



Středoškolská technika 2019

Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT

PROSTUP TEPLA STAVEBNÍMI MATERIÁLY

Jaroslav Buben, Adam Pelcman, Vasyl Martynovskyy

SPŠ a VOŠ Kladno
Jana Palacha 1840, 27201 Kladno

Autor (jméno, kontakt): Jaroslav Buben, bubenjarda@gmail.com
Adam Pelcman, adam.pelcman@gmail.com
Vasyl Martynovskyy, zhonrecze@gmail.com

Název projektu: Prostup tepla stavebními materiály

Kategorie projektu: Enersol a praxe

Škola: SPŠ a VOŠ Kladno, Jana Palacha 1840, 27201 Kladno

Obor, ročník studia: Automatizační technika, 3. ročník

Vedoucí práce, koordinátor: Ing. Jaroslav Mlejnek, mlejnekjar@gmail.com, tel.737701139

Spolupracující firma: Prokyber s.r.o

Poradce: Bc. Ján Hýbl, jan.hybl@prokyber.cz, tel. 724396729

Počet stran: 12

Školní rok: 2018/2019

Anotace: V této práci „ Prostup tepla stavebními materiály“ v kategorii Enersol a praxe projekt řeší vliv vlhkosti základního zdiva budov na šířku vnější zateplovací vrstvy s cílem maximálně optimalizovat celkové náklady na zateplení budovy.

Klíčová slova: vlhkost, měření, zateplení, stavební materiály, optimalizace

Poděkování

Ing. Jaroslavu Mlejnkovi za odborné vedení projektu pomoc při návrhu elektroniky a odborné rady, firmě prokyber s.r.o. za poskytnutí vybavení, prostor a odborných rad a řediteli Ing. Miroslavu Dundrovi za finanční podporu.

Obsah

1 Úvod.....	2
2 Zhotovení měřených vzorků.....	3
3 Stanovení nejnižší absolutní teploty vzduchu v dané lokalitě.....	4
4 Zhotovení regulátoru topného tělesa	5
5 Měření prostupu teploty při dané vlhkosti materiálu	6
5.1 Stanovení strmosti nárůstu teploty v měřených vzorcích.....	8
5.2 Použití výpočtové tabulky prostupu tepla vícevrstvou konstrukcí.....	9
6 Zhodnocení výsledků měření	11
7 Závěr.....	12
8 Zdroje	12

1. Úvod

Cílem naší práce je optimalizovat šířku zateplovací vrstvy na vnějších stěnách budov v závislosti na vlastnostech základního zdiva a to především jeho vlhkosti.

Minimalizací potřebné šířky zateplovací vrstvy se podstatně ušetří náklady na celé zateplení vnějších stěn objektu.

Velmi nás zaujala práce našich předchůdců z roku 2014, Enersol a praxe-„, Měření tepelně izolačních vlastností stavebních materiálů“, která se zabývá průnikem chladu stavebními materiály. Pro prostup chladu byl v tomto projektu využit chladicí box.

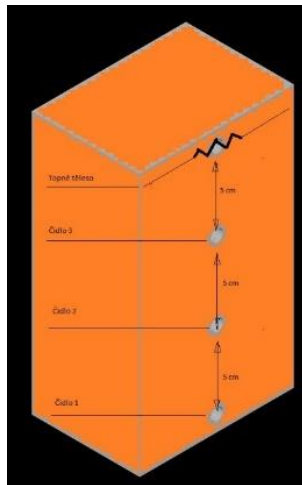
Pro radu s realizací měřicí elektroniky jsme navštívili firmu Prokyber, která se věnuje návrhu, vývoji a výrobě specializovaných elektrických zařízení, nabízí komplexní řešení pro domácí i průmyslové prostředí, až po náročné až extrémní provozní podmínky. Zařízení realizují od návrhu plošného spoje přes programování FW a bezdrátový přenos, až po aplikaci v osobním nebo mobilním počítači.

