

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

VÝPOČET EKVITERMNÍ KŘIVKY
HEATING CURVE CALCULATION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JINDŘICH ŠTĚPÁNEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. JIŘÍ HEJČÍK, Ph.D.

BRNO 2011

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá tématem vytápění, přesněji řečeno vytápěním v závislosti na klimatických podmínkách prostředí ve kterých se nachází vytápěný objekt. Shrnuje informace nutné pro výpočet ekvitermní závislosti, informace o typech tepelných ztrát objektů a jejich výpočtu, dále jsou zde informace o otopných tělesech, jejich typech a charakteristikách. S využitím všech těchto informací je proveden vzorový výpočet jednoho bodu ekvitermní křivky pro zvolenou referenční místnost. Dále je zde uveden další odlišný způsob jak získat ekvitermní křivku, je taktéž proveden jeho vzorový výpočet a jsou popsány výhody a nevýhody tohoto způsobu.

Abstract

The bachelor thesis examines the question of heating, more precisely heating depending on climatic conditions of the environment in which the heated entity is situated. It summarizes the information necessary for calculating equithermal dependency as well as the information about the types of heat loss of buildings and their calculation. There is also basic information about the heating elements, their types and characteristics. Using all the information, a model calculation of one point weather compensation curve for the chosen reference room is determined. Further, another way how to get the heating curve is mentioned there, its model calculation is done and the advantages and disadvantages of this method are described.

Klíčová slova

Ekvitermní křivka, ekvitermní závislost

Key words

Heating curve (weather compensation curve), equithermal dependency

Bibliografická citace

ŠTĚPÁNEK, J. *Výpočet ekvitemní křivky*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 25 s. Vedoucí bakalářské práce
Ing. Jiří Hejčík, Ph.D.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Výpočet ekvitermní křivky vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

27. května 2011

.....
Jindřich Štěpánek

Obsah

1	ÚVOD	2
2	EKVITERMNÍ KŘIVKA	3
3	TEPELNÉ ZTRÁTY	4
3.1	PROSTUP TEPLA	5
3.2	VÝPOČTOVÁ POMŮCKA	7
4	OTOPNÁ TĚLESA	11
4.1	GEOMETRICKÁ CHARAKTERISTIKA	11
4.2	TEPLOTECHNICKÁ CHARAKTERISTIKA	12
4.3	PROVOZNÍ CHARAKTERISTIKA	12
4.4	URČENÍ OTOPNÉHO TĚLESA	12
5	VÝPOČET EKVITERMNÍ KŘIVKY	14
5.1	VZOROVÝ VÝPOČET TEPLoty TOPNÉ VODY POMOCÍ VÝPOČTU TEPELNÝCH ZTRÁT A ZVOLENÉHO OTOPNÉHO TĚLESO:	16
5.2	JINÝ ZPŮSOB VÝPOČTU EKVITERMNÍ KŘIVKY	19
5.3	VZOROVÝ VÝPOČET DLE SYSTÉMU FIRMY AMIT, SPOL. S R.O.:	21
6	ZÁVĚR	22
7	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ A LITERATURY	23
8	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	25

1 Úvod

Lidská společnost se vždy zajímala náklady na spotřebu energií z důvodů její ceny a dostupnosti. V posledních několika desetiletích je v návaznosti na omezené kapacity energetických zdrojů a s tím souvisejícím zvyšováním její ceny zájem o hospodaření s energiemi výrazně intenzivnější.

V dnešní době se proto snažíme o co nejefektivnější využívání energie. Nejlevnější energie je ta, kterou dokážeme ušetřit, a tedy ji nemusíme vynaložit. Významnými místy spotřeby energie je vytápění našich obydlí, které jsou v průběhu posledních let vylepšována tak, aby jejich spotřeba klesla na minimum. Tento postup uživateli zlevňuje provoz bydlení a zároveň šetří energetické zdroje.

