

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra elektrotechniky a automatizace



Stavební materiály a jejich tepelně izolační vlastnosti

Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Gunnar Künzel

Vypracoval: Dvořák Jan

© 2011 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra elektrotechniky a automatizace

Technická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Dvořák Jan

Technologická zařízení staveb

Název práce

Stavební materiály a jejich tepelně izolační vlastnosti

Anglický název

Bulding materials and termal insulation properties

Cíle práce

Prostudujte mechanismus tepelné vodivosti pevných látek a na základě rešerše proveďte rozdělení stavebních materiálů. Zhodnoťte jejich vlastnosti s ohledem na využití těchto materiálů

Metodika

Prostudujte literaturu z oblasti stavebních izolačních materiálů
Proveďte klasifikaci a sestavte přehled dostupných stavebních materiálů
Seznamte se s definicemi jednotlivých tepelných veličin, důležitých pro stanovení tepelně izolačních vlastností stavebních materiálů
Zpracujte a analyzujte přehled metod pro měření tepelně izolačních vlastností stavebních materiálů.
Zhodnoťte vlastnosti a parametry používaných materiálů na základě poznatků z literatury a z provedených experimentů

Osnova práce

Stavební materiály-rozdělení

Tepelně izolační vlastnosti materiálů

Metody měření tepelných vlastností vybraných vzorků materiálů

Zhodnocení a závěr

Rozsah textové části

40-50 str. včetně příloh

Klíčová slova

materiál, teplota, tepelný tok, měrná tepelná vodivost, izolace, měření tepelných vlastností

Doporučené zdroje informací

Bažantová, Z. a kol.: Nauka o materiálech 10, ČVUT Praha, 2000

Schauer P.: Termika a záření, VUT Brno, 1997

Mrlík, F.: Stavební fyzika 2-stavebně tepelná technika, VUTIIUM, Brno, 2000

Časopisy Stavební obzor, Plasty a kaučuk, katalogy izolačních materiálů a příslušné normy z oblasti tepelné techniky

Vedoucí práce

Künzel Gunnar, Ing.

Termín zadání

listopad 2010

Termín odevzdání

duben 2012



prof. Ing. Jaromír Volf, DrSc.
Vedoucí katedry



prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.
Děkan fakulty

V Praze dne 19.4.2011

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Stavební materiály a jejich tepelně izolační vlastnosti“ vypracoval samostatně a použil jsem jen pramenů, které cituji a uvádím v příložené bibliografii.

V Praze dne

Podpis:

Chtěl bych poděkovat vedoucímu mé práce Ing. G. Kůnzelovi za vedení bakalářské práce a dalším lidem, kteří mi poskytli pomoc při psaní práce a měření na vzorcích materiálů, byli to Ing. M. Linda a doc. Ing. P. Neuberger, PhD. V neposlední řadě bych chtěl vyslovit obrovský díky mým rodičům za to, že mě neustále podporovali ve studiu a že mi poskytovali zázemí.

Abstrakt: Práce se zabývá rozdělením stavebních materiálů a pojednává též o obálce budov z hlediska norem. Definuje základní tepelné vlastnosti materiálů, základní vztahy, veličiny a parametry pro hodnocení izolačních materiálů. Uvádí možnosti měření měrné tepelné vodivosti pomocí přístroje TC_METER a výsledky měření s přístrojem ISOMET dostupným na katedře mechaniky a strojnictví.

Klíčová slova: Stavební materiály, teplotní veličiny, požadavky, izolace, měření

Bulding materials and termal insulation properties

Summary: The focus of the work lies in division of building materials and deals with envelope of buildings in terms of norms. It defines the basic thermal properties of materials, elementary relations, variables and parameters for evaluation of insulation materials. It states the possibilities of measuring the thermal conductivity using the TC_METER device and measurement results using ISOMET apparatus, available at the Department of Mechanics and Engineering.

Keywords: Bulding materials, temperature values, requirements, insulation, measurement

Obsah

Úvod	10
1. Stavební materiály – rozdělení	11
1.1. Obálka budov.....	11
1.2. Stavební materiály – rozdělení.....	15
1.2.1. Horniny a výrobky z kamene	17
1.2.2. Beton a výrobky z betonu.....	18
1.2.3. Keramika a keramické výrobky.....	20
1.2.4. Kovy	20
1.2.5. Dřevo a výrobky na bázi dřeva	21
1.2.6. Sklo	22
1.2.7. Živice.....	23
1.2.8. Polymery.....	24
1.2.9. Malty	24
1.2.10. Izolační materiály	25
2.2.10.2. Polyuretan PUR.....	27
2.2.10.3. Minerální vlna.....	27
2.2.10.4. Pěnové sklo.....	27
2.2.10.5. Celulóza	27
2.2.10.6. Konopí.....	28
2.2.10.7. Sláma	28
2. Tepelné vlastnosti materiálů	29
2.1. Sdílení tepla	29
2.2. Tepelné veličiny a pojmy	32
2.3. Závislost tepelných veličin na některých faktorech	35
2.3.1. Vliv chemického složení	35
2.3.2. Vliv pórovitosti	35
2.3.3. Vliv vlhkosti.....	35
2.3.4. Vliv teploty.....	37
3. Metody měření tepelných vlastností	38
3.1. Měření s TC_METREM	38
3.1.1. Postup měření s přístrojem TC_METER.....	38
3.2. Měření s přístrojem ISOMET	43
3.3. Měření pomocí zařízení HFM 436/3/1E Lambda	45

3.4.	Měření pomocí termovize	46
3.5.	Měření přístrojem Shotherm	47
4.	Závěr	48

Úvod

Již v pravěku se lidé chránili proti změnám klimatu, aby neumrzli. Začali stavět přístřešky, které je chránili před deštěm, větrem ale i sluncem. Byly to přístřešky, které byly dočasné životnosti (museli kočovat za stravou). Později se lidé začali zajímat i o své pohodlí a chtěli se mít po všech stránkách dobře. Cítit se dobře je subjektivní pojem, někdo potřebuje více a někdo méně, aby se tak cítil. Lidé se chrání před mrazem, deštěm, větrem ale i sluncem dodnes a nebude tomu nikdy jinak, protože léto a zima se bude měnit každý rok. To neznamena, že každá stavba bude ze stejných materiálů. Je jasné, že stavby v polárních oblastech se budou lišit od staveb v zemích kolem rovníku. Hlavní rozdíl bude v požadavcích na obálku budov.

V první části první kapitoly si řekneme, něco o obálce budov, jaké jsou požadavky po tepelně izolační stránce. Stavební zákon upravuje pravidla pro výstavbu budov a jednotlivé části budov. Ve druhé části rozdělíme stavební materiály do různých skupin a vysvětlíme si, z čeho se skládají a na co jsou vhodné. Druhá kapitola je věnována základním tepelným vlastnostem materiálů a druhům šíření tepelné energie. Definuji zde základní vztahy a veličiny. Třetí kapitola představuje možnosti měření měrné tepelné vodivosti pomocí různých metod a přístrojů.

1. Stavební materiály – rozdělení

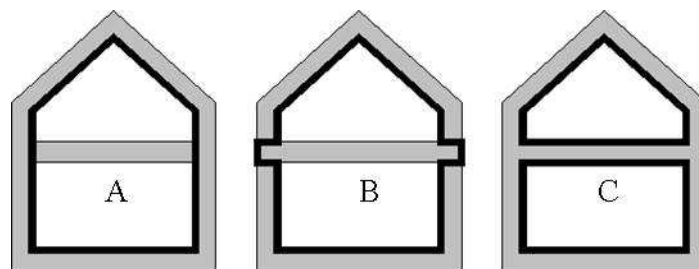
Nejprve si definujeme pojem obálka budov, která úzce souvisí s tepelnými vlastnostmi stavebních materiálů. Později materiály rozdělíme do skupin a některé si více přiblížíme.

1.1. Obálka budov

Obálkou budov se rozumí ta stavební konstrukce, která odděluje vnitřní prostory od vnějších prostor. Stavební konstrukce, které tvoří obálku budov (ale nemusí):

- základy: min. hloubka základové spáry musí být v nezámrzné hloubce,
- obvodový plášť: tvoří zpravidla největší plochu, přes kterou prochází teplo,
- výplně otvorů: např. okna, dveře, světlíky, apod.,
- podlaha: je případně nejnižšího podlaží, přímo ve styku se zemí,
- stropy: mohou oddělovat jak vytápěné prostory tak u nevytápěné prostory,
- střecha: může a nemusí být zateplená, záleží na tom, zda je podkroví vytápěné, nebo není.

Různá řešení obálky budov jsou znázorněna na obr. 1. Proč je netěsnost napojení stavebních konstrukcí takový problém? Protože netěsnostmi logicky odchází z budov teplo nejsnáze, protože nemá v cestě žádnou překážku. U kvalitně izolovaných objektů není potřeba vysokých vnitřních teplot vzduchu. O to větší problém způsobují nadměru ochlazovaná místa, kterými tepelné mosty a vazby bezpochyby jsou. Hrozí zde nebezpečí kondenzace vodních par a následných poškození. Problematická jsou zejména místa napojení konstrukcí – např. stropní konstrukce. Do těchto míst se v případě nespojitosti izolační obálky soustřeďuje tepelný tok. [1]



Obr. 1 Různá řešení průběhu vzduchotěsné vrstvy v detailu obvodová stěna /vnitřní strop: A – utěsnění prostupu trámů, B – „obalení“ trámů, C – samostatně utěsněné prostory. V každém případě se musí jednat o spojitou vrstvu, která obaluje celý dům bez přerušení [2]

U již postavených staveb existuje několik možností jak dodatečně zlepšit jejich tepelně izolační vlastnosti. Například výměnou oken, protože jsou nejtenčí částí obálky budovy a nemusí dostatečně těsnit, takže umí dobře odvádět teplo. Vývoj požadavků na součinitel prostupu tepla pro okna v průběhu 20 let je vidět v tab. 1.

	rok 1992	rok 2002	rok 2005	požadavek pro pasivní domy
požadované hodnoty U_w [W/m ² .K]	2,9	1,8	1,7	0,8

Tab. 1 Uváděné hodnoty jsou pro nová okna z normy ČSN 730540-2 – Tepelná ochrana budov – č. 2: Požadavky [3]

U nových staveb je nutnost splňovat požadavky na tepelné vlastnosti obálky budov, dána stavebním zákonem, který nařizuje vypočítat hodnoty, popisující energetickou náročnost budov. Ve stavebním zákoně jsou tyto vyhlášky:

Vyhláška č. 499/2006 Sb. o dokumentaci staveb součástí projektové dokumentace, podle ní musí být v části technické zprávy - oddíl 3. 1. 1. h) stanovení a přehled roční potřeby tepla pro vytápění, vzduchotechniku a přípravu teplé vody, celková roční potřeba tepla v MWh/rok, ev. GJ/rok [4].

Vyhláška č. 148/2007 Sb. hodnocení energetické náročnosti budov. Ta vychází ze směrnice Evropského parlamentu a Rady 2002/91/ES o energetické náročnosti budov, ve které je definován certifikát energetické náročnosti. [4]

Třída energetické náročnosti budovy se stanovuje výpočtem, který je uveden níže, výsledná hodnota se porovná s tab. 2, která definuje rozsahy hospodárnosti budov v rozmezí A-G. Pro hodnoty A-C, budova vyhovuje energetickým požadavkům a není potřeba zavádět nějaká opatření, v případě hodnot D-G se jedná o nechtěnou spotřebu. Hodnoty C se dají považovat za mezní a přes ně by se neměla žádná nová budova dostat. Slovní vyjádření energetické náročnosti budovy:

A - mimořádně úsporná, B - úsporná, C - vyhovující, D - nevyhovující, E - nevhodná, F - velmi nevhodná, G - mimořádně nevhodná.[5]

Výpočet pro průkaz energetické náročnosti budovy:

$$EPA = 277,8 \cdot \frac{EP}{Ac} \quad (1)$$

kde EPA je měrná spotřeba energie [kWh/m².rok],

EP celková roční dodaná energie [GJ/rok]

Ac celková podlahová plocha [m²]

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

Tab. 2 Hodnoty měrné spotřeby energie [5]

Vyhláška č. 268/2009 Sb. o technických požadavcích na stavby, úzce souvisí s předchozím, v §16 jsou stanoveny obecné postupy návrhu budov s ohledem na úsporu energie a tepelný ochrany. [4]

„(1) Budovy musí být navrženy a provedeny tak, aby spotřeba energie na jejich vytápění, větrání, umělé osvětlení, popřípadě na klimatizaci byla co nejnižší. Energetickou náročnost ovlivňovat tvarem budovy, jejím dispozičním řešením, orientací a velikostí výplní otvorů, použitými materiály a výrobky a systémy technického zařízení budov. Při návrhu stavby se musí respektovat klimatické podmínky lokality.

(2) Budovy s požadovaným stavem vnitřního prostředí musí být navrženy tak, aby byly dlouhodobě po dobu jejich užívání zaručeny požadavky na jejich tepelnou ochranu splňující

- a) tepelnou pohodu uživatelů,*
- b) požadované tepelně technické vlastnosti konstrukcí a budov,*
- c) teplotně vlhkostní podmínky technologií podle různých účelů budov,*
- d) nízkou energetickou náročnost budov.*

(3) Požadavky na tepelně technické vlastnosti konstrukcí a budov jsou dány normovanými hodnotami.“

Norma ČSN 73 0540 Tepelná ochrana budov má 4 části.

V této normě je nejdůležitější část 2. s označením ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov - Požadavky, v ní jsou uvedeny tři různé hodnoty, které mají mít jednotlivé stavební konstrukce u jednotlivých druhů staveb mít, blíže tab. 3.