Pro náš cíl ověření vlivu vlhkosti základního zdiva na šířku vnějšího zateplení jsme využili nikoliv prostupu chladu daným materiálem, ale prostupu tepla za použití vyhřívacího tělesa.

Strmost poklesu (nárůstu) teploty materiálem bude stejná za předpokladu dodržení stejného gradientu teplot tj. rozdílu mezi teplotou interiéru a teplotou vnější stěny exteriéru u prostupu chladu a nebo rozdílu teploty topného tělesa a teplotou interiéru u prostupu tepla.

2. Zhotovení měřených vzorků

Měřené vzorky jsou dva kvádry (cihla, beton) o rozměrech 50x50x200 mm. Do vzorků jsou vyvrtány 3 otvory o průměru 3mm pro teplotní čidla a jeden otvor o průměru 8mm pro topné těleso. Teplotní čidla jsou perličkové NTC termistory 100k Ω . Pro vyhřívání měřených vzorků je použito keramické topné těleso 12V/40W.



Obr. 1. měřený vzorek, cihla, beton



Obr. 2. Topné těleso

3. Stanovení nejnižší absolutní teploty vzduchu v dané lokalitě

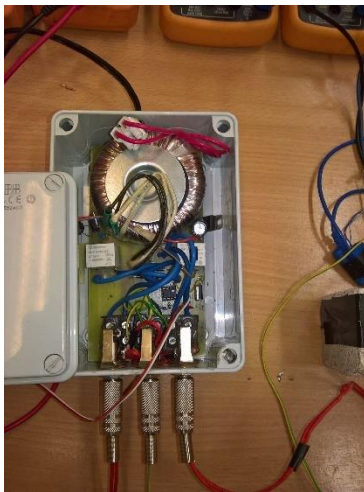
Z tabulky Českého hydrometeorologického ústavu plyne, že v období 1997-2017 nepřesáhla průměrná měsíční teplota vzduchu ve Středočeském kraji v prosinci a lednu -5°C . Absolutní nejnižší teplotu pro náš výpočet volíme -15°C , která by v dalších letech neměla dlouhodobě nastat.

Rok	Leden T	Leden N	Prosinec T	Prosinec N
1997	-4,2	-1,2	1,4	-0,1
1998	0,8	-1,2	-0,6	-0,1
1999	0,6	-2,0	0,8	-0,1
2000	-1,2	-1,2	1,1	-0,1
2001	-1,2	-1,2	-2,2	-0,1
2002	-0,3	-1,2	-1,9	-0,1
2003	-1,5	-1,2	0,0	-0,1
2004	-3,2	-1,2	-0,1	-0,1
2005	0,7	-1,2	-0,4	-0,1
2006	-5,3	-1,2	3,0	-0,1
2007	4,1	-1,2	0,1	-0,1
2008	2,1	-1,2	1,2	-0,1
2009	-3,7	-1,2	-0,5	-0,1
2010	-4,4	-1,2	-4,7	-0,1
2011	-0,5	-1,2	3,0	-0,1
2012	1,1	-1,2	-0,4	-0,1
2013	-1,0	-1,2	1,8	-0,1
2014	1,1	-1,2	2,5	-0,1
2015	1,9	-1,2	5,0	-0,1
2016	-0,4	-1,2	0,5	-0,1
2017	-5,0	-1,2	1,7	-0,1

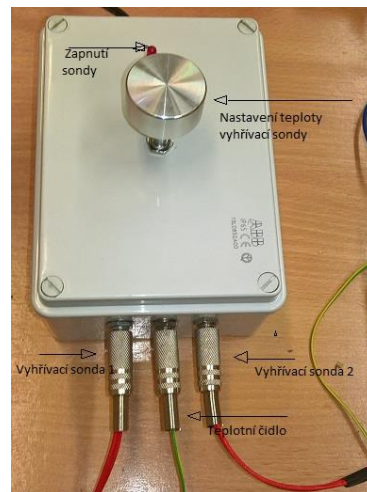
Tab. 1. Průměrné měsíční teploty prosinec, leden, období 1997-2017 jsou označené symbolem T ($^{\circ}\text{C}$). Dlouhodobý normál teploty vzduchu 1981-2010 je značený písmenem N ($^{\circ}\text{C}$). [1]

4. Zhotovení regulátoru topného tělesa

Teplota topného tělesa je řízena elektronikou skládající se z převodníku teplota ve °C na odpor v Ω , porovnávacího obvodu s operačním zesilovačem a výstupním obvodem s tranzistorem a spínacím relé.



