



**Středoškolská technika 2013**

**Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT**

# **MĚŘENÍ TEPELNĚ-IZOLAČNÍCH VLASTNOSTÍ STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ**

**Martin Koutník, Jan Hubáček, Tomáš Nesterenko**

**Střední průmyslová škola a Vyšší odborná škola Kladno  
Jana Palacha 1840  
272 01 KLADNO**

# Obsah

Úvod .....	2
Praktické použití výpočtového grafu.....	2
Grafické znázornění .....	3
Chladicí box .....	7
Měření teploty vzorku .....	9
Převodní výpočty a jednotky .....	12
Závěr.....	12
Poděkování .....	13
Použitá literatura.....	13

# Úvod

Letos jsme navázali na výsledky práce Šetřilek z minulého roku, zabývající se výpočtem tepelných ztrát před zateplením a po zateplení bytového domu. Pro tento účel nám posloužila rekonstrukce bytového domu, ke kterému jsme měli všechna potřebná vyúčtování nákladů na vytápění a rekonstrukci a tepelné ztráty použitých materiálů. Z výsledků byl zřejmý význam zateplování domů.

V této práci blíže zkoumáme prostup tepla stavebních materiálů za dané teploty a času. Měříme izolační vlastnosti materiálů v závislosti na různé teplotě a času. Toto lze následně využít při optimalizaci zateplení objektu v daném místě. V této práci se tedy budeme soustředit na zkoumání průniku tepla (chladu) daných materiálů v námi upraveném chladicím boxu čímž ověříme případně doplníme oficiální používané konstanty.

## Praktické použití výpočtového grafu

1/ Měřením průběhu teploty v daném stavebním materiálu tloušťky 0,17 m za dané vnější teploty a doby jejího trvání zjistíme směrnici tohoto přímkového průběhu.

2/ Do výpočtové excelové tabulky, viz hypertextový odkaz níže, dosadíme příslušný materiál zdíva o tloušťce 0,17 m bez dosazení dalších vrstev, jako jsou vnitřní a vnější omítka, zateplovací izolace.

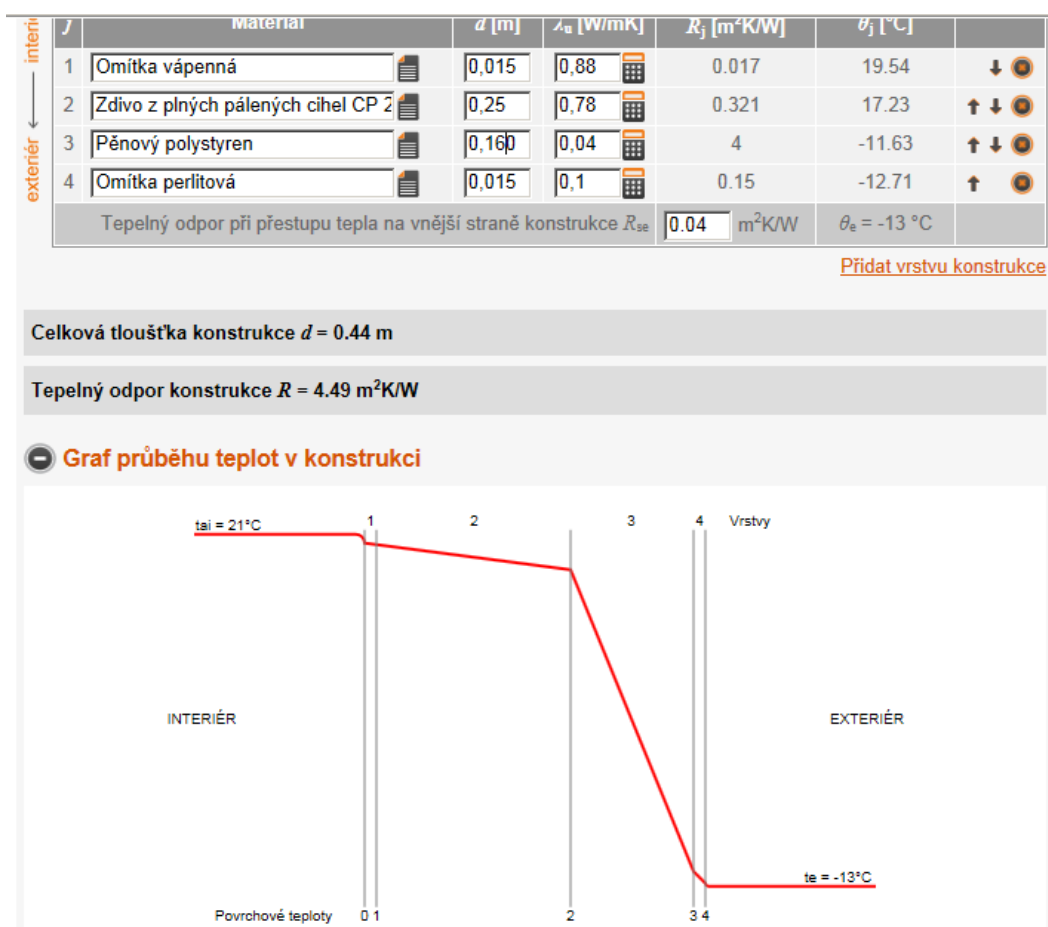
<http://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/140-prostup-tepla-vicevrstvou-konstrukci-a-prubeh-teplot-v-konstrukci>

Zjistíme směrnici nárůstu teploty v tomto grafu a porovnáme se směrnicí (viz bod 1). Vypočteme poměr těchto směrnic  $K$ .