V současné době je revidovaná ČSN 73 0540:11 – část 2 uvádí pro konstrukce obálky budovy u pasivních domů následující doporučené hodnoty součinitelů prostupu tepla: [6]

stěny vnější $U_{pas,20} = 0,18-0,12 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

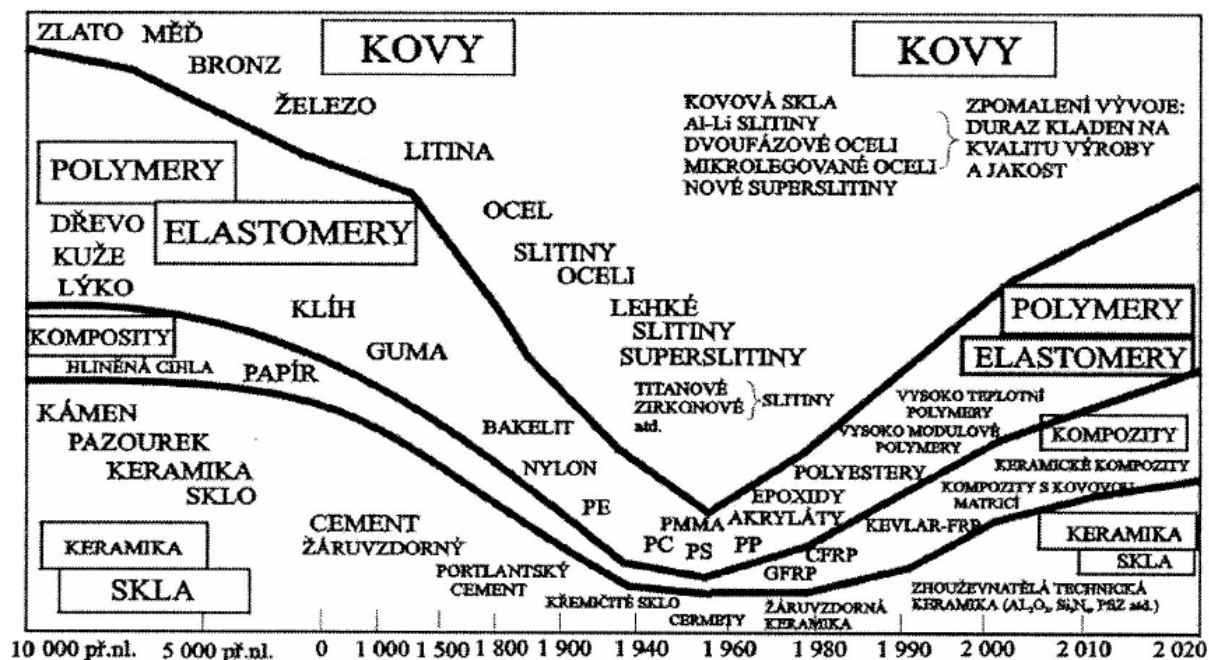
střecha plochá a šikmá se sklonem do 45° $U_{pas,20} = 0,15-0,10 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

Budova - běžná s převažující návrhovou vnitřní teplotou $\theta_{im} = 18^\circ\text{C}$ až 22°C	Normové hodnoty součinitele prostupu tepla U_N [W/(m ² .K)]		
	Požadované $U_{N,20}$ [W/(m ² .K)]	Doporučené $U_{N,20}$ [W/(m ² .K)]	Doporučené hodnoty pro pasivní budovy $U_{N,20}$ [W/(m ² .K)]
Typ konstrukce			
Střecha plochá a šikmá do 45° v čtne Strop nad venkovním prostorem, s podlahou	0,24	0,16	0,15 – 0,10
Strop pod nevytápěnou půdou (se střechou bez tepelné izolace)	0,30	0,20	0,15 – 0,10
Vnější stěna lehká (těžká) - vnější vrstvy od vytáp. Střecha strmá se sklonem 45° lehká (těžká) Stěna k nevytápěné půdě	0,30	0,20 (0,25)	0,18 – 0,12
Podlaha a stěna vytápěného prostoru k zemině (bez vlivu zeminy)	0,45	0,30	0,22 – 0,15
Strop a stěna vnitřní z vytápěného prostoru k nevytápěnému prostoru	0,60	0,40	0,30 – 0,20
Strop a stěna vnitřní z vytápěného prostoru k temperovanému prostoru Strop a stěna vnější z temperovaného prostoru k vnějšímu prostoru	0,75	0,50	0,38 – 0,25
Podlaha a stěna temperovaného prostoru přilehlá k zemině	0,85	0,55	0,45 – 0,30
Stěna mezi sousedními budovami Strop mezi prostory s rozdílem teplot do 10°C v č.	1,05	0,70	0,50
Stěna mezi prostory s rozdílem teplot do 10°C v č.	1,30	45	-
Strop mezi prostory s rozdílem teplot do 5°C v č.	2,2	1,50	-
Stěna mezi prostory s rozdílem teplot do 10°C v č.	2,7	1,80	-
Výplň otvoru ve vnější stěně a strmé střeše, z vytápěného prostoru do venkovního prostředí, kromě dveří	1,50	1,20	0,80 – 0,60
Šikmá výplň otvoru se sklonem do 45°, z vytápěného prostoru do venkovního prostředí	1,40	1,10	0,90
Dveřní výplň otvoru z vytápěného prostoru do venkovního prostředí (včetně rámu)	1,7	1,2	0,90
Výplň otvoru vedoucí z vytápěného do temperovaného prostoru Výplň otvoru vedoucí z temperovaného prostoru do venkovního prostředí	3,5	2,3	1,70
Šikmá výplň otvoru se sklonem do 45° vedoucí z temperovaného prostoru do venkovního prostředí	2,6	1,70	1,40
Kovový rám výplně otvoru	-	1,8	1,0
Nekovový rám výplně otvoru	-	1,3	0,9 – 0,7
Rám lehkého obvodového pláště	-	1,8	1,2
Lehký obvodový plášť, hodnocený jako smontovaná sestava včetně nosných prvků, s poměrnou plochou průsvitné výplně otvoru $f_w = A_w / A$ Jejich rámy s $U_f \leq U_w$	$f_w \leq 0,05$	$0,3 + 1,4.f_w$	$0,2 + f_w$ $0,15 + 0,85.f_w$
	$f_w > 0,05$	$0,7 + 0,6.f_w$	

Tab. 3 Požadované a doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla $U_{N,20}$ pro budovy s převažující návrhovou vnitřní teplotou $\theta_{im} = 20^\circ\text{C}$ [7]

1.2. Stavební materiály – rozdělení

Jako každá lidská činnost i stavebnictví prochází určitým vývojem, který je částečně znázorněn na obr. 3. Každý materiál má jiné vlastnosti, které jsou vhodné pro různé typy konstrukcí, které u staveb máme, viz Úvod. Některé typy konstrukcí musí mít i vyžadující tepelné vlastnosti, které jsou definovány v tab. 3. z normy ČSN EN 73 0540-3. Znalost dílčích vlastností jednotlivých materiálů je zásadní při návrhu stavebních konstrukcí, kromě statické funkce je důležité zohlednit nároky na vnitřní pohodu uživatelů. Musí se vycházet z energetických, finančních a ekologických požadavků na jednotlivé stavební konstrukce. [8] Druhé zásadní znalosti třeba mít v průběhu výstavby (zde je důležité dodržovat technologické postupy, návaznosti materiálů,...) jinak může dojít ke statickému narušení stavby, tvorbě plísní, nebo ztrátám tepla skrz obálku.



Obr. 2 Vývoj materiálů na časové ose [9]

Od stavebních prvků požadujeme, aby vydržely tlaky po zakomponování do konstrukce, aby se nezbořila celá budova; odolná vůči větru, dešti, hluku, vibracím, tepelným extrémům, atd. Po stavbách jako celku se vyžaduje, aby po celou dobu její životnosti (našeho užívání) dobře sloužila, aby to byl „naš domov“. Stavební materiály můžeme rozdělit do několika kategorií. Některé materiály určené pro různá odvětví stavebnictví musí mít specifické vlastnosti. [10]

Přehled stavebních materiálů rozdělených do jednotlivých kategorií [10] [11].

A. Rozdělení podle původu:

- přírodní
- umělé

B. Vybrané stavební hmoty a výrobky nejčastěji užívané na stavbách:

- Horniny a výrobky z kamene
- Beton a výrobky z betonu
- Keramika výrobky z keramiky
- Kovy
- Dřevo
- Sklo
- Živice
- Polymery
- Anorganická pojiva
- Malty
- Ostatní materiály

C. Základní vlastnosti stavebních materiálů:

- fyzikální
- mechanické
- chemické
- tepelné
- tepelně-technické a požární
- akustické
- ostatní vybrané vlastnosti

D. Rozdělení stavebních materiálů podle použití ve stavbě

- konstrukční materiály pro nosnou konstrukci staveb
- výplňové materiály – tvoří výplně nosných svislých konstrukcí
- izolační materiály – tvoří ochranu stavby
- dekorační materiály
- ostatní materiály

E. Trvanlivost, odolnost a životnost stavebních materiálů

1.2.1. Horniny a výrobky z kamene

Horniny jsou tvořeny minerály (nerosty). Každá hornina má jiné minerální složení, nebo jiný poměr vyskytlých minerálů. Podle vzniku rozeznáváme horniny na vyvřelé (magmatické), usazené (sedimentované) a přeměněné (metamorfované).

Vyvřelé horniny vznikají postupným tuhnutím magmatu pod zemskou kůrou. Nejčastější rozdělení vyvřelých hornin je podle místa kde probíhá tuhnutí na hlubinné, žilné a výlevné. Nejznámější hlubinou vyvřelinou je určitě žula, další syenit, diorit, gabro. Žilné horniny tuhnou v tzv. žíлах a patří sem žulový a syenitový porfyr, žilný křemen, apalit. Mezi výlevné horniny lze zařadit křemenný porfyr, liparit, trachyt, znělec, čedič. Všechny vyvřelé horniny jsou vhodné jako stavební kámen, štěrk, obrubníky, nebo obkladový kámen.

Usazené horniny vznikly přeměnou částí ostatních hornin o různé velikosti zrn, které po sedimentaci byly vystaveny dalšímu působení okolních faktorů (např. stlačováním, krystalizací,...). Mohou být spojené nějakým tmelem, nebo ve formě různě velkých frakcí. Nepoužívanější sedimenty jsou písek a pískovec (používá se na historické budovy a sochy), droba (štěrk a dlažební kostky), jílovité břidlice (pokrývačské práce), vápenec (výroba vápna).

Metamorfované horniny jsou výsledkem působení metamorfních procesů, to je působení tlaku nebo teploty. Příklady těchto hornin jsou břidlice, rohovec, granulit (všechny využít jako štěrk) jediný mramor se využívá v kamenictví a sochařství, nebo jako obklady. [12]

Rozdělení stavebního kamene: [13]

pro zdivo a stavební účely - lomový kámen, kopáky, haklíky, kvádry;

dlažební kámen a silniční prvky – dlažební kostky, dlažební a obkladové desky, obrubníky

Podle velikosti částic:

- drobné kamenivo (písek) – nejčastěji jsou používány frakce rozmezí velikosti částic v mm
- hrubé kamenivo
- štěrkopísek nebo štěrkodrt', jejich použití do betonu není v zásadě možné) široké frakce

Podle druhu:

- těžené
- těžené předrcené
- drcené

Podle původu:

- umělé (nejčastěji lehčené a pórovité kamenivo, např. Liapor, dřívě keramzit)
- přírodní

1.2.2. Beton a výrobky z betonu

Beton je homogenní směs z několika složek. Hlavní složky jsou cement, kamenivo, voda (tzv. záměsová a ošetřovací voda), vedlejší mohou být příměsi a přísady. Definice betonu dle ČSN EN 206-1 zní: „*Beton je materiál ze směsi cementu, hrubého a drobného kameniva a vody, s přísadami nebo příměsemi nebo bez nich, který získá své vlastnosti hydratací cementu.*“ [14] Beton musí splňovat vlastnosti uvedené v normě. V několika poledních letech se v oblasti betonového průmyslu provedla řada výzkumů, které sebou přinesly různé modifikace [15]

Cement je hydraulická maltovina, která je schopná tvrdnutí pod vodou, tvoří tzv. pojivo. Cement se vyrábí pálením vápence a jílu. Druhy cementu jsou: CEM I - Portlandský cement, CEM II - Portlandský cement směsný, CEM III - Vysokopecní cement, CEM IV - Pucolánový cement, CEM V - Směsný cement. [16]

Kamenivo je výplňový materiál, tvoří tzv. plnivo. Nejčastěji se používá písek, ale existují i jiná kameniva o jiné velikosti, druhu a původu.

Voda záměsová by měla být v poměru s cementem v rozmezí 0,35-0,8, tato hodnota se nazývá vodní součinitel.

Příměsi a přísady do betonu

Firma Zapa a. s. ve své publikaci Příručka nejen o betonu definuje příměsi a přísady takto: „*Příměsi, které zlepšují některé vlastnosti betonu. Jedná se zejména o mletou strusku, vápenec, kamenné moučky a popílek. Přísady na bázi lignosulfonanu, na bázi polykarboxylátů a nebo tzv. „hyperplastifikátorů“, tyto přísady snižují obsah záměsové vody a tím i potřebu cementu. Pomocí přísad získáme zcela nové vlastnosti (např. provzdušněné nebo samozhutnitelné betony). Další materiály, které mohou být v případě požadavku používány při výrobě betonu, jsou zejména polypropylénová vlákna a ocelové drátky. Vlákna se používají u jemnozrnných potěrů a vodotěsných betonů a drátky u drátkobetonů.*“

Rozdělení betonu podle tříd pevnosti dle ČSN 73 2400: [11]

B5; B7,5; B10; B12,5; B15; B20; B25; B30; B35; B40; B50; B55 a B60

(číslo za písmenem B udává krychelnou pevnost v tlaku v MPa)

podle objemové hmotnosti: [17]

- | | | |
|------------------|-----------------------|---|
| - lehký beton | má objemovou hmotnost | nižší než 2000 kg/m ³ , |
| - obyčejný beton | | v rozmezí 2000 - 2800 kg/m ³ , |
| - těžký beton | | vyšší než 2800 kg/m ³ . |

podle funkce v konstrukci: [14]

- nenosný a nosný, který se pak dělí na konstrukční, silniční, hydrotechnický.

podle zavádění do konstrukce:

- monolitické (tvoří jeden díl, provedený přímo na staveništi), nebo prefabrikované (tvoří jednotlivé díly, které se montují společně až na staveništi).

druhy betonu:

- prostý beton
- železobeton – předpjatý beton
 - betony s rozptýlenou výztuží
- vysokohodnotné a speciální betony – samozhutnitelné
 - vysokopevnostní
 - vodotěsné
- lehký beton ($\rho < 2000 \text{ kg/m}^3$)

Železobeton

Železobeton je používán kvůli dobré soudržnosti oceli s betonem, oba materiály mají stejnou tepelnou roztažnost ($\alpha = 12 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$), to znamená, že se dobře vzájemně rozpínají a smršťují. Výztuž v železobetonu může být z prutů, sítí, drátků, nebo pramenců (předpínání). Když bude v betonu výztuž rozptýlená je to tzv. drátkobeton. Koróze výztuže je nechtěný jev u železobetonu. Nastává, když je beton čerstvý, protože je silně alkalický ($\text{pH} > 12$) (vzniká velké množství Ca(OH)_2). V alkalickém prostředí totiž výztuž koroduje (při $\text{pH} < 9,5$) a ztrácí své vlastnosti.