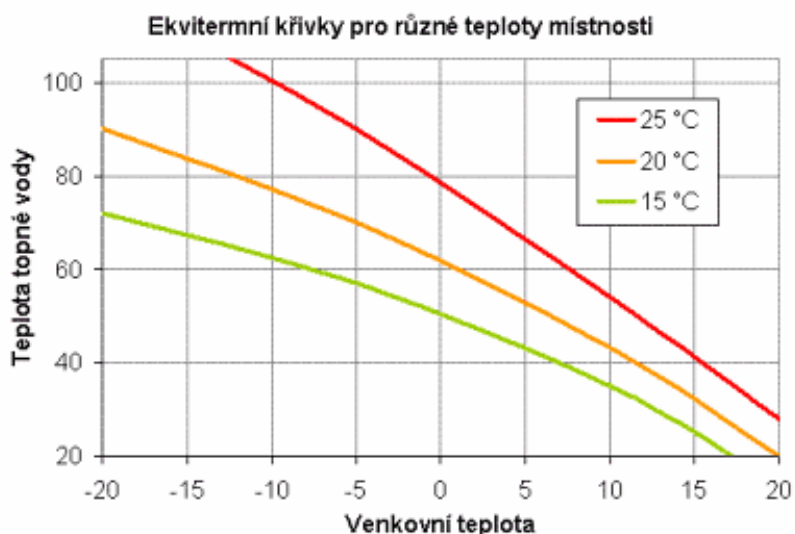
Tématem mé bakalářské práce je oblast vytápění obytných prostor, konkrétně výpočet ekvitemní křivky teplovodního vytápění budov. V této práci se budu zajímat o konstrukci budovy, tepelně izolační vlastnosti a otopná tělesa, a pro tyto specifické podmínky navrhnu ekvitemní křivku, což je závislost potřebné teploty vytápěcí vody na teplotě venkovní.

2 Ekvitermní křivka

Tento pojem v praxi popisujeme jako regulaci teploty v místnosti pomocí nastavení optimální teploty topné vody, potažmo regulaci výkonu zdroje tepla (kotel, tepelné čerpadlo aj.), v závislosti na okolní venkovní teplotě vytápěného prostoru (budovy). Při nižší venkovní teplotě se zvyšuje teplota topné vody (případně výkon zdroje tepla) tak, aby došlo k vyrovnání tepelných ztrát způsobených prostupem tepla přes stěny, okenní rámy, okenní tabule a větráním. Pro daný vytápěný prostor lze nastavit mnoho ekvitermních křivek podle žádané teploty uvnitř. Jejich sklon se bude lišit podle požadované vnitřní teploty.

Hledání optimální ekvitermní křivky je složité a je více způsobů, jak hledat právě tu, která bude odpovídat uživatelským potřebám. Lze ji hledat pomocí nejnižší venkovní teploty, která v daném místě kdy byla naměřena nebo určením teploty ve vytápěném prostoru. Protože použití nejnižší naměřené teploty by vedlo k používání hodnoty, která se vyskytne jednou za mnoho let, a přitom by tato teplota zvyšovala zbytečně výpočtovou energetickou náročnost a s tím související náklady na pořízení vytápěcího systému, používá se v praxi tzv. výpočtových venkovních teplot, které byly již dříve vypočteny pro jednotlivé lokality. Například na území ČR se používá výpočtová teplota $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ pro většinu lokalit s nadmořskou výškou do 300 m, ve vyšších polohách je to teplota $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Tvary ekvitermních křivek se mohou lišit a pro představu jsem přiložil graf tří ekvitermních křivek pro různé teploty v místnosti, viz obrázek 1.



obrázek 1 Ekvitermní křivky [1]

Z diagramu je na první pohled vidět, jak rozdílná musí být teplota topné vody pro různé požadované teploty v místnosti, zjevně tato skutečnost ukazuje na možnosti k dosahování energetických úspor.

Prohnutí ekvitermní křivky je způsobeno předáváním tepla do prostoru, tudíž vychází z topného tělesa a jeho otopné plochy. S rostoucí plochou otopného tělesa je předávání tepla jednodušší (snižuje se vliv předávání tepla sáláním a vlivem zvětšení plochy se zvyšuje předávání tepla konvekcí) a tím se ekvitermní křivka prohýbá.

Samotná ekvitermní křivka je prostředkem, jak regulovat vytápění a tedy zvyšovat hospodárnost vytápění a šetřit zdroje energie. Toto vede k širokému tématu ekvitermní regulace, které je velmi složité a rozsáhlé a je třeba zohledňovat mnoho aspektů vstupujících do této problematiky.

Pro návrh či výpočet ekvitermní křivky je nejdůležitější, pro jaký objekt ji určíme. Přesnější vyjádření: chceme znát tepelné vlastnosti objektu, tj. jak rychle teplo ztrácí směrem do vnějšího chladnějšího prostoru a jak rychle dokážeme přes otopný systém vrátit tepelnou pohodu objektu zpět na původní stav, tedy na požadované hodnoty. Proto nás zajímá, jaký je otopný systém a z jakých prvků se skládá, ve výsledku nás zajímají jeho termodynamické vlastnosti.

Jako první je nutné určit tepelné ztráty objektu, to znamená provedení výpočtu tepelných ztrát stavebních konstrukcí, oken a v neposlední řadě také určit ztráty způsobené větráním.