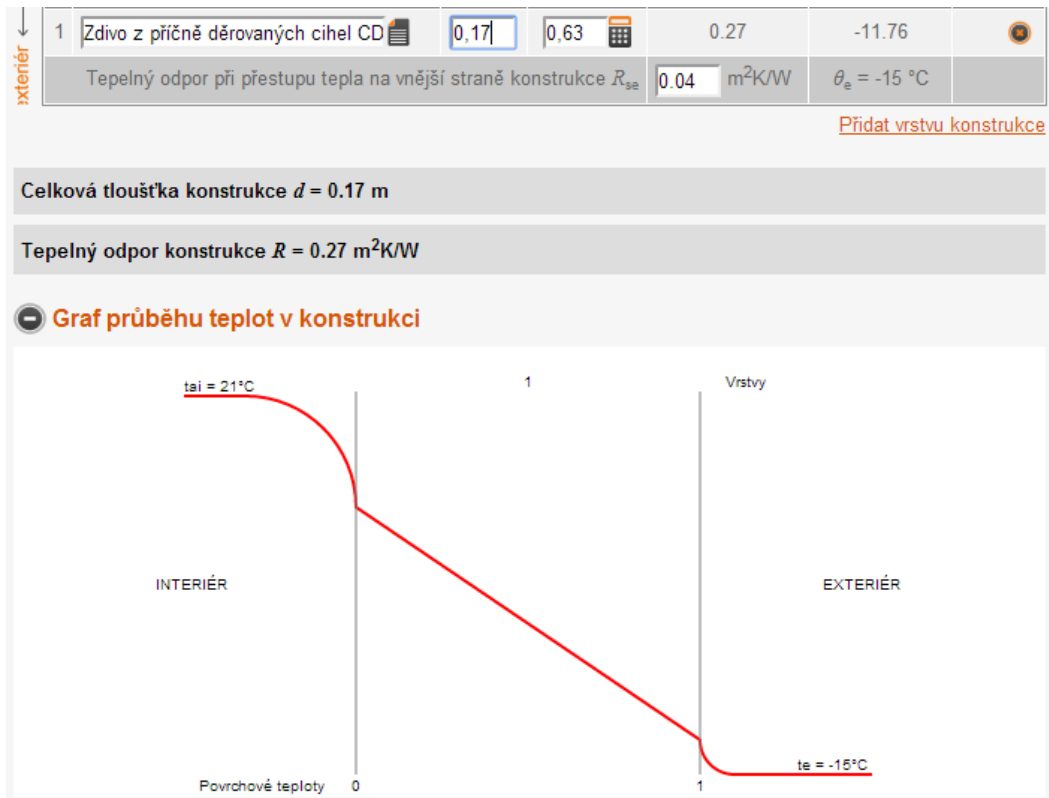
3/ Do výpočtové excelové tabulky nyní dosadíme všechny stavební vrstvy (materiál a tloušťka), např. omítka vápenná 0,015m, cihla plná 0,25m, pěnový polystyren 0,16m, omítka perlitová 0,015m. Zjistíme směrnici průběhu teploty ve vrstvě cihla plná. Tuto směrnici upravíme v poměru „ $K$ “ (viz bod 2) a to přidáním, ubráním tloušťky zateplovací vrstvy polystyrenu.

# Grafické znázornění

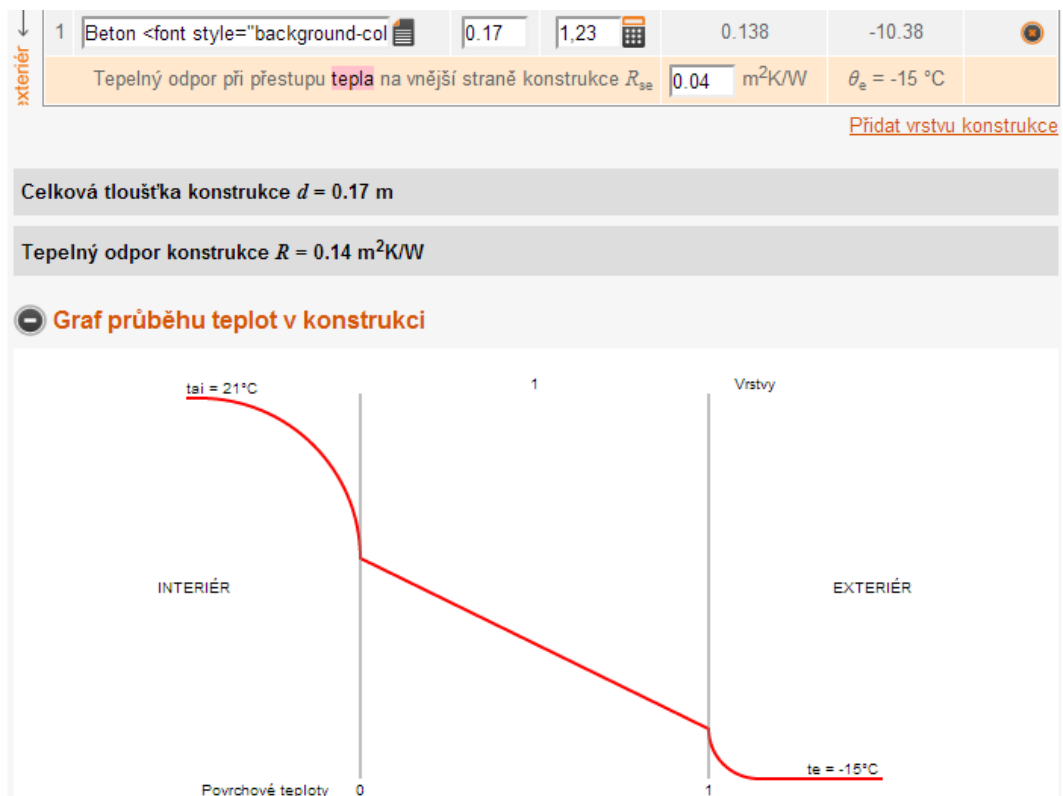
Na přiložených grafech je znázorněn průběh teplot v konstrukci pro teplotu exteriéru -15°C a interiéru 21°C, materiály beton, děrovaná cihla, ytong, polystyren, skelná vata. Na těchto výpočtových grafech vzatých z internetu/viz hypertextový odkaz /však není číselně znázorněná teplota povrchu zdiva interiéru. Snahou je, aby rozdíl teplot povrchu zdiva a vnitřní teploty interiéru byl co nejmenší. A k tomu nám přispívá znalost gradientu nárůstu teploty v daném stavebním materiálu za dané minimální teploty exteriéru a maximální doby jejího trvání.