Obr. 3. Regulátor teploty-elektronika



Obr. 4. Regulátor teploty-sestava

5. Měření prostupu teploty při dané vlhkosti materiálu

Nejprve jsme změřili vlhkost materiálu (cihla, beton). Materiálová vlhkost v obou vzorcích byla cca 11%.

Do otvorů v měřených vzorcích jsme umístili teplotní čidla a vyhřívací sondu nastavenou na teplotu 50 °C. Teplota v místnosti 16,5 °C. Teplotní gradient 50 – 16,5 = 33,5 °C.

Teplotu jsme odečítali po 15 min 2 hodiny. Již po 1. hodině je patrné ustálení teplot na vzdáleném okraji měřených vzorků, teplo absorbované se rovná teplu vyzářenému.

Prostup teploty materiálem, cihla-vlhkost materiálu 11%								
teplota v místnosti 16,5 °C, teplota topného tělesa 50 °C								
Teplota v materiálu (°C)	snímač 1	16,5	16,8	17,15	17,7	18,3	18,31	18,33
	snímač 2	16,5	18,8	20,7	21,8	22,5	22,6	22,8
	snímač 3	16,5	28,1	30,2	30,9	31,3	31,4	31,6
doba ohřevu (min)		0	15	30	45	60	90	120

Tabulka 2, Prostup teploty materiálem – cihla, materiálová vlhkost 11%

Prostup teploty materiálem, beton-vlhkost materiálu 11%								
teplota v místnosti 16,5 °C, teplota topného tělesa 50 °C								
Teplota v materiálu (°C)	snímač 1	16,2	16,5	16,6	16,8	17,1	17,15	17,2
	snímač 2	16,2	16,7	17,7	18,7	20,3	20,7	21,2
	snímač 3	16,2	26,1	28,6	29,9	30,6	31,2	31,6
doba ohřevu (min)		0	15	30	45	60	90	120

Tabulka 3, Prostup teploty materiálem-beton, materiálová vlhkost 11%

Obdobně jsme měřili při materiálové vlhkosti 21%. Tu jsme docílili zabalením dotyčných vzorků do několika vrstev mokrého savého papíru a umístěním do uzavřeného igelitového sáčku. Takto zabalené vzorky byly ponechány jeden den. Změřením jsme potom zjistili, že se vlhkost zvětšila téměř na dvojnásobek.(21%)

Prostup teploty materiálem, cihla-vlhkost materiálu 21%								
teplota v místnosti 14,5 °C, teplota topného tělesa 50 °C								
Teplota	snímač 1	13,5	13,7	14,6	15,5	16,2	16,3	16,4
v materiálu (°C)	snímač 2	13,5	16,1	18,2	19,6	20,6	21,1	21,4
	snímač 3	13,5	24,9	27	28,2	28,9	29,6	30,4
doba ohřevu (min)		0	15	30	45	60	90	120

Tabulka 4, Prostup teploty materiálem cihla, materiálová vlhkost 21%

Prostup teploty materiálem, beton-vlhkost materiálu 23%								
teplota v místnosti 14,5 °C, teplota topného tělesa 50 °C								
Teplota	snímač 1	13,5	13,7	14,2	14,9	15,1	15,2	15,3
v materiálu (°C)	snímač 2	16,2	16,7	17,7	18,7	20,3	20,8	21,3
	snímač 3	16,2	26,1	28,6	29,9	30,6	31,2	31,6
Doba ohřevu (min)		0	15	30	45	60	90	120

Tabulka 5, Prostup teploty materiálem beton, materiálová vlhkost 23%



Obr.5 Měřicí sestava



Obr.6 Měření vlhkosti v betonu



Obr.7 Měření vlhkosti v cihle

5.1 Stanovení strmosti nárůstu teploty v měřených vzorcích

Strmost nárůstu teploty při materiálové vlhkosti 11%, měříme údaje ze snímače 1.

