

nebo složení v objemových procentech: 60 % struskové pemzy, zrna do 8 mm, 40 % keramzit, zrna velikosti (16 ÷ 24) mm.), Struskoagloporitbeton[®], Spongilitbeton[®] (Spongilit je materiál tvořený mikroskopickými křemičitými jehlicemi vzniklými odvápněním opuky.), Struskoexpanditbeton[®] (Složení: Strusková pemza, expandovaná břidlice.), pazderobeton, beton ze studených pelet (Peletizovaná hmota, jako součást betonu, se vyrábí na bázi popílků studenou cestou.), beton z expandované břidlice a keramzitu, sádrostruskový beton, keramzitplastbeton, lehký vyztužený beton, žárobeton - žáruvzdorný beton, asfaltový beton, atd. [2, 12].

Na tepelně technické vlastnosti betonů odkazují dozadu do přílohy, kde je konkrétně uveden součinitel tepelné vodivosti vybraných druhů betonů používaných ve stavitelství.

2.2 Cihly a cihlářské výrobky

Základními surovinami pro výrobu cihel jsou vhodné zeminy (zejména jíly a hlíny) k nimž se přidávají přísady (ostřiva – písek, mletá struska; lehčiva – uhelný prach, piliny; taviva – živec, křemen; barviva – křída), které upravují vlastnosti materiálu. Postup výroby zahrnuje rozemletí a rozmíchání suroviny, tvarování výrobků (cihel, střešních tašek, melioračních trubek, dlaždic), sušení ve vytápěných sušárnách, vypalování v pecích a kalibrování [5].

2.2.1 Druhy cihel a cihlářských výrobků

Pro svislé konstrukce – cihly plné, děrované, lícovky, příčkovky, komínovky, vápenopískové cihly, struskosilikátové cihly, struskové cihly, diatomité cihly s pilinami, pemzobetonové cihly s pilinami, xylolitové cihly s pilinami, vepřovice (Cihly vzniklé sušením, známé hlavně v Česku, kde se používaly v 19. a 20. století.), atd. [2, 6, 12].

Pro vodorovné konstrukce – stropní desky HURDIS[®], stropní vložky SIMPLEX[®], stropní vložky MIAKO[®], stropní tvarovky ARMO[®], stropní tvarovky U (dutinové stropní tvarovky), stropní nosníky, stropní desky, atd. [6].

Pálené střešní krytiny – tašky tažené (drážkové, dvoudrážkové francouzské, atd.), tašky ražené (obyčejné – bobrovky, drážkové, dvoudrážkové, prejzy, atd.) [6].

Na tepelně technické vlastnosti cihel odkazují dozadu do přílohy, kde je konkrétně uveden součinitel tepelné vodivosti vybraných druhů cihel používaných ve stavitelství.

2.3 Cementy, malty a omítky

Cement je práškové hydraulické pojivo, vyrábí se pálením vhodných surovin až nad mez slinutí (1300 ÷ 1400) °C a získané slínky se melou na prášek. Základní surovinou je zpravidla vápenec. Dalšími přísadami jsou slíny a slinité vápence, křemičitý písek, kazivec, nebo železná ruda. Cement po smíchání s vodou tuhne a tvrdne, a to na vzduchu i pod vodou a získává pevnost. Má schopnost pojít jiné sypké

látky v pevnou hmotu a proto se využívá při výrobě betonových nebo maltových směsí. Malta je směs vody, kameniva, vápna a případně cementu. Slouží jako spojovací materiál ke spojování jiných stavebních materiálů a prvků (cihly, tvárnice, atd.), nebo k vytvoření povrchové úpravy stavebních konstrukcí či dílců (omítka) [5].

2.3.1 Druhy cementů, malt a omítek

Portlandský cement (Vyrábí se mletím portlandského slínku a sádrovce.), Portlandské směsné cementy (Vyrábí se mletím portlandského slínku, sádrovce a dalších složek - struska, popílek, vápenec atd.), vysokopecní cement (Vyrábí se mletím portlandského slínku, sádrovce a strusky (36 ÷ 95) %). Odolává agresivním vodám, proto se používá pro výrobu silážních jam nebo čističky odpadních vod.), pucolánový cement (Vyrábí se mletím portlandského slínku, sádrovce a pucolánu - sopečný popel (11 ÷ 55) %.), směsný cement (Vyrábí se mletím portlandského slínku, sádrovce a dalších příměsí (18 ÷ 50) %.), cementy se speciálními vlastnostmi (např. silniční cement), malta studená písková, malta teplá s mletou struskou, tepelně izolační omítky (izolační omítka Apple[®], izolační omítka RHODIUS[®], perlitová omítka), vodotěsná omítka, vápenná omítka – jemná, vápenná omítka – hrubá, vápenná - cementem nastavená omítka - pro venkovní plochy, vápenná - cementem nastavená omítka - pro vnitřní plochy, cementová omítka, sádrová omítka, rákosová omítka, mazanina hliněná, vápenocementová omítka, malta s agloporitem, atd. [2, 12].

Na tepelně technické vlastnosti cementů, malt a omítek odkazují dozadu do přílohy, kde je konkrétně uveden součinitel tepelné vodivosti vybraných druhů cementů, malt a omítek používaných ve stavitelství.

2.4 Dřevo a výrobky ze dřeva, organické materiály

Dřevo je přírodní kompozitní materiál, který se skládá z celulózy (50 %), hemicelulózy (22 %), ligninu (22 %) a dalších látek (6 % - zásobní, pryskyřičné, dusíkaté a neústrojné látky). Dřevo je široce použitelným stavebním materiálem, který je ve svých zásobách obnovitelný, na rozdíl od všech ostatních druhů, jejichž těžba je nenávratně odebírána z přírody. Mezi pozitivní vlastnosti dřeva patří jeho malá tepelná vodivost a snadná opracovatelnost [6, 7].

2.4.1 Druhy dřeva

Dubové, březové, borové, balzové, břízové, cedrové, javorové, lipové, atd. [2].

2.4.2 Druhy výrobků ze dřeva a organických materiálů

Pilařské výrobky – řezivo (deskové, hraněné, latě a lišty, polohraněné), dřevěné pražce, přířezy, dýhy, atd. [6].

Zušlechtěné dřevěné materiály – překližky a překližkové desky, laťovky, atd. [6].

Desky z aglomerovaného dřeva – dřevotřískové, dřevovláknité, pilinotřískové kůrové, pazderové (pazdeří ze lnu nebo konopí), dřevoplastové, cementotřískové panely, hmoty lisované z dřevitého odpadu (Materiály lisované z pilin, řezin, kůry stromů atp. s názvy: Sololit, Smrekolit[®], Isoplat[®], Jespil[®], Hoblit[®] aj.), hmoty organické s asfaltem (Materiály s názvem: Isoplat[®] asfaltový, Empa[®] desky, asfaltokorkové desky, Wellit[®], aj.), hmoty organické s cementem (Materiály s názvem: Heraklit[®] - dřevitá vlna mineralizovaná vodním sklem spojená cementovou kaší, Lignát[®] - z cementu, hašeného vápna, buničiny, odpadového papíru přísadou anorganických plniv, atd.), hmoty organické s magnisitovým práškem (Organické hmoty jako sláma, řepková sláma, piliny, rašelina, pazdeří spojené sorelovou maltovinou - magnisitový prášek a roztok chloridu hořečnatého.), hmoty z jednoletých rostlin (desky Likus[®] - desky z nařezaných kukuřičných klasů v dřevěném rámu, Solomit[®] - desky z řepkové slámy, izolační rohože z rákosu atp.), Lenex[®] (čisté lněné pazdeří spojené močovinoformaldehydovou pryskyřicí – DUCOL[®]), Radegast[®] (kukuřičné oklasky spojené formaldehydovou pryskyřicí a slisované se sololitem), desky z rašeliny, atd. [2].

Organické materiály - plst organická, odpadky textilního průmyslu, lisovaný kartón, lepenka, hobliny dřevěné, piliny dřevěné, korek, rašelina, atd. [2, 6].

Na tepelně technické vlastnosti dřev, výrobků ze dřeva a organických materiálů odkazují dozadu do přílohy, kde je konkrétně uveden součinitel tepelné vodivosti vybraných druhů dřev, výrobků ze dřeva a organických materiálů používaných ve stavitelství.

2.5 Kameniva, zrnité a sypké materiály

Kamenivo je zrnitý materiál přírodního nebo umělého původu, určený pro stavební účely. Jde o hlavní složku betonu, tzv. plnivo, které má v betonové směsi hlavní nosnou funkci. Maximální velikost zrn v betonové směsi je 125 mm. Požadavky na kamenivo jsou pevnost, trvanlivost, nenasákavost, tvarový index (poměr hlavních rozměrů zrna) a humusovitost. Dále nesmí obsahovat slídu, jíly, síru, hlinité a odplavitelné částice. Kamenivo může být přírodní (těžené, drcené), nebo umělé (uměle vytvořené, odpad z průmyslu) [12].

2.5.1 Druhy kameniva, zrnitých a sypkých materiálů

Písek s oblázky, písek s oblázky bohaté křemenem, písek říční jemnozrný, písek říční hrubozrný, písek kopaný, písek kopaný křemenitý, štěrk hrubý, štěrk drobný, škvárový násyp, popel z hnědého uhlí, tuf (Tuf je druh horniny ze sopečného popelu vyvrženého během sopečné erupce a postupem času konsolidovaného do jednodlité masy.), perlit, keramzitový písek, žula, expandovaná břidlice, strusková pemza, hydrofobizovaný popílek, volně sypaný perlit, Agloporit[®], Vermikulit[®], Termozit[®] (umělá pemza), kotelní škvára, atd. [2, 12].

Na tepelně technické vlastnosti kameniva a zrnitých a sypkých materiálů odkazují dozadu do přílohy, kde je konkrétně uveden součinitel tepelné vodivosti vybraných druhů kameniva a zrnitých a sypkých materiálů používaných ve stavitelství.

2.6 Horniny a zeminy

Horniny jsou seskupení minerálů nebo organických zbytků, příp. s přírodními vulkanickými skly, které vznikají rozmanitými geologickými procesy. Horniny se posuzují podle minerálního složení, struktury (tvar, velikost a vzájemný vztah stavebních součástí), textury (uspořádání stavebních částic v prostoru). Podle vzniku se horniny dělí na vyvřelé (magmatické - vznikají tuhnutím a krystalizací ze silikátové taveniny – magmatu), usazené (sedimentární - vznikají na povrchu zemské kůry zvětráváním, přemísťováním a usazováním starších horniny, chemickým srážením z roztoků nebo přímou či nepřímou činností organismů, např. nahromadění schránek uhynulých organismů), přeměněné (metamorfované - vznikají přeměnou starších hornin) [12].

2.6.1 Druhy hornin a zemin

Rostlá půda (hlína), hlinitý písek, jílovitá rostlá půda, zemina kyprá, zemina ulehlá, pískovec, lomový kámen, vápenec, břidlice, čedič, křemen, mramor bílý, mramor černý - belgický, opuka bělohorská, rula, tuf vápenný hutný (Tuf je druh horniny ze sopečného popelu vyvrženého během sopečné erupce a postupem času konsolidovaného do jednolitě masy.), tuf vápenný - pórovitý, žula světlá, žula tmavá, korund, dolomit, švédská železná ruda, atd. [2, 12].

Na tepelně technické vlastnosti hornin a zemin odkazují dozadu do přílohy, kde je konkrétně uveden součinitel tepelné vodivosti vybraných druhů hornin a zemin používaných ve stavitelství.

2.7 Anorganické vláknité materiály

Anorganický materiál je tvořený převážně anorganickými sloučeninami a nebo chemickými prvky. Může však obsahovat i příměsi sloučenin organických. Obvykle se jedná o velice různorodou směs, která může mít libovolné složení a může být heterogenní nebo homogenní [12].

2.7.1 Druhy anorganických vláknitých materiálů

Desky z anorganických vláknitých materiálů - Hobrex[®] (tuhá deska z minerálních vláken s malou přísadou organických pojiv), Kamilit[®] (výrobek SRN - tuhá organominerální vata pojená pryskyřicí), Kryzolit[®] (organominerální vlákno + expandovaný perlit, pojivo - močovinoformaldehydová živice), Termobrex[®] (výrobek n.p. Nová Baňa), Izomin[®] (tuhé minerální vláknité desky, jednostranně broušené a natřené latexem), Termofix[®] (výrobek z minerálních vláken a perlitu), Partek[®] (finský výrobek - organominerální vata, materiál hydrofobizovaný), desky SILLAN[®] (minerální vlákna s přísadou fenolického pojiva), desky z Fibrexu[®] (skleněná vlákna s povrchovou úpravou - latex + sádra), Vistemat[®] (roztavená vysokopeční vláknitá struska a korekční přísady, pojivo - syntetická pryskyřice), desky z minerální vlny, atd. [2].

Anorganické vláknité materiály a ostatní výrobky - čedičová vlákna, lněná vlákna, plst, organominerální a minerální vaty, strusková vata, skleněná vata, skleněná vlákna,

azbest, rohože z minerálních vláken Nová Baňa, Prefizol[®] (rohož z organominerální vaty), rohože a skruže ze skleněných vláken, Rotaflex[®] (rohože ze skleněných vláken), atd. [2].

Na tepelně technické vlastnosti anorganických vláknitých materiálů odkazují dozadu do přílohy, kde je konkrétně uveden součinitel tepelné vodivosti vybraných druhů anorganických vláknitých materiálů používaných ve stavitelství.

2.8 Plasty

Plasty označují řadu syntetických nebo polosyntetických polymerních materiálů. Polymerní materiál je materiál složený zcela nebo převážně z polymerů - polymer je látka složená z molekul jednoho nebo více druhů atomů nebo skupin spojených navzájem v tak velkém počtu, že řada fyzikálních a chemických vlastností této látky se nezmění přidáním nebo odebráním jedné nebo několika konstitučních jednotek. Plasty často obsahují další látky ke zlepšení užitných vlastností, např. odolnosti proti stárnutí, zvýšení houževnatosti (schopnost odolávat dynamickému a rázovému namáhání), pružnosti apod. Nejběžnější dělení plastů je na termoplasty (po ohřátí na vysokou teplotu a ochlazení jsou znovu zpracovatelné) a reaktoplasty (po ohřátí je již nelze zpracovat). Plasty se vyznačují velkou variabilitou vlastností, jako je např. tvrdost, pružnost, tepelná odolnost - jsou špatnými vodiči tepla, mají malý součinitel tepelné vodivosti ($0,03 \div 0,35 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$) [2, 5, 6, 7].

2.8.1 Druhy plastů

Pěnové materiály - pěnový Polystyren[®], pěnový Polystyren Roofmate[®] (vytlačovaný pěnový Polystyren), samozhášecí pěnový Polystyren[®], tuhý pěnový Polyuretan[®], měkký pěnový Polyuretan[®] - molitan, Porofen[®] (je vyroben ze zpěněné směsi fenolické pryskyřice resolového typu a porofenu za katalytického účinku kyseliny fenolsulfonové), Poresolka[®] (Poresolka[®] A = pěněná plastická hmota, fenolformaldehydová pryskyřice bez plnidla; Peresolka[®] B = viz A, ale + elektrárenský popílek), pěněný PVC - Polyvinylchlorid[®], Ethafoam[®] (polyetylenová pěna), atd. [2, 6].

Výrobky z fenolformaldehydových pryskyřic - Fenol - novolak[®], Resol[®], Fenol-resol-novolak[®], Orto-novolak[®], Fenol-Kresol-resol[®], Fenol-novolak-Kresolresol[®], Fenol-resol[®] tekutý, Kresol-resol[®], Fenol-Kresol-novolak[®], atd. [2].