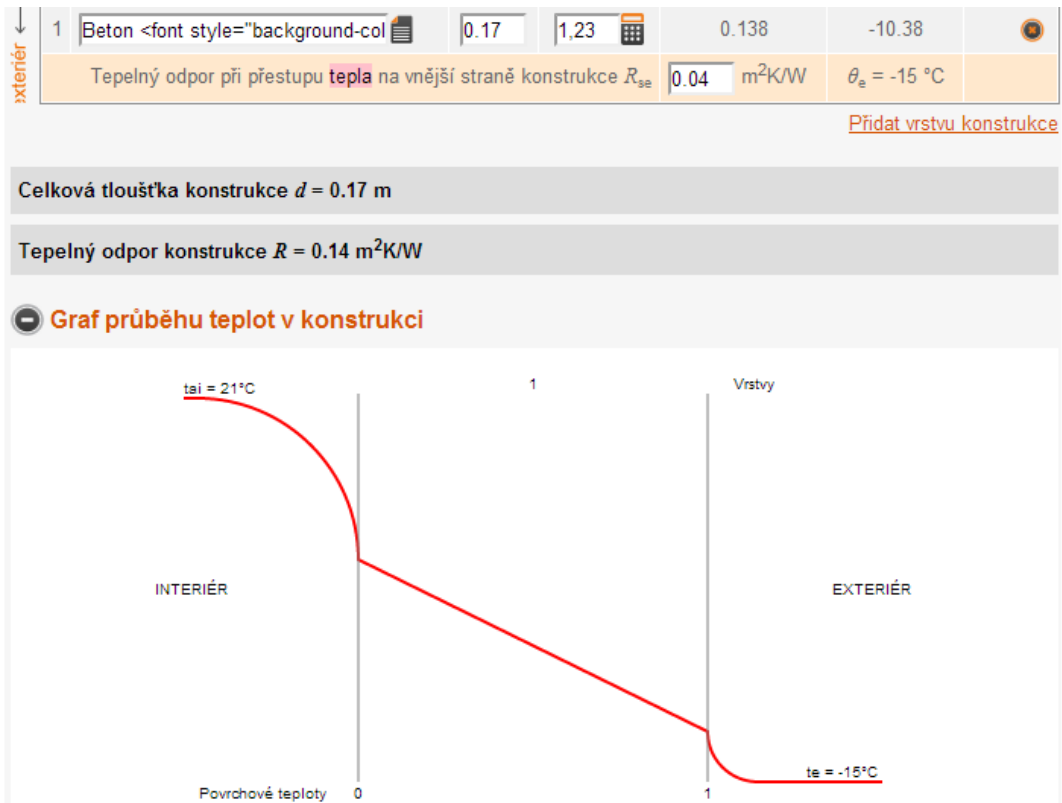
Obr. 1 Graf se zdivem, izolací a omítkou



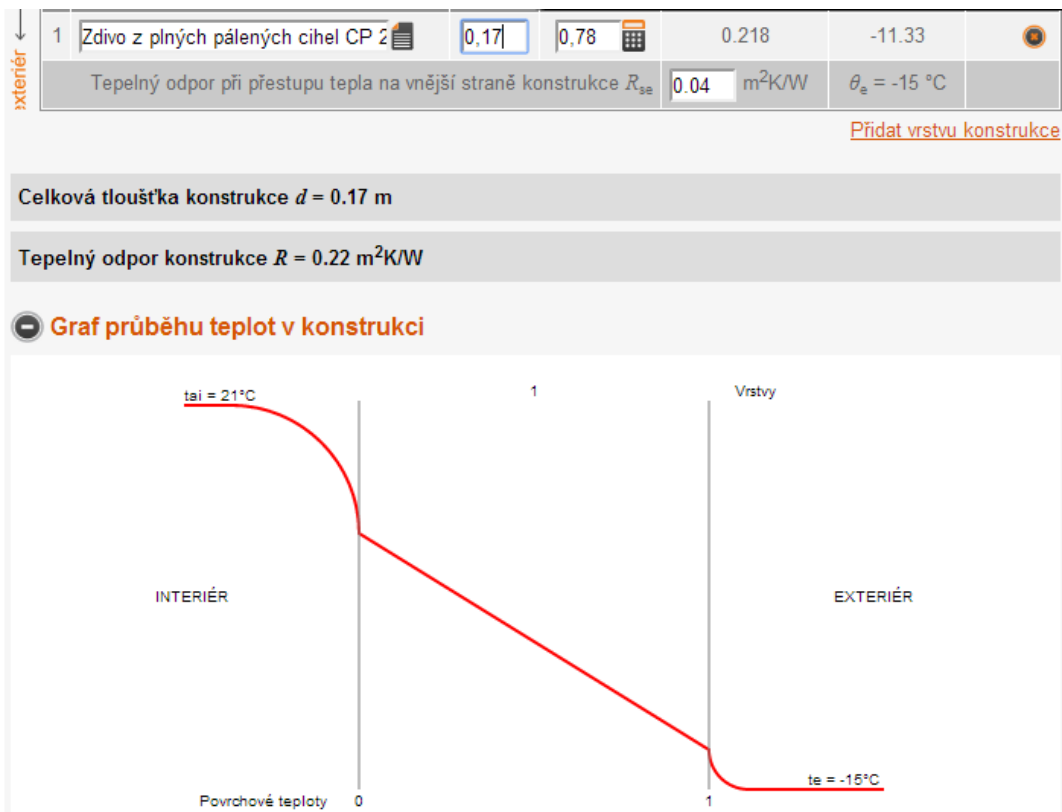
Obr. 2 Graf prostupu tepla zdi z děrovaných cihel