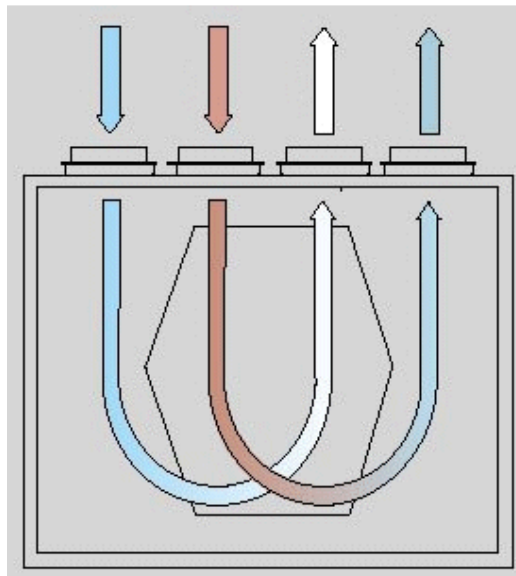
Následně bude proveden návrh otopného tělesa a poté určíme ekvitermní křivku.

3 Tepelné ztráty

Tepelnými ztrátami rozumíme uniklé teplo ze zkoumané oblasti. V našem případě se zaměřuji na ztrátu v modelové místnosti, kterou je rohová místnost panelového domu. Teplo se vytrácí z místnosti přes stěny, které jsou z venkovní strany obklopeny nižší teplotou (z druhého termodynamického zákona víme, že teplo přechází z teplejšího tělesa na studenější). Pro zjištění tepelných ztrát je velmi důležité znát exaktní informace o zkoumané oblasti, abychom dokázali přesně a jednoznačně vypočítat ztracené teplo. S ohledem na tuto problematiku se vyvíjí stavební materiály a izolační prvky. Ty pak procházejí testováním jejich tepelně-izolačních vlastností, které jsou katalogizovány. V praxi jsou využívány techniky a inženýry pro návrh ideálních budov.

Samotná ztráta tepla se uskutečňuje třemi základními přenosy tepla, které jsou popsány v literatuře [2]. Prvním způsobem přenosu tepla je vedení, druhým přestup a posledním je záření. Pro ztrátu je důležitý přestup a vedení tepla přes zdi a okna místností. V dnešní době vývoj těchto prvků velmi pokročil a výrobci nabízejí výrobky s nízkými součinitelem prostupu tepla. Poslední druh přenosu tepla můžeme vynechat, protože záření z budov do okolí je zanedbatelné.

V místnosti je zapotřebí udržovat též ideální klima pro člověka, a tak je nutné vyměňovat vzduch uvnitř místnosti. S tímto vzduchem však odchází současně i teplo, které je takto bezesbytku z místnosti ztraceno a rozptýleno v okolí. I tuto problematiku v dnešní době stavební průmysl řeší použitím „organizovaného“ provětrávání místností pomocí vzduchotechnických zařízení s využitím rekuperačních výměníků, kde odtahovaný vzduch předává teplo v sobě akumulované do čerstvého vzduchu dodávaného do provětrávaného prostoru, obrázek 2.



obrázek 2 Deskový rekuperační výměník vzduchu [6]

3.1 Prostup tepla

Prostupem tepla rozumíme přenos tepla mezi dvěma tekutinami oddělenými pevnou stěnou, kdy je tento přenos uskutečněn přestupem tepla z první tekutiny na pevnou stěnu a současně druhým přestupem z pevné stěny do druhé tekutiny. Takto je tento způsob popsán v literatuře [2]. V praxi je tekutinou vzduch a pevnou překážkou stavební konstrukce. Vzduch uvnitř je ohřátý na požadovanou teplotu ústředním topením a teplo, které akumuloval prochází přes stavební konstrukci ven do chladného vzduchu okolí. Mechanismus přenosu tepla uvnitř pevné stěny je realizován vedením tepla. Obecně se uvažuje vedení tepla v materiálu jako lineární průběh funkce změny teploty na vzdálenosti od jednoho či druhého rozhraní stěny oddělující vnitřní a venkovní prostor. Pro mojí práci mi tato úvaha postačí. Podle rovnic z literatury [2] lze vypočítat vedení tepla ve stěně několika způsoby:

$$Q = U \cdot S \cdot (T_i - T_e) \quad (1)$$

Rovnice, které využívají pro výpočet ztrát prostupem tepla součinitel prostupu tepla U , se využívají většinou pro konstrukční prvky známých parametru a rozměrů, respektive tento součinitel je závislý na ploše daného prvku. Nejčastěji se využívá u oken, kde je nám známa konstrukce a chceme znát pouze plochu okna což lze u místností s více okny využít a sečíst plochy oken, toto usnadňuje práci při návrhu oken v případě použití stejných typů oken v místnosti. Fourierův zákon pro vedení tepla viz [2]:

$$\dot{Q} = \lambda \cdot S \cdot \frac{(T_i - T_e)}{\delta} \quad (2)$$

\dot{Q} je Tepelný tok přes stěnu [W]