Samozhutnitelný beton (SCC)

Vysoce tekutý beton, který obsahuje kromě cementu, drobných složek kameniva a jemnozrnné příměsi ještě superplastifikátor (na bázi polykarboxylátů - PCL).

Při výstavbě není třeba vibrovat (menší hluk a pracnost) a je vhodný pro složité konstrukce s hustou výztuží. Výsledkem je hladký povrch.

Vysokopevnostní beton (HSC)

Jak název říká má vysokou pevnost v tlaku (60- 90 MPa (HSC) a 100-180 MPa UltraHSC). Obsahuje vysoký počet velmi jemných částic a superplastifikační přísady.

Vodotěsný beton (vodostavební)

Tento druh betonu se používá pro konstrukce, které jsou dlouhodobě jednostranně vystaveny vodnímu tlaku. Je odolný vůči agresivnímu prostředí, mrazu a vůči proudění vody

Lehké betony

Tyto betony mají vysokou tepelněizolační vlastnost jsou vhodnou volbou pro obvodový plášť budov. Rozdělujeme na tři typy:

- mezerovité (vynechání drobných frakcí a snížení obsahu cementového tmelu)
- nepřímo lehčené (pórovité kamenivo: přírodní (pemza, tufy); umělé z přírodních materiálů (jíly, břidlice, perlit); umělé z průmyslových odpadů (škvára, struska, popílek)
- přímo lehčené (pěnobeton – předem připravená pěna; pórobeton – chemická reakce přímo ve směsi tzv. autoklávovaný pórobeton)

Existuje i průsvitný beton, pod obchodním názvem Litracon, - průsvitnost zajištěna vložením 4 % optických vláken

Beton se tedy používá na základy, podklady pod podlahy, samotné podlahy, stěnové tvárnice, stropní prvky, střešní krytiny, dlažby, sloupy, skruže, roury, schodiště a lze z něj postavit celou hrubou stavbu.

1.2.3. Keramika a keramické výrobky

Keramika je soudržná látka, převážně z anorganických nekovových surovin a s určitým podílem skelné fáze, která je získána vypálením v žáru. Obecně řečeno se jedná o průmyslové výrobky zhotovené pálením vhodných surovin. Technologie výroby je dvojího typu. Typ keramický (častěji používaný), nebo typ hutnický (roztavené suroviny jsou odlévány do forem).

Keramickým postupem jsou vyráběné nejen zdící prvky, ale také stropní prvky, střešní tašky, dlaždice a obkladačky, kanalizační prvky a sanitární keramika. Nejznámější výrobek z keramiky pro obvodové konstrukce je cihla, což je všeobecný název pro zdící prvek keramického typu (někdy se říká těmto prvkům tvárnice). Cihly mohou být plné, děrované, lícovky, příčkovky nebo komínovky.

Stropní prvky jsou většinou dvojí. Nejprve nosnou část tvoří nosníky, které jsou v určitých osových vzdálenostech. Mezi ně se vkládají desky HURDIS, nebo vložky SIMPLEX, nebo MIAKO. Existují stropní tvarovky (ARMO a U tvarovky), ale ty se používají k výrobě střešních panelů. Střešní tašky můžeme rozdělit na tažené a ražené. Tažené tašky se vyrábí s bočním drážkováním, nebo i bez něho. Ražené tašky se vyrábí s jednou nebo více čelními a bočními drážkami, nebo jsou kónické. Taška obyčejná se nazývá bobrovka.

1.2.4. Kovy

Kovy rozdělujeme na železné a neželezné.

Železné kovy jsou slitiny železa nejenom s uhlíkem, ale i dalšími prvky jako je mangan, křemík, titan aj. popř. další nečistoty – kyslík, dusík, vodík. Surové železo se vyrábí ve vysokých pecích ze železné rudy, hutnického koksu a vápence za přívodu vzduchu, který je

do pece dmýchán. Na vlastnosti technických slitin železa má významný vliv uhlík. Podle jeho obsahu lze slitiny železa rozdělit: [18]

slitiny s velmi nízkým obsahem uhlíku;

oceli s obsahem uhlíku asi do 2 %;

litiny s obsahem uhlíku nad 2 %.

Oceli můžeme rozdělit na legované a nelegované. Legované ocel znamená, že obsahují určité množství příměsí, kromě železa a uhlíku. Nelegovaná ocel taky obsahuje jiné prvky, ale ve velmi malém množství.

Podle použití je lze rozdělit oceli:

ocel na stavební konstrukce (uhlíková ocel - obsah uhlíku od 0,06 až 2%), pro výztuž v betonu, pro předpínací výztuž do betonu, na kolejnice a na klempířské výrobky.

Neželezné kovy

Hliník po oceli patří k nejpoužívanějším kovovým konstrukčním materiálům. Je lehký a má dobré pevnostní vlastnosti. Používá se jako střešní krytina, sloupová konstrukce u přiček.

Zinek se používá hlavně na pokovování ocelových plechů.

Měď je součástí dvou slitin, mosazi (Cu+Zn) nebo bronzu (Cu+Sn). Hlavní využití mědi je na střešní krytinu. [11]

1.2.5. Dřevo a výrobky na bázi dřeva

Dřevo je přírodní materiál, je to substance obsahující ligninu a celulózy mezi dřením a kůrou stromu, nebo keře. Dřevo je jedním z nejstarších užívaných materiálů ve stavebnictví. Odvětví, ve kterých je zpracováno dřevo: dřevozpracující průmysl a papírenský a polygrafický průmysl [19]

Rozdělení dřevin na listnaté měkké, listnaté tvrdé a jehličnaté na tab. 4.

Zpracovává se na pilách, kde hlavním výrobkem je řezivo. Řezivo je pilařský výrobek stanovených druhů, rozměrů a jakostí se dvěma rovnoběžnými rovinami ploch.

Podle tvaru a rozměrů příčného průřezu, se řezivo dělí: [19]

-deskové (prkna, fošny)

-hraněné (lišty, latě, hranolky, hranoly)

-polohraněné (polštáře a trámy)

Při výrobě řeziv se využívá i materiál okrajový a odpadní. Vznikají tím materiály na bázi dřeva. Existují typy jako spárovka, bideska, truhlářské překližky, stavební překližky, tvarové, obalové překližky, Waferboard , OSB desky (4 druhy), multifunkční panel - dřevotřísková deska (6 druhů), dřevovláknitých desek (některé typy desek: desky z třískových

štěpek a cementu, desky z třísek a cementu, desky z vláken a cementu), lepeného lamelového dřeva, kompozitní dřevěné nosníky, dvouvrstvé a třívrstvé konstrukční dřevo (Duo – Trio hranoly). [19]

dřeviny	české názvy	latinské názvy	zkratka
jehličnaté	smrk	<i>Picea abies</i>	SM
	jedle	<i>Abies alba</i>	JD
	douglaska	<i>Pseudotsuga douglasii</i>	DG
	borovice	<i>Pinus silvestris</i>	BO
	vejmutovka	<i>Pinus strobus</i>	VJ
	modřín	<i>Larix decidua</i>	MD
	ostatní jehličnaté	--	JX
listnaté tvrdé	dub	<i>Quercus robur; Q. petraea</i>	DB
	dub cer	<i>Quercus cerris</i>	CER
	buk	<i>Fagus sylvatica</i>	BK
	habr	<i>Carpinus betulus</i>	HB
	javor	<i>Acer pseudoplatanus</i>	JV
	jasan	<i>Fraxinus excelsior</i>	JS
	jilm	<i>Ulmus glabra; U. minor; U. laevis</i>	JL
	trnovník akát	<i>Robinia pseudacacia</i>	AK
	bříza bělokorá	<i>Betula pendula</i>	BR
	jeřáb	<i>Sorbus ssp.</i>	JR
	ořešák	<i>Juglans regia; J. nigra</i>	OR
	třešeň	<i>Cerasus (Prunus) avium</i>	TR
	jabloň	<i>Malus sylvestris</i>	JB
	hrušeň	<i>Pyrus communis</i>	HR
	ostatní listnaté tvrdé	--	LTX
listnaté měkké	lípa	<i>Tilia cordata; T. platyphyllos</i>	LP
	olše	<i>Alnus glutinosa</i>	OL
	topol	<i>Populus ssp.</i>	TP
	osika	<i>Populus tremula</i>	OS
	vrba	<i>Salix ssp.</i>	VR
	jírovec maďal	<i>Aesculus hippocastanum</i>	KS
	ostatní listnaté měkké	--	LMX

Tab. 4 Rozdělení dřevin a jejich zkratky [19]

1.2.6. Sklo

Sklo je materiál, který vznikne vlivem roztavení křemičitého písku (SiO_2) v elektrických pecích při teplotě kolem 2000 °C. Výrobky ze skla různých tvarů a barev se používají do výplní otvorů, nebo ze skleněných tvárnic (luxfer). Pro perfektní tepelně izolační vlastnosti musí okno také dokonale těsnit ve spárách.

Druhy skla: lité sklo, válcované sklo, drátosklo, vzorované sklo, zušlechtěné sklo, tepelně tvrzené sklo, tepelně zpevněné sklo, chemicky tvrzené sklo, izolační sklo, ohýbané sklo, vrstvené sklo, povrchově upravované, dvojsklo, skleněné tvárnice (luxfery). [21]

Nejčastěji se sklo používá jako výplň oken.

Typy oken: [21]

- jednoduché okno - zastaralý typ okna s jednou skleněnou tabulí, který se v našich klimatických podmínkách ve vytápěných místnostech již nepoužívá, protože má velmi špatné tepelně izolační parametry.

- dvojitě okno (špaletové okno) - je historicky ověřená okenní konstrukce, která se v současnosti uplatňuje zejména při renovacích starších budov. Tvoří ho dvě jednoduchá okna vzájemně spojená fošnovou zárubní do jednoho okenního prvku. Okna s nejlepšími tepelně-izolačními parametry se dají tímto způsobem uplatnit i u pasivních domů, ale je třeba počítat s vyššími náklady.

- zdvojené okno - tvoří přechodný stupeň od dvojitě okna k jednoduchému oknu s izolačním zasklením. Okenní křídlo se skládá ze dvou sešroubovaných částí, které vytváří podobný izolační efekt jako u dvojitě okna. Tento typ oken je u nás velmi rozšířen například v panelových domech.

- jednoduché okno s izolačním dvojsklem (trojsklem) - v současnosti se tyto nejčastější okenní konstrukce vyrábějí ze všech běžných materiálů. Zasklení těchto oken se zhotovuje téměř výlučně z izolačního dvojskla nebo trojskla. Výrobci již často uvádějí přímo označení okno pro pasivní domy (vhodné pro pasivní domy). Prostor dutiny mezi skly u okna pro pasivní domy je vždy vyplněn inertním plynem - argon, krypton.

Zdaleka ne všechny okna v domě, nebo bytě nemusí být pravidelně otevírána. Použitím neotevíravých oken lze snížit náklady na jedno okno o 30 až 40 %.

1.2.7. Živice

Pod pojmem živice patří asfalty a dehty. Jejich hlavní vlastnost je termoplasticita, to znamená, tyto látky mohou měnit skupenství v závislosti na teplotě. Jsou nerozpustné ve vodě a rozpustné v organických rozpouštědlech. Živice mají dobré adhezní vlastnosti. Mají vysoký bod vzplanutí (přes 200 °C). [22]

Existují tyto hlavní skupiny asfaltů: primární, foukané, polofoukané a modifikované. Asfalty mohou být přírodní a ropné. Dehty oproti asfaltům jsou při zahřívání tekutější.

Využití těchto látek ve stavebnictví jako hydroizolace (typ A, typ R, typ S), dále jako obalové materiál kameniva pro povrchy vozovek.

1.2.8. Polymery

Makromolekulární materiály jsou jak přírodní, tak i syntetické, které je možno teplem a tlakem tvarovat. Rozdělení polymerů na lineární, rozvětvené, zesíťované.

Lineární polymery jsou tvořeny lineárním řetězcem. Ohebnost řetězce je příčinou houževnatosti v tuhém stavu a dobré tekutosti a zpracovatelnosti v roztaveném stavu.

Rozvětvené polymery jsou tvořeny lineárním hlavním řetězcem, z něhož odbočují postraní řetězce (větve) krátké, nebo dlouhé a může jich být větší či menší počet. Pohyblivost řetězců je zpravidla menší než u lineárních polymerů a projevuje se sníženou tekutostí v roztaveném stavu.

Zesíťované polymery vznikají z několika lineárních řetězců spojenými příčnými vazbami (můstky). [18]

Plasty

Plastem se nazývá materiál, jehož základní složku tvoří polymer [18]. Jestliže k makromolekulární látce přidáme plnivo (anorganické, organické, práškovité, vláknité), přísady (stabilizátory, maziva, změkčovadla, barviva) vznikne plastická hmota.