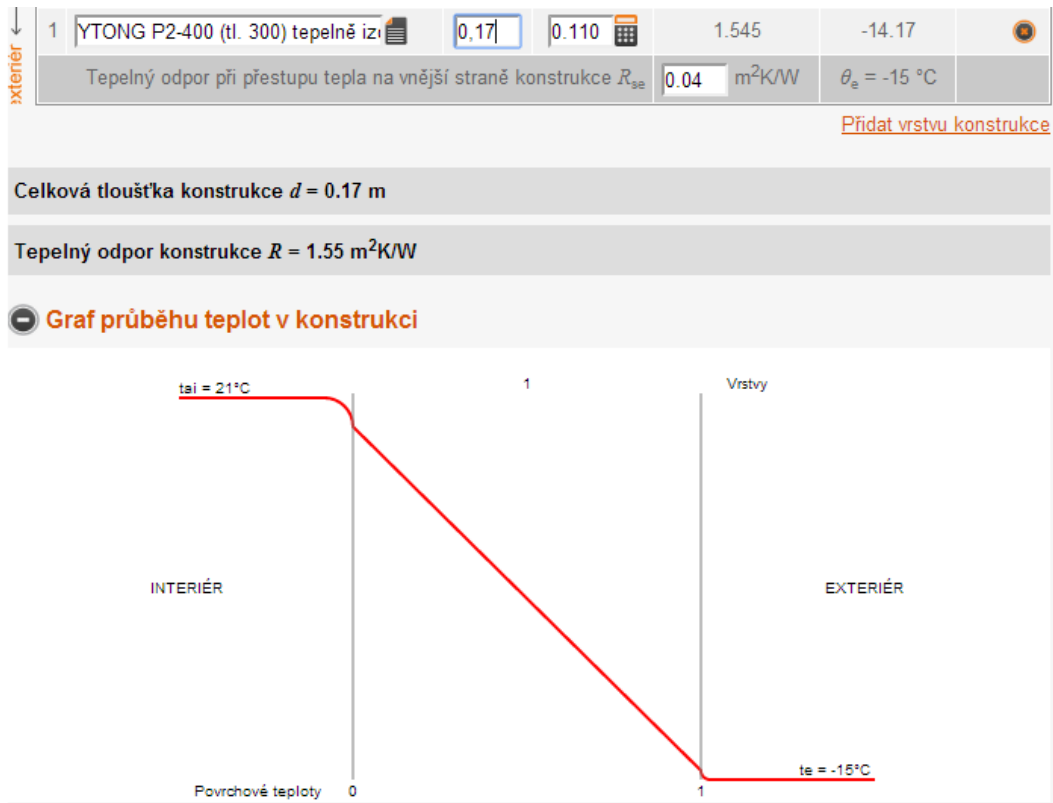
Obr. 3 Graf prostupu tepla zdi z betonu



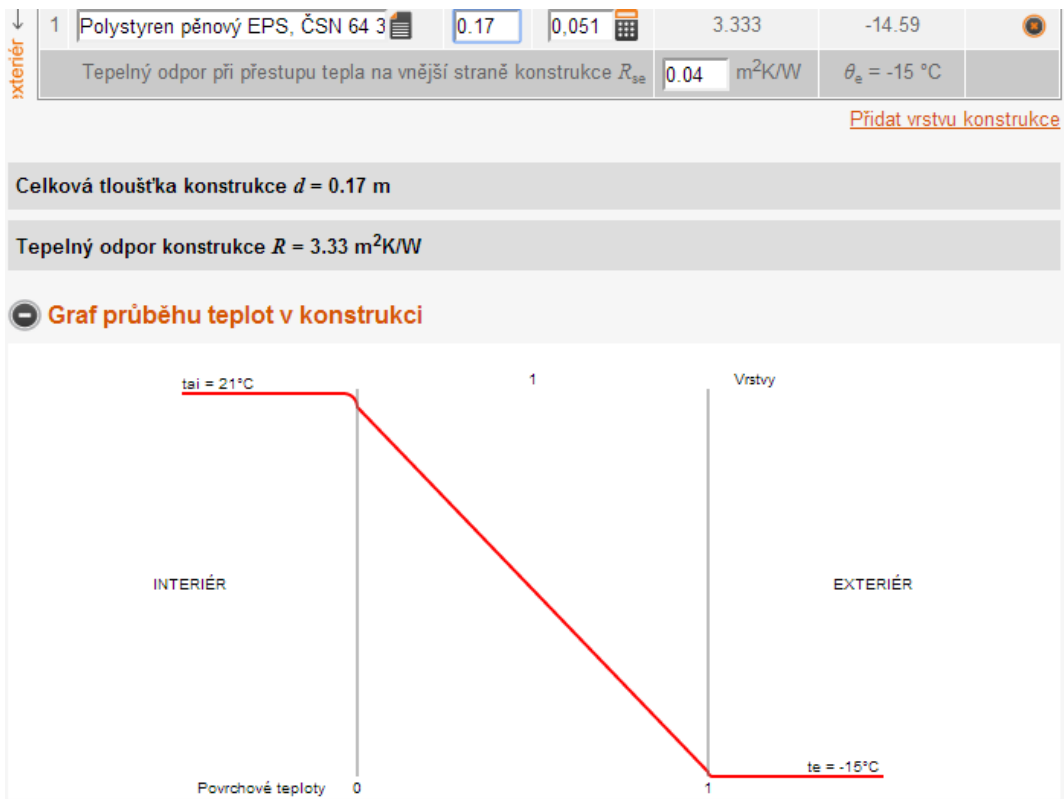
Obr. 4 Graf prostupu tepla zdi z betonu



Obr. 5 Graf prostupu tepla zdi z pálených cihel



Obr. 6 Graf prostupu tepla zdi z ytongu



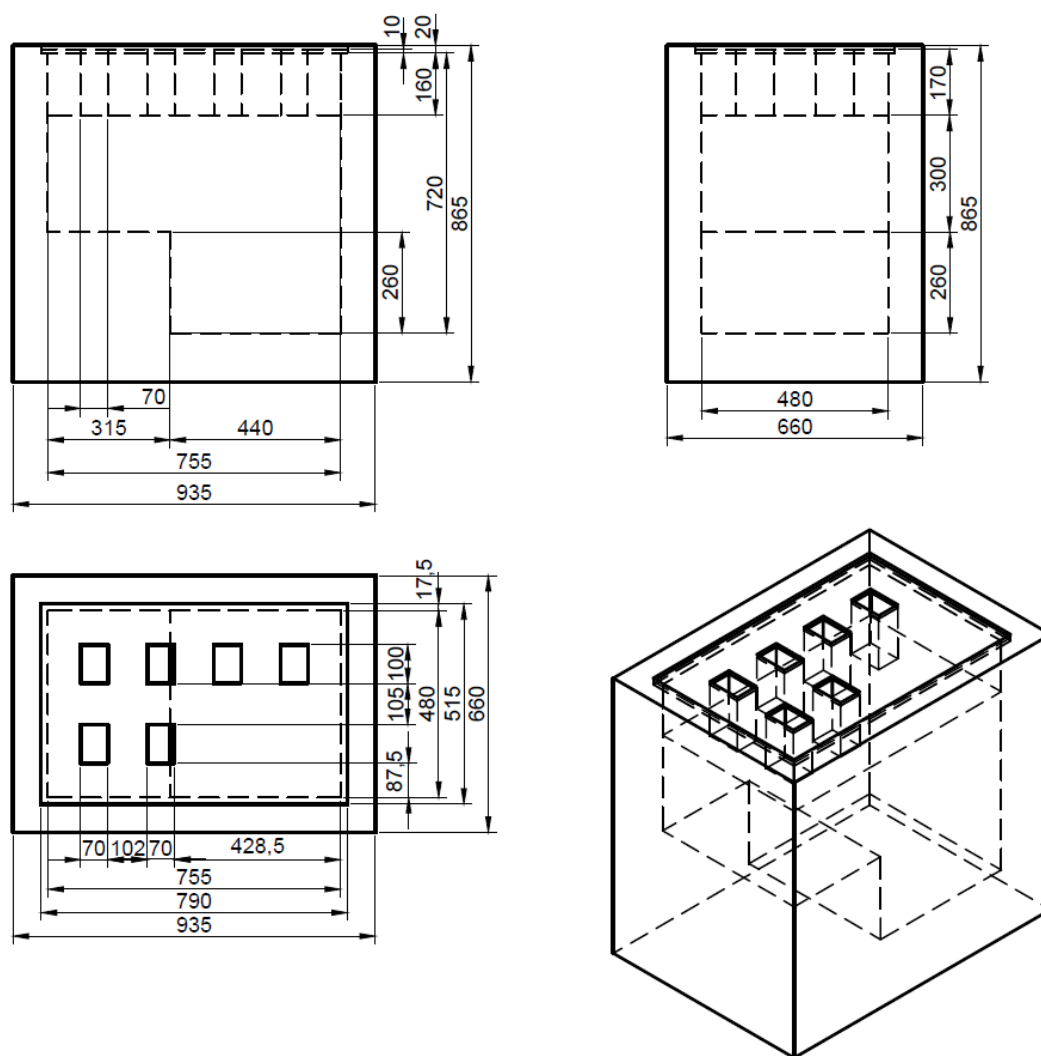
Obr. 7 Graf prostupu tepla zdi z polystyrenu

# Chladicí box

Chladicímu boxu značky Privilek jsme odstranili víko a nahradili jej dřevotřískovou deskou o tloušťce 10 mm a polystyrénem o tloušťce 160 mm. Do desky a polystyrénu jsme vyřizli šest otvorů na vzorky testovaných materiálů, Obr. 8 a Obr. 9. V materiálových vzorcích jsou tepelná čidla pro zjištění postupného šíření tepla daným materiálem.