Cihla – nárůst teploty- $18,3^{\circ}\text{C} - 16,5^{\circ}\text{C} = 1,8^{\circ}\text{C}$ na vzdálenost 10cm, $K_1 = 0,18^{\circ}\text{C}/1\text{cm}$

Beton – nárůst teploty – $17,1^{\circ}\text{C} - 16,2^{\circ}\text{C} = 0,9^{\circ}\text{C}$ na vzdálenost 10cm, $K = 0,09^{\circ}\text{C}/1\text{cm}$

Strmost nárůstu teploty při materiálové vlhkosti 21%,

Cihla – nárůst teploty- $16,2^{\circ}\text{C} - 13,5^{\circ}\text{C} = 2,7^{\circ}\text{C}$ na vzdálenost 10cm, $K_2 = 0,27^{\circ}\text{C}/1\text{cm}$

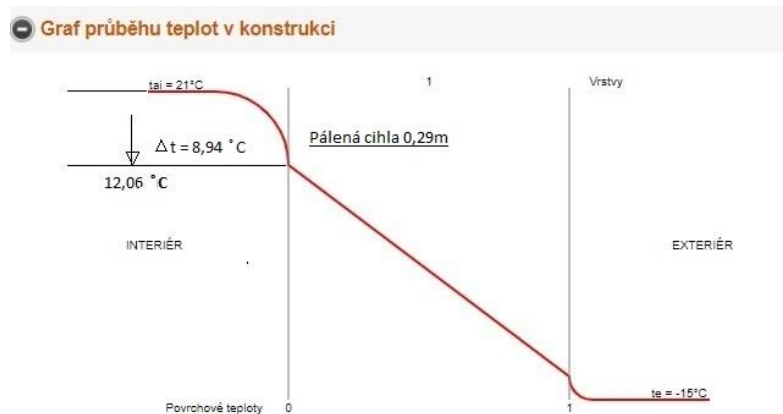
Beton – nárůst teploty – $15,1^{\circ}\text{C} - 13,5^{\circ}\text{C} = 1,6^{\circ}\text{C}$ na vzdálenost 10cm, $K = 0,16^{\circ}\text{C}/1\text{cm}$

Pro cihlu je poměr nárůstu teploty při vlhkostech 11% a 21% $K_2/K_1 = 0,27/0,18 = 1,57$

Tuto hodnotu použijeme pro náš výpočet vlivu velikosti vlhkosti základního zdiva na šířku vnější vrstvy izolace a to za použití výpočtové tabulky stavebního portálu tzbinfo

5.2 Použití výpočtové tabulky prostupu tepla vícevrstvou konstrukcí

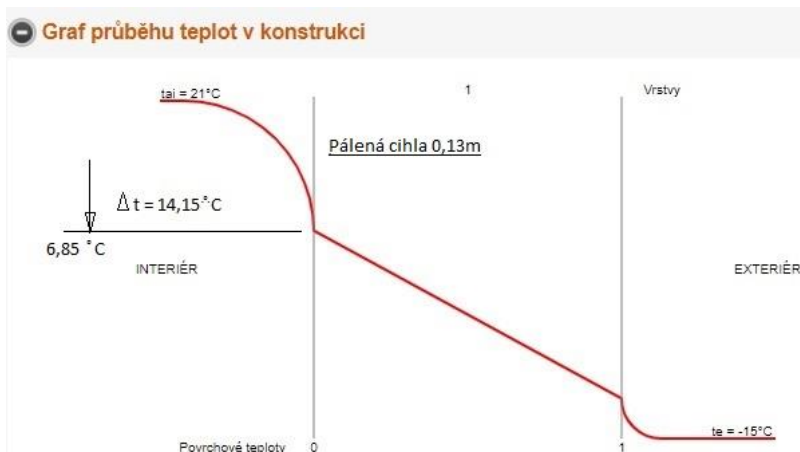
Využijeme výpočtové tabulky odborného portálu pro stavebnictví tzbinfo. [2] Pro náš výpočet volíme základní zeď z pálených cihel 290x140x65. Průběh teplot v pálené cihle při gradientu teplot $21\text{ °C} - (-15\text{ °C}) = 36\text{ °C}$ viz obr.8.