Syntetické polymery dělíme na termoplasty (plastomery), reaktoplasty (duroplasty). [11]

1.2.8.1. Polyvinylchlorid (PVC)

PVC materiály jsou rozděleny do dvou hlavních skupin:

tvrdé PVC materiály, které se používají zejména ve stavebnictví;

měkčené PVC materiály

Tvrdé PVC materiály se používají zejména ve stavebnictví. PVC jako stavební materiál je levné a jednoduše se montuje. V posledních letech nahrazuje PVC v mnohých oblastech tradiční stavební materiály jako je dřevo, beton a jíl. Jeho životnost, trvanlivost a odolnost ho předurčují jako výborný stavební materiál. Užití PVC jako trubky a fitinky, kolektory pro elektrické kabely, okapy, okenné profily, rolety a okenice, panely a obklady, hydroizolace.

Měkčené PVC materiály jsou vyrobeny přidáním změkčovačů. PVC je vynikající elektrický izolant, což jej předurčuje pro výrobu izolace elektrických kabelů. V této podobě je používáno v šatstvu a čalounění a na výrobu ohebných hadic a trubek, střešních fólií a podlahových krytin (vinylové podlahoviny). [23]

1.2.9. Malty

Jsou obdobného složení jako beton. Obsahují pojivo, drobné kamenivo, záměsovou vodu a popřípadě přísady a příměsi. Malty se vyrábí převážně průmyslově, a to buď suchá,

nebo mokrá maltová směs, další možnost výroby malty je staveništní. Staveništní maltu vyrobíme v poměru 6:1:1 (písek:cement:vápenný hydrát), nebo 4:1 (písek:cement).

Hlavní možností rozdělení malt je podle účelu: [24]

pro zdění a omítky, malty pro výrobu keramických dílců, tepelně izolační, stykové a spárovací, pro kladení dlažeb a obkladů a malty speciální

Podle typu pojiva je rozdělujeme:

vápenné, vápenocementové, vápenosádrové, sádrové, cementové

Třídy matl: M0; M0,4; M1; M2,5; M10; M15; M20; M25; M30; M33

(číslo za písmenem M udává hodnotu pevnosti v tlaku v MPa)

1.2.10. Izolační materiály

Izolace patří k základním stavebním materiálům. Musíme se chránit proti vodě a vlhkosti (hydroizolace), proti chemickým látkám (izolace proti radonu, ...), proti hluku a otřesům (zvuková izolace, ...), a proti chladu a teplu (tepelná izolace).

Tepelné izolace vznikly z důvodu udržet v budovách co nejefektivněji potřebnou tepelnou pohodu a mají nízký součinitel tepelné vodivosti $\lambda < 0,15 \text{ W/m.K}$.

Výhody kvalitního zateplení: snížení tepelných ztrát; snížení rizika plísně zvýšením vnitřní povrchové teploty; menší namáhání nosné konstrukce atmosférickými vlivy; odstranění typických tepelných mostů – sekaní cihel, dozdivání jiným zdivem, přechod zdiva na základ; nižší kondenzace vody v konstrukci; snižuje přehřívání budovy v letním období; redukce tloušťky nosného systému (zejména u zděných staveb). [25]

Výrobky tepelných izolací mohou být ve formě desky, rohože nebo volné (sypané).

Trh stavebních tepelných izolací můžeme rozdělit podle druhu materiálů: [26]

- vláknité materiály: skleněná, keramická, syntetická (textilní) vlákna;
- plastové: PS, PUR, PVC, PE, fenolické a rezolové pryskyřice, kaučuk, pěnové sklo;
- materiály na bázi dřeva: korek, piliny, rákosové rohože, kokosová vlákna, dřevovláknité;
- materiály na bázi papíru: drcený starý papír, voštinové desky, vlnité desky z asfaltového papíru;
- minerální materiály: čedičová vlákna, expandovaný perlit, expandovaná břidlice, struska, křemelina, keramzit, popílek;
- zvláštní tepelné izolace: sláma, konopí, na bázi ovčí vlny případně bavlny.

typ izolace	součinitel tepelné vodivosti λ_D [W/m.K]	doporučená tloušťka izolace* [mm]	svázaná primární energie ** (PEI) [MJ/kg]
cihla děrovaná	0,09	750	2,49
expandovaný polystyren EPS	0,031 - 0,040	300	98,5
extrudovaný polystyren XPS	0,029 – 0,038	280	104
pěnový polyuretan PUR	0,024 – 0,028	220	49,8
minerální vlna	0,030 – 0,042	300	23,3
pěnové sklo	0,040 – 0,050	300	15,7
pěnové sklo štěrk	0,075 – 0,090	600	6,7
vakuová izolace	0,008	60	62,1
celulóza	0,037 - 0,042	320	7
dřevité desky	0,038 - 0,046	330	13,7
desky na bázi konopí	0,04	320	31,1
sláma	cca 0,050 - 0,060	400	3,2

Tab. 5 Základní vlastnosti jednotlivých druhů izolací [27]

*Tloušťka izolace při vnějším zateplení masivní stavby na úroveň běžnou u pasivních domů $U = 0,12 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Nosnou vrstvu tvoří vápenopískové cihly tloušťky 175 mm (neuvažován vliv omítek). Pro zjednodušení a přehlednost je tato skladba uvažována i u materiálů, které se častěji používají u dřevostaveb.

** Pro porovnání ekologické stopy materiálů je v tabulce uvedena i hodnota svázané primární energie (PEI), tzv. „šedá energie“. Jedná se o množství spotřebované primární energie vynaložené k získání suroviny, výrobě a dopravě materiálu v MJ/kg (1MJ = cca. 0,27KWh).

1.2.10.1. Polystyren (PS) [28]

PS vzniká polymerací styrenu. Vyrábí se expandovaný a extrudovaný polystyren.

Expandovaný polystyren EPS

EPS se vyrábí z drobných kuliček (granulí) polystyrénu, které jsou působením vodní páry zahřáty na vysokou teplotu a působením této teploty bobtnají, změkknou a spojují se do homogenního bloku (lze rozpoznat jednotlivé kuličky). Je stále ještě nejrozšířenějším tepelným izolantem.

Extrudovaný polystyren XPS

XPS se vyrábí vytlačováním horkého polystyrénu s přídavkem nadouvadeců a výsledkem je homogenní struktura s malými a zcela uzavřenými bublinkami. Díky tomu jsou desky z XPS pevné a jsou zcela nenasákavé (nedochází v nich ke kondenzaci vlhkosti).

Polystyren se používá ve formě desky pro podlahy, samozhášivé desky (pro všeobecné použití), desky pro kročejový útlum, fasádní desky (pro kontaktní zateplování), střešní desky (pro zateplení střech).

2.2.10.2. Polyuretan PUR

PUR může být ve formě měkké pěny, která zlidověla pod označením molitan. Ve stavebnictví se ale používá téměř výhradně tvrdá polyuretanová pěna. Aplikuje se buď přímo na místě stříkáním nebo litím, nebo je dodáván ve formě desek či tvarovek. Tvrdý pěnový polyuretan může mít i zvýšenou odolnost vůči tlaku (eliminace tepelných mostů u dveří, atd.). [29]

2.2.10.3. Minerální vlna

Vyrábí se průmyslově tavením hornin, kterými je buď čedič, nebo křemen a další sklotvorné příměsi (recyklát). Výsledným produktem je potom kamenná, nebo skelná vlna. Pojivem jsou nejčastěji fenol-formaldehydové pryskyřice. Vyrábí se ve formě desek, nebo ve formě volné vlny či vlny přichycené na papír. Hlavní výhodou této izolace je nehořlavost. [29]

2.2.10.4. Pěnové sklo

Materiál vzniká ztavením směsi skleněného a uhlíkového prášku. Tento materiál je svými vlastnostmi podobný sklu. Pěnové sklo je úplné nehořlavé a parotěsné. Jeho použití na stavbách brání jeho vysoká cena. Dalším produktem z pěnového skla je šterk. Výhodou šterku je jeho vysoká únosnost a nenasákavost. [29]

2.2.10.5. Celulóza

Vyrábí se rozvlákněním sběrového papíru (noviny časopisy), s přidáním boritých solí, které zaručují potřebné vlastnosti (stavební i tepelně - izolační). Dodává se v pytlích, ale aplikaci mohou provádět pouze certifikované firmy vybavené potřebnou technikou. Způsob aplikace může být suchý, nebo mokrá. [29]

2.2.10.6. Konopí

Konopí je rostlina původem z Asie. Jeho hlavní vlastnosti jsou recyklovatelnosti, odolnosti vůči škůdcům, plísním a hnilobám a také díky faktu, že neobsahuje žádné alergeny a má tvarovou stálost, velmi dobré jsou také jeho tepelně-izolační vlastnosti, jedinou nevýhodou je hořlavost. V České republice je povoleno pěstovat konopí seté s maximálním množstvím látky tetrahydrokanabinolu (THC) do 0,2% (odrůdy využívané k výrobě drog mají více než 8% THC). Stavební prvky, které mohou obsahovat konopí, jsou: zdivo (jílovo-konopné cihly nebo cemento-konopné zdící tvárnice a desky), izolace (vápeno-konopná směs, konopné desky, konopný filc, konopné rohože a role a koudel) nebo omítky (konopno-hliněné). [30]

2.2.10.7. Sláma

Sláma je odpad ze zemědělské výroby, který je vysušen a určen dalšímu zpracování (zkrmování dobytka, energetika, stavebnictví). Ve stavebnictví se používala v minulosti, jako střešní krytina. Tepelná vodivost slámy závisí na mnoha faktorech. Mezi hlavní patří orientace stébel (ve směru kolmém na stébla je nižší než ve směru podél stébel), různá tloušťka v závislosti na hustotě stlačení (komprese – ideální je ani moc stlačená a ani moc nestlačená, v tomto případě i u špatné soudržnosti balíků) a vlhkost. Slaměné balíky se orientují převážně, tak aby většina stébel v balíku měla orientaci rovnoběžně s hranou stěn. V současnosti se sláma využívá ve formě klasických slaměných balíků. [31]

2. Tepelné vlastnosti materiálů

Vyjadřují chování materiálů vystavených účinkům tepla nebo mrazu. Tepelné izolanty skoro nepředávají teplo z termodynamické soustavy dále do okolního prostředí. Tepelné vodiče předávají snadno teplo okolního prostředí velice snadno a dá se říct, že své teplo ztrácí. V normě ČSN 73 0540-1:2005 (Tepelná ochrana budov - Část 1: Terminologie) jsou definovány pojmy, které popisují tepelné veličiny materiálů. Hodnoty tepelných veličiny vyjadřují sdílení tepla ve stavebním materiálu, výrobku nebo konstrukci.

2.1. Sdílení tepla

Sdílení tepla neboli termokinetika je nauka o šíření tepla v prostoru a čase. Podle druhého zákona termodynamiky se teplo šíří samovolně z místa vyšší teploty do místa nižší teploty. Teplejší vzduch je lehčí než vzduch chladnější a proto se pohybuje teplo vzduchem převážně směrem vzhůru. Tepelná výměna může nastat v závislosti na typu prostředí a fyzikálních základech ve třech základních typech pohybu tepelné energie, nebo jejich kombinací. [32]

V knize Technický průvodce 2 - Teplo je definováno sdílení tepla takto:

a) Vedení - kondukce

„Vedení tepla je pohyb tepla v důsledku konečného rozdílu teploty v tuhé fázi hmoty, nebo v klidové kapalně nebo plynné fázi hmoty. Vedení tepla je ve smyslu kinetické teorie tepla důsledek energetické výměny mikropohybu molekul hmoty.“

b) Proudění – konvekce

„Proudění tepla je pohyb tepla v důsledku konečného rozdílu teploty v proudící kapalně, nebo plynné fázi hmoty. Sdílení tepla v proudících tekutinách se uskutečňuje markopohybem (mísením) molekul hmoty o různé teplotě.“

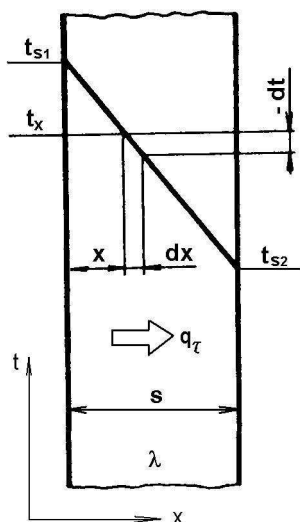
c) Sálání (záření hmoty) - radiace

„Sálání tepla je přenos tepla, uskutečňovaný elektromagnetickým vlněním určité vlnové délky. Tepelné záření je jediný způsob, jakým se teplo šíří ve vakuu.“

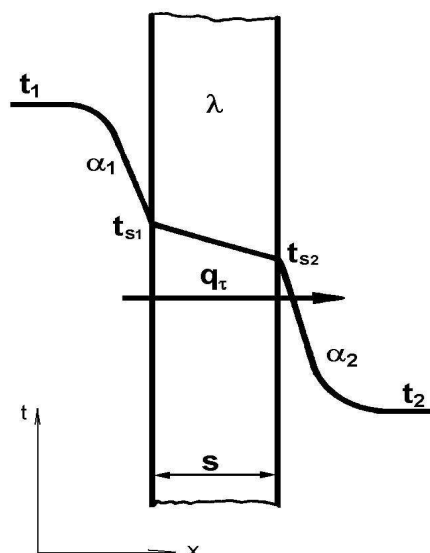
d) Kombinace

„V technické praxi se převážně setkáváme s případy, kdy při řešení určitého problému nastávají dva, ale nejčastěji všechny tři uvedené druhy sdílení tepla současně, ale nerovnoměrně.“ Příkladem může být tzv. prostup (průchod) tepla pevnou stěnou na její jedné, teplejší straně proudí voda a na druhé straně vzduch. Jedná se o kombinaci sdílení tepla prouděním, vedením a sáláním.

Vedení tepla a prostup tepla rovinnou stěnou obr. 3 a 4 [33]



Obr. 4 Vedení tepla
jednovrstevnou rovinnou stěnou



Obr. 3 Prostup tepla jednovrstevnou
rovinnou stěnou

Vedení tepla rovinnými stěnami:

předpokládáme:

$$\lambda = konst., y = z = \infty, 0 < x < s, t_{s1} > t_{s2}$$

kde λ je součinitel měrné tepelné vodivosti [W/m.K],

t_{s1} teplota na jedné straně materiálu [K],

t_{s2} teplota na druhé straně materiálu [K].