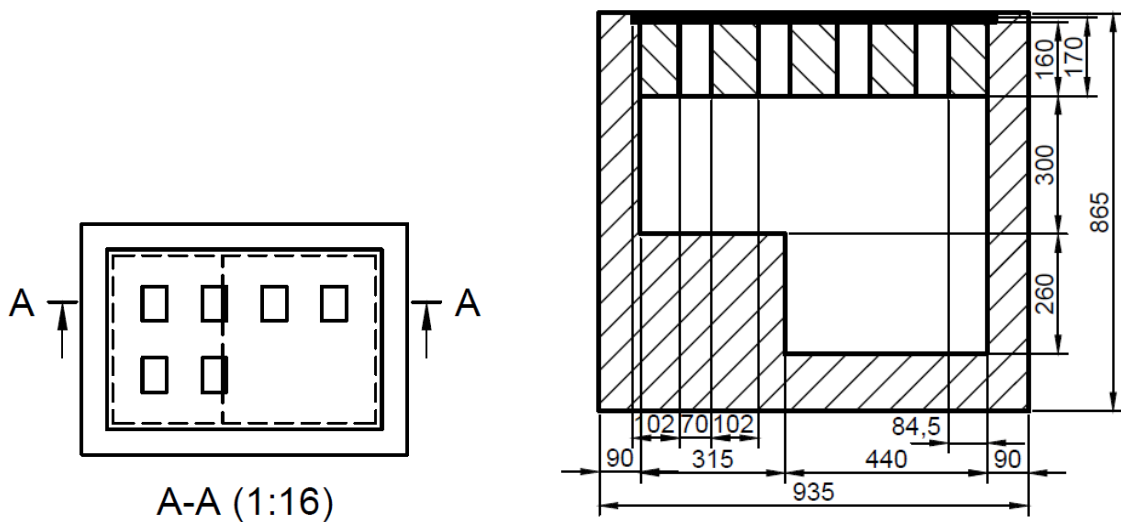
Jako zkoumaný materiál jsme použili beton, děrovanou cihlu, pálenou cihlu, ytong, polystyren, skelnou vatu. Ve čtyřech místech každého vzorku (Obr. 10) jsme umístili teplotní čidla a jeden vlhkostní senzor u 1 vzorku z každé dvojice, viz kap. Měření teploty vzorku. Uvnitř prostoru chladicího boxu je umístěno teplotní čidlo s lineárním napěťovým výstupem jako součást elektronického regulátoru teploty uvnitř chladicího boxu, schéma na Obr. 13, kterou je možné regulovat v rozmezí  $-17$  až  $+2$  °C.

Řídicí a měřicí elektronika je umístěna v pravém dolním rohu víka chladicího boxu.