λ je konstanta úměrnosti (tepelná vodivost) [W/m.K]

S je plocha stěny [m²]

T_i je teplota v místnosti [K]

T_e je teplota venku [K]

δ je hloubka stěny [m]

U je součinitel prostupu tepla vztažený na plochu jednoho metru konstrukce [W/m².K]

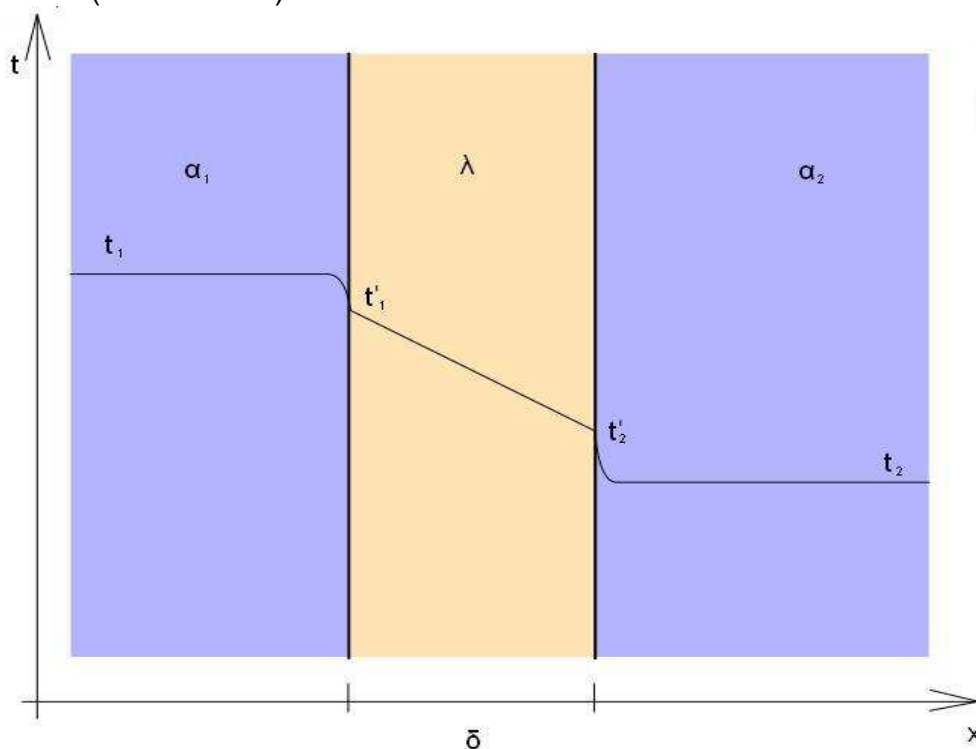
R je odpor proti vedení tepla [m².K/W]

$$U = \frac{\lambda}{\delta} \quad , \quad R = \frac{1}{U} \quad (3)(4)$$

Pro vícevrstvé stěny lze použít i výpočtovou rovnici s odpory proti vedení tepla, jejich výhodou je analogie k odporům v elektrotechnice. Více vrstev se rovná více odporům za sebou, snadno je sečteme a získáme celkový odpor stěny R_c , tedy dosazením do výše uvedených rovnic (1,2,3,4) získáme její tepelný tok.

$$Q = S \cdot \frac{T_i - T_e}{R_c} \quad (5)$$

Níže na obrázku ze zdroje [4] je patrný právě tento popis prostupu tepla přes jednoduchou (nevrstvenou) stěnu.



obrázek 3 Prostup tepla přes stěnu [4]

Z průběhu diagramu (obrázek 3) lze odvodit závěr, že použití vícevrstevných konstrukcí stěn pomůže snížit tepelné ztráty prostupem tepla přes stěnu. Je to dáno fyzikálními vlastnostmi stavebních materiálů, kdy materiály s dostatečnou únosností mají vyšší hustotu a z toho plynoucí i vyšší tepelnou vodivost a naopak materiály s nízkou tepelnou vodivostí mají nízkou hustotu a tedy i nízkou únosnost. Pro vytvoření úsudku je to názorné například porovnáním vlastností betonu, porothermu a polystyrenu.

tabulka 1 Porovnání různých stavebních materiálů

Materiál	Hustota materiálu ρ [kg/m ³]	Mechanická pevnost v tlaku σ [Mpa]	Součinitel prostupu tepla U [W/m ² K]
Beton strusko-pazderový	1100	38	0,32
Porotherm	800	8 – 15	0,149
Pěnový polystyren	40	0,1 – 0,2	0,0037

Existuje velké množství moderních nosných stavebních prvků, jejichž součinitel prostupu tepla se oproti betonu snižuje, přičemž se snižuje hustota materiálu, ale nevýrazně se snižují pevnostní parametry takového zdiva. Příkladem jsou keramické materiály z „děrovaných cihel“ nebo porobetonové materiály. U těchto moderních materiálů se významně projevuje i použitá technologie spojovacích materiálů (malty, lepidla, zdění na sucho). Dnes se objevují nové stavební (staronové) konstrukce, a to je dřevo – od srubových konstrukcí po dřevostavby s použitím dřeva jako nosného a obkladového materiálu a například slámy jako výplňového materiálu. Složitost stavebních konstrukcí proto může být různá a technologicky náročná.