Měrný tepelný tok q_τ [W/m²]:

$$q_\tau = \frac{\lambda}{s} (t_{s1} - t_{s2}) \quad (2)$$

kde λ je součinitel měrné tepelné vodivosti [W/m.K],

s tloušťka materiálu [m].

t_{s1} teplota na jedné straně materiálu [K],

t_{s2} teplota na druhé straně materiálu [K].

Tepelná energie v ustáleném stavu [J]

$$Q = q_\tau \cdot S \cdot \tau = \frac{\lambda}{s} (t_{s1} - t_{s2}) S \cdot \tau \quad (3)$$

kde q_τ je měrný tepelný tok [W/m²]:

λ součinitel měrné tepelné vodivosti [W/m.K],

s tloušťka materiálu [m],

t_{s1} teplota na jedné straně materiálu [K],

t_{s2} teplota na druhé straně materiálu [K],

S plocha materiálu [m],

τ čas [s].

Prostup tepla rovinnými stěnami.

Měrný tepelný tok q_τ [W/m²]:

$$q_\tau = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{s}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \cdot (t_1 - t_2) \quad (4)$$

kde α_1 je součinitel přestupu tepla [W/m².K],

λ součinitel měrné tepelné vodivosti [W/m.K],

s tloušťka materiálu [m],

α_2 součinitel přestupu tepla [W/m².K],

t_{s1} teplota na jedné straně materiálu [K],

t_{s2} teplota na druhé straně materiálu [K].

Součinitel prostupu tepla U [W/m².K]:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{s}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (5)$$

kde α_1 je součinitel přestupu tepla [W/m².K],

λ součinitel měrné tepelné vodivosti [W/m.K],

s tloušťka materiálu [m],

α_2 součinitel přestupu tepla [W/m².K],

Odpor při prostupu tepla rovinnou stěnou R [m².K/ W]:

$$R = \frac{1}{U} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{s}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} \quad (6)$$

kde α_1 je součinitel přestupu tepla [W/m².K],

λ součinitel měrné tepelné vodivosti [W/m.K],

s tloušťka materiálu [m],

α_2 součinitel přestupu tepla [W/m².K],

2.2. Tepelné veličiny a pojmy [34]

tepelný tok - P [W]

Tepelný tok je množství tepla, které proudí do nebo ze systému (prostoru) za jednotku času. Zahrnuje všechny složky šíření tepla.

součinitel měrné tepelné vodivosti - λ [W/m.K]

Součinitel měrné tepelné vodivosti je základní tepelnou hodnotou, vlastností stavebních materiálů a výrobků. Je závislý zejména na objemové hmotnosti a vlhkosti materiálu (obvykle platí, že s rostoucí vlhkostí a objemovou hmotností roste hodnota součinitele tepelné vodivosti). Množství tepla, které přenese materiál plochou 1 m² do vzdálenosti 1 m při teplotním rozdílu 1K, neboli schopnost stejnorodého, isotropního materiálu při dané střední teplotě vést teplo.

Je dán vztahem:

$$\lambda = \frac{\vec{q}}{-grad\theta} \quad (7) [34]$$

kde \vec{q} je vektor hustoty ustáleného tepelného toku sdíleného vedením, proudícího stejnorodým isotropním materiálem [W/m²];
grad θ gradient teploty [K /m],

měrná tepelná kapacita - c [J/kg.K]

Měrná tepelná energie je množství tepelné energie, které je třeba dodat při stálém tlaku vzorku materiál o definované vlhkosti a hmotnosti 1kg, aby se jeho teplota zvýšila o 1 K.

Je definována vztahem:

$$c = \frac{Q}{m \cdot \Delta\theta} \quad (8) [34]$$

kde Q je tepelná energie (množství přivedeného tepla) [J],
m hmotnost [kg],
 $\Delta\theta$ změna teploty [K]

součinitel teplotní vodivosti - a [m²/s]

Součinitel teplotní vodivosti lze definovat jako schopnost stejnorodého materiálu o definované vlhkosti vyrovnávat rozdílné teploty při neustáleném vedení tepla.

Je dán vztahem:

$$a = \frac{\lambda}{c \cdot \rho} \quad (9) [34]$$

kde ρ je objemová hmotnost ve stavu definované vlhkosti [kg/m^3],
 λ součinitel měrné tepelné vodivosti [$\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$],
 c měrná tepelná kapacita [$\text{J}/\text{kg}\cdot\text{K}$]

tepelná jímavost - b [$\text{W}^2\cdot\text{s}/\text{m}^4\cdot\text{K}^2$]

Tepelná jímavost je schopnost materiálu o definované vlhkosti přijímat (jímat) teplo.

Je definována vztahem:

$$b = \lambda \cdot c \cdot \rho \quad (10) [34]$$

kde ρ je objemová hmotnost ve stavu definované vlhkosti [kg/m^3],
 λ součinitel měrné tepelné vodivosti [$\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$],
 c měrná tepelná kapacita [$\text{J}/\text{kg}\cdot\text{K}$]

tepelný odpor vrstvy; tepelný odpor konstrukce - R [$\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$]

Tepelný odpor vrstvy (tepelný odpor konstrukce) je tepelně izolační vlastnost vrstvy materiálu (stavební konstrukce) dané tloušťky.

Je dán vztahem:

$$R = \frac{1}{L} \quad (11) [34]$$

kde L je plošná tepelná propustnost [$\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$],

Je-li známa hodnota součinitele tepelné vodivosti vrstvy materiálu a je-li konstantní, povrchy kolmé na směr tepelného toku jsou vzájemně rovnoběžné (planparalelní vrstva) a vrstvou tak proudí rovnoměrný tepelný tok, je tepelný odpor definován vztahem:

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad (12) [34]$$

kde d je tloušťka vrstvy; tloušťka vrstvy v konstrukci [m],
 λ součinitel měrné tepelné vodivosti [$\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$],

odpor konstrukce při prostupu tepla - R_T [$\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$]

Odpor konstrukce úhrnný tepelný odpor bránící výměně tepla mezi prostředími oddělenými od sebe stavební konstrukcí o tepelném odporu R s přilehlými mezními vzduchovými vrstvami,

Je definován vztahem:

$$R_T = R_{si} + R + R_{se} \quad (13) [34]$$

kde R_{si} je odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce [$m^2 \cdot K / W$] (tab. 6);
 R odpor konstrukce [$m^2 \cdot K / W$];
 R_{se} odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce [$m^2 \cdot K / W$] (tab. 7).

		R_{si} [$m^2 K/W$]
svislá konstrukce		0.25 (pro neprůsvitné konstrukce)
(dle ČSN 730540-2 a SN EN ISO 13788)		0.13 (pro výplně otvorů)
vodorovná konstrukce	tepelný tok nahoru	0.10
	tepelný tok dolů	0.17

Tab. 6 Hodnoty R_{si} pro výpočet R_t [35]

		R_{se} [$m^2 K/W$]
zimní období		0.04
zimní období (nadmořská výška ≥ 1000 m. n. m.)		0.03
letní období		0.07

Tab. 7 Hodnoty R_{se} pro výpočet R_t [35]

součinitel prostupu tepla - U [$W/m^2 \cdot K$]

Součinitel prostupu tepla je celková výměna tepla v ustáleném stavu mezi dvěma prostředími, která jsou vzájemně oddělena stavební konstrukcí o tepelném odporu R s přilehlými mezními vzduchovými vrstvami, zahrnuje vliv všech tepelných mostů včetně vlivu prostupujících hmoždinek a kotev, které jsou součástí konstrukce.

Je definován vztahem:

$$U_T = \frac{1}{R_T} \quad (14) [34]$$

kde R_T je odpor konstrukce při prostupu tepla (z prostředí do prostředí) [$m^2 \cdot K / W$].

2.3. Závislost tepelných veličin na některých faktorech

2.3.1. Vliv chemického složení

Některé materiály dokážou vést teplo lépe než ostatní, tyto materiály se snažíme používat v místech kde je sdílení tepla vhodné.

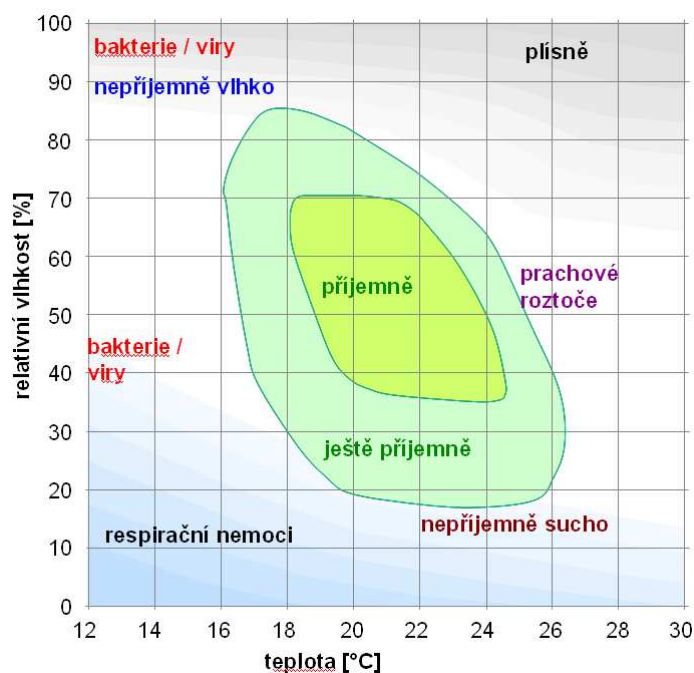
2.3.2. Vliv pórovitosti

Pórovitost znamená množství vzduchu v materiálu. Čím vyšší pórovitost, tím nižší hmotnost i tepelná vodivost, protože λ vzduchu = 0,025 W/m.K, ale velikost pórů je omezena (nejlépe 0,1 – 1 mm). Pokud bude tedy nějaký pórovitý tepelně izolační materiál při manipulaci a zavedení do konstrukce pomačkán, nebo zmačkán na menší objemovou hmotnost, tak se jeho vlastnosti v tomto ohledu zhorší. Proto je potřeba dodržovat technologické postupy. Závislost změny objemové hmotnosti byly zkoušeny v laboratoři na vlnité čedičové desce. Nejprve byla změřena její tepelná vodivost v nezatíženém stavu, a později, byla zatížena cihlou a změřena znovu. Výsledky tohoto měření jsou uvedeny v tab. 12.

2.3.3. Vliv vlhkosti

Vlhkosti je nežádoucí z důvodu ohrožení požadovaných funkcí: zkrácení předpokládané životnosti konstrukce, možný vzniku plísní, degradace materiálu (částečná, nebo úplná ztráta některé tepelně izolační vlastnosti materiálů), objemové změny, které zvyšují hmotnosti konstrukce (možnost přetížení vedoucí k pádu části nebo celé budovy), zvýšení hmotnostní vlhkosti materiálu na úroveň způsobující jeho degradaci. Hygienicky doporučovaná vyšší relativní vlhkost vzduchu v rozsahu 40 až 60%. Důsledkem je pak zvýšená nemocnost obyvatel (alergie, záněty průdušek, dýchací potíže atd.). Jaké hodnoty jsou pro nás příjemné a jaké jsou příjemné pro bakterie, viry a plísně jsou graficky zobrazeny na obr. 5.

Zejména musí být respektovány podmínky pro uplatnění dřeva a/nebo materiálů na bázi dřeva. Jak bylo v laboratoři zkoušeno několik vzorků dřevin a jeden z nich (smrk) byl nechán ve vlhkém prostředí (ponořen 48 hodin), později byl vložen do pece a proběhlo měření. Po několika měřeních se na boku podél letokruhů objevily trhlinky, které se zvětšovaly kvůli odpařující se vodě obr. 6.



Obr. 5 Diagram vlivu teploty a relativní vlhkosti na komfort a případné rizika zhoršení kvality vnitřního prostředí. [36]



Obr. 6 Změna struktury smrkového vzorku vlivem vlhkosti.

Vlhkost materiálu [37]

Pro většinu materiálu je ve výrobních katalozích definováno několik tepelných parametrů, které jsou platné pro suchý materiál. Při realizaci stavby materiál má nějakou vlhkost, zapříčiněnou třeba sorpcí vlhkosti z okolního prostředí. Touto problematikou se zabývá mnoho zkušeben, v časopise Stavební obzor se objevily články s testy závislosti vlhkosti materiálu na tepelných vlastnostech, např. tab. 8. [37] [38].

Vlhkost vzorku je poměr obsahu volné vlhkosti obsažené v materiálu k hmotnosti materiálu v suchém stavu.

Je definována vztahem:

$$u = 100 \cdot \frac{m - m_0}{m_0} \quad (15) [37]$$

kde u je hmotnostní vlhkost a je definována v procentech [%],

m hmotnost materiálu ve vlhkém stavu [g];

m_0 hmotnost materiálu v suchém stavu (zdánlivě suchém stavu)[g].

Materiál	Součinitel tepelné vodivosti [W/m.K]		Měrná tepelná kapacita [J/kg.K]	
	vysušený	kapilárně nasycený	vysušený	kapilárně nasycený
P 1,8-300	0,075	0,330	1,08.103	1,78.103
P 4-500	0,084	0,409	1,16.103	2,75.103
P 2-350λ	0,094	0,385	1,21.1,3	2,64.1,3
P 2-400	0,114	0,454	1,05.103	1,84.103
Multipor	0,473	1,450	1,02.103	1,51.103
malta Multipor	0,047	0,166	2,23.103	3,50.103
Baumit	0,179	1,221	1,07.103	1,47.103

Tab. 8 Součinitel tepelné vodivosti a měrná tepelná kapacita materiálů [37]

2.3.4. Vliv teploty

S vyšší teplotou roste pohyb částic materiálu, tím je urychlen přenos tepla mezi vrstvami. Součinitel měrné tepelné vodivosti v závislosti na teplotě je uveden v tab. 9. Je zřejmé, že se u všech materiálů zvyšuje s rostoucí teplotou, ale nijak dramaticky.