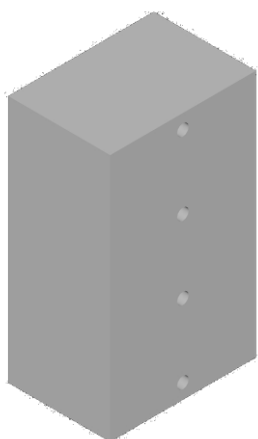


Obr. 8 Výkres chladicího boxu a víka

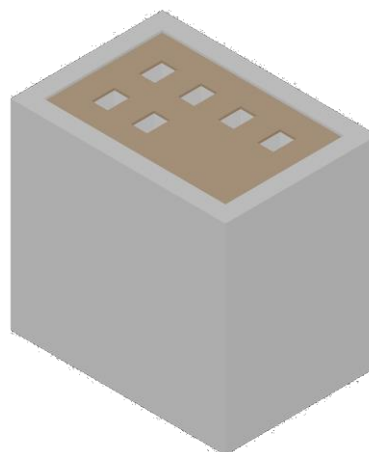




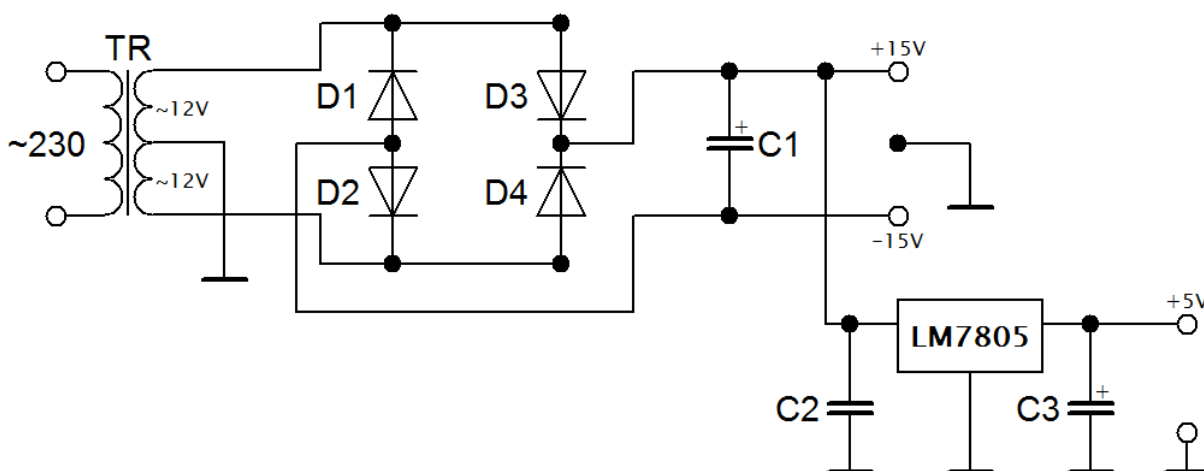
Obr. 9 Detail rozmístění otvorů ve víku chladičoho boxu



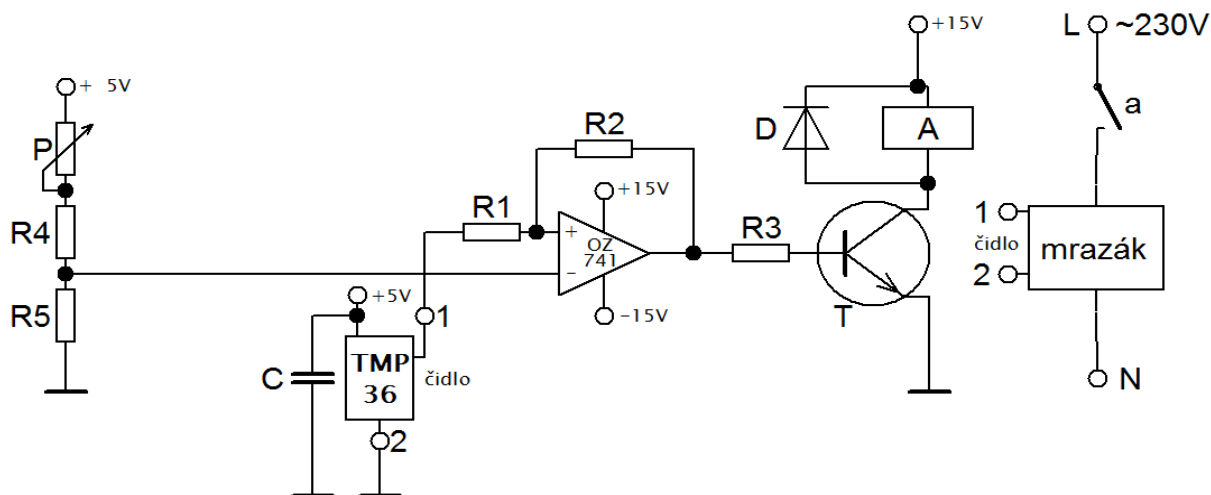
Obr. 10 3D model měřeného vzorku



Obr. 11 3D model chladičoho boxu



Obr. 12 Schéma napájecího zdroje pro elektroniku s komponenty: C1= 0,47mF/25V, C2 = 0,1M, C3 = 0,1mF/10V, trafo T0025/2x12V, diody 1NN007, stabilizátor LM7805



Obr. 13 Schéma regulace teploty mrazáku se součástkami:  $R1 = 27 \Omega$ ,  $R2 = 68 \text{ k}\Omega$ ,  $R3 = 670 \Omega$ ,  $R4 = 1950 \Omega$  ( $1800 + 150 \Omega$ ),  $R5 = 220 \Omega$ ,  $P = 1 \text{ k}\Omega$ ,  $C = 0,1 \text{ M}$ , rele A typ 30-12/720 $\Omega$ , tranzistor T typ BD243C, teplotní čidlo typ TMP 36, dioda D Schottkyho 1N5819