Ostatní výrobky - sklolaminát, polyesterové lamináty se sklotextilem, plexisklo, sklotextil, polyetylenové plsti, Mofoterm[®] (močovinoformaldehydová hmota), lehčený kaučuk (Onazote[®]), Celotex[®], Celuloid[®], guma měkká, guma tvrdá, Chemlon[®], Kartit[®] - tvrzený papír, Mikanit[®], Mofoterm[®] těžký, Novodur[®], Polyetylen[®], Polystyren[®] obyčejný, Polystyren[®] houževnatý, Silon[®], Nylon[®], Teflon[®], tkaniny tvrzené, Umalur[®], Textolog[®], rohovina - Umagal[®], Verminkalit[®], karbidová hmota Umakat[®], tapety z PVC, linoleum, Umakart[®], chloroprenový tmel, Thioflex[®] (dvousložkový spárovací těsnící tmel), Elaskit[®] (dvousložkový, trvale pružný tmel na bázi chloroprenového kaučuku), atd. [2, 6].

Na tepelně technické vlastnosti plastů odkazují dozadu do přílohy, kde je konkrétně uveden součinitel tepelné vodivosti vybraných druhů plastů používaných ve stavitelství.

2.9 Izolace fóliové

Technologií výroby fóliových izolací je více způsobů. Např. fóliové izolace z termoplastů se připravují válcováním. Válcují se na válcovacích strojích různých konstrukcí, které se od sebe liší počtem a uspořádáním válců. Vyválcovaná fólie se pak odvádí k chladicímu zařízení a dále se ořezává na požadovaný tvar [5].

2.9.1 Druhy fóliových izolací

Wellit[®] (Vlnitá izolace z papíru impregnovaného asfaltem. Vlny jsou uspořádány ve všech vrstvách rovnoběžně, přičemž mezi dvě sousední zvlněné fólie se vkládá jedna fólie rovná. Použitelnost do teploty 80 °C), Izolex[®] (Tepelná izolace Izolex[®] je podobná Wellitu[®]. Místo papírových fólií se však využívá průhledných nebo černých acetylcelulozových fólií, které jsou odolné proti vlhkosti. Použitelnost do teploty 80 °C.), reflexní izolace z Al-fólií (Izolační účinek se dosahuje minimalizováním přenosu tepla sáláním - lesklé Al-fólie mají vysokou hodnotu odrazivosti sálavého tepla. Použije-li se většího počtu fólií za sebou, zvětšuje se také izolační účinek tepelným odporem vzduchových vrstev. Optimální vzdálenost mezi jednotlivými fóliemi je při teplotě 0 °C asi 10 mm. Použitelnost do teploty 350 °C.), atd. [2].

Na tepelně technické vlastnosti fóliových izolací odkazují dozadu do přílohy, kde je konkrétně uveden součinitel tepelné vodivosti vybraných druhů fóliových izolací používaných ve stavitelství.

2.10 Deskové, obkladové a krytinové materiály

Deskové a obkladové materiály mají ve stavitelství široké uplatnění, používají se na stěny, stropy, podlahy, atd. Krytinové materiály musí být odolné povětrnostním vlivům [12].

2.10.1 Druhy deskových, obkladových a krytinových materiálů

Překližky OKAL[®], sádrokarton, Sibaterm[®], Sibamin[®], Sololak[®], Bitumenperlit[®], sádrové izolační tvarovky Lamba[®] (směs sádry a azbestu), kordové desky, Dupronit[®], Neolit[®] (směs sádry a azbestu impregnovaná organickými látkami), sádrové výrobky, výrobky z pěnové sádry, sádrovláknité desky, azbestocement, azbestocementové desky (Aprobit[®], Cemboplast[®], Cembalit[®], Dupronit[®], Eternit[®], Ezalit[®], Horp[®], IDK[®] 30, Izomin[®], 200[®], Lignát[®], Lignopal[®], Unicel[®]), anorganicko-organické lisované desky (desky z křemeliny a celulózy, desky z perlitu a celulózy, desky ze struskové vlny + PVAC + PVC), atd. [2, 13].

Na tepelně technické vlastnosti deskových, obkladových a krytinových materiálů odkazují dozadu do přílohy, kde je konkrétně uveden součinitel tepelné vodivosti

vybraných druhů deskových, obkladových a krytinových materiálů používaných ve stavitelství.

2.11 Sklo

Sklo je anorganická amorfni látka. Suroviny na jeho výrobu tvoří tzv. sklářský kmen, ve kterém je základní složkou křemičitý sklářský písek. K němu se přidávají taviva, snižující teplotu tavení (soda a potaš) a vápenec, který zajišťuje stálost skla vůči vodě. Mohou se přidávat i další suroviny ovlivňující další vlastnosti skla. Sklářský kmen se rozemele a pak se taví v pánvových nebo vanových pecích při teplotě ~ 1400 °C. Po zchladnutí na teplotu (900 ÷ 1000) °C se tvaruje ručně (foukáním) nebo strojně (litím, tažením, válcováním a lisováním). Po vytvarování se chladí v chladících pecích a pak se dále opracovává. Sklo je špatný vodič tepla a energie. Součinitel tepelné vodivosti skla za normální teploty je (0,6 ÷ 1,38) W·m⁻¹·K⁻¹. Sklo má velkou pevnost v tlaku, je pružné, ale křehké. Má vysokou chemickou odolnost, odolává dobře atmosférickým vlivům, je trvanlivé [5, 6].

2.11.1 Druhy skla

Ploché sklo tažené – matové a ledové sklo, netermální sklo, zrcadlové sklo, bezpečnostní sklo, izolační sklo VITRASILK[®], atd. [6].

Ploché sklo válcované – sklo s drátěnou vložkou, opaktní válcové sklo (na obklady), izolační dvojsklo DITHERM[®], atd. [6].

Tvarované sklo – duté tvarovky, plné tvarovky, copility, skleněné potrubí a žlaby, skleněné střešní tašky, atd. [6].

Speciální druhy skel - Flint[®] (flintové sklo – draselnoolovnaté), Kronglas[®] (korunové sklo - draselnovápenaté), pěnové sklo (anorganická skleněná ztuhlá pěna), skleněná vlákna, atd. [2, 6, 14].

Na tepelně technické vlastnosti skla odkazují dozadu do přílohy, kde je konkrétně uveden součinitel tepelné vodivosti vybraných druhů skla používaného ve stavitelství.

2.12 Kovy

Kovy mají velkou elektrickou a tepelnou vodivost. Dělí se na železné a neželezné kovy. Železné kovy jsou slitiny železa s uhlíkem nebo legujícími prvky. Nejstarším způsobem výroby železa je přímá redukce rudných surovin uhlíkem. Rudy se tavily s dřevěným uhlím v jámách nebo nízkých pecích. Hoření probíhalo za přirozeného tahu vzduchu, později byly použity i šlapací měchy. Těstovité železo se kováním zbavovalo strusky a spojovalo ve větší celek. Vzniklým produktem bylo svářkové železo [6].

Od 14. století se výška pecí zvětšovala a i vhánění vzduchu bylo postupně mechanizováno. Tím bylo možno vyrobit železo v tekutém stavu. Od 18. století bylo

dřevěné uhlí nahrazeno koksem a vzduch vhněly ventilátory poháněné parním strojem. Kvalitu oceli zvyšovalo i tzv. pudlování, které vylepšovalo kvalitu svářkové oceli [6].

Roku 1855 přišel Henry Bessemer s převratným vynálezem, který spočíval v tom, že začal ještě tekuté surové železo provzdušňovat. Tím se doba zkušování zkrátila z 24 hodin na 20 minut. Další vylepšení následovalo v roce 1865, kdy Pierre Martin získal v plamenné peci tvrdší ocel slitím surového železa s ocelí, která obsahovala málo uhlíku. Tento pochod používaný v regeneračních Siemens-Martinských pecích se používá dodnes a vyrábí se tak ty nejkvalitnější oceli [6].

Výroba neželezných kovů je odlišná. Např. výroba hliníku - hliník je vyráběn z rud s vyšším obsahem Al_2O_3 , z nichž se získá v elektrických pecích hutnický hliník a ten se dále rafinací upravuje na hliník s nejvyšší čistotou. Dalšími neželeznými kovy jsou barevné kovy jako zinek, olovo, cín jejich slitiny. Ty jsou výhodné zejména díky jejich odolnosti proti korozi [6].

Tepelná vodivost kovů je závislá na krystalické struktuře, rozměrech a orientaci zrn. Výsledná hodnota součinitele tepelné vodivosti kovů je dána vztahem (22) [2]:

$$\lambda = \lambda_e + \lambda_m, \quad (22)$$

kde λ je součinitel tepelné vodivosti kovů, $[\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}]$,
 λ_e součinitel tepelné vodivosti charakterizující šíření tepla volnými elektrony (nazývá se elektronovou vodivostí), $[\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}]$, pozn. U čistých kovů je λ_e rozhodující složkou tepelné vodivosti.
 λ_m součinitel tepelné vodivosti charakterizující šíření tepla kmitající krystalickou mřížkou (nazývá se fononovou vodivostí), $[\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}]$.

Tepelná vodivost kovů s krystalickou soustavou, zejména železa, nezávisí na směru zrn krystalů (totéž platí i pro elektrickou vodivost). Přísady, popř. defekty v mřížce, způsobují zmenšení hodnoty tepelné vodivosti. To je také důvod, proč je tepelná vodivost slitin menší než u čistých kovů. Vliv teploty na tepelnou vodivost kovů není jednoznačný. Obecně, v rozsahu teplot od 0 °C do teploty tání, se hodnota tepelné vodivosti kovů mírně zmenšuje s růstem teploty. Avšak u některých kovů, např. u železa a niklu, se rychle zvětšuje v oblasti teplot nepříliš vzdálených od teplot tání. Dále má na hodnotu tepelné vodivosti kovů také vliv způsobu tepelného zpracování [2].

2.12.1 Druhy kovů

Železné kovy – oceli (legované, nelegované; podle použití ve stavebnictví: Ocel na stavební konstrukce, ocel pro výztuž do betonu, ocel přepínací, štetovnice a důlní výztuž, ocel na klempířské a pokrývačské práce, atd.), litina (temperovaná, šedá a bílá; používá se v mnoha odvětvích stavebnictví, jako konstrukční materiál a hlavně na odpadní potrubí s dlouhou životností) [6].

Neželezné kovy a slitiny – hliník, zinek, měď a její slitiny (mosaz, bronz), olovo, atd. Výrobky jsou plechy, fólie, dráty, kabely, trubky, atd. [6].

Na tepelně technické vlastnosti kovů odkazují dozadu do přílohy, kde je konkrétně uveden součinitel tepelné vodivosti vybraných druhů kovů používaných ve stavitelství.

3 Zkušební a certifikační organizace v oblasti stavebnictví

Největší akreditovaná česká zkušební a certifikační organizace v oblasti stavebnictví je Technický a zkušební ústav stavební Praha, s.p. Vznik ústavu je datován roku 1953. Důvodem vzniku ústavu tehdy s názvem Zkušební a kontrolní ústav stavební, byla především potřeba vytvořit v resortu stavebnictví objektivní zkušební orgán, který by korespondoval s bouřlivým rozvojem stavebnictví a korigoval nedostatky, související s rostoucími objemy výroby, jak v kvalitě stavebních hmot, tak i ve vlastní stavební výrobě [15].

V současnosti Technický a zkušební ústav stavební Praha, s.p. zajišťuje služby v těchto oblastech [15]:

- posuzování shody výrobků: Autorizovaná osoba 204 - NV 163/2002, 173/1997; notifikovaná osoba 1020 - označení CE - NV 190/2002, 27/2003, 19/2003, 17/2003, 9/2002; certifikační orgán - ČSN-TEST, TZÚS-TEST, certifikační orgán 3015 - poskytuje služby zahrnující certifikaci výrobků (tzv. neregulované sféře);
- schvalovací osoba - vydávání ETA (vydávání Evropského technického schválení);
- zkušebnictví - akreditované zkušební laboratoře (Praha, České Budějovice, Plzeň, Teplice, Předměřice nad Labem, Brno, Ostrava, TIS - Technicko inženýrské služby, ZÚLP - Zkušební ústav lehkého průmyslu);
- certifikace systémů řízení: Certifikace systémů managementu jakosti - ČSN EN ISO 9001; certifikace systémů managementu bezpečnosti a ochrany zdraví při práci - OHSAS 18001; certifikace systémů environmentálního managementu - ČSN EN ISO 14001;
- GOST R - zkoušení stavebních výrobků vyvážených do Ruské federace;
- Inspekce - Inspekční orgán č. 4003 pro oblast stavebnictví a výtahů;
- Metrologie;
- Kvalifikace stavebních dodavatelů pro veřejné zakázky;
- Posudková, znalecká a expertizní činnost;
- Kvalifikační kurzy, školení;
- Výhradní zastoupení firmy PROCEQ SA, Švýcarsko pro ČR a SR;
- Dodávky přístrojové a měřicí techniky, kompletní zařizování laboratoří.

3.1 Technický a zkušební ústav stavební Praha, s. p., pobočka České Budějovice (0200), zkušební laboratoř 1018.3

Práce je zaměřena na měření tepelně technických vlastností stavebních materiálů a konstrukcí a protože tato měření z oboru tepelné techniky jsou prováděny v pobočce České Budějovice Technického a zkušebního ústavu stavebního Praha, s. p., jsou proto dále uvedeny autorizované a akreditované činnosti, poskytované služby a činnosti této pobočky [15].

Autorizované a akreditované činnosti TZÚS Praha, s.p. s vazbou na regionální specialisty pobočky 0200 [11, 15]:

- autorizovaná osoba 204 pro posuzování stavebních výrobků podle zákona o technických požadavcích na výrobky č. 22/1997 Sb. a nařízení vlády

- č. 163/2002 Sb., ve znění nařízení vlády č. 312/2005 Sb., kterými se stanoví technické požadavky na vybrané stavební výrobky;
- notifikovaná osoba 1020 pro posuzování shody stavebních výrobků podle zákona o technických požadavcích na výrobky č. 22/1997 Sb. a nařízení vlády č. 190/2002 Sb., kterým se stanoví technické požadavky na stavební výrobky označované CE;
 - schvalovací osoba pro vydávání evropských technických schválení (ETA) podle evropských řídicích pokynů ETAG;
 - akreditovaný certifikační orgán č. 3015 podle ČSN EN 45011 pro certifikaci výrobků v rozsahu činnosti autorizované osoby;
 - akreditovaný certifikační orgán č. 3001 pro certifikaci systémů managementu jakosti (QMS) podle normy ČSN ISO 9001 a certifikaci managementu bezpečnosti a ochrany zdraví při práci (SM BOZP) podle specifikace OHSAS 18001;
 - akreditovaný certifikační orgán č. 3060 pro certifikaci environmentálního managementu (EMS) podle normy ČSN ISO 14001;
 - akreditovaný inspekční orgán č. 4003 pro inspekce projektové dokumentace, přípravy staveb, provádění staveb pozemních a inženýrských, inspekce výroby stavebních výrobků a inspekce výtahů;
 - pro potřeby výrobců ocelových konstrukcí provádí odborníci z pobočky ve spojitosti s ČSN 73 2601 Z 2: 1994 - Provádění ocelových konstrukcí, prověřování způsobilosti těchto výrobců a dle rozsahu působnosti těchto organizací, v oblasti ocelových konstrukcí, potvrzují jejich způsobilost vydáváním Velkého a Malého průkazu způsobilosti;
 - pro potřeby organizací provádějících stavební a silniční práce v oblasti pozemních komunikací provádí odborníci z pobočky prověřování způsobilosti těchto organizací a dle rozsahu jejich působnosti potvrzují jejich způsobilost vydáváním Průkazu způsobilosti k vybraným technologickým postupům dle TKP Ředitelství silnic a dálnic ČR.