Obr. 8 Průběh teplot v konstrukci, cihla 0,29 m

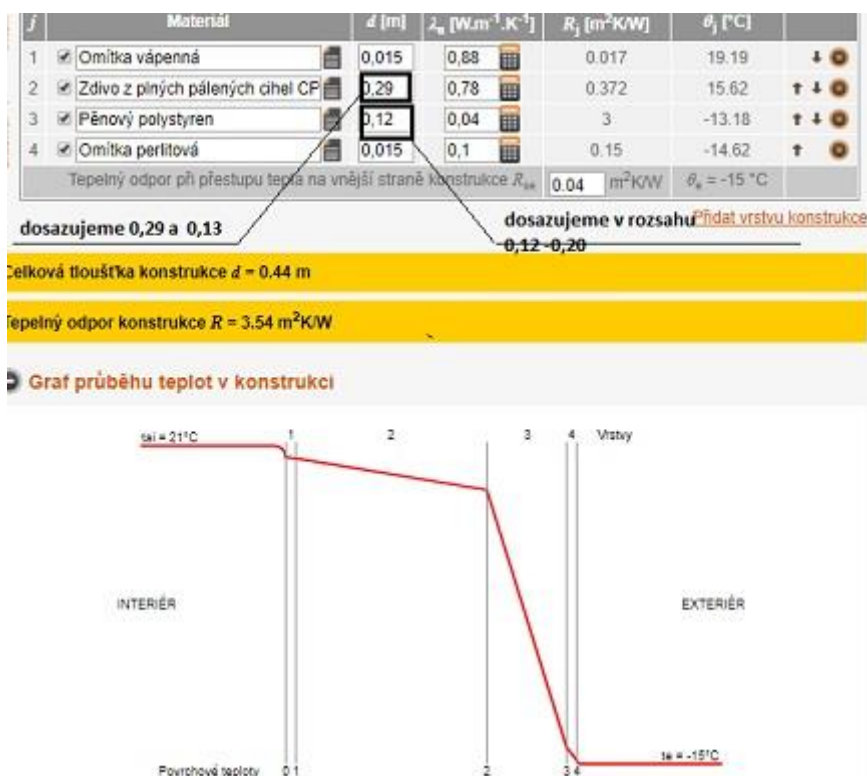
Z grafu je patrný rozdíl teplot teploty interiéru a teploty stěny interiéru. Tento rozdíl činí téměř 9 °C . Nyní požijeme náš poměr nárůstu teploty $K_2/K_1 = 1,57$. Pálená cihla s dvojnásobnou vlhkostí způsobí $1,57$ x větší pokles teploty stěny interiéru tj. $8,94\text{ °C} \times 1,57 = 14,03\text{ °C}$.

To nasimulujeme na grafu tak, že zmenšíme tloušťku stěny z pálených cihel na takovou hodnotu, až nám graf ukáže požadovaný pokles viz obr.9. Vidíme, že tento pokles nastává při tloušťce zdi $0,13\text{ m}$.



Obr.9 Průběh teplot v konstrukci, cihla 0,13m

Nyní přidáme do výpočtového grafu další vrstvy a to omítku vápennou pro stěnu interiéru, omítku perlitovou pro stěnu exteriéru a zateplovací vrstvu pěnového polystyrénu.