Jako příklad pro účely této práce uvádím obrázek jednoduchého výpočtového modelu vícevrstvé stěny, který umožňuje utvořit si náhled na volby vrstvení jednotlivých stavebních materiálů. Je zde zohledněn i odpor přestupu tepla ze vzduchu na konstrukci a zpět. V literatuře [2] je popsáno, že součinitel přestupu tepla α není konstantní a závisí na více faktorech, nicméně pro další postup ve výpočtu ztrat je tento přestup převeden na odpor při přestupu tepla, který je popsán v [5], a připočítává se k odporům proti vedení tepla ve stěně. Rovnice (6) přestupu tepla čerpána ze zdroje [2]

$$Q = \alpha \cdot S \cdot (T_1 - T_2) \tag{6}$$

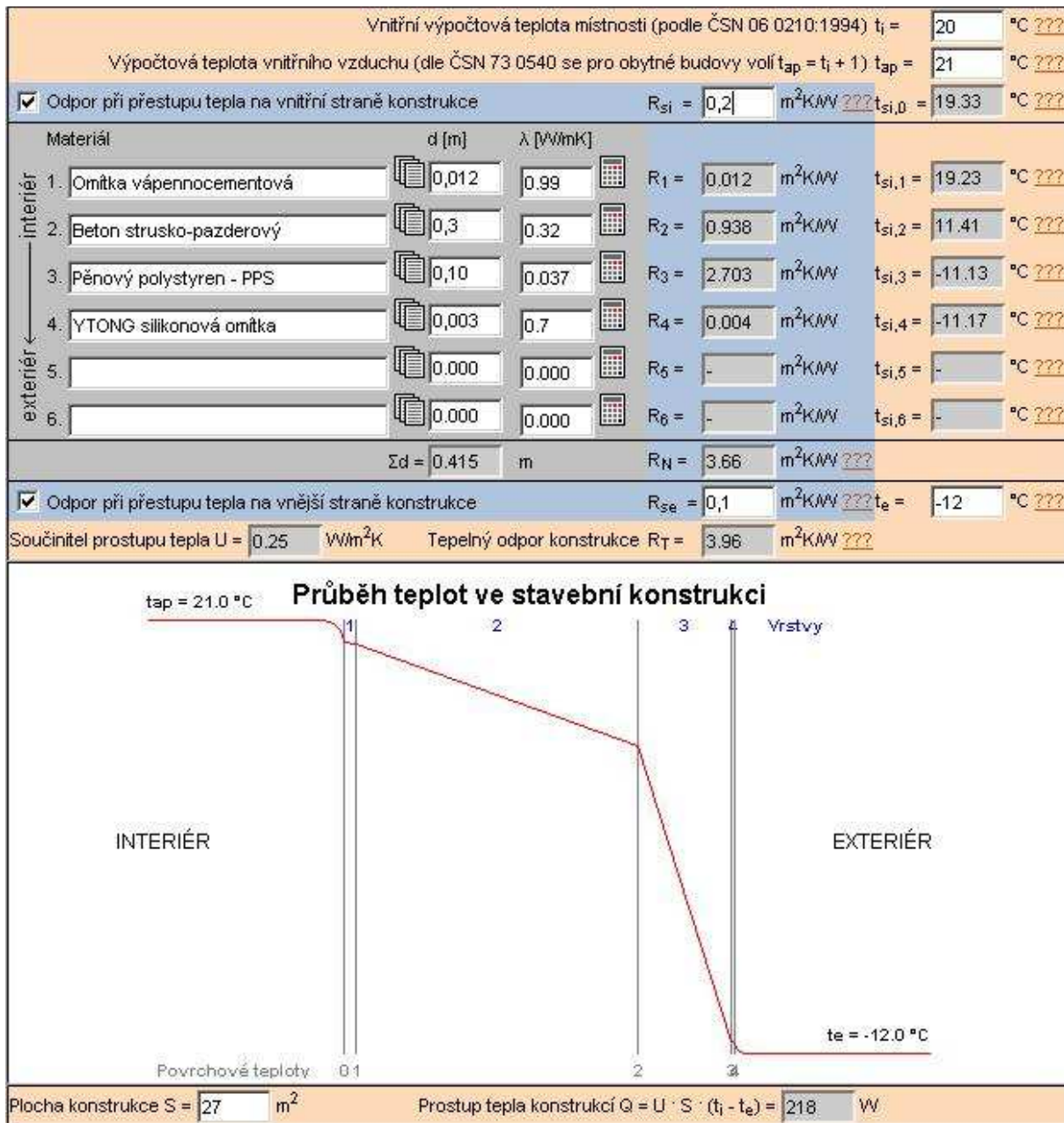
S je plocha styku dvou tekutin [m²]