Poznámka:

1) Notifikovaná osoba - NO 1020 (Notifikovaná osoba 1020)

Rozsah autorizace notifikované osoby 1020 zahrnuje posuzování shody výrobků podle nařízení vlády č.: 190/2002 Sb., kterým se stanoví technické požadavky na stavební výrobky označované CE ve znění NV č. 251/2003 Sb. a 128/2004 Sb.; 133/2005 Sb., kterým se stanoví technické požadavky na provozní a technickou propojenost evropského železničního systému; 27/2003 Sb., kterým se stanoví technické požadavky na výtahy ve znění NV č. 127/2003 Sb.; 19/2003 Sb., kterým se stanoví technické požadavky na hračky; 17/2003 Sb., kterým se stanoví technické požadavky na elektrická zařízení nízkého napětí; 9/2002 Sb., kterým se stanoví požadavky na výrobky z hlediska emisí hluku [15].

Notifikovaná osoba - stavební výrobky

Nařízení vlády č. 190/2002, kterým se stanoví technické požadavky na stavební výrobky označované CE, ve znění NV č. 251/2003 Sb., 128/2004 Sb. [15].

Činnosti notifikované osoby 1020: Posuzování shody: systém posuzování shody 1, 1+, 2, 2+, 3; vydání ES certifikátu shody výrobku; vydání certifikátu systému řízení výroby; vydání protokolu o zkoušce typu výrobku [15].

2) Autorizovaná osoba - AO 204 (Autorizovaná osoba 204)

Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví (ÚNMZ - dále jen "Úřad") udělil TZÚS Praha, s.p. podle ustanovení § 11 zákona č. 22/1997 Sb., o technických požadavcích na výrobky a o změně a doplnění některých zákonů, (dále jen "zákon") autorizaci č. 204, jíž se rozumí pověření k činnostem při posuzování shody výrobků stanovených podle zákona, jako právnické osobě, která doložila splnění všech zákonem stanovených podmínek a zároveň prokázala předpoklady k plnění podmínek pro dodržování jednotného postupu autorizovaných osob při jejich činnosti, které ve smyslu § 11 zákona stanoví Úřad v případném rozhodnutí o autorizaci [15].

Rozsah autorizace TZÚS Praha, s.p. zahrnuje posuzování shody výrobků podle nařízení vlády č.: 163/2002 Sb. ve znění 312/2005 Sb., kterým se stanoví technické požadavky na vybrané stavební výrobky; 173/1997 Sb., kterým se stanoví vybrané výrobky k posuzování shody – vybavení dětských hřišť; 9/2002 Sb., kterým se stanoví technické požadavky na výrobky z hlediska emisí hluku; 190/2002 Sb., kterým se stanoví technické požadavky na stavební výrobky označované CE; 17/2003 Sb., kterým se stanoví technické požadavky na elektrická zařízení nízkého napětí; 19/2003 Sb., kterým se stanoví technické požadavky na hračky; 27/2003 Sb., kterým se stanoví technické požadavky na výtahy [15].

V oblasti NV 9/2002, 190/2002, 19/2003, 19/2003 a 27/2003 působí TZÚS Praha, s.p. jako notifikovaná osoba [15].

Autorizovaná osoba - stavební výrobky

Nařízení vlády č. 163/2002 Sb. ve znění nařízení vlády č. 312/2005 Sb., kterým se stanoví technické požadavky na vybrané stavební výrobky [15].

Činnosti autorizované osoby 204: Přezkoumání podkladů předložených výrobcem nebo dovozcem a posouzení, zda odpovídají požadavkům nařízení vlády; certifikace výrobků ve smyslu ustanovení § 6; provedení počátečních zkoušek typu výrobku; posouzení systému řízení výroby; vydání stavebního technického osvědčení; certifikace výrobků ve smyslu ustanovení §§ 5, 5a, 6; vystavení protokolu o ověření shody výrobku ve smyslu ustanovení § 7 [15].

3. 2. 1 Činnosti a služby poskytované zkušební laboratoří 1018.3 akreditovanou podle ČSN EN ISO/IFC 17025

Mezi služby poskytované zkušební laboratoří 1018.3 akreditovanou podle ČSN EN ISO/IFC 17025 patří [15]:

- zatěžovací zkoušky dílců a objektů (statické zkoušky mostů, stavebních konstrukcí a dílců);
- tepelně technické zkoušky stavebních materiálů a konstrukcí (součinitel tepelné vodivosti, tepelný odpor, difúze vodní páry atd.);

- zkoušky zateplovacích systémů obvodových plášťů budov;
- zkoušky betonu, nedestruktivní zkoušky betonu, zkoušky betonových výrobků;
- zkoušky cihlářských výrobků;
- zkoušky malt a maltových směsí;
- zkoušky stavebních tmelů, lepicích hmot, stěrek a těsnících pásek;
- zkoušky nátěrových hmot a dalších povrchových úprav;
- zkoušení sanačních materiálů na opravy betonových konstrukcí;
- zkoušení potěrů, stěrkových a licích podlahovin;
- zkoušení tekutých hydroizolací;
- zkoušky kameniva, popílku a škváry;
- kontrola zhutnění zemin a sypanin;
- mechanické zkoušky výztužných vložek do betonu, mechanické zkoušky svarových spojů;
- zkoušení vybraných stavebních výrobků pro jejich návaznou certifikaci v systému GOST R (Ruská federace);

Mezi ostatní činnosti a služby poskytované zkušební laboratoří 1018.3 akreditovanou podle ČSN EN ISO/IFC 17025 patří [11, 15]:

- odborné stavebně technické posudky, termovizní měření, poradenství v oblasti tepelné techniky budov a realizace zateplovacích systémů, energetické audity budov dle zákona č. 406/2000 Sb. a zákonů souvisejících, školení v oblasti tepelné techniky;
- odborné stavebně technické posudky, posudky se zaměřením na statiku budov;
- odborné stavebně technické posudky zaměřené na oblast pozemního stavitelství;
- odborné stavebně technické posudky se zaměřením na nedestruktivní zkoušení betonu;
- kalibrace přímo ukazujících teploměrů a teploměrných zařízení v rozsahu od -40 °C do +1200 °C ve vazbě na činnost Kalibrační laboratoře č. 2275 TZÚS Praha, s.p.;
- přednášková a školící činnost v oblasti problematiky certifikace stavebních výrobků, certifikace QMS a EMS a dle požadavků zákazníků.

4 Principy a metody aplikované pro měření součinitele tepelné vodivosti stavebních materiálů

Měření součinitele tepelné vodivosti stavebních materiálů je důležité pro následné efektivnější využívání zdrojů energie, které vyžaduje minimalizaci tepelných ztrát provázejících technologické procesy nebo vytápění pracovních, obytných a jiných prostor. Cestou k minimalizaci úniků tepla je zvyšování tepelného odporu izolujícího materiálu při dosažení jeho co nejnižšího součinitele tepelné vodivosti. Tento předpoklad následně vyvolává potřebu jeho přiměřeně přesného experimentálního určování [16].

Měření součinitele tepelné vodivosti stavebních materiálů je odborně prováděno ve zkušební laboratoři v Technickém a zkušebním ústavu stavebním Praha, s. p., pobočka České Budějovice (0200), zkušební laboratoř 1018.3, adresa: Nemanická 441, 370 10 České Budějovice. K měření je zde používán měřicí přístroj POENSGEN[®] pro měření součinitele tepelné vodivosti stavebních materiálů v laboratoři [15].

4.1 Měřicí přístroj POENSGEN[®]

Měřicí přístroj POENSGEN[®] umožňuje provádět měření velikosti součinitele tepelné vodivosti, při střední teplotě měřeného materiálu v teplotním intervalu $(8 \div 30) ^\circ\text{C}$. Pomocí měřicího přístroje lze zjišťovat velikost součinitele tepelné vodivosti izolačních materiálů v rozsahu $(0,02 \div 2,50) \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Použité zkušební předpisy pro měření jsou: ČSN EN 1602 Tepelně izolační výrobky pro použití ve stavebnictví - Stanovení objemové hmotnosti, 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 [11, 15].

Měřicí přístroj POENSGEN[®] je zobrazen na obrázku 4.1. Skládá se z měřicího přístroje, do kterého se přímo vkládá zkušební vzorek. Ten je blíže zobrazen na obrázku 4.2. Dno měřicího přístroje je tvořeno dolním tepelným absorbérem (Peltiérový trubky), který při měření ochlazuje spodní desku, která je pod měřeným zkušebním vzorkem. Na spodní desku se ze shora měřicího přístroje vkládá předem zvážený a rozměrově změřený zkušební vzorek. Na zkušební vzorek je poté umístěna horní deska společně s horním tepelným absorbérem (Peltiérový trubky), který při měření zahřívá horní desku. Nakonec je měřicí přístroj z vrchu uzavřen izolačním víkem. Měřicí přístroj je propojen s vlastním měřicím přístrojem, který se nachází na obrázku 4.1 hned za ním. Na tomto přístroji se spouští měření a nastavují se zde vstupní parametry pro měření (střední teplota, při které bude určována velikost součinitele tepelné vodivosti, vstupní hodnoty parametrů, které definují rovnovážný stav měřicího systému a způsob jeho dosažení). Oba přístroje jsou dále propojeny s přístrojem, který zobrazuje naměřené hodnoty prováděného měření. Na obrázku 4.1 je umístěn vpravo nahoře [8, 16].

Měření součinitele tepelné vodivosti je v Technickém a zkušebním ústavu stavebním Praha, s. p. pobočka České Budějovice (0200), zkušební laboratoř 1018.3, prováděno na zkušebních vzorcích tepelně izolačních materiálů. Tvar zkušebního vzorku je čtvercová deska o straně do 500 mm a tloušťce do 100 mm [15].



Obr. 4.1 Měřicí přístroj POENSGEN[®]



Obr. 4.2 Měřicí přístroj POENSGEN[®] detail

4.1.1 Princip měření přístrojem POENSGEN®

Princip měření spočívá ve zjišťování velikosti tepelného toku procházejícího měřeným materiálem při definovaném teplotním spádu na měřeném materiálu [8, 16].

Fyzikální teorie šíření tepla je uvedena viz kapitola 1.1. Rovněž jsou zde konkrétně uvedeny parametry na kterých hodnota tepelné vodivosti závisí. Nejdůležitější z nich jsou: Hustota, objemová hmotnost a pórovitost; směr tepelného toku; struktura a složení; teplota a vlhkost [2].

Tepelný tok procházející měřeným materiálem je zjišťován napětovým převodníkem tepelného toku zabudovaným v horní desce o vyšší teplotě a též v dolní desce o nižší teplotě soustředně s osou desek a v těsné blízkosti povrchu měřeného zkušebního vzorku. Výstupní napětový signál je úměrný velikosti tepelného toku procházejícího těmito převodníky [8, 16].

Teplotní spád na měřeném vzorku je zjišťován pomocí termočlánků zabudovaných do povrchů obou desek, které jsou v dotyku s měřeným vzorkem. Teplota desek je řízena ohřívacím/chladicím systémem s Peltierovými články s externím chladičem, a to podle zadané střední teploty měřeného vzorku a podle rovněž zadaného teplotního spádu [8, 16].

Pozn.: Funkce Peltierova článku je založena na Peltierově jevu. Když prochází proud obvodem se dvěma rozdílnými vodiči zapojenými v sérii, tak v závislosti na polaritě přiloženého napětí se jedna z jejich styčných ploch ochlazuje a druhá zahřívá. Popis Peltierova jevu: Průchodem elektrického proudu se v kovech (resp. v polovodičích) přemísťují volné nabitě částice (v kovech elektrony, v polovodičích elektrony a díry). V důsledku tohoto přenosu částic se zvyšuje nerovnováha elektronů mezi oběma uvažovanými spoji dvou kovů (resp. polovodičů), čímž roste termoelektrické napětí termočlánku. Termoelektrické napětí je přímo úměrné rozdílu teplot uvažovaných spojů - proto s rostoucím termoelektrickým napětím poroste i rozdíl teplot obou spojů. Vyšší teplotu bude mít ten spoj, jehož kontaktní napětí (v důsledku průchodu elektrického proudu z vnějšího zdroje) bude vyšší. Z tohoto spoje se bude tedy šířit teplo [9, 12].

Z velikosti napětového výstupního signálu převodníků tepelného toku a skutečného naměřeného teplotního spádu při dosažení ustáleného rovnovážného stavu měřicího systému a na základě tloušťky měřeného vzorku se vypočte velikost součinitele tepelné vodivosti při ustálené střední teplotě zkušebního vzorku materiálu. Správnost dosahovaných výsledků měření je přibližně 3,5 % [8, 16].

Měřicí metoda je metodou relativní a měřicí zařízení je nutno nejprve kalibrovat použitím standardního referenčního materiálu o známé, přesně určené hodnotě součinitele tepelné vodivosti [8, 16].

4.1.2 Ukázky protokolů měření součinitele tepelné vodivosti

Měření součinitele tepelné vodivosti si lze objednat u Technického a zkušebního ústavu stavebního Praha, s. p. pobočka České Budějovice (0200), zkušební laboratoř 1018.3. Pro ukázky protokolů o laboratorním měření součinitele tepelné vodivosti izolačních materiálů byly vybrány dva protokoly. První protokol je o laboratorním

měření součinitele tepelné vodivosti zkušebních vzorků tepelně izolační malty. Protokol o jejím měření je zobrazen na obrázcích 4.3, 4.4 a 4.5. Druhý protokol je o laboratorním měření součinitele tepelné vodivosti zkušebních vzorků tepelně izolačního materiálu, z volných, nevázaných celulózových vláken. Protokol je zobrazen na obrázcích 4.6, 4.7, 4.8 a 4.9 [15].



TECHNICKÝ A ZKUŠEBNÍ ÚSTAV STAVEBNÍ PRAHA, s.p.
Technical and Test Institute for Constructions Prague
pobočka / branch České Budějovice

Akreditovaná zkušební laboratoř • Autorizovaná osoba • Certifikační orgán • Inspekční orgán
Accredited Test Laboratory • Authorised Body • Certification Body • Inspection Body



L 1018.3

PROTOKOL

zkušební laboratoře č. 1018.3
akreditované podle ČSN EN ISO/IEC 17025 Českým institutem pro akreditaci, o.p.s.

Č. A 020-

O zkoušce – stanovení součinitele tepelné vodivosti

objednavatel: Teplice
adresa: Teplice
IČ:

výrobna:
adresa:

zkušební vzorek: tepelně izolační malta

zakázka: Z 020

Počet stran protokolu včetně strany titulní: 3

Počet stran příloh: 0

Vypracoval:

zpracovatel protokolu

Schválil:

vedoucí zkušební laboratoře

Výtisk č.:
Počet výtisků: 2

České Budějovice, dne 22.9. 2008

razítko zkušební laboratoře č. 1018.3

Prohlášení: 1) Výsledky zkoušek v tomto protokolu uvedené se vztahují pouze ke zkoušenému předmětu a nenahrazují jiné dokumenty.
2) Bez písemného souhlasu zkušební laboratoře se nesmí protokol reprodukovat jinak, než celý.

Technický a zkušební ústav stavební Praha, s. p.
Pobočka 0200 - Č. Budějovice
Nemanická 441, CZ 37010 Č. Budějovice

tel.: 387 023 211 (ústředna)
fax: 387 220 864
Bankovní spojení: Komerční banka, Praha 1

email: zeman@tzus.cz
www.tzus.eu
č. účtu: 1501-931/0100

Zapsáno v obchodním rejstříku u Městského soudu v Praze, oddíl ALX, vložka 711, IČ: 00015679, DIČ: CZ00015679

1. Všeobecně

Na základě objednávky č: ze dne 21.8. 2008 byly provedeny zkoušky stanovení součinitele tepelné vodivosti tepelně izolační malty.
(z.č. Z 020)

2. Technický popis předmětu zkoušky

Předmětem zkoušky bylo měření součinitele tepelné vodivosti při střední teplotě 10°C Měření bylo provedeno na třech vzorcích ve vysušeném stavu.