Materiál /λ	Teplota [°C]					
	2	10	15	25	30	40
P 1,8-300	0,0625	0,0700	0,0737	0,0802	0,0815	0,0938
P 4-500	0,0941	0,1060	0,1088	0,1218	0,1288	0,0144
P 2-350λ	0,0802	0,0814	0,0837	0,0843	0,0856	0,0864
P 2-400	0,0839	0,0857	0,0921	0,0927	0,0985	0,0991
Multipor	0,0420	0,0451	0,0461	0,0470	0,0500	0,0582
malta Multipor	0,1820	0,1845	0,1935	0,1953	0,1973	0,2185
Baumit	0,3530	0,3647	0,3855	0,4437	0,4607	0,4747

Tab. 9 Součinitel tepelné vodivosti v závislosti na teplotě [37]

3. Metody měření tepelných vlastností

3.1. Měření s TC_METREM

Česká zemědělská univerzita díky své Celouniverzitní grantové agentuře podala žádost o grant s registračním číslem 20113006 a názvem Elektrotepelná diagnostika izolačních materiálů. Vedením tohoto grantu byl pověřen Ing. Miloslav Linda, který mě seznámil s funkcí a provozem zařízení, které bylo sestaveno na fakultě elektrotechniky a automatizace se sídlem na technické fakultě ČZU.

Zařízení je napájeno z elektrické sítě 230/300 V. Má výstupy na teplotní snímače ADT7410. Musí být propojeno s počítačem (notebookem), který bude zaznamenávat signály z měřicího zařízení přes USB konektor. Zařízení komunikuje pomocí programu lambda, který procházel vývojem. Začátek programu byl zahájen od 8. 9. 2011 Ing. Miloslavem Lindou a Ing. Pavlem Dědem a 1. verzí (nynější verze 4).

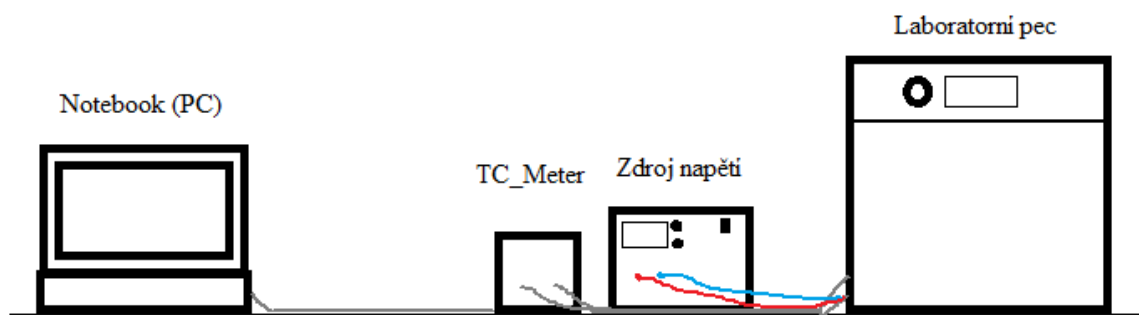
3.1.1. Postup měření s přístrojem TC_METER

Potřebné zařízení

K měření potřebujeme počítač (notebook), zdroj napětí, odpor, laboratorní (horkovzdušnou) troubu, TC_METER a vzorky materiálů. Vzorky materiálů by měly být, co možná nejvíce rozměrově podobné (optimální rozměry 100x100x20 mm). U některých vzorků, takových rozměrů nelze dosáhnout, např. u plechu.

Příprava pracoviště

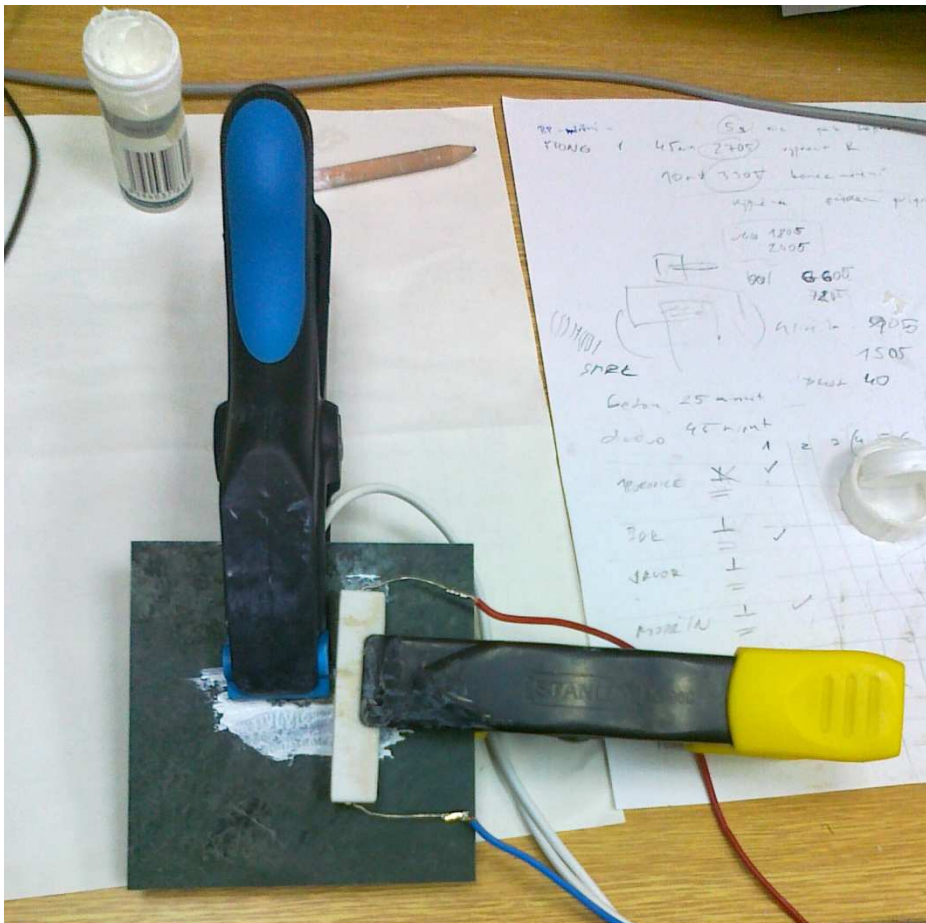
Rozmístění přístrojů by mělo být dle obrázku č. 9. Napájecí zdroj se musí nacházet nalevo od laboratorní pece a musí být mezi zdrojem a pecí mezera z důvodu umožnění proudění vzduchu k chladicímu systému zdroje. Je třeba dávat pozor na správné zapojení napájecích kabelů a datových kabelů, aby nedošlo k jejich vzájemnému kontaktu, nebo nechtěným odpojením či poškozením.



Obr. 7 Schéma rozmístění

Upevnění ohřívacího rezistoru a teplotních snímačů

Na vzorek materiálu pomocí žlutých upínacích kleští bez jedné plastové izolace připevní ohřívací rezistor, který můžeme u vláknitých materiálů (v našem případě dřevěných) orientovat se rovnoběžně se směrem, nebo kolmo na směr vláken. Podle toho budeme měřit povrchovou tepelnou vodivost daného materiálu. Před rezistor a na opačnou stranu měřeného materiálu se pomocí druhých upínacích kleští připevní teplotní snímač. Snímače orientujeme stejně, aby výsledky byly co nejprůkaznější. Kably od snímačů musí z materiálu mířit stejným směrem, jak je znázorněno na obrázku č. 10.



Obr. 8 Přichycení teplotních senzorů a rezistoru pomocí kleští

Stranu ohřívacího rezistoru, která bude v kontaktu s měřeným materiálem je potřeba potříit teplovodivou pastou. Teplovodivá pasta zajišťuje teplovodivé spojení elektrických zařízení s chladiči (odvod tepla z polovodičových prvků apod.). Tepelná vodivost pasty 0,4 W/m.K.

Nastavení parametrů napájecího zdroje

U napájecího zdroje se nastavují parametry napětí na 3,4 V a parametry proudu na 1,5 A. Tyto hodnoty nám budou udávat tepelný výkon P.

Nastavení parametrů pece

Laboratorní pec je potřeba před měřením rozehtát a nastavit potřebné parametry. Teplota se nastavuje dle přiloženého návodu. Podle zadání měření její hodnoty jsou 30, 40 a 50 °C. Případně mohou být zvoleny i jiné teploty. Doba zvýšení teploty v peci o 10 °C je cca 15 – 20 minut. S tímto faktorem je potřeba při měření počítat. Dalším faktorem je otevření dveří pece, které sníží teplotu v rozmezí od 0,1 do 2 °C. Ventilátor se pro měření nastaví na stupeň „1“.

Vložení vzorku materiálu do pece

Vzorek by měl být v peci umístěn uprostřed z důvodu kvality měření. Materiál dáme tak, aby byl ve stabilní poloze a mohlo dojít k samovolnému pádu a možnému posunutí snímačů, nebo rezistoru. Napájecí a datové kabely povedou ve z pece, a to nejlépe ke straně, na které se nenacházejí panty dveří, aby bylo možné kabely prostrčit skrz dveře. Dáváme pozor, aby se kabely při zavírání dveří nepřekrývaly, mohlo by dojít k jejich porušení a následným ztrátám dat. Při měření jednoho materiálu je dobré vložit do pece i další materiál, který hodláme později měřit, aby se stihl nahřát na požadovanou teplotu a nevznikaly tím zbytečné časové prodlevy.

Postup měření

Při měření je potřeba kontrolovat všechny teploty snímačů, nastavení parametrů napájecího zdroje a ukládání a zobrazování dat pomocí měřicího programu TC_METER. Otevřeme soubor s programem. Spustíme aplikaci s názvem lambda. Otevře se okno, které má dvě tlačítka, TCmeter a Tcharpy. Zvolíme TCmeter. Spustíme inicializaci, která zjistí, na kterém USB portu počítače (notebooku) bude program s měřícím zařízením komunikovat. Pro kontrolu stiskneme tlačítko Měření, kterým zjistíme aktuální teplotu povrchu materiálu. Pokud je teplota přibližně rovna na všech snímačích, můžeme pustit měření tlačítkem Start měření, pokud ale teplota není přibližně rovna, musíme počkat, až se materiál ohřeje na požadovanou teplotu. Požadovaná teplota je 30 a 40 °C. Přípustná odchylka je 1 °C.

Doba měření

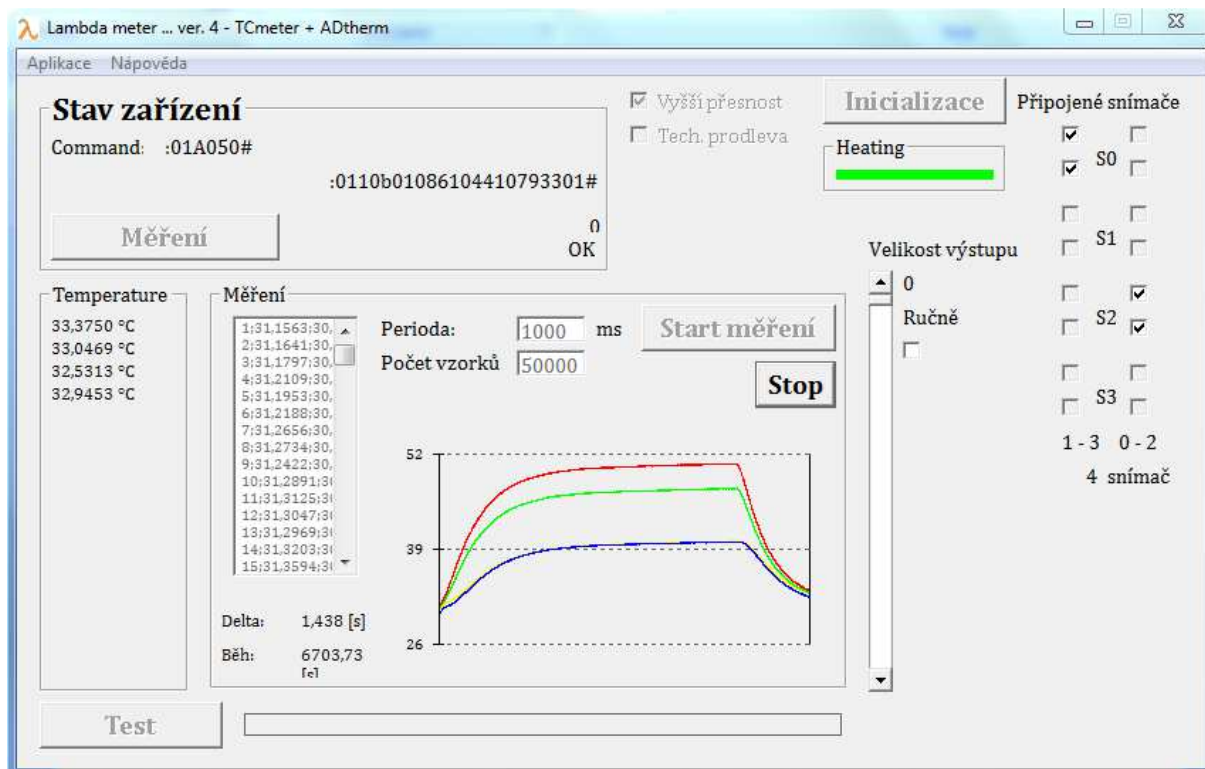
Standardní doba měření je u nekovových materiálů 45 minut + 10 minut teplotního spádu. Kovový materiál musí být měřen alespoň 2 hodiny. Měření dřevěných materiálů se provádí měření ve směru a kolmo na vlákna. Mezi měřeními musí být časová prodleva, aby materiál mohla ustálit teplota materiálu. Musíme docílit, aby se teplotní tok ustálil a byl konstantní.

Příprava vzorků

Měřený vzorek musí být řádně očištěn, odmaštěn a musí mít co nejhladší povrch.