T_1 a T_2 jsou rozdíly teplot (stěny a ustálené teploty v dostatečné vzdálenosti) [K]

3.2 Výpočtová pomůcka

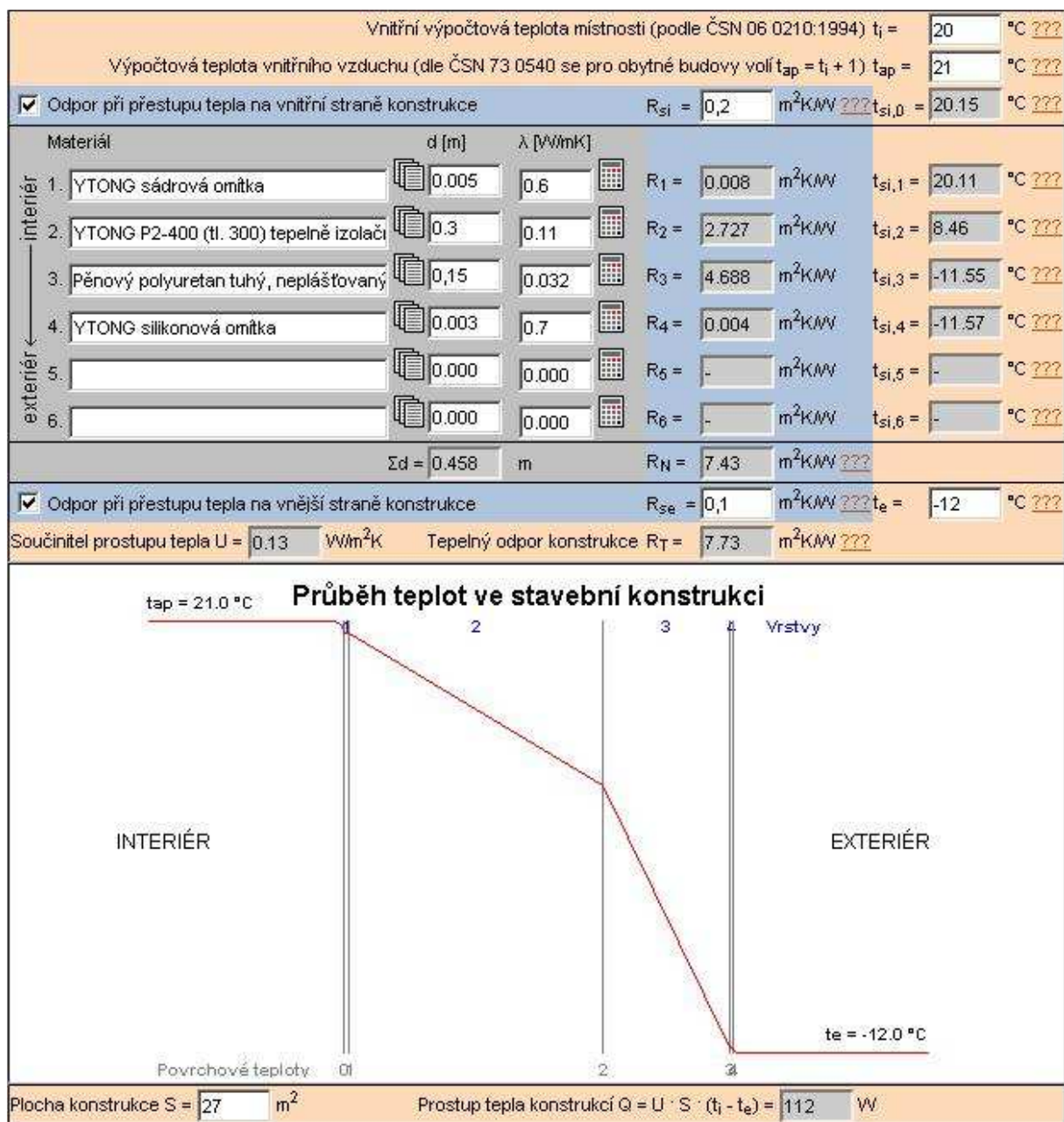
Výpočtový program pro různé vrstvení stavebních konstrukcí je volně přístupný viz [3], takže každý si může orientačně zjistit, jaké ztráty má jeho vlastní obydlí, a porovnat je s moderními budovami. Jsou zde tři varianty stavebních konstrukcí, všechny jsou vytvořeny na rohovou zeď délky 4 m, další zeď je dlouhá 5 m a výška místnosti je 3 m. Pro vnitřní teplotu jsem zvolil 20 °C a pro venkovní teplotu -12 °C.