3. Identifikace, odběr, přijetí a příprava vzorků

Zkušební vzorek tepelně izolační malty (1 pytel) byl dne 26.8. 2008 dodán do TZÚS Praha s.p., pracoviště České Budějovice. Po zapsání do knihy vzorků byly z dodané tepelně izolační malty dle technologického postupu výrobce vyrobeny tři zkušební desky o rozměrech cca 250x250x30 mm. Po dobu zrání byly vyrobené vzorky desek uloženy v laboratorních podmínkách (23±2°C / 50±5% relativní vlhkosti).
Číslo vzorku 1939.

4. Datum provedení zkoušek

Měření bylo provedeno ve dnech 15.9. až 19.9. 2008

5. Údaje o použitých zkušebních předpisech

ČSN EN 1602	Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví - Stanovení objemové hmotnosti
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

6. Seznam použitých přístrojů a měřidel

	ev. č.
Přístroj chráněné teplé desky	302
posuvné měřidlo 0-300	172
váha Sartorius 0 – 3 000g	227
sušárna VENTICELL	019

Přístroje a měřidla jsou ověřeny podle platného metrologického řádu pobočky TZÚS Č. Budějovice.

7. Výsledky zkoušek

Měřeno při střední teplotě 10°C

tab. 1

číslo vzorku	objemová hmotnost [kgm ⁻³]	hmotnostní vlhkost [%]	součinitel tepelné vodivosti [Wm ⁻¹ K ⁻¹]
1939/1	331	v suchém stavu	0,0667
1939/2	318	v suchém stavu	0,0679
1939/3	331	v suchém stavu	0,0696
průměr	327	v suchém stavu	0,0681

8. Závěr

Výsledky měření součinitele tepelné vodivosti z dodaného vzorku tepelně izolační malty po měření v suchém stavu jsou uvedeny v tabulce 1 odstavce 7 tohoto protokolu.

K O N E C P R O T O K O L U



TECHNICKÝ A ZKUŠEBNÍ ÚSTAV STAVEBNÍ PRAHA, s.p.
Technical and Test Institute for Constructions Prague
pobočka / branch České Budějovice

Akreditovaná zkušební laboratoř • Autorizovaná osoba • Certifikační orgán • Inspekční orgán
Accredited Test Laboratory • Authorised Body • Certification Body • Inspection Body



L 1018.3

PROTOKOL

zkušební laboratoře č. 1018.3
akreditované podle ČSN EN ISO/IEC 17025 Českým institutem pro akreditaci, o.p.s.

Č. A 020-02

O zkoušce – stanovení součinitele tepelné vodivosti

objednavatel: Praha
adresa: Praha
IČ:

výrobna:
adresa:

zkušební vzorek: tepelná izolace

zakázka: Z 020

Počet stran protokolu včetně strany titulní: 4

Počet stran příloh: 0

Vypracoval:

zpracovatel protokolu

Schválil:

vedoucí zkušební laboratoře

Výtisk č.:
Počet výtisků: 2

České Budějovice, dne 18.2. 2009

razítko zkušební laboratoře č. 1018.3

Prohlášení: 1) Výsledky zkoušek v tomto protokolu uvedené se vztahují pouze ke zkoušenému předmětu a nenahrazují jiné dokumenty.
2) Bez písemného souhlasu zkušební laboratoře se nesmí protokol reprodukovat jinak, než celý.

Technický a zkušební ústav stavební Praha, s. p.
Pobočka 0200 - Č. Budějovice
Nemanická 441, CZ 37010 Č. Budějovice

tel.: 387 023 211 (ústředna)
fax: 387 220 864
Bankovní spojení: Komerční banka, Praha 1

email: zeman@tzus.cz
www.tzus.eu
č. účtu: 1501-931/0100

Zapsáno v obchodním rejstříku u Městského soudu v Praze, oddíl ALX, vložka 711, IČ: 00015679, DIČ: CZ00015679

1. Všeobecně

Na základě smlouvy o dílo č Z 020 ze dne 12.3. 2007 byly provedeny zkoušky stanovení součinitele tepelné vodivosti tepelně izolačního materiálu z volných, nevázaných celulózových vláken.
(z.č. Z 020)

2. Technický popis předmětu zkoušky

Předmětem zkoušky bylo měření součinitele tepelné vodivosti při střední teplotě 10°C. Měření bylo provedeno vždy na třech vzorcích z každého měsíce.

3. Identifikace, odběr, přijetí a příprava vzorků

Zkušební vzorky tepelně izolačního materiálu tepelné izolace byly dne 3.2. 2009 dodány do TZÚS Praha s.p., pracoviště České Budějovice. Vzorky o rozměrech cca 500x500x100 mm byly vyrobeny v měsících září 2008 až prosinec 2008 (z každého měsíce 3ks) a uloženy ve skladu firmy. Celkem bylo dodáno 12ks vzorků. Zde byly označeny číslem vzorku a uloženy v laboratorních podmínkách (23±2°C / 50±5% relativní vlhkosti). Číslo vzorku 0158.

4. Datum provedení zkoušek

Měření bylo provedeno ve dnech 5.2. až 17.2. 2009

5. Údaje o použitých zkušebních předpisech

- ČSN EN 1602 Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví
- Stanovení objemové hmotnosti
- 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

6. Seznam použitých přístrojů a měřidel

	ev. č.
Přístroj chráněné teplé desky	641
posuvné měřidlo 0-500	685
váha Sartorius 0 – 3 000g	227
sušárna VENTICELL	019

Přístroje a měřidla jsou ověřeny podle platného metrologického řádu pobočky TZÚS Č. Budějovice.

7. Výsledky zkoušek

Měřeno při střední teplotě 10°C

tab. 1 měsíc září 2008

číslo vzorku	objemová hmotnost [kgm ⁻³]	hmotnostní vlhkost [%]	součinitel tepelné vodivosti [Wm ⁻¹ K ⁻¹]
0158/1	43	v suchém stavu	0,0351
0158/2	50	v suchém stavu	0,0360
0158/3	61	v suchém stavu	0,0375

tab. 2 měsíc říjen 2008

číslo vzorku	objemová hmotnost [kgm ⁻³]	hmotnostní vlhkost [%]	součinitel tepelné vodivosti [Wm ⁻¹ K ⁻¹]
0158/4	44	v suchém stavu	0,0361
0158/5	51	v suchém stavu	0,0379
0158/6	62	v suchém stavu	0,0374

tab. 3 měsíc listopad 2008

číslo vzorku	objemová hmotnost [kgm ⁻³]	hmotnostní vlhkost [%]	součinitel tepelné vodivosti [Wm ⁻¹ K ⁻¹]
0158/7	41	v suchém stavu	0,0353
0158/8	51	v suchém stavu	0,0351
0158/9	62	v suchém stavu	0,0356

tab. 4 měsíc prosinec 2008

číslo vzorku	objemová hmotnost [kgm ⁻³]	hmotnostní vlhkost [%]	součinitel tepelné vodivosti [Wm ⁻¹ K ⁻¹]
0158/10	42	v suchém stavu	0,0350
0158/11	49	v suchém stavu	0,0372
0158/12	62	v suchém stavu	0,0369

8. Závěr

Výsledky měření součinitele tepelné vodivosti dovezených vzorků tepelně izolačního materiálu z volných, nevázaných celulózových vláken vyrobených v měsících září, říjnu, listopadu a prosinci 2008 byly stanoveny po měření v suchém stavu a jsou uvedeny v tabulkách 1 až 4 odstavce 7 tohoto protokolu.

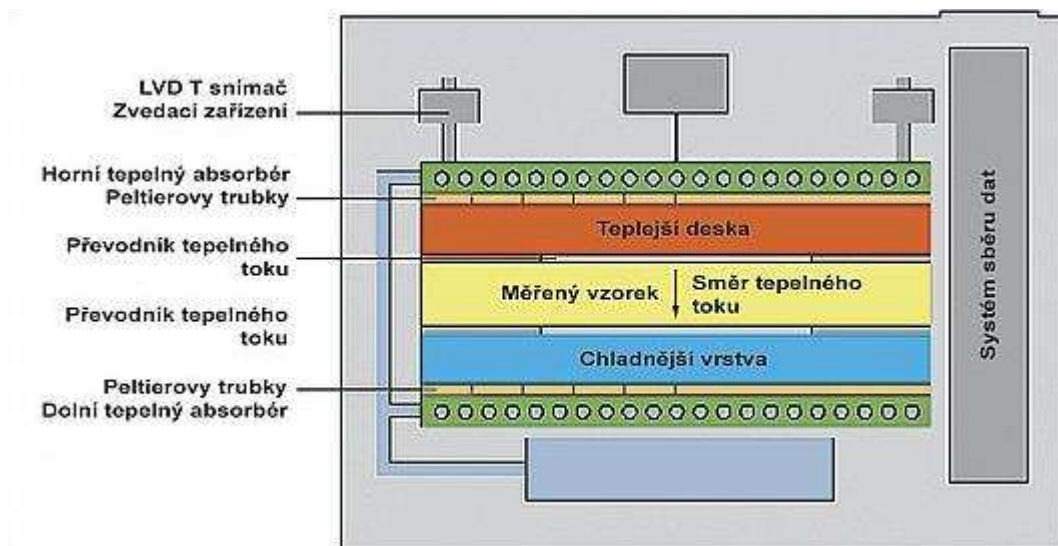
K O N E C P R O T O K O L U

4.2 Nový měřicí přístroj HFM 436/3/1E Lambda[®]

V měření součinitele tepelné vodivosti byl zaznamenán další vývoj související s uvedením nového měřicího zařízení společnosti NETZSCH GmbH s označením HFM 436/3/1E Lambda[®] (HFM - Heat Flow Meter - měřič průtoku tepla) [16].

Měření pomocí tohoto zařízení je prováděno na katedře energetických zařízení strojní fakulty Technické univerzity v Liberci, jejíž výuková i vědeckovýzkumná činnost je mimo jiné orientována na problematiku sdílení tepla a přenos hmoty [16].

Měřicí zařízení HFM 436/3/1E Lambda[®] umožňuje provádět automatizované měření velikosti součinitele tepelné vodivosti, až pro deset předvolených středních teplot měřeného materiálu v teplotním intervalu $(-30 \div +90)$ °C. Pomocí měřicího přístroje lze zjišťovat velikost součinitele tepelné vodivosti izolačních materiálů v rozsahu $(0,005 \div 0,5)$ $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Měření se děje v souladu s normou ASTM C518 a ISO 8301. Schematické znázornění uspořádání hlavních částí přístroje je na obr. 4.10. Obrázek zároveň naznačuje jeho měřicí princip [11, 16].



Obr. 4.10 Schematické znázornění hlavních částí měřicího zařízení HFM 436/3/1E Lambda[®] [16]

Princip měření je shodný s principem měření jaký byl uveden u měřicího přístroje POENSGEN[®]. Princip tedy spočívá ve zjišťování velikosti tepelného toku procházejícího měřeným materiálem při definovaném teplotním spádu na měřeném materiálu. Tepelný tok je zjišťován napětovým převodníkem tepelného toku zabudovaným v horní desce o vyšší teplotě a též v dolní desce o nižší teplotě soustředně s osou desek a v těsné blízkosti povrchu měřeného vzorku. Výstupní napětový signál je úměrný velikosti tepelného toku procházejícího těmito převodníky. Odtud vyplývá, že měřicí metoda je metodou relativní a měřicí zařízení je tak nutno nejprve kalibrovat použitím standardního referenčního materiálu o známé, přesně určené hodnotě součinitele tepelné vodivosti [8, 16].

Teplotní spád na měřeném vzorku je zjišťován pomocí termočlánků zabudovaných do povrchů obou desek, které jsou v dotyku s měřeným vzorkem. Teplota desek je řízena ohřívacím/chladicím systémem s Peltierovými články s externím chladičem, a to podle zadané střední teploty měřeného vzorku a podle rovněž zadaného teplotního spádu [8, 16].

Vkládání měřeného vzorku do měřicího prostoru je umožněno vertikálním posuvem horního tepelného absorbéru spolu s deskou o vyšší teplotě. Měření tloušťky vzorku se uskutečňuje pomocí snímače polohy LVDT (Linear Variable Differential Transformer - lineární měnitelný diferenciální transformátor) [16, 17].

Typický tvar měřeného vzorku je čtvercová deska o straně do 300 mm a tloušťce (5 ± 100) mm. Protože snímače tepelného toku jsou čtvercového tvaru o straně 101,6 mm, je tímto rozměrem určena minimální velikost vzorku čtvercového tvaru. Dále je u přístroje HFM 436/3/1E Lambda[®] také možnost měření sypkých materiálů s posouzením vlivu zrnitosti materiálů na velikost součinitele tepelné vodivosti. V provozních pokynech je doporučeno k měřicímu zařízení vytvořit rám z vhodného tepelně izolačního materiálu (např. Styroflex[®]) opatřený dnem z hliníkové folie a v takto vytvořeném prostoru rovnoměrně rozprostít měřený sypký materiál [16].

Před vlastním měřením je nutno zadat nominální hodnoty středních teplot, při kterých bude určována velikost součinitele tepelné vodivosti a též vstupní hodnoty parametrů, které definují rovnovážný stav měřicího systému a způsob jeho dosažení. Uvážlivě je třeba volit i nastavení teplotních odchylek. Vysoké nároky na přesnost dosahovaných výsledků však nepříznivě ovlivňují celkovou dobu trvání testu [16].

Z velikosti napěťového výstupního signálu převodníků tepelného toku a skutečného naměřeného teplotního spádu při dosažení ustáleného rovnovážného stavu měřicího systému a na základě zjištěné tloušťky měřeného vzorku se vypočte velikost součinitele tepelné vodivosti při ustálené střední teplotě vzorku materiálu. Pokud by bylo požadováno určení teplotní závislosti součinitele tepelné vodivosti materiálu, měřicí systém automaticky zareaguje zvyšováním teploty obou desek pro dosažení nejbližší vyšší zadané střední teploty vzorku [16].

Měřicí zařízení pracuje s vnitřním programovým vybavením Q-Test. Zadávání vstupních parametrů testu, průběh měření i tisk výsledků jsou plně řízeny pomocí klávesnice zabudované v čelním panelu přístroje. Dále je možnost použití externího programového vybavení Q-Lab (32 bit MS Windows 2000XP), který poskytuje lepší možnosti řízení průběhu měření a monitorování parametrů měřicího zařízení. Umožňuje též v grafické nebo tabulkové formě sledovat a případně zaznamenávat střední teplotu měřeného vzorku, velikost teplotního spádu, odpovídající okamžitou velikost součinitele tepelné vodivosti a doby trvání měření. Úplná sestava měřicího zařízení s externím programovým vybavením Q-Lab je zobrazena na obrázku 4.11 [16].



Obr. 4.11 Úplná sestava měřicího zařízení HFM 436/3/1E Lambda[®] s externím programovým vybavením Q-Lab [16]

Správnost dosahovaných výsledků je uváděna jako $\pm (1 \div 3) \%$. Rovnovážného stavu měřicího zařízení je v některých případech dosaženo za dobu přibližně 15 minut [16].

5 Principy a metody aplikované pro termovizní měření teplotních polí

Termovizní měření patří k nejprogresivnějším metodám měření teplotních polí. Jeho princip spočívá v bezkontaktním měření intenzity infračerveného záření termovizní kamerou (její hlavní část tvoří pole infradetektorů). Výstupem je analogový a digitální obraz teplotního pole [18].