Obr. 9 Přehled materiálů k měření



Obr. 10 Průběh měření na přístroji TC_METER při teplotě 30 °C

Výpočet měrné tepelné vodivosti

Pro výpočet je potřeba znát teplotní tok P , který je dán vzorcem:

$$P = RI^2 \quad (16)$$

kde R je odpor rezistoru [Ω],
 I proud procházející rezistorem [A],
 P teplotní výkon [W].

Vzorce pro součinitel měrné tepelné vodivosti lze vypočítat dosazením do této rovnice:

$$\lambda = \frac{P}{S} \cdot \frac{l}{\Delta\theta} \quad (17)$$

kde P je teplotní výkon [W],
 S plocha rezistoru, která je styku s materiálem [m^2],
 l tloušťka vrstvy; tloušťka vrstvy v konstrukci [m],
 $\Delta\theta$ rozdíl teplot [K],
 λ součinitel měrné tepelné vodivosti [W/m.K].

Po dohodě s vedoucím práce nebyl součinitel měrné tepelné vodivosti ani jiné parametry, v rámci grandu nebyl výzkum ještě dokončen.

3.2. Měření s přístrojem ISOMET

Na technické fakultě byl katedrou mechaniky a strojnictví zakoupen přístroj ISOMET Heat transfer analyzer model 2104. Tento přístroj vyhodnocuje tepelné vlastnosti materiálů pomocí dat získaných z injektážních jehel, nebo deskových senzorů.

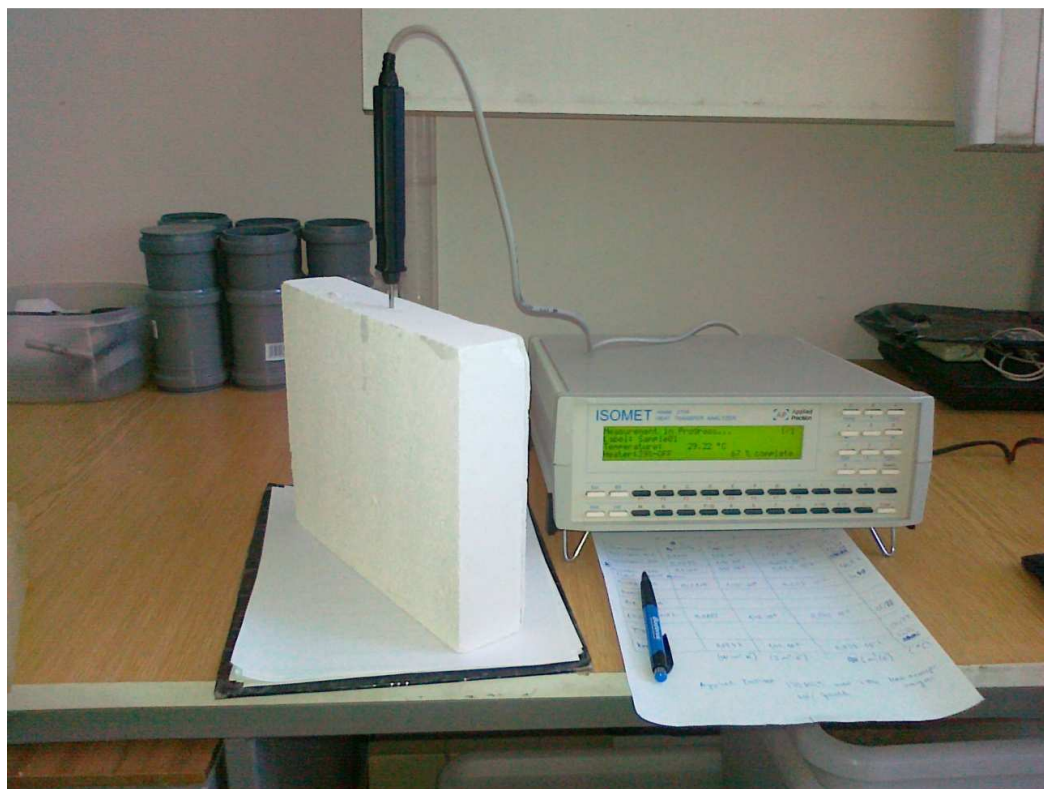
Postup měření

Já jsem měl možnost měřit na přístroji s měřicími jehlami. Vzorky materiálů musely tedy být spíše měkčího charakteru, nebo bylo možné do vzorku vyvrtat díru o průměru jako průměr jehly, aby bylo možné jehlu do vzorku zasunout v požadované míře. Vzorky materiálů musely splňovat požadavky hlavně na rozměry, které zaručovaly dostatečné obklopení jehly materiálem. Jehla má docela malý průměr a délku 50 mm. Požadavky na materiál byly min. 15 mm kolem jehly ze všech stran a nároky na délku musely být délka vsunutí + 20 mm, takže jsme museli mít vzorky vysoké a široké ideálně přes 40 mm a dlouhé 80 mm.

Na začátku přístroj zjistil teplotu materiálu. Pak začal zjišťovat jejich tepelné vlastnosti a po zhruba 15 minutách nám přístroj ukázal výsledné hodnoty. ISOMET dokáže změřit teplotu, součinitel měrné tepelné vodivosti, objemovou tepelnou kapacitu a součinitel teplotní vodivosti. Výsledky měření jsou zpracovány v tab. 10 a porovnání s tabulkovými hodnotami v tab. 11.

Materiál	Součinitel tepelné vodivosti	Objemová tepelná kapacita	Součinitel teplotní vodivosti	Teplota materiálu
	λ [W/m.K]	C_p [J/m ³ .K]	a [m ² /s]	t [°C]
Pěna měkká	0,0296	1,40	0,021	26,79
Polystyren (růžový)	0,0290	1,40	0,021	26,97
Polystyren (černý)	0,0273	1,40	0,019	26,99
Minerál. vlna nestlačená (58 mm)	0,0309	1,40	0,022	26,57
Minerál. vlna stlačená (3,5 mm)	0,0317	1,40	0,023	26,60
Isover RIO	0,0317	1,40	0,023	26,49
Konopí	0,0425	1,40	0,030	26,38
PUR pěna	0,0287	1,40	0,021	26,85
EKO panel	0,0855	1,42	0,060	25,18
Ytong	0,1470	1,46	0,101	25,77
Korek	0,0547	1,41	0,039	26,03

Tab. 10 Naměřené hodnoty přístrojem ISOMET



Obr. 11 Průběh měření na přístroji ISOMET

Materiál	Součinitel měrné tepelné vodivosti	Tabulkové hodnoty součinitel měrné tepelné vodivosti
	λ [W/m.K]	λ [W/m.K]
Molitanová pěna	0,0296	0,03
Polystyren (růžový)	0,0290	0,031 - 0,040
Polystyren (černý)	0,0273	0,031 - 0,041
Minerál. vlna nestlačená (58 mm)	0,0309	0,030 – 0,042
Minerál. vlna stlačená (35 mm)	0,0317	---
Skelná plst'	0,0317	0,04
Konopí	0,0425	0,04
PUR pěna	0,0287	0,024 – 0,028
EKO panel	0,0855	cca 0,050 - 0,060
Ytong	0,1470	0,14
Korek	0,0547	0,035-0,041

Tab. 11 Porovnání naměřených měrných tepelných vodivostí s tabulkovými hodnotami

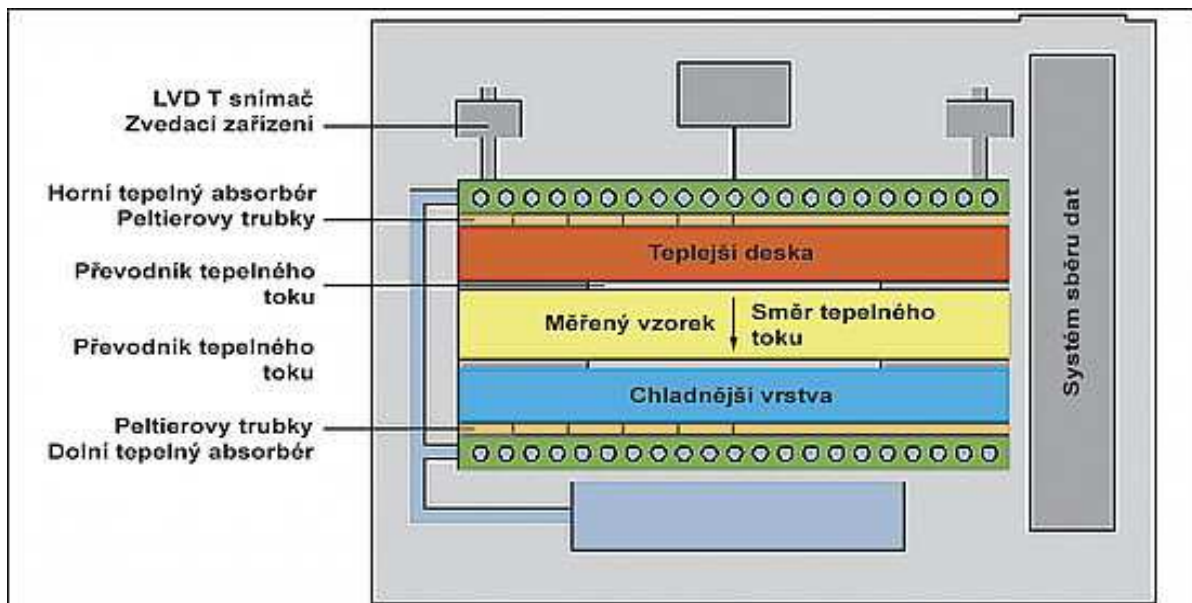
Výsledky měření ISOMETem jsou vcelku dost průkazné, není vidět žádný razantní rozdíl v porovnání s tabulkovou, nebo výrobcem udávanou hodnotou měrné tepelné vodivosti. Měření proběhlo právě jednou, proto jej lze brát jako orientační. Pro objektivnější hodnocení tepelných parametrů by byl potřeba větší počet měření a jeho statistické vyhodnocení.

3.3. Měření pomocí zařízení HFM 436/3/1E Lambda

Toto zařízení vlastní katedra energetických zařízení strojní fakulty TU v Liberci. Měřicí zařízení je schopno měřit součinitel měrné tepelné vodivosti materiálů v rozsahu 0,005 - 0,5 W/m·K, a navíc v širokém rozsahu teplot od -30 °C do +90 °C (až pro deset předvolených středních teplot). Zařízení je

Princip měření

Princip spočívá ve zjišťování velikosti tepelného toku procházejícího měřeným materiálem při definovaném teplotním spádu na měřeném materiálu. Obr. 12 znázorňuje uspořádání hlavních částí přístroje a naznačuje jeho měřicí princip. Tepelný tok je zjišťován napětovým převodníkem v prostoru horní desky a materiálem, to samé je na druhé straně materiálu (dolní deska). Výstupní napětový signál je úměrný velikosti tepelného toku procházejícího druhým převodníkem. Z toho vyplývá, že měřicí metoda je metodou relativní a měřicí zařízení se tak musí nejprve kalibrovat použitím standardního referenčního materiálu o známé, přesně určené hodnotě součinitele tepelné vodivosti. Na obou deskách jsou zabudovány termočlánky, které zjišťují teplotní spád na vzorku. Nejvhodnější vzorky jsou tvaru čtvercové desky o straně do 300 mm a tloušťce 5 - 100 mm. Snímače jsou čtvercového tvaru o straně 101,6 mm (což je také minimální velikost vzorku). Na zařízení lze určit velikosti součinitele tepelné vodivosti sypkých, ale musí se dodržet rovnoměrné rozprostření a materiál musí být v něčem uložen. Z dat dosažených při ustáleném rovnovážném stavu a z tloušťky měřeného vzorku lze vypočítat velikost součinitele měrné tepelné vodivosti vzorku materiálu. [39]



Obr. 12 Schematické znázornění hlavních částí měřicího zařízení HFM 436/3/1E Lambda. [39]

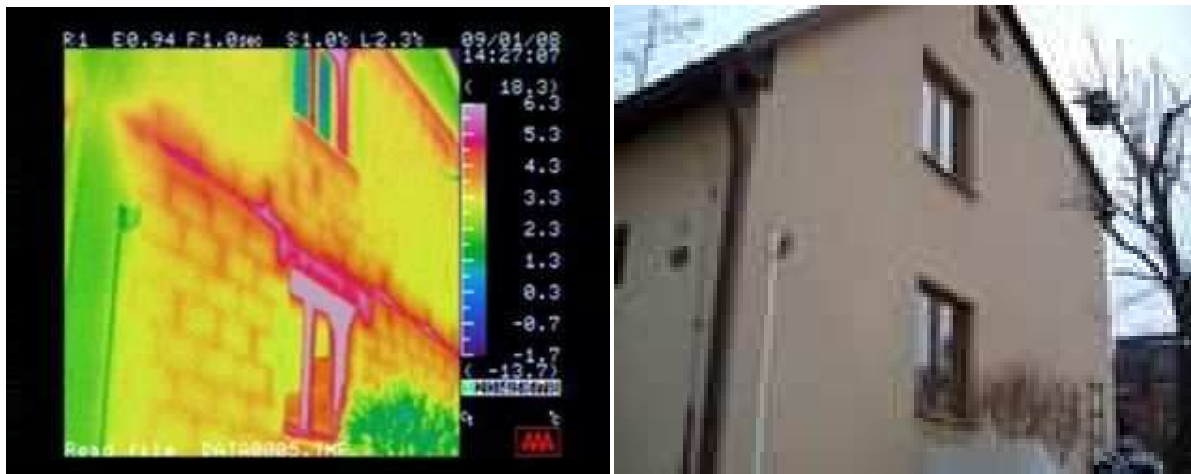
3.4. Měření pomocí termovize

Jedná se o bezkontaktní způsob měření (velikou výhodou je nezasahování do konstrukce). Termovize se ve stavebnictví používá ke zjišťování míst tepelných ztrát budov (toto měření slouží jako podklad pro projektování izolace), kontrola kvality provedených prací, vyhledávání závad podlahového topení, kontrola technologického vybavení budov, energetický audit budov a vyhledání prasklin v plášti budovy. [40]

Princip termografie

Princip termografie je popsán z fyzikálního hlediska takto: „Každé těleso s teplotou nad absolutní nulou ($-273,15^{\circ}\text{C}$) emituje infračervené záření. Při vzrůstajících teplotách roste i intenzita tohoto záření z měřeného objektu. Termovizní kamera, resp. mikrobolometrický detektor, dokáže toto záření v spektrálním rozsahu $7,5 - 13\mu\text{m}$ detekovat a transformovat jeho intenzity do termovizního obrazu (termogram). V tomto převodu na digitální snímek je nutné brát zřetel nejen na emisivitu povrchu, atmosférické podmínky, ale i další neméně důležité parametry.“ [41]

Výsledkem měření jsou snímky, které mají různé barevné škály jako na obr. 13.