Jako první jsem vytvořil model panelového domu s tloušťkou stěny 300 mm a se zateplením 100 mm pěnového polystyrenu. Při této stavební konstrukci se ztráta podle tohoto výpočtového modelu pohybuje kolem 220 W.



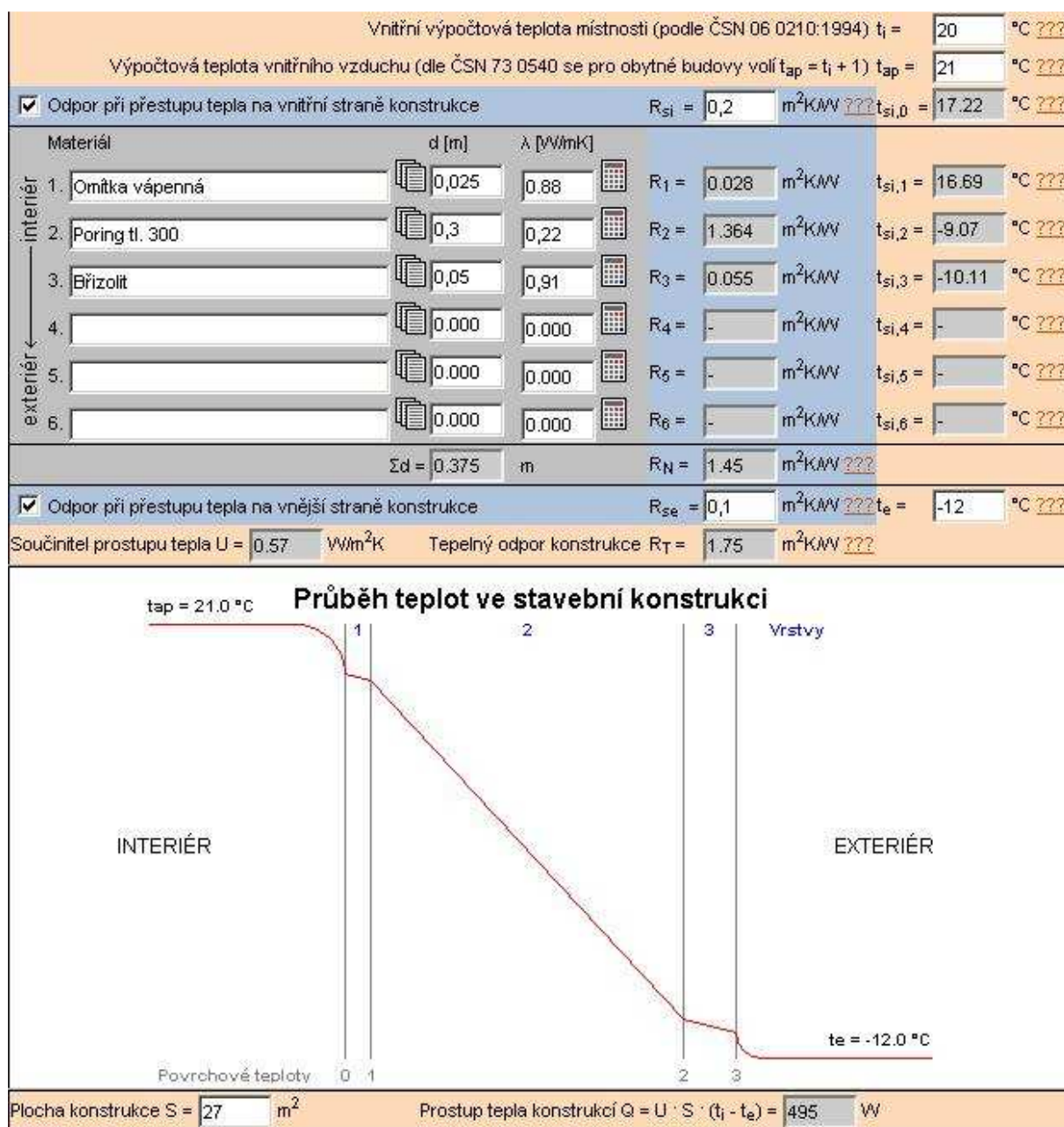
obrázek 4 Prostup tepla stěnu, model panelového domu [3]

Další variantou jsem se pokusil přiblížit modernímu domu z kvalitních materiálů a s výborným zateplením. Zdivo Ytong o tloušťce 300 mm a zateplení PUR izolací o tloušťce 140 mm. U této konstrukce se tepelná ztráta pohybuje kolem 110 W.