5.1 Charakteristika termovizního měření

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. Z toho vyplývá i hlubší pohled na tepelné procesy a možnosti jejich tepelné analýzy [18].

Termografie se používá k zobrazování teplotních polí zejména ve vědě, průmyslových, lékařských a vojenských aplikacích více jak 30 let. Ale teprve během posledních deseti let se v souvislosti s použitím nechlazených mikrobolometrických detektorů v termovizních kamerách podstatně rozšířilo spektrum aplikací téměř do všech oblastí lidské činnosti [18].

5.2 Fyzikální principy termografie

Každé těleso o teplotě vyšší než absolutní nula vyzařuje elektromagnetické záření. Jednotlivá pásma elektromagnetického spektra se liší jejich vlnovou délkou. Pásmo infračerveného záření je v rozmezí viditelného pásma o vlnové délce 0,75 μm a mikrovlnného pásma o vlnové délce 100 μm . Termokamera využívá část infračerveného pásma záření tzv. atmosférického okna o vlnové délce (8÷14) μm , při kterém jsou minimální ztráty z absorpce atmosféry [4, 19].

Vlnová délka vyzařovaného záření je závislá na teplotě, protože vyzařovaná energie v celém vlnovém rozsahu roste se čtvrtou mocninou teploty viz (24), (25). Čím je teplota vyšší, tím je vlnová délka vycházejícího záření kratší [10].

Planckův vyzařovací zákon viz vzorec (23) vyjadřuje vztah pro spektrální intenzitu záření $M_{0,\lambda}$ absolutně černého tělesa [10]:

$$M_{0,\lambda} = \frac{2 \cdot h \cdot c^2}{\lambda^5} \cdot \frac{\pi}{e^{\frac{h \cdot c}{\lambda \cdot T}} - 1}, \quad (23)$$

kde $M_{0,\lambda}$ je intenzita záření absolutně černého tělesa, [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$],
 λ vlnová délka, [m], (použito značení λ , protože značení λ je v práci použito pro značení součinitele tepelné vodivosti),
 π Ludolfovo číslo,

- T teplota absolutně černého tělesa, [K],
 c je rychlost světla ve vakuu, $c \cong 299\,792\,458 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,
 k Boltzmanova konstanta, $k \cong 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$,
 h Planckova konstanta, $h \cong 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$.

Stefanův-Boltzmannův zákon pak popisuje celkovou intenzitu záření absolutně černého tělesa. Intenzitu záření získáme integrací vztahu pro intenzitu záření (definovanou Planckovým zákonem) [10].

Tento zákon říká, že intenzita vyzařování roste se čtvrtou mocninou termodynamické teploty zářícího tělesa viz (24) [10].

$$M_0 = \sigma \cdot T^4, \quad (24)$$

- kde M_0 je intenzita záření absolutně černého tělesa, [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$],
 σ Stefanova-Boltzmannova konstanta,

$$\sigma = \frac{2 \cdot \pi^5 \cdot k^4}{15 \cdot h^3 \cdot c^2} \cong 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4},$$

 T teplota absolutně černého tělesa, [K].

Skutečné těleso však vyzařuje i pohlcuje méně než absolutně černé těleso. Poměr energie vyzařované objektem při dané teplotě k energii vyzařované absolutně černým tělesem při téže teplotě se nazývá emisivita ε . Hodnota emisivity ε pro skutečná tělesa je vždy menší než 1. Příklad hodnot emisivity vybraných povrchů je uveden v tabulce 4 [20].

Tabulka 4 Hodnoty emisivity ε pro vybrané povrchy [20]

Těleso	ε [-]
Černý matový lak	0,99
Voda	0,95
Cihly	0,85
Lesklý ocelový plech	0,25

Vztah pro intenzitu záření skutečného tělesa je vyjádřen vztahem (25) [20]:

$$M = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4, \quad (25)$$

- kde M je intenzita záření tělesa, [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$],
 ε emisivita povrchu, [-],
 σ Stefanova-Boltzmannova konstanta,

$$\sigma = \frac{2 \cdot \pi^5 \cdot k^4}{15 \cdot h^3 \cdot c^2} \cong 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4},$$

 T teplota tělesa, [K].

Termokamera umožňuje získat, na základě vyzařování těles, rozložení teplot na jednotlivých bodech snímaného povrchu. V infračervené se nachází snímací prvky CCD (Charge-Coupled Device), které zachytí a zobrazí teplotní pole ve viditelné barevné škále. Pro měření určitého rozsahu teplot je nutné mít před samotným senzorem různé optické filtry. Jimi jsou pak propouštěny jen vlnové délky odpovídající potřebnému rozsahu měření teplot [19].

Termokamery však neměří přímo povrchovou teplotu, ale teplota je dopočítána na základě změřeného infračerveného záření a okrajových podmínek zadaných do kamery nebo do vyhodnocovacího programu. Mezi tyto okrajové podmínky patří emisivita povrchu (schopnost povrchu odrazit tepelný paprsek), odražená teplota, vzdálenost mezi objektem a kamerou, relativní vlhkost a teplota vnějšího a vnitřního vzduchu. Hlavní důraz se klade na správné určení emisivity a odražené teploty. Další okrajové podmínky (vzdálenost mezi objektem a kamerou, relativní vlhkost a teplota vnějšího a vnitřního vzduchu) jsou při dobrých atmosférických podmínkách minimální, avšak je nutné i tyto vlivy zaznamenat a zahrnout je do měření [19].

5.3 Termovize ve stavebnictví

Hlavním účelem většiny termovizních měření ve stavebnictví je stanovení rozložení povrchových teplot na plášti budovy a zjištění, zda-li toto rozložení povrchové teploty je nestandardní, tj. je-li způsobeno např. špatně provedenými stavebními pracemi, poruchami izolace, netěsnostmi oken a dveří, kondenzací vlhkosti apod. Další využití je při kontrolách rozvodů tepla a energií – podlahových vytápění, nepřístupných teplovodů atd. Termovizní měření se tedy ve stavebnictví používá jako bezkontaktní způsob diagnostiky vad konstrukcí. Z měření je získán termogram, který slouží k vyhodnocení stavu budovy a jednotlivých konstrukcí [21].

5.3.1 Programové a technické prostředky termovizní techniky

Termovizní technika obsahuje programové a technické prostředky pro digitalizaci, zpracování a transformaci obrazu teplotního pole [18].

V Technickém a zkušebním ústavu stavebním Praha, s. p., pobočka České Budějovice provádějí termovizní měření termovizní soupravou ThermaCAMTM B2 pro stavebnictví [15].

Infračervený kamerový systém ThermaCAMTM B2 (B jako Building industry - stavební průmysl) měří vyzařované infračervené záření, které zobrazuje ve formě teplotního pole povrchu měřeného objektu. Termovizní kamera je vybavena objektivem, vyjímatelnou baterií a řadou příslušenství. Je to lehká ruční přenosná kamera vhodná k použití v terénu. Rozsah měřených teplot objektu je (-20 ÷ +100) °C. Přesnost měření ± 2 %. Detektor má rozlišení 160×120 pixelů. Spektrální rozsah je (7,5 ÷ 13) μm. Obraz (termogram) je možné sledovat v reálném čase v integrovaném hledáčku. Termokamera ThermaCAMTM B2 je na obrázku 5.1 [16].

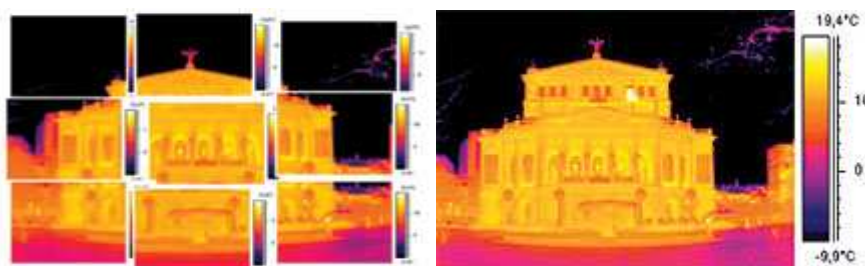


Obr. 5.1 Termokamera TermaCAM™ B2 [16]

Součástí vnitřního softwaru termokamery je funkce automatické optické - barevné nebo zvukové výstrahy, která se aktivuje při zjištění dosažení podmínek pro vznik rosného bodu. Tato funkce ve skutečnosti vypočítává, na základě parametrů vložených do termokamery (jako jsou emisivita, vzdálenost, zdánlivá odražená teplota, teplota atmosféry a relativní vlhkost), měřenou teplotu na povrchu (např. stěny) a následně ji porovnává s vloženou hodnotou relativní vlhkosti a vyhodnocuje, zda a kde bylo dosaženo rosného bodu a na toto místo, nebo místa, potom zobrazí v termogramu optickou - barevnou výstrahu nebo zaktivuje zvukovou výstrahu [16].

Termogramy se ukládají do paměti kamery v tzv. radiometrickém formátu JPEG. Ty lze dále transportovat do počítače pomocí software ThermaCAM™ Quick View a provádět jejich základní rozbor nebo provádět jejich další komplexní rozbor pomocí softwaru ThermaCAM™ Reporter. Pokud ale není požadavek na další rozbor termogramů, je možné je zobrazit včetně naměřených hodnot, pomocí některého běžného prohlížeče digitálních obrazů [16].

Dalším softwarem pro práci s termogramy je ThermaCAM™ Image Builder, který je určen právě pro stavební aplikace a který umožňuje při měření velkých objektů „poskládat“ jednotlivé termogramy do jednoho obrazu a potom výsledný obraz vyhodnotit jako jeden termogram. Názorný příklad možnosti práce s programem ThermaCAM™ Image Builder je vidět na obrázku 5.2 [16].



Obr. 5.2 Software TermaCAM™ Image Builder (jednotlivé obrazy a složený obraz) [16]

5.3.2 Nové prostředky termovizního měření teplotních polí

Výzkumem termovizního měření v České republice se zabývá výzkumné centrum Nové technologie, které vzniklo při Západočeské univerzitě v Plzni v roce 2000. Výzkum je v odboru Termomechanika technologických procesů, oblast Teplotní měření. K měření je použit infračervený kamerový systém ThermaCAM™ SC2000 [18].

Infračervený kamerový systém ThermaCAM™ SC2000 měří vyzařované infračervené záření a zobrazuje ho ve formě teplotního pole povrchu měřeného objektu. Termovizní kamera je vybavena zabudovaným 24° objektivem, vyjímatelnou baterií a řadou příslušenství. Je to lehká ruční přenosná kamera odolná proti prachu a stříkající vodě, je testována na otřesy a vibrace a je vhodná k použití v terénu při nejnáročnějších podmínkách. Rozsah měřených teplot objektu (-40 ÷ +2000) °C. Přesnost měření ± 2 %. Teplotní rozlišení < 0,1 °C. Detektor: FPA (Focal Plane Arrays - skládá se z velké matice malých separátních detekujících elementů. Celá snímaná oblast je optikou pevně zaostřena na tuto matici a každý element (pixel) poskytuje výstupní signál závislý na množství na něj dopadajícího infračerveného záření.), nechlazený mikrobolometr 320×240 pixelů. Spektrální rozsah (7,5 ÷ 13) μm. Obraz (termogram) je možné sledovat v reálném čase v integrovaném hledáčku nebo na přídavném monitoru [18, 23].

Počítačově řízený termovizní systém se používá pro měření dynamických teplotních polí. Počítač slouží k ovládání kamery a především k záznamu velkého množství dat přímo na pevný disk pro další zpracování. Termovizní kamera je umístěna na stativu, na kterém je i řídicí počítač. Kamera je s počítačem propojena přes PCMCIA (Personal Computer Memory Card International Association) kartu a komunikační modul, do něhož je připojeno i napájení 220 V. Max. frekvence je 5 Hz pro provozní konfigurace, 50 Hz pro laboratorní konfigurace. Pro krátkodobá měření lze využít bateriový provoz (cca 2 h) nezávislý na síťovém napájení [18].

Mezi další možnosti práce s termovizní kamerou patří software ThermaCAM™ Researcher. Je to software pro využití ve výzkumných aplikacích, kde je zapotřebí detailní tepelné analýzy dynamických dějů. Program zabezpečuje propojení a řízení termovizní kamery počítačem včetně vysokorychlostního záznamu dat. Díky tomuto propojení lze provádět teplotní analýzy a statistiky v reálném čase. Uložené sekvence termogramů lze později přehrávat a podrobně analyzovat. Program proto nabízí rozsáhlé možnosti zpracování statických i dynamických termogramů. Obsahuje funkce pro teplotní analýzy včetně izoterm, bodových měření, čárových profilů a plošných histogramů. Všechny tyto nástroje analýzy dovolují nezávislé nastavení emisivity a vzdálenostních parametrů [18].

Infračervený kamerový systém ThermaCAM™ SC2000 má široké možnosti použití. Například ve stavitelství je možnost jeho použití, díky podstatně většímu rozsahu měřených teplot objektu, při zjišťování poruch v izolacích tepelných zařízení provozovaných při podstatně vyšších teplotách, než jsou obvyklé teploty při termovizním měření stavebních konstrukcí [18, 23].

5.3.3 Termovizní měření stavebních konstrukcí z exteriéru

Příklady využití termovizního měření stavebních konstrukcí z exteriéru [16, 21, 22]:

- zhodnocení obvodového pláště z tepelně-technického hlediska;
- odhalení a lokalizace tepelných mostů;
- lokalizace degradované tepelné izolace obvodového nebo střešního pláště;
- lokalizace nespojitosti obvodového pláště (nedokonalá kontinuita, vyhledání trhlin v plášti budovy - zdroj zatékání do střech, poškození izolací sklepů);
- kontrola kvality provedení u dodatečného zateplení;
- optimalizace konstrukčního řešení – nejvhodnější technologické postupy;
- objevení zadržovaných otvorů v ploše fasády;
- kontrola počtu a rozmístění kotev v zateplovacím systému;
- zjištění míst tepelných ztrát budov jako podklad pro projekt zateplení (projektování izolace);
- kontrolu kvality provedených prací před převzetím stavby z hlediska tepelných mostů v konstrukcích;
- detekce kritických míst s potencionálním výskytem plísní;
- vyhledání poškození či zeslabení komínových těles - protipožární prevence;
- kontrola kvality provedených prací při kolaudaci;
- kontrola technologického vybavení budov.

5.3.3.1 Příklady tepelných ztrát budov

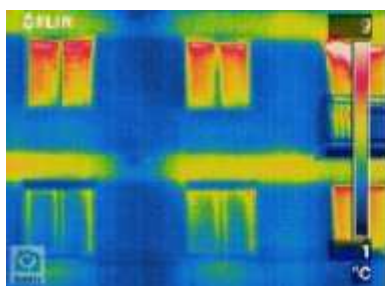
Tepelné mosty v konstrukci se projevují chladnějším povrchem v interiéru a teplejším povrchem v exteriéru, než je teplota okolní konstrukce. To umožňuje získat okamžitě představu o místech, která jsou z hlediska tepelných ztrát kritická [22].

Termogram a vyhodnocení stavu konstrukce lze využít jako poklad k návrhu efektivního zateplení nebo jako dokument pro jednání s dodavatelem o odstranění vad stavby před jejím převzetím [22].