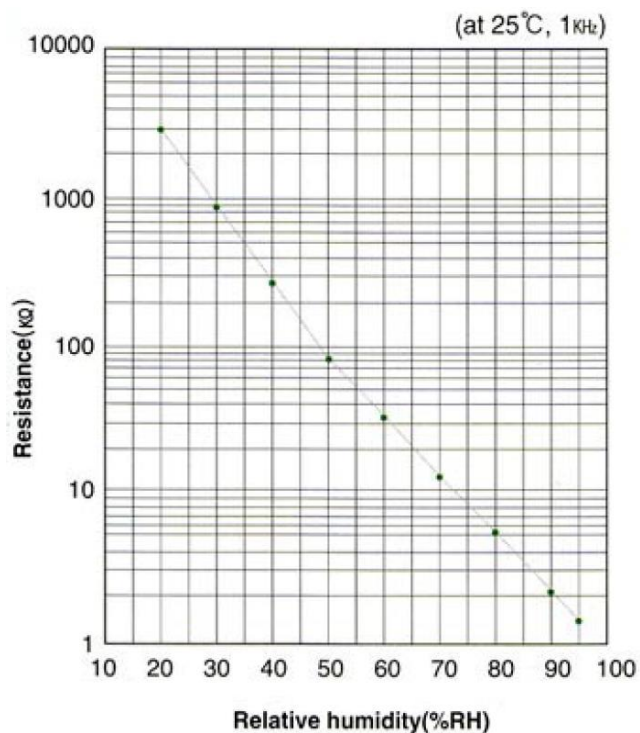
## Měření teploty vzorku

Měření je realizováno zapojením na vývojovém kitu s MCU AT90USB162. MCU je doplněn o 4 A/D převodníky MCP3008 pro připojení a konverzi dat z NTC termistorů a odporových sensorů vlhkosti a o USART/USB převodník pro přenos dat na PC. MCP3008 komunikuje na SPI lince. Měření je realizováno algoritmem napsaném v C kódu. Algoritmus naváže komunikaci s MCP3008, přijme data, upraví je z binární podoby do řetězce 8 bit char symbolů a odešle na USART/USB převodník ve formátu: číslo měření | vlhkost A | teplota A1 | teplota A2 | teplota A3 | teplota A4 | vlhkost B | teplota B1 | teplota B2 | teplota B3 | teplota B4 |. Kontrola délky řetězce vychází z formátu: 8 bit | 8 bit | 8 bit | 8 bit | 8 bit | 8 bit | 8 bit | 8 bit | 8 bit | 8 bit | 8 bit | 8 bit | na 88 bit, kdy první 2 hodnoty představují celé číslo a 3 číselná hodnota jsou desetiny. Pro případ přesnějšího měření nebo měření ve větším teplotním rozsahu je možné rozšířit informaci o dalších 8 bit; výsledek je potom: -128 až 128 v celém čísle a 2 desetinná místa s hodnotami v intervalu 0 až 99. LED pole informuje o stavu probíhajícího měření.

Postupným laborováním jsme zjistili, že je druhá datově náročnější varianta mnohem lepší a získáváme tak přesné výsledky z měření teploty a vlhkosti. Data z COM portu zaznamenáváme do textového souboru a připravujeme vlastní excelovskou tabulku, která data importuje a vytvoří grafy závislostí a upraví data pro další zpracování. Je nutné udělat kontrolu dat a odstranit občasné fantomy způsobené chybou převodu, rušením, nestandardními podmínkami.

R/T No.	2005	
T (°C)	B <sub>25+100</sub> = 4600 K	
	R <sub>T</sub> /R <sub>25</sub>	α (%/K)
-55.0	120.22	7.0
-50.0	85.48	6.9
-45.0	61.004	6.8
-40.0	43.712	6.7
-35.0	31.459	6.6
-30.0	22.746	6.6
-25.0	16.49	6.4
-20.0	12.071	6.3
-15.0	8.8455	6.1
-10.0	6.5446	6.0
-5.0	4.8852	5.8
0.0	3.6781	5.6
5.0	2.7944	5.4
10.0	2.1391	5.3
15.0	1.6507	5.1
20.0	1.2823	5.1
25.0	1.0000	5.0
30.0	0.78393	4.8
35.0	0.61822	4.7
40.0	0.49053	4.6
45.0	0.39116	4.5
50.0	0.31371	4.3
55.0	0.25338	4.2
60.0	0.20565	4.2
65.0	0.16762	4.1
70.0	0.13726	4.0
75.0	0.11279	3.9
80.0	0.093053	3.8
85.0	0.077177	3.7
90.0	0.064263	3.6
95.0	0.053678	3.6
100.0	0.044996	3.5
105.0	0.037917	3.4
110.0	0.032063	3.4
115.0	0.027161	3.3
120.0	0.023079	3.2
125.0	0.01968	3.2

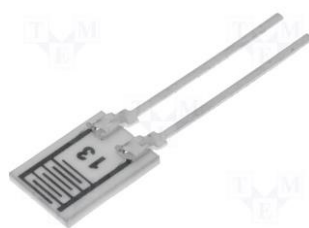
Obr. 15 Tabulka převodu teploty a odporu



Obr. 14 Graf závislosti odporu na relativní vlhkosti senzoru SYH-2R. Senzor vyžaduje cca 60 sec pro stabilizaci naměřené hodnoty vlhkosti, pracuje v teplotním rozmezí 0 až 60 °C a měří v rozsahu 20 % až 95 % RH.