Obr.10 Výpočtový graf

Dosazujeme pro danou šířku cihlové zdi (0,29 a 0,13) postupně šířku pěnového polystyrénu v rozsahu 0,12m- 0,18m a zapisujeme hodnoty prostupu tepla [$Wm^{-2}K^{-1}$] viz tabulky 6 a 7.

Cihla 29 cm	
Pěnový polystyrén (m)	Prostup tepla ($Wm^{-2}K^{-1}$)
0,1	0,31
0,11	0,29
0,12	0,27
0,13	0,25
0,14	0,24
0,15	0,22
0,16	0,21
0,17	0,2
0,18	0,19

Tabulka 6. Cihla 29cm

Cihla 13 cm	
Pěnový polystyrén (m)	Prostup tepla ($\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$)
0,1	0,33
0,11	0,29
0,12	0,29
0,13	0,27
0,14	0,25
0,15	0,24
0,16	0,22
0,17	0,21
0,18	0,20

Tabulka 7. Cihla 13 cm

Součinitel prostupu tepla:

↘ Požadovaná hodnota $\leq 0,30$ [$\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$]

↘ Doporučená hodnota $\leq 0,25$ [$\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$]

Doporučená hodnota:

↘ Pro pasívní budovy 0,18 – 0,12 [$\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$]

6. Zhodnocení výsledků měření

Zmenšením šířky cihlového zdiva o více jak polovinu (nepřímo tedy zvětšení vlhkosti cihlového zdiva původní šířky na dvojnásobek) má za následek zvýšení prostupu tepla o 0,02 [$\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$] což odpovídá zvětšení šířky polystyrénové zateplovací vrstvy o 1 cm.

Větší vliv na velikost prostupu tepla konstrukcí mají tepelně izolační vlastnosti samotných zateplovacích materiálů. Vhodnou volbou typu izolačního panelu s optimalizací minimální šířky za pomoci výpočtového grafu stavebního portálu tzbinfo, lze výrazně snížit náklady na zateplení objektu.

7. Závěr

Prací na projektu jsme zjistili, že při zvětšení vlhkosti základního zdiva přibližně o polovinu je třeba zvětšit šířku zateplovací vrstvy o 1 cm při rozdílu teplot stěn interiér-exteriér $[21\text{ °C} - (-15\text{ °C})] = 36\text{ °C}$. Změřený prostup teploty daným materiálem, v našem případě pálenou cihlou, má však také význam pro šířku zateplení vnější stěny izolačním materiálem. Spolu se změřeným prostupem teploty certifikovaným stavebním vzorkem (např. cihlou Heluz) a za využití výpočtového grafu stavebního portálu tzbinfo můžeme optimálně stanovit potřebnou šířku izolace pro daný objekt.

Získali jsme řadu zkušeností a to jak při realizaci měřící elektroniky, tak i při práci s výpočtovými grafy a jejich využitím v praxi. Získané poznatky využijeme při úpravě mobildomu na celoroční bydlení.

8. Zdroje

- [1] *Meteorologie a klimatologie*. Praha: Český hydrometeorologický ústav, [online]. [cit. 2014-01-10]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/denni-data>
- [2] Portál TZB-info: *Prostup tepla vícevrstvou konstrukcí a průběh teplot v konstrukci* [online]. [cit. 2018-11-10]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/140-prostup-tepla-vicевrstvou-konstrukci-a-prubeh-teplot-v-konstrukci>
- [3] *Martin Koutník: Měření tepelně izolačních vlastností stavebních materiálů. Enersol 2014.*
- [4] Šubrt, R.: *Zateplování nakl.* 1. vyd. Praha: Era - vydavatelství, 2009. 116 s. ISBN: 978-80-7366-138-0.
- [5] FROHN, Manfred. *Elektronika: polovodičové součástky a základní zapojení*. 1. české vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2006, 479 s. ISBN 80-7300-123-3.