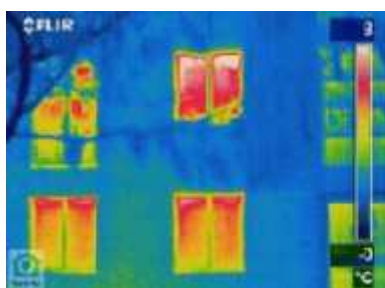
Ukázky termogramů s tepelnými ztrátami budov jsou uvedeny na následujících obrázcích zobrazených na další straně práce. Na Obrázku 5.3 je zobrazen dům bez izolace s původními dřevěnými okny. Na obrázku 5.4 je dům bez izolace s dvěma plastovými okny v přízemí nalevo a ostatními okny původními dřevěnými. Na dalším obrázku s číslem 5.5 je zobrazen dům s kontaktní izolací a s původními dřevěnými okny. Obrázek 5.6 pak zobrazuje dům s kontaktní izolací a plastovými okny [22].



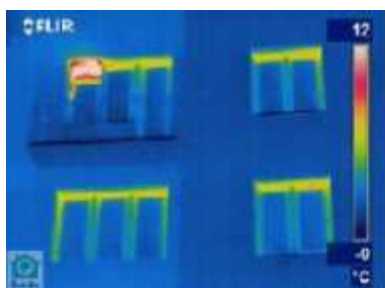
Obr. 5.3 Dům bez izolace - původní dřevěná okna, převzato a upraveno z [22]



Obr. 5.4 Dům bez izolace - 2 plastová okna (přízemí vlevo), ostatní okna dřevěná původní, převzato a upraveno z [22]



Obr. 5.5 Dům s kontaktní izolací - původní dřevěná okna, převzato a upraveno z [22]



Obr. 5.6 Dům s kontaktní izolací, plastová okna, převzato a upraveno z [22]

5.3.4 Termovizní měření stavebních konstrukcí z interiéru

Příklady možnosti využití termovizního měření stavebních konstrukcí z interiéru [16, 21, 22]:

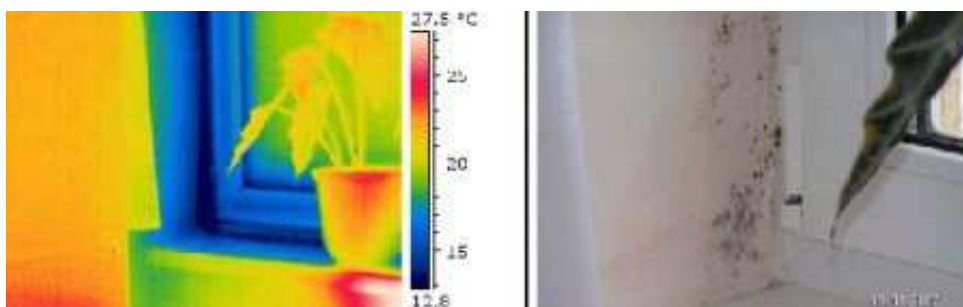
- lokalizace míst potenciálního vzniku plísní (povrchová kondenzace);
- kontrola kvality provedených prací při kolaudaci;
- kontroly nepřístupných teplovodů;
- vyhledání závad podlahového vytápění, lokalizace místa úniku topné kapaliny;
- vyhledání poškození či zeslabení komínových těles z interiéru - protipožární prevence;
- kontrola technologického vybavení budov.

5.3.4.1 Příklady plísní v interiéru

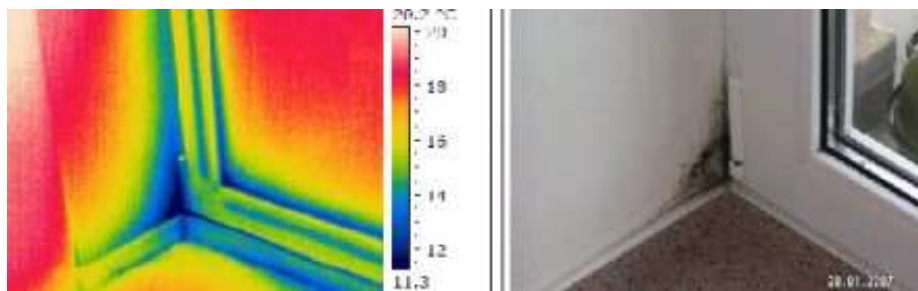
Plísně v budově způsobují nejen škody na materiálech, ale zejména vyvolávají zdravotní problémy osob. Plísně jsou schopné růst na všech materiálech. Lze je najít na omítkách, tapetách, ve spárách obkladů, na dřevě, textiliích atd. Ke svému růstu potřebují pouze dostatečnou vlhkost a minimální zdroj uhlíku a dusíku. Kyslík ani světlo ke své existenci nepotřebují. Způsobují kromě materiálních škod nejrůznější zdravotní problémy jako alergie, dýchací potíže, bolesti hlavy [22].

Kritickými místy pro vznik plísní bývají tepelné mosty v konstrukcích, kde v důsledku oslabené tepelné izolace je teplota na vnitřním povrchu zdi nižší, než teplota rosného bodu vodní páry obsažené ve vzduchu v místnosti. To je pak ideální prostředí pro rozvoj plísně [4, 22].

Příklady objevujících se plísní v interiérech budov jsou na obrázcích 5.7 a 5.8. Na obrázku 5.7 je vidět, jak se kolem okna objevuje plíseň vznikající z kondenzační vlhkosti v ostění otvoru. Závada může být způsobena špatnou izolací okenního rámu. Na obrázku 5.8 se plíseň objevuje u balkónových dveří, která vzniká z kondenzační vlhkosti v ostění otvoru. Závada může být způsobena špatnou izolací balkónových dveří [22].



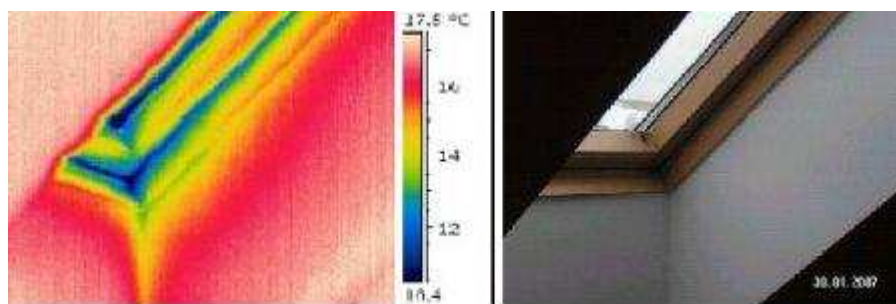
Obr. 5.7 Plíseň vzniklá kolem okna v interiéru [22]



Obr. 5.8 Vznik plísně u balkónových dveří [22]

5.3.4.2 Příklad oroseného okna

Další častou závadou je kondenzace vlhkosti na skle a rámech oken. Příklad kondenzace vodní páry je uveden na obrázku 5.9, kde je vidět, že i při běžné relativní vlhkosti ~ 49 % se na oknech objevila kondenzace. Pozn. Relativní vlhkost vzduchu je podíl množství vodních par ve vzduchu skutečně obsažených a množství vodních par, kterými by se za dané teploty vzduch nasýtil, vynásobený 100 [1, 22].



Obr. 5.9 Střešní okno vykazující velmi zřetelné netěsnosti (modrá barva) [22]

Příčinou kondenzace vlhkosti může být nekvalitně provedená izolace, nebo to mohou být chyby na straně majitele, kterých se dopouští při provozu domácnosti a to zvláště v zimním období [1, 22].

Existuje několik rad k omezení tvorby kondenzace na sklech a rámech oken i plísní v interiéru, podle kterých se lze řídit a tím kondenzaci a plísním předcházet. Patří mezi ně např. [1, 22]:

- snažit se udržovat relativní vlhkost na 50%;
- pokud je to možné, nesusit prádlo v bytě;
- při vaření používat digestoř a zavírat dveře do dalších místností;
- omezit množství květin v pokojích, protože i velké množství květin může být zdrojem zvýšené vlhkosti;
- každou místnost pravidelně větrat;
- pokojová teplota by neměla klesat pod 21°C;
- topná tělesa je třeba umístit pod okna, aby přirozenou cirkulací docházelo k "omývání" studených oken teplým vzduchem;

- vnitřní žaluzie na skle velmi omezují pohyb vzduchu podél zasklení, mohou vznikat tzv. "studené kapsy" a v nich dojde ke kondenzaci, proto je vhodné v chladných dnech raději vytahovat žaluzie do horní polohy.

5.3.5 Základní výhody termovizního měření

- rychlost vlastního měření - snímání v časové náročnosti běžného focení;
- neomezování okolního provozu - není narušen běžný provoz budovy, technologie a odběry energií;
- zaznamenává skutečný stav - výstupy jsou přesnější než náročné početní modely;
- efektivnost - přesně lokalizuje poruchová místa a určuje jejich závažnost [19].

5.3.6 Přednosti a přínosy termovizního měření

- bezkontaktní měření bez nutnosti odstávky zařízení nebo demontáže;
- možnost záznamu reálného obrazu měřeného místa;
- vysoká mobilita měření;
- snížení ztrát spojených s odstávkou při včasném diagnostikování;
- snížení nákladů na údržbu a případné opravy;
- zkrácení času na identifikaci závady nebo lokalizaci kritického místa;
- podstatné urychlení kontroly tepelně technických vlastností obvodových plášťů budov;
- snížení tepelných ztrát [19].

5.3.7 Ukázky protokolů termovizního měření

Termogramy získané z termovizních měření jsou následně zpracovány v protokolech o termovizním měření. V protokolech je uvedeno vyhodnocení stavu budovy zaměřené na jednotlivé zóny budovy, kde byly při termovizním měření zjištěny tepelné ztráty [19].

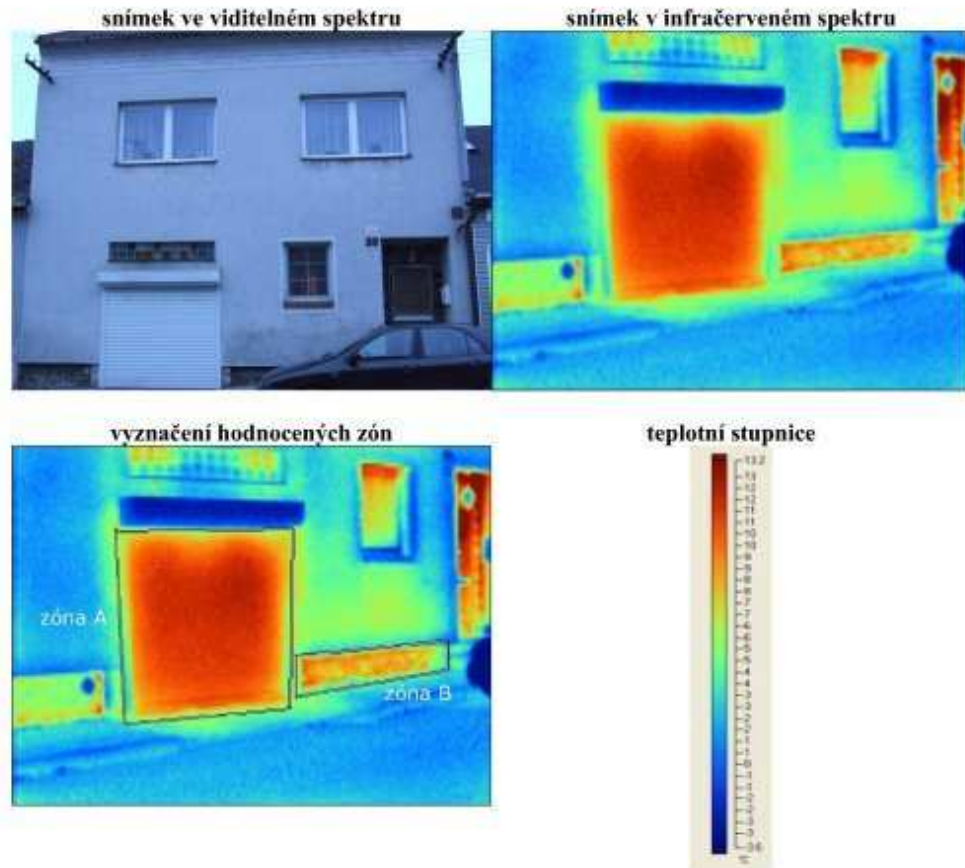
Termovizní měření si lze objednat u Technického a zkušebního ústavu stavebního Praha, s. p., pobočka České Budějovice (0200), zkušební laboratoř 1018.3, ale zabývají se jím i soukromé firmy u kterých si lze rovněž měření objednat. Pro ukázky protokolů o termovizním měření je vybrána firma IR INSPECTIONS s.r.o., se sídlem v Polici nad Metují. Ukázky protokolů o termovizním měření jsou na obrázcích 5.10, 5.11 a 5.12 [15, 19].

Označení snímku:

Popis snímku:

Termín provedení měření:

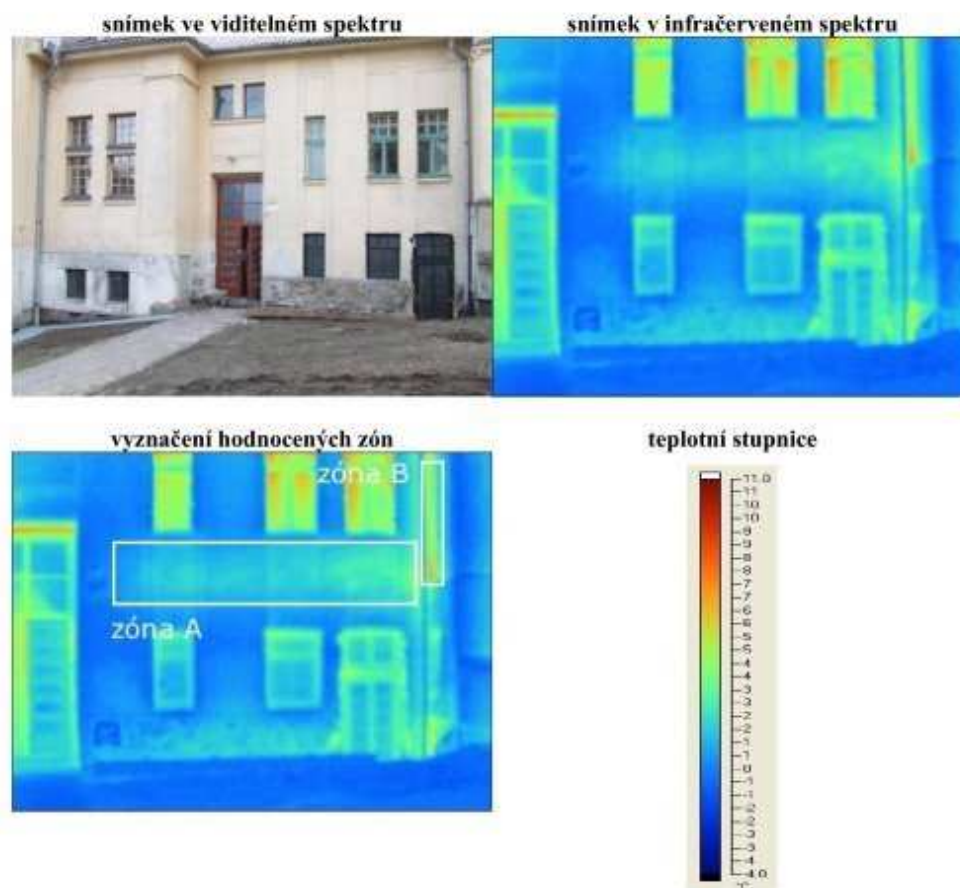
Okolní teplota během měření: -2.1 °C



Výpis hodnocených zón					
označení	popis	t_{max} (°C)	t_{min} (°C)	t_{avg} (°C)	úsudek
zóna A	garážové dveře	12.0	1.3	9.3	zvýšený prostup tepla garáž. vraty, doporučuji opatření vedoucí ke snížení součinitele prostupu tepla
zóna B	sokl	9.7	0.3	5.9	tepelný most v oblasti partie soklu, lze odstranit tepelnou izolací – extrudovaný polystyren

Obr. 5.10 Protokol měření teplotních polí č.1 [19]

Označení snímku:
 Popis snímku:
 Termín provedení měření:
 Okolní teplota během měření: -3.5 °C



Výpis hodnocených zón					
označení	popis	t_{max} (°C)	t_{min} (°C)	t_{avg} (°C)	hodnocení
zóna A	oblast parapetního zdiva	3.8	-0.5	1.4	zvýšená hodnota prostupu tepla v oblasti parapetního zdiva je způsobena menší tloušťkou zdiva nebo umístěnými otopnými tělesy
zóna B	vnitřní kout	6.4	0.5	3.4	geometrický tepelný most a zároveň vliv nevhodného řešení vedení rozvodů otopné vody.