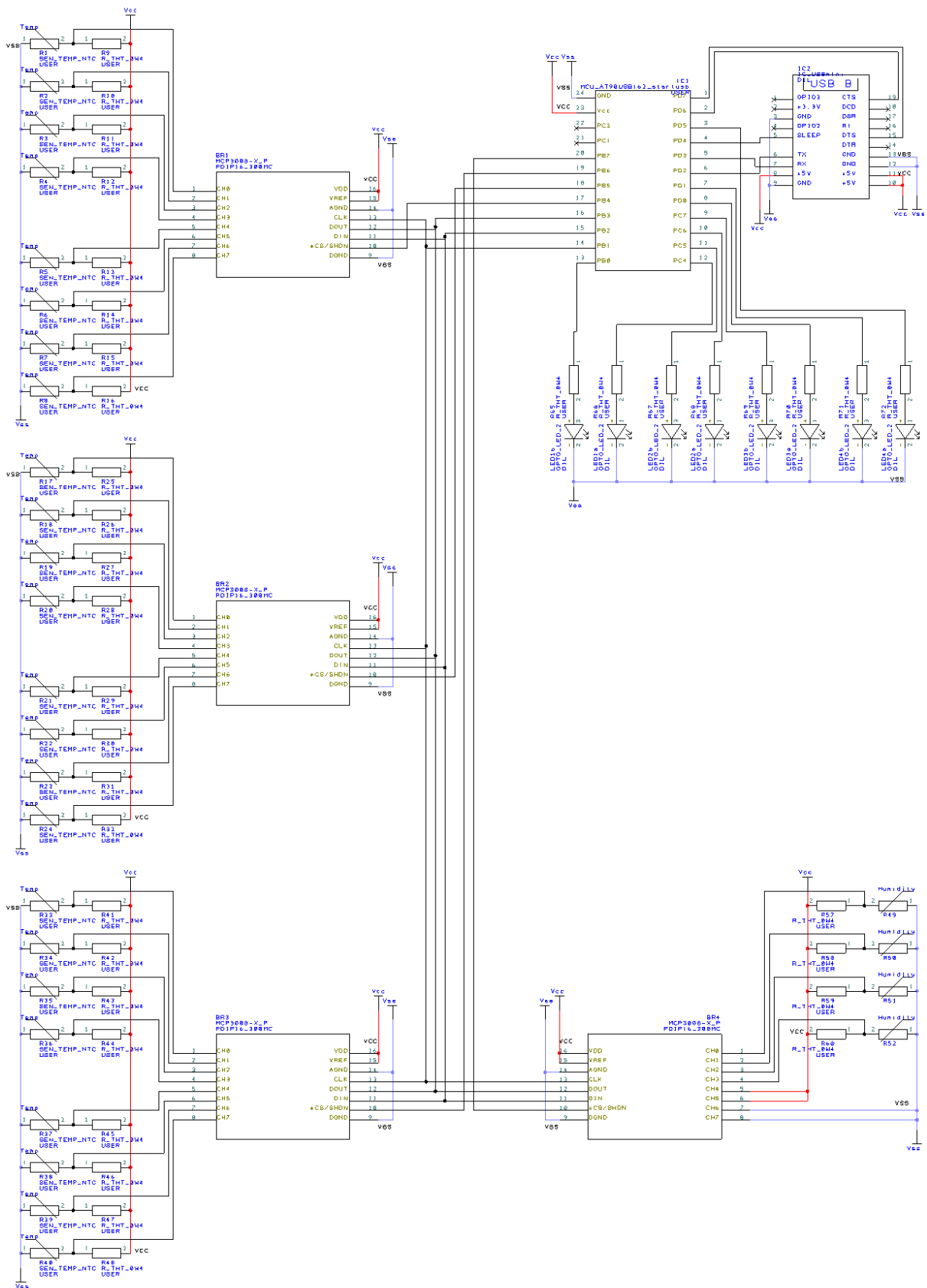
Obr. 16 NTC termistor 100 K



Obr. 17 Vlhkostní senzor SYH-2R



Obr. 18 StartUSBAVR výv. deska



Obr. 19 Schéma měřicího obvodu s 3 bloky teplotních senzorů pro 3 dvojice měřených vzorků, jedním vlhkostním senzorem pro informaci o vlhkosti okolí a 3 vlhkostními senzory pro informaci o vlhkosti navlhčených vzorků.

# Převodní výpočty a jednotky

## Joule – jednotka práce a energie:

- 1 J = 1 Ws
- 1 GJ = 10<sup>9</sup> Ws
- Převod GJ na kWh
- 1 GJ = 277,8 kWh

## Tepelná ztráta prostupem:

- Tepelná ztráta prostupem  $Q_p = \Sigma(U * S) * (t_i - t_e)$  [W]
- S je plocha konstrukce v m<sup>2</sup>
- $t_i$  je teplota interiéru, pro obytné budovy se rovná +21 °C
- $t_e$  je teplota exteriéru
- $t_e$  volíme jako průměrnou teplotu v dané lokalitě, interní teplotu  $t_i$  volíme 21 °C.

U je součinitel prostupu tepla. Součinitel prostupu tepla nám udává, kolik energie proteče jedním m<sup>2</sup> konstrukce při tepelném rozdílu 1 K, nebo také 1°C. Z tohoto je logické, že pokud tento součinitel vynásobíme rozdílem teplot vevnitř a venku a plochou, dostaneme množství tepla, které uniká. Pokud tuto energii vynásobíme časovým obdobím, v němž nám energie uniká, získáme množství energie, kterou jsme ztratili. K těmto únikům je ještě nutné připočíst teplo, které nám uniká tepelnými mosty. To je možné realizovat například tak, že součinitel prostupu tepla U zvětšíme o  $DU = 0,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ .

## Závěr

Podářilo se nám vytvořit měřicí aparaturu, která dokáže měřit prostup chladu 3 dvojicemi materiálů vždy s 2 vzorky o rozdílné vlhkosti. Dokázali jsme značný vliv vlhkosti na tepelnou vodivost. Ověřili jsme vlastnosti materiálů s tabulkovými hodnotami.

Využitím výpočtové tabulky (prostup tepla vícevrstvou konstrukcí a průběh teplot v konstrukci) a naším měřením prostupu tepla danými stavebními materiály jsme chtěli optimalizovat tloušťku vnější zateplovací vrstvy (polyester, křemičitá vata) budovy v dané lokalitě a tím zároveň optimalizovat celkové náklady na tuto investici.

Zdůrazňujeme, že bez řádného zateplení vnějšího zdiva, střechy objektu a volby vhodných oken (nejlépe s trojskly), nemá smysl jakákoli regulace vytápění uvnitř objektu.

Podrobné výsledky měření a demonstraci měřicí aparatury připravujeme do naší prezentace.

Pokud jsme touto prací alespoň trochu přispěli k tomuto tématu, budeme jenom rádi.

## Poděkování

Za pomoc s vypracováním práce děkujeme vyučujícím odborných praxí **Bc. Jánů Hýblovi** a **Ing. Jaroslavu Mlejnkovi**. Dále **Mgr. Šárce Čečrdlové** za koordinaci a formální kontrolu práce. Velké poděkování patří společnosti **Progredior Kybernétés s.r.o.**, za finanční pomoc při nákupu vybavení pro naše laborování a pomoc při návrhu HW a SW aparatury pro měření dat.

## Použitá literatura

- [1] Šubrt, R.: *Zateplování nakl.* 1. vyd. Praha: Era - vydavatelství, 2009. 116 s. ISBN: 978-80-7366-138-0.
- [2] *Vše o úsporách energií nakl.* 1. Vyd. Praha: JAGA media, 2007. 159 s. BEN
- [3] Portál TZB-info: *Prostup tepla vícevrstvou konstrukcí a průběh teplot v konstrukci* [online]. [cit. 2014-01-10]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/140-prostup-tepla-vicevrstvou-konstrukci-a-prubeh-teplot-v-konstrukci>