Obr. 13 Ukázka snímku z termokamery a normálního fotoaparátu [40]

3.5. Měření přístrojem Shotherm

Přístroj Shotherm QTM je určen k přímému měření součinitele tepelné vodivosti (rozsahu 0,023 - 11,6 W/m.K) a měření závislosti na vlhkosti (v rozmezí suchého až nasyceného stavu) a na teplotě (v intervalu 0 až + 180 °C).

Princip měření

Přístroj využívá nestacionárního tepelného režimu, tzv. metody horkého drátu, součinitel tepelné vodivosti stanoví za cca 60 sekund. Vzhledem k tomu, že vzorek je podroben ohřevu jen krátkodobě, je schopen stanovit i součinitel tepelné vodivosti vlhkých materiálů. Měřicí sonda přístroje Shotherm QTM je tvořena referenčním materiálem, středem její plochy prochází topný drát a je na ní umístěn termočlánek. Požadavky na tvar vzorku materiálu nemají přesáhnout 50 x 100 x 100 mm a povrch musí být zarovnaný. Doba temperování vzorku a měřicí sondy na požadovanou teplotu trvá asi 120 minut. Pak by mělo následovat přiložení měřicí sondy a spuštění měřicí sekvence. Záznam teploty vzorku po měření a součinitele tepelné vodivosti. Potom se vzorek zváží pro možnost pozdějšího stanovení okamžité vlhkosti a vrátí se zpět do komory. Následuje změna teploty v komoře a další temperování. [42]

4. Závěr

V práci jsem rozdělil různé stavební materiály do skupin. Některé materiály jsou pro tepelné izolace vhodnější než jiné, a proto by se materiálům, určených k těmto konstrukcím měl dávat důraz na výběr a na provedení celé konstrukce, protože správně zvolené materiály provedení může v důsledku ušetřit mnoho peněz majitelů budov v provozních nákladech na vytápění/chlazení. Nejprve jsem rozdělil materiály a pak jsem o jednotlivých z nich zjišťoval informace, které definují jejich složení, výrobu a různé vlastnosti. Některé materiály byly změřeny postupem, který vedl (nebo by měl) dále vést k určení tepelných vlastností. Měření vzorků materiálů s přístrojem TC_METER ještě probíhá, ale snažil jsem se zde popsat postup jak se dopracovat k výsledku. Při jednom měření se zařízením ISOMET, je vidět, že naměřené tepelné vlastnosti materiálu odpovídají přibližně tabulkovým. Změna oproti tabulkovým hodnotám může být z důvodu vlhkosti materiálu, stlačení materiálu (EKO panel je stlačená sláma, minerální vlna nestlačená a stlačená). Stavební materiály budou potřeba i nadále. Stavět se podle mého názoru bude možná méně, nežli doposud (důvodem může být hospodářská krize), ale lidé se budou snažit ušetřit, proto budou hledat různé způsoby zateplení, nebo využití tepla. U způsobu jak šetřit energie, je návratnost investice ve většině případů krátká a není tedy důvod, proč neinovovat.

Seznam použité literatury:

- [1] „Centrum pasivního domu, *Rekonstrukce v pasivním standardu 4. Jaký vliv mají tepelné mosty?*“, [Online]. Available: <http://www.pasivnidomy.cz/rekonstrukce/rekonstrukce-v-pasivnim-standardu.html?chapter=jaky-vliv-maji-tepelne-mosty>.
- [2] „Centrum pasivního domu, *Neprůvzdušnost, zkoušky kvality 3. Jak na kvalitní utěsnění aneb vzduchotěsnost bez kompromisů*“, [Online]. Available: <http://www.pasivnidomy.cz/tepelna-ochrana/nepruvzdusnost-zkousky-kvality.html?chapter=jak-na-kvalitni-utesneni-aneb-vzduchotesnost-bez-kompromisu>.
- [3] „Centrum pasivního domu, *Okna a dveře pro pasivní domy 3. Tepelně technické vlastnosti*“, [Online]. Available: <http://www.pasivnidomy.cz/tepelna-ochrana/okna-a-dvere-pro-pasivni-domy.html?chapter=tepelne-technicke-vlastnosti>.
- [4] Havel a Holásek, *ÚZ č. 796 stavební zákon a vyhlášky podle stavu k 7. 6. 2010*, Ostrava, Nakladatelství Sagit, a.s.
- [5] *Vyhláška č. 148/2007 Sb. hodnocení energetické náročnosti budov*.
- [6] „Šafránek, J., *Metody výpočtu energetické náročnosti budov ve vazbě na směrnici EP a RADY 2010/31/EU*“, 2012. [Online]. Available: <http://stavba.tzb-info.cz/nizkoenergeticke-stavby/8157-metody-vypoctu-energeticke-narocnosti-budov-ve-vazbe-na-smernici-ep-a-rady-2010-31-eu>.
- [7] Šála, J. a kol., *Komentář k ČSN 73 0540 Tepelná ochrana budov*, 2007, Praha, Informační centrum ČKAIT, s.r.o..
- [8] „Pavlík, Z., *přednáška - Izolační materiály*“, ČVUT v Praze, Fakulta stavební, [Online]. Available: <http://tpm.fsv.cvut.cz/vyuka.php?aktualni=vyuka&show=123IZMA&ord=1>.
- [9] „Dvořák, Z., *Základy výrobních procesů, Úvod - Vývoj konstrukčních materiálů*“, [Online].
- [10] „Západočeská univerzita v Plzni, katedra mechaniky, *přednášky předmětu materiály- 1. přednáška přehled stavebních materiálů*, 2008“, [Online]. Available: <http://www.kme.zcu.cz/download/predmety/mat/1-prehled-stavebnich-materialu.pdf>.
- [11] Málek, P., *Stavební materiály a konstrukce*, 2002, České Budějovice, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta.
- [12] „Schrofel, J., *Přednášky geologie*, 2010, Praha, ČVUT v Praze“.
- [13] Adámek, J. a kol., *Stavební látky - maltoviny a kamenivo*, Brno, VUT v Brně, FAST.
- [14] „Vítek, L., *Stavební látky - Beton I.*“, Ústav stavebního zkušebnictví. [Online].
- [15] „Tipka, M. - Čech, J. - Novák, J., *Stavební obzor* 2011, str. 267,“ č. 9.
- [16] ZAPA a. s., *cement*, 2009, [Online]. Available: <http://www.zapa.cz/vyroba-a-doprava/beton-slozeni-a-vlastnosti/cement>.
- [17] „ZAPA beton a.s., *Příručka nejen o betonu*, 2010,“ ZAPA beton a.s.. [Online].
- [18] Chotěborský, R., *Nauka o materiálu*, 2006, Praha, ČZU v Praze.
- [19] „Friess, F. *Pilařské zpracování dřeva*“, KZD - FLD CZU Praha. [Online].
- [20] „*Stavební sklo*“, [Online].
- [21] „Centrum pasivního domu, *Okna a dveře pro pasivní domy 5. Typy oken*“, [Online]. Available: <http://www.pasivnidomy.cz/tepelna-ochrana/okna-a-dvere-pro-pasivni-domy.html?chapter=typy-oken>.
- [22] Adámek, J. a kol., *Stavební látky - polymery a živice*, Brno, VUT v Brně Fakulta stavební.
- [23] *Firemní prospekt společnosti Recovinyl*.

- [24] Adámek, J., *Stavební látky - Maltoviny a kamenivo*, Brno, VUT Brno Fakulta stavební.
- [25] „Centrum pasivního domu, *Tepelné izolace 1.Dům v kožichu*,“ [Online]. Available: <http://www.pasivnidomy.cz/tepelna-ochrana/tepelne-izolace.html>.
- [26] „Redakce tzb-info.cz, *Stavební tepelné izolace - přehled trhu*, 2007,“ [Online]. Available: <http://www.tzb-info.cz/3991-stavebni-tepelne-izolace-prehled-trhu>.
- [27] „Centrum pasivního domu, *Tepelné izolace 5.Základní vlastnosti jednotlivých druhů izolací*,“ [Online]. Available: <http://www.pasivnidomy.cz/tepelna-ochrana/tepelne-izolace.html?chapter=zakladni-vlastnosti-jednotlivych-druhu-izolaci>.
- [28] Remeš, J., *Polystyren Sdružení EPS*, výrobní sortiment ISOVER a dalších firem.
- [29] „Centrum pasivního domu, *Tepelné izolace 4.Typy tepelných izolací*,“ [Online]. Available: <http://www.pasivnidomy.cz/tepelna-ochrana/tepelne-izolace.html?chapter=typy-tepelnych-izolaci>.
- [30] „Matěj, vedoucí práce: M.Bublíková, *Využití konopí ve stavebnictví ročníková práce*,“ Střední průmyslová škola stavební Valašské Meziříčí. [Online].
- [31] „Hamšík, P.- Grmela, D., *Využití slámy ve stavebních konstrukcích – šíření tepla a vlhkosti*,“ [Online].
- [32] Sazima, M. - Kmoníček, V. - Schneller, J. a kol., *Technický průvodce svazek 2 - Teplo*, 1989, Praha, Nakladatelství technické literatury, str.317.
- [33] Neuberger, P. - Adamovský, R. - Adamovský, D., *Termodynamika*, 2009, Praha, ČZU v Praze.
- [34] ČSN EN 73 0540-1:Terminologie.
- [35] „Výpočet součinitele prostupu tepla- nápověda,“ [Online]. Available: http://stavba.tzb-info.cz/docu/tabulky/0000/000068_help.html.
- [36] „Centrum pasivního domu, *Kvalita vnitřního prostředí 2.Hodnocení kvality vnitřního prostředí*,“ [Online]. Available: <http://www.pasivnidomy.cz/pasivni-dum/vnitri-prostredi-domu/kvalita-vnitriho-prostredi.html?chapter=hodnoceni-kvality-vnitriho-prostredi>.
- [37] „Výborný, J. - Jerman, M. - Černý, R., *Tepelné a vlhkostní transportní charakteristiky nových pórobetonových výrobků*,“ sv. 1.
- [38] „Pavlík, Z. a kol., *Vliv vlhkosti na tepelnou vodivost vápenných kompozitů*“.
- [39] „Šulc, J. - Kryštůfek, P., *Měření součinitele tepelné vodivosti pomocí měřicího zařízení HFM 436/3/1E Lambda*, *Stavebnictví a interiér* 11/2008,“ [Online]. Available: <http://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/mereni-soucinitele-tepelne-vodivosti-pomoci-merici/>.
- [40] „Matěj, V., *Termovizní měření*,“ [Online]. Available: <http://www.termovize-mereni.cz/>.
- [41] „Klíma, J., *Termografie*,“ [Online]. Available: <http://www.see-more.cz/termografie.html>.
- [42] „Centrum experimentální geotechniky - výzkumné a pedagogické pracoviště Fakulty stavební ČVUT, Praha, *Tepelné vlastnosti*,“ [Online]. Available: <http://ceg.fsv.cvut.cz/vyzkum/zkousky/tepelne-vlastnosti/tepelne-vlastnosti>.

Seznam tabulek:

Tab. 1 Uváděné hodnoty jsou pro nová okna z normy ČSN 730540-2 – Tepelná ochrana budov – č. 2: Požadavky [3].....	12
Tab. 2 Hodnoty měrné spotřeby energie [5]	13
Tab. 3 Požadované a doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla $U_{N,20}$ pro budovy s převažující návrhovou vnitřní teplotou $\theta_{im} = 20 \text{ °C}$ [6]	14
Tab. 4 Přehled tříd betonu [18]	Chyba! Záložka není definována.
Tab. 5 Rozdělení dřevin a jejich zkratky [20].....	22
Tab. 6 Základní vlastnosti jednotlivých druhů izolací [28]	26
Tab. 8 Hodnoty R_{si} pro výpočet R_t [36]	34
Tab. 9 Hodnoty R_{se} pro výpočet R_t [36].....	34
Tab. 9 Součinitel tepelné vodivosti a měrná tepelná kapacita materiálů [38].....	37
Tab. 10 Součinitel tepelné vodivosti v závislosti na teplotě [38].....	37
Tab. 12 Naměřené hodnoty přístrojem ISOMET	43

Seznam obrázků:

Obr. 1 Různá řešení průběhu vzduchotěsné vrstvy v detailu obvodová stěna /vnitřní strop: A – utěsnění prostupu trámů, B – „obalení“ trámů, C – samostatně utěsněné prostory. V každém případě se musí jednat o spojitou vrstvu, která obaluje celý dům bez přerušení [2]	11
Obr. 2 Vývoj materiálů na časové ose [9].....	15
Obr. 3 Vedení tepla jednovrstevnou rovinnou stěnou.....	30
Obr. 4 Prostup tepla jednovrstevnou rovinnou stěnou	30
Obr. 5 Diagram vlivu teploty a relativní vlhkosti na komfort a případné rizika zhoršení kvality vnitřního prostředí. [37]	36
Obr. 6 Změna struktury smrkového vzorku vlivem vlhkosti.	36
Obr. 7 Schéma rozmístění	38
Obr. 8 Přichycení teplotních senzorů a rezistoru pomocí kleští.....	39
Obr. 9 Přehled materiálů k měření	41
Obr. 10 Průběh měření na TC_METERu při teplotě 30 °C	41
Obr. 11 Průběh měření na přístroji ISOMET	44