Poznámka:
 Mírně zvýšený prostup tepla je i v oblasti soklové partie a samozřejmě i výraznější prostup u oken a dveří (nadpraží).

Obr. 5.11 Protokol měření teplotních polí č.2 [19]

Označení snímku:
 Popis snímku:
 Termín provedení měření:
 Okolní teplota během měření: -3.5 °C

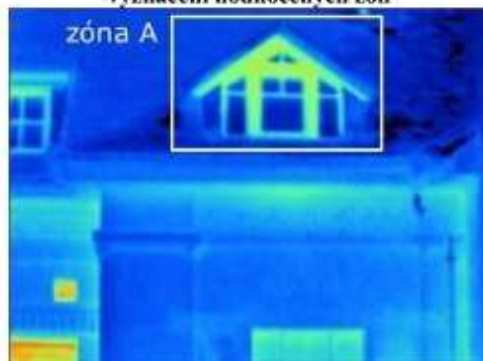
snímek ve viditelném spektru



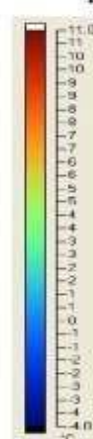
snímek v infračerveném spektru



vyznačení hodnocených zón



teplotní stupnice



Výpis hodnocených zón					
označení	popis	t_{max} (°C)	t_{min} (°C)	t_{avg} (°C)	hodnocení
zóna A	rám okna vikýře	5.3	-3.5	-0.3	vyšší tepelné ztráty vykazuje rám okna vikýře (možná nepřerušovaný tepelný most), zasklení je dobré.

Poznámka:
 Mírně zvýšený prostup tepla je i v oblasti podstřešní římsy (chyba detailu vykonzolování římsy).

Obr. 5.12 Protokol měření teplotních polí č.3 [19]

6 Závěr

V práci byl vypracován přehled konstrukčních a izolačních materiálů nejčastěji používaných ve stavebnictví. Byly popsány fyzikální principy měření tepelné vodivosti, respektive jejího součinitele. Dále jsou uvedeny fyzikální principy termovizních měření.

Ve čtvrté části práce byly popsány konkrétní metody měření součinitele tepelné vodivosti měřícím přístrojem POENSGEN[®] a novým měřícím zařízením HFM 436/3/1E Lambda[®].

Součástí čtvrté části práce jsou přiložené protokoly reálných laboratorních měření součinitele tepelné vodivosti tepelně izolační malty 1939/1 ÷ 1939/3 a tepelného izolačního materiálu, založeného na volných, nevázaných celulózových vláknech 0158/1 ÷ 0158/9.

V páté kapitole byla popsána opět konkrétní metoda měření teplotních polí, s využitím principu termovize, pro diagnostiku tepelných ztrát stavebních konstrukcí infračerveným kamerovým systémem ThermaCAM[™] B2, který je běžně používán ve stavebnictví a též novým infračerveným kamerovým systémem ThermaCAM[™] SC2000, který nabízí širší možnosti měření.

Součástí páté části práce jsou přiložené protokoly o termovizním měření č.1 - zóna A garážové dveře + zóna B sokl, protokol č.2. – zóna A oblast parapetního zdiva + zóna B vnitřní kout, protokol č.3 – zóna A rám okna vikýře.

V příloze jsou uvedeny tabulkové údaje o konkrétních hodnotách součinitele tepelné vodivosti vybraných druhů konstrukčních a izolačních materiálů používaných ve stavebnictví, které rozšiřují a upřesňují úvodní přehled konstrukčních a izolačních materiálů.

7 Seznam citované literatury

- [1] FUKA, J. a kol.: Termika a molekulová fyzika, SPN Praha, 1968
- [2] ŘEHÁNEK, J. a kol.: Tepelně technické a energetické vlastnosti budov, Praha, Grada, 2002
- [3] RYŠÁNEK, V. a kol.: Využití termovize v péči o základní prostředky, vydavatelství Ústí nad Labem: Dům techniky ČSVTS, 1983
- [4] ŘEHÁNEK, J. a kol.: Vybrané stati ze stavební tepelné techniky, Praha, Vydavatelství ČVUT, 1976
- [5] MOŠNA, F.: Materiály a technologie III.- Nekovové materiály, SPN, 1988
- [6] MÁLEK, P.: Stavební materiály a konstrukce, JČU v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta, 2002
- [7] EISNER, K. a kol.: Dřevo a plasty, Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1983
- [8] JENČÍK, J.: Tepelně technická měření, Praha, Vydavatelství ČVUT, 1977
- [9] LEPIL, O. a spol.: Fyzika pro gymnázia: Elektřina a magnetismus, Praha Prometheus, 2000
- [10] LIŠKA, M. a kol.: Fyzika II, Praha, Vydavatelství SNTL, 1981

Internetové odkazy

- [11] <http://www.normy.cz/> [cit 2008-05-09]
- [12] <http://cs.wikipedia.org/> [cit 2009-04-02]
- [13] <http://www.bozpinfo.cz/> [cit 2009-04-02]
- [14] <http://fyzweb.cz/> [cit 2009-04-01]
- [15] <http://www.tzus.cz/> [cit 2008-03-02]
- [16] <http://www.stavebnictvi3000.cz/> [cit 2009-02-28]
- [17] <http://www.odbornecasopisy.cz/> [cit 2009-04-02]
- [18] <http://ttp.zcu.cz/cz/vyzkum/> [cit 2008-04-14]
- [19] <http://www.infrakamera.cz/> [cit 2008-02-09]
- [20] <http://www.vscht.cz/ufmt/cs/index.html> [cit 2009-03-23]
- [21] <http://www.enviros.cz/> [cit 2008-02-10]
- [22] <http://www.setrite.cz/> [cit 2008-02-20]
- [23] <http://automatizace.hw.cz/> [cit 2008-05-09]

8 Přílohy – součinitel tepelné vodivosti stavebních a izolačních materiálů

V přílohách jsou uvedeny vybrané konstrukční a izolační materiály používané ve stavebnictví spolu s hodnotami jejich tepelné vodivosti – v závislosti na objemové hmotnosti, vlhkosti a jiných činitelích, které ji ovlivňují. Konstrukční a izolační materiály jsou přehledně rozděleny do dvanácti podkapitol s hlavními názvy materiálů, pod které jsou jednotlivé druhy konstrukčních a izolačních materiálů zařazeny.

8.1 Betony

Tabulka 5 Součinitel tepelné vodivosti λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] obyčejného betonu s přírodním šterkem v závislosti na objemové hmotnosti ρ [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$] a objemové vlhkosti u_v [%] [2]

ρ [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	u_v [%]			
	0	2	5	10
2000	1,00	1,02	1,06	1,12
2100	1,10	1,13	1,16	1,21
2200	1,28	1,30	1,34	-

Tabulka 6 Součinitel tepelné vodivosti λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] obyčejného betonu s drceným šterkem v závislosti na objemové hmotnosti ρ [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$] a objemové vlhkosti u_v [%] [2]

ρ [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	u_v [%]					
	0	2	5	10	15	20
1800	0,72	0,75	0,78	0,83	0,87	0,91
1900	0,83	0,86	0,89	0,94	0,98	1,02
2000	0,94	0,98	1,01	1,06	1,10	-

Tabulka 7 Součinitel tepelné vodivosti λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] obyčejného betonu v závislosti na teplotě t [$^{\circ}\text{C}$] [2]

t [$^{\circ}\text{C}$]	0	10	20	30
λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	1,08	1,22	1,36	1,50

Tabulka 8 Součinitel tepelné vodivosti λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] železobetonu v závislosti na objemové hmotnosti ρ [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$] [2]

ρ [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	2300	2400	2500
λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	1,43	1,57	1,71

Pozn.: Uvedené hodnoty lze uvažovat jako orientační. K přesnějšímu charakterizování je nutná znalost podílu výztuže [2].

Tabulka 9 Součinitel tepelné vodivosti λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] některých betonů s různou vlhkostí (A - suchý beton, B - v příčkách, C - ve vnějších zdech, D - ve vlhkých zdech) ρ - objemová hmotnost [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$] [2]

Druh betonu	ρ [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]			
		A	B	C	D
Beton obyčejný	1800	0,41	0,63	0,73	0,87
Hubený a děravý	1600	0,51	0,79	0,93	1,10
Obyčejný nestřásaný	2000	0,64	0,99	1,16	1,45
Obyčejný střásaný	2200	0,80	1,16	1,40	1,74

Pozn.: Součinitel tepelné vodivosti betonu je závislý na: druhu tepelné vodivosti cementu, spotřebě cementu, spotřebě vody, druhu tepelné vodivosti kameniva, velikosti částic, podmínkách tvrdnutí betonu, stáří betonu aj. [2].

8.2 Cihly a cihlářské výrobky

Tabulka 10 Součinitel tepelné vodivosti λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] cihlářské pálené hmoty v závislosti na objemové hmotnosti v suchém stavu ρ_s [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$] a hmotnostní vlhkosti u_m [%] [2]

ρ_s [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] při u_m [%]					
	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0
800	0,448	0,462	0,477	0,491	0,506	0,535
1000	0,483	0,499	0,514	0,529	0,545	0,577
1200	0,518	0,534	0,551	0,568	0,584	0,618
1400	0,570	0,588	0,606	0,625	0,644	0,680
1600	0,634	0,654	0,675	0,694	0,715	0,757
1800	0,739	0,762	0,785	0,809	0,834	0,873
2000	0,890	0,919	0,947	0,976	1,006	1,063

Pozn.: Průměrný přírůstek součinitele tepelné vodivosti na 1 % hmotnostní vlhkosti lze uvažovat $\Delta\lambda_m = 6,5$ % [2].

Tabulka 11 Součinitel tepelné vodivosti λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] pálených cihel v závislosti na objemové hmotnosti v suchém stavu ρ_s [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$] a objemové vlhkosti u_V [%] [2]

ρ_s [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] při u_V [%]					
	0	2	5	10	15	20
1700	0,552	0,583	0,628	0,709	0,779	0,849
1800	0,616	0,636	0,680	0,750	0,820	0,878
1900	0,675	0,705	0,744	0,809	0,872	0,935
2000	0,791	0,821	0,863	0,919	0,989	-
2100	0,930	0,961	1,000	1,064	-	-

Tabulka 12 Součinitel tepelné vodivosti λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] vápenopískových cihel v závislosti na objemové hmotnosti v suchém stavu ρ_s [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$] a objemové vlhkosti u_V [%] [2]

ρ_s [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] při u_V [%]					
	0	2	5	10	15	20
1700	0,684	0,715	0,737	0,785	0,832	0,884
1800	0,754	0,786	0,811	0,871	0,928	-
1900	0,894	0,878	0,907	0,954	1,000	-
2000	0,942	1,006	1,041	1,134	-	-

8.3 Cementy, malty a omítky

Tabulka 13 Součinitel tepelné vodivosti některých druhů cementů λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] při různých teplotách t [$^{\circ}\text{C}$] [2]

Druh cementu	λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] při t [$^{\circ}\text{C}$]		
	15	40	70
Struskový cement	0,76	0,83	0,99
Rychletuhnoucí cement	0,81	0,91	1,07
Portlandský cement s přísadou sádry do 20 %	1,05	1,13	1,30

Tabulka 14 Součinitel tepelné vodivosti λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] malty studené pískové v závislosti na objemové hmotnosti v suchém stavu ρ_s [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$] a objemové vlhkosti u_v [%] [2]

ρ_s [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] při u_v [%]					
	0	2	5	10	15	20
1300	0,378	0,401	0,442	0,494	0,547	0,599
1400	0,424	0,457	0,494	0,552	0,605	0,657
1500	0,477	0,509	0,550	0,611	0,669	0,758
1600	0,535	0,565	0,605	0,669	0,727	0,785
1700	0,599	0,636	0,680	0,750	0,820	0,890
1800	0,692	0,730	0,779	0,855	0,925	-

Tabulka 15 Součinitel tepelné vodivosti λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] malty teplé (s mletou struskou) v závislosti na objemové hmotnosti v suchém stavu ρ_s [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$] a objemové vlhkosti u_v [%] [2]

ρ_s [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] při u_v [%]					
	0	2	5	10	15	20
700	0,180	0,209	0,238	0,285	0,326	0,366
900	0,244	0,302	0,349	0,393	0,436	0,343
1100	0,267	0,326	0,361	0,413	0,459	0,506

Tabulka 16 Součinitel tepelné vodivosti λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] perlitové omítky v závislosti na objemové hmotnosti v suchém stavu ρ_s [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$] a hmotnostní vlhkosti u_m [%] [2]

ρ_s [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] při u_m [%]						
	0	2	4	6	8	10	12
250	0,081	0,086	0,089	0,093	0,097	0,101	0,106
300	0,083	0,087	0,091	0,095	0,099	0,104	0,108
400	0,096	0,101	0,106	0,111	0,115	0,120	0,125
500	0,137	0,145	0,151	0,158	0,165	0,172	0,179

Tabulka 17 Součinitel tepelné vodivosti λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] různých omítek v závislosti na objemové hmotnosti v suchém stavu ρ_s [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$] a hmotnostní vlhkosti u_m [%] [2]

Druh	ρ_s [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	u_m [%]
Vápenná 1: 2, jemná	1480	0,698	-
Vápenná 1: 3, hrubá	1600	0,791	-
Vápenná, cementem nastavená 1: 4: 12 Venkovní plochy	1800	0,872	-
Vápenná, cementem nastavená 1: 4: 12 Vnitřní plochy	1770	0,698	-
Cementová 1: 3	1800	0,849	8
Cementová 1: 6	1800	0,884	8
Cementová 1: 10	1800	0,930	8
Sádrová 1: 3	1250	0,535	-
Rákosová	600	0,279	-
Mazanina hliněná	1600	0,570	4

Tabulka 18 Přírůstek součinitele tepelné vodivosti $\Delta\lambda_m$ [%] malt a omítek na 1 % hmotnostní vlhkosti a v závislosti na objemové hmotnosti v suchém stavu ρ_s [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$] (orientační hodnoty) [2]

ρ_s [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900
$\Delta\lambda_m$ [%/%]	8,0	6,2	4,8	3,8	3,0	2,5	2,3

8.4 Dřevo a výrobky ze dřeva, organické materiály

Tabulka 19 Součinitel tepelné vodivosti λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] dubového dřeva v závislosti na objemové hmotnosti v suchém stavu ρ_s [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$] a objemové vlhkosti u_v [%]; označení: $\lambda_{||}$ - rovnoběžně s vlákny, λ_{\perp} - kolmo k vláknům [2]

ρ_s [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	$\lambda_{ }$ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] při u_v [%]							
	0	2	5	10	15	20	25	30
600	0,377	0,355	0,378	0,407	0,436	0,465	0,494	0,523
700	0,366	0,381	0,401	0,430	0,457	0,483	0,508	0,534
800	0,395	0,407	0,423	0,449	0,475	0,500	0,526	0,551
ρ_s [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	λ_{\perp} [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] při u_v [%]							
	0	2	5	10	15	20	25	30
600	0,147	0,157	0,171	0,191	0,209	0,227	0,244	0,262
700	0,160	0,170	0,183	0,202	0,221	0,238	0,256	0,271
800	0,174	0,184	0,195	0,214	0,233	0,251	0,270	0,288

Tabulka 20 Součinitel tepelné vodivosti λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] borového dřeva v závislosti na objemové hmotnosti v suchém stavu ρ_s [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$] a objemové vlhkosti u_v [%]; označení: λ_{\parallel} - rovnoběžně s vlákny, λ_{\perp} - kolmo k vláknům [2]

ρ_s [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	λ_{\parallel} [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] při u_v [%]							
	0	2	5	10	15	20	25	30
500	0,326	0,342	0,366	0,407	0,448	0,488	0,529	0,570
ρ_s [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	λ_{\perp} [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] při u_v [%]							
	0	2	5	10	15	20	25	30
500	0,134	0,145	0,155	0,174	0,194	0,214	0,234	0,254

Tabulka 21 Součinitel tepelné vodivosti λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] pro hmoty lisované z dřevitého odpadu (materiály lisované z pilin, řezin, kůry stromů atp. s názvy: Sololit[®], Smrekolit[®], Isoplat[®], Jespil[®], Hoblit[®] aj.) v závislosti na objemové hmotnosti v suchém stavu ρ_s [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$] a hmotnostní vlhkosti u_m [%] [2]

ρ_s [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] při u_m [%]					
	0	5	10	15	20	25
200	0,060	0,064	0,069	0,072	0,076	0,079
400	0,080	0,085	0,091	0,095	0,100	0,106
600	0,101	0,107	0,114	0,120	0,127	0,133
800	0,121	0,129	0,136	0,144	0,151	0,159
1000	0,142	0,151	0,159	0,169	0,178	0,186

Tabulka 22 Součinitel tepelné vodivosti λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] pro hmoty z jednoletých rostlin - desky Likus[®] (desky z nařezaných kukuřičných klasů v dřevěném rámu), Solomit[®] (desky z řepkové slámy), izolační rohože z rákosu atp. v závislosti na objemové hmotnosti v suchém stavu ρ_s [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$] a hmotnostní vlhkosti u_m [%] [2]

ρ_s [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] při u_m [%]					
	0	5	10	15	20	25
250	0,086	0,092	0,097	0,102	0,108	0,113
350	0,113	0,120	0,127	0,134	0,141	0,149

8.5 Kameniva, zrnité a sypké materiály

Tabulka 23 Součinitel tepelné vodivosti λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] vybraných hornin používaných jako kameniva do betonu, pozn.: Hodnoty pocházejí z francouzských údajů. [2]

Kamenivo	λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]
Písek s oblázky	2,1 - 2,2
Písek s oblázky bohaté křemenem	2,9 - 3,1
Vápenec	3,1
Dolomit	3,3
Křemenec	3,8

Tabulka 24 Součinitel tepelné vodivosti λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] písku v závislosti na objemové hmotnosti v suchém stavu ρ_s [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$] a objemové vlhkosti u_v [%] [2]

ρ_s [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] při u_v [%]						
	0	2	5	10	15	20	25
1600	0,558	0,578	0,602	0,645	0,686	0,727	0,768
1700	0,616	0,636	0,663	0,706	0,749	0,791	0,832
1800	0,698	0,719	0,744	0,787	0,730	0,872	-

Tabulka 25 Součinitel tepelné vodivosti λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] strusky vysokopecní v závislosti na objemové hmotnosti v suchém stavu ρ_s [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$] a objemové vlhkosti u_v [%] [2]

ρ_s [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] při u_v [%]						
	0	2	5	10	15	20	25
600	0,134	0,155	0,180	0,215	0,247	0,277	0,306
700	0,151	0,173	0,198	0,233	0,265	0,297	0,327
800	0,174	0,198	0,223	0,262	0,295	0,327	0,356

Tabulka 26 Součinitel tepelné vodivosti λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] agloporitu v závislosti na objemové hmotnosti v suchém stavu ρ_s [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$] a hmotnostní vlhkosti u_m [%] [2]

ρ_s [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] při u_m [%]						
	0	1	2	3	5	8	10
600	0,134	0,140	0,146	0,152	0,165	0,183	0,196
700	0,144	0,149	0,155	0,160	0,171	0,187	0,197
800	0,157	0,162	0,166	0,171	0,181	0,195	0,204

8.6 Horniny a zeminy

Tabulka 27 Součinitel tepelné vodivosti λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] pískovce v závislosti na objemové hmotnosti v suchém stavu ρ_s [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$] a objemové vlhkosti u_V [%] [2]

ρ_s [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] při u_V [%]			
	0	2	5	10
2100	1,070	1,093	1,128	1,189
2200	1,221	1,244	1,279	-

Tabulka 28 Součinitel tepelné vodivosti λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] lomového kamene v závislosti na objemové hmotnosti v suchém stavu ρ_s [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$] a objemové vlhkosti u_V [%] [2]

ρ_s [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] při u_V [%]					
	0	2	5	10	15	20
1800	0,727	0,756	0,791	0,855	0,913	0,971
1900	0,849	0,875	0,905	0,948	0,989	-
2000	0,983	1,007	1,044	1,101	-	-

Tabulka 29 Součinitel tepelné vodivosti λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] čediče v závislosti na objemové hmotnosti v suchém stavu ρ_s [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$] a objemové vlhkosti u_V [%] [2]

ρ_s [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] při u_V [%]					
	0	2	5	10	15	20
1500	0,547	0,570	0,601	0,648	0,683	0,721
1900	0,872	0,898	0,930	0,977	1,021	-
2000	0,994	1,021	1,056	1,114	-	-

Tabulka 30 Součinitel tepelné vodivosti λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] vybraných zemín v závislosti na objemové vlhkosti u_V [%] [2]

Druh	ρ_s [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	u_V [%]
Rostlá půda (hlína)	2000	2,300	28
Hlinitý písek	2000	2,380	25
Jílovitá rostlá půda	2000	0,884	4
Zemina kyprá	1600	0,523	-
Zemina ulehlá, suchá	1800	0,700	0
Zemina ulehlá, vlhká	2000	1,454	16

Tabulka 31 Součinitel tepelné vodivosti λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] vybraných hornin a kamenů v závislosti na objemové vlhkosti u_V [%] [2]

Druh	ρ_s [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	u_V [%]
Břidlice kolmo k vrstvám	2800	1,65	8
Břidlice rovnoběžně s vrstvami	2800	2,77	8
Čedič	2800	2,88	6
	3200	4,23	8
Křemen kolmo k ose	2650	7,44	-
Mramor bílý	2400	2,99	-
Mramor černý, belgický	2850	3,54	6
Opuka bělohorská	2400	1,14	12
Rula	2650	3,86	-
Tuf vápenný, hutný	2000	1,05	-
Tuf vápenný, pórovitý	1400	0,76	-
Žula světlá	2500	3,14	4
Žula tmavá	2750	3,55	4
	3050	4,05	4
Korund	4000	8,43	-
Dolomit	2950	3,55	-
	3150	3,95	-
Švédská železná ruda	4000	2,91	-

8.7 Anorganické vláknité materiály

Tabulka 32 Součinitel tepelné vodivosti λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] Hobrexu[®] (tuhá deska z minerálních vláken s malou přísadou organických pojiv) v závislosti na objemové vlhkosti v suchém stavu ρ_s [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$] a hmotnostní vlhkosti u_m [%] [2]

ρ_s [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] při u_m [%]				
	0	1	5	10	15
400	0,058	0,059	0,061	0,064	0,067
450	0,061	0,063	0,070	0,078	0,086
500	0,064	0,065	-	0,079	0,094
550	0,068	-	0,073	0,082	0,097

Tabulka 33 Součinitel tepelné vodivosti λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] Izominu[®] (tuhé minerální vláknité desky, jednostranně broušené, natřené latexem) v závislosti na objemové vlhkosti v suchém stavu ρ_s [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$] a hmotnostní vlhkosti u_m [%] [2]

ρ_s [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] při u_m [%]				
	0	1	5	10	15
150	0,085	0,086	0,092	0,100	0,109
250	0,068	0,069	0,075	0,083	0,092
350	0,050	0,051	0,052	0,055	0,059
506	0,080	0,087	0,101	0,110	0,117

Tabulka 34 Součinitel tepelné vodivosti λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] Termofixu[®] (výrobek z minerálních vláken a perlitu) v závislosti na objemové vlhkosti v suchém stavu ρ_s [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$] a hmotnostní vlhkosti u_m [%] [2]

ρ_s [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] při u_m [%]			
	0	5	10	15
197	0,044	0,045	0,048	0,057

8.8 Izolace fóliové

Tabulka 35 Součinitel tepelné vodivosti λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] reflexní izolace z Al-fólií v závislosti na střední teplotě t [$^{\circ}\text{C}$] [2]

Způsob použití	Vzdálenost fólií [mm]	λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] při t [$^{\circ}\text{C}$]			
		0	20	40	60
- rovnoběžné umístění fólií	10	0,031	0,033	0,035	0,037
- fólie ve zmačkaném stavu	10	0,041	0,047	0,052	0,057
- rovnoběžné umístění fólií	20	0,035	0,040	-	-
- rovnoběžné umístění fólií s dřevěnou nosnou konstrukcí	20	0,050	0,055	-	-
- fólie ve zmačkaném stavu	20	0,053	-	-	-

Pozn.: Izolační účinek se dosahuje minimalizováním přenosu tepla sáláním (lesklé Al-fólie mají vysokou hodnotu odrazivosti sálavého tepla). Použije-li se většího počtu fólií za sebou, zvětšuje se také izolační účinek tepelným odporem vzduchových vrstev. Nevýhodou této izolace je zhoršení tepelně izolačního účinku v průběhu času (fólie ztrácejí postupně lesk a vlivem vlhkosti se rozpadají) [2].

8.9 Plasty

Tabulka 36 Součinitel tepelné vodivosti λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] pěnového Polystyrenu Roofmate[®] (vytlačovaný pěnový Polystyren) v závislosti na hmotnostní vlhkosti u_m [%] [2]

ρ_s [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] při u_m [%]			
	0	30	60	90
34	0,029	0,030	0,030	0,031

Pozn.: Pěnový Polystyren je použitelný do teploty 70 °C (teplota 70 °C nemá působit déle než 5 h) [2].

Tabulka 37 Součinitel tepelné vodivosti λ ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$) různých plastů [2]

Druh	ρ_s [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	t [°C]	λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]
Plexisklo	1180	20	0,183
Celuloid [®]	1360 - 1410	30	0,209
Ebonit [®]	1210	20	0,157 - 0,174
Novodur	1360 - 1400	20	0,016
Polyethylen [®]	910 - 920	20 - 60	0,255 - 0,337
Polyvinylchlorid [®]	1350 - 1400	20	0,127 - 0,240
Silon [®]	1130 - 1150	60	0,259
Teflon [®]	2100	20	0,139 - 0,251

8.10 Deskové, obkladové a krytinové materiály

Tabulka 38 Součinitel tepelné vodivosti λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] překližky OKAL[®] v závislosti na hmotnostní vlhkosti u_m [%] [2]

ρ_s [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] při u_m [%]						
	0	2	4	6	8	10	12
509	0,088	0,092	0,095	0,098	0,099	0,100	0,100

Tabulka 39 Součinitel tepelné vodivosti λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] sádkartonu v závislosti na hmotnostní vlhkosti u_m [%] [2]

ρ_s [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] při u_m [%]						
	0	4	8	10	12	14	17
748	0,109	0,113	0,130	0,143	0,160	0,180	0,216

Tabulka 40 Součinitel tepelné vodivosti λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] Sololaku[®] v závislosti na hmotnostní vlhkosti u_m [%] [2]

ρ_s [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] při u_m [%]						
	0	2	4	6	8	10	12
955	0,120	0,122	0,126	0,129	0,132	0,135	0,138

Tabulka 41 Součinitel tepelné vodivosti λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] Eternitu[®] v závislosti na hmotnostní vlhkosti u_m [%] [2]

ρ_s [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] při u_m [%]						
	0	1	2	3	4	5	6
1860	0,298	0,310	0,321	0,333	0,345	0,356	0,368

Tabulka 42 Součinitel tepelné vodivosti λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] desek z křemeliny a celulózy v závislosti na objemové vlhkosti v suchém stavu ρ_s [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$] a hmotnostní vlhkosti u_m [%] [2]

ρ_s [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] při u_m [%]						
	0	2	4	6	8	10	12
520	0,066	0,079	0,091	0,100	0,108	0,116	0,123

8.11 Sklo

Tabulka 43 Součinitel tepelné vodivosti λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] amorfních složek skel [2]

Složka	ρ_s [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]
$\text{SiO}_2 \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$	2200	1,361
K_2O	2320	0,230
Na_2O	2270	0,502
PbO	9530	0,193
Sb_2O_3	5200	0,272
As_2O_3	3865	0,234
B_2O_3	1844	0,473
Al_2O_3	3500	0,858
ZnO	5470	0,481
CaO	3346	0,607
BaO	5720	0,301
MgO	3580	0,465

Tabulka 44 Součinitel tepelné vodivosti λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] skel různého chemického složení [2]

Složení [%] m	ρ_s [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]					
	2220	2270	2450	2520	2420	2550
SiO ₂	80,8	79,5	72,7	71,2	67,7	57,9
K ₂ O	-	-	14,5	8,9	1,8	2,3
Na ₂ O	4,2	5,3	4,0	7,6	14,6	9,4
PbO	-	-	-	-	-	-
Sb ₂ O ₃	-	-	0,4	0,8	-	-
As ₂ O ₃	-	-	-	-	1,0	-
B ₂ O ₃	12,8	13,1	7,7	2,9	4,0	1,9
Al ₂ O ₃	2,2	2,1	0,4	0,1	1,8	11,1
ZnO	-	-	0,4	3,0	-	9,7
CaO	-	-	-	5,5	5,4	4,9
BaO	-	-	-	-	3,3	-
F ₂	-	-	-	-	-	2,7
MgO	-	-	-	-	1,3	-
λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	1,126	1,126	1,068	1,005	1,005	1,105
Složení [%] m	ρ_s [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]					
	3190	3180	3550	3560	4290	6100
SiO ₂	54,2	49,8	46,0	40,5	35,6	20,0
K ₂ O	7,1	8,5	9,2	-	4,4	-
Na ₂ O	2,4	2,9	-	-	59,7	80,0
PbO	34,2	5,9	44,8	-	-	-
Sb ₂ O ₃	2,0	0,7	-	0,3	-	-
As ₂ O ₃	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	-
B ₂ O ₃	-	-	-	6,5	-	-
Al ₂ O ₃	-	-	-	6,5	-	-
ZnO	-	7,8	-	7,7	-	-
CaO	-	-	-	-	-	-
BaO	-	24,2	-	42,9	-	-
F ₂	-	-	-	-	-	-
MgO	-	-	-	-	-	-
λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	0,829	0,748	0,749	0,779	0,670	0,536

8.12 Kovy

Tabulka 45 Součinitel tepelné vodivosti λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] vybraných druhů železných kovů [6]

Kov	Čisté železo	Ocel s max. obsahem uhlíku	Vysokolegované oceli
λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	75	50	15

Tabulka 46 Součinitel tepelné vodivosti λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] vybraných druhů neželezných kovů [2, 6]

Kov	Měď	Mosaz (37 % Zn)	Bronz (8 % Sn)	Olovo	Hliník
λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	390	116	53	35	209