obrázek 5 Prostup tepla stěnou, model nízkoenergetického domu [3]

Poslední varianta je dům z vesnické zástavby, tedy rodinný dům v jakém v současné době žiji. Dům je postaven z Poringu o tloušťce 300 mm a fasáda je tvořena dvěma vrstvami břizolitu. Je zřejmé, že tepelná ztráta je vysoká a pohybuje se kolem 500 W.



obrázek 6 Prostup tepla stěnou, model starého domu [3]

Tyto varianty konstrukce poukazují na to, jak se změní tepelná ztráta při využití izolačních materiálů ve stavebnictví a přispívají k lepšímu hospodaření se zdroji energie. Tento výpočet je nezbytný pro zjištění potřebného tepelného výkonu, který musí být dodán zpět do místnosti pro vytvoření požadovaného klimatu uvnitř, a je použit k dimenzování zdroje tepla (zde je samozřejmě nutné zohledňovat i potřebu výroby teplé užitkové vody TUV).

4 Otopná tělesa

Pro tuto práci bylo nutné, abych lépe pochopil, jak se otopná tělesa charakterizují, jak předávají otopná tělesa teplo do místnosti a jak se přepočítává jejich tepelný výkon. Informace jsem čerpal ze zdroje [9]. Tělesa lze popsat a hodnotit třemi základními charakteristikami jak je naznačeno ve zdroji [9]:

- geometrické
- teplotnické
- provozní

4.1 Geometrická charakteristika

Geometrické charakteristiky určují konstrukční řešení otopného tělesa. Určují tak veškeré jeho rozměry a hodnotící parametry stran jeho geometrického uspořádání. Protože právě plocha otopného tělesa je velmi důležitá pro jeho funkci, je nutné znát jeho rozměry a řešení přesně. Rozměry jsou dány podle tvaru, obecně se využívají obdélníkové tvary, tudíž rozhodujícími rozměry budou: hloubka, šířka a výška.

Právě hloubka v sobě zahrnuje řešení radiátoru, který může být různých konstrukcí a to:

- deskový
- trubkový
- článkový

Jednotlivé varianty se pak liší v počtu otopných částí, které mají. Například desková otopná tělesa mohou mít více desek, článková tělesa se mohou skládat z libovolného počtu článků, přičemž se uvádí tepelný výkon jednoho článku a podle nutnosti se vypočte, kolik článků je nutno spojit aby byl dosažen dostatečný výkon. Trubková tělesa jsou neměnná, svařená a tak se nedají modulovat na vyšší výkony, a tudíž je jejich výkon navyšován pouze změnou teploty topného média.

S rostoucími rozměry roste i plocha otopného tělesa, ta je právě pro tepelný výkon radiátorů nejdůležitější, protože tato plocha je přímo obklopena vzduchem v místnosti, a tímto způsobem jej ohřívá. Nicméně jsou zde v podstatě dvě plochy které je třeba znát. Je to plocha která je ve styku, jak jsem zmínil výše, se vzduchem uvnitř místnosti a pak tu je plocha, která je uvnitř tělesa, a ta je v kontaktu s teplotnosnou látkou. Poměr mezi těmito plochami je jednou z geometrických charakteristik. Značíme jej ϕ a nazýváme jej poměr přestupních ploch. Jeho hodnota se může pohybovat od 1 až do 50 (dle tabulky v [9]), podle konstrukce otopného tělesa. Nejvyššího poměru dosahují konvektory, které mají velkou plochu v kontaktu se vzduchem, malou v kontaktu s topným médiem. Tento poměr je popsán touto rovnicí viz [9]:

$$\phi = \frac{S_L}{S_W} \quad (7)$$

kde S_L je vnější přestupní plocha tělesa v kontaktu s vytápěným prostorem a S_W je vnitřní přestupní plocha tělesa v kontaktu s topným médiem.

4.2 Teplotechnická charakteristika

Teplotechnické charakteristiky postihují ve svých veličinách především sdílení tepla u otopných těles, eventuálně parametry vztahující se k tepelnému výkonu tělesa viz [9].

„Tepelný výkon Q [W] je energie přejímaná z topného média vnitřní přestupní plochou tělesa a předávaná do vytápěného prostoru vnější přestupní plochou konvekci a sáláním“ [9].

Tento výkon je ověřován ve zkušebních komorách za daných podmínek, jako jsou teplota a tlak v komoře a teplota topného média na vstupu a výstupu z tělesa jak popisuje zdroj [9]. Tyto hodnoty byly stanoveny na 20 °C v komoře a na atmosférický tlak, přičemž teploty na vstupu a výstupu jsou udávány výrobcem. Pak je výkon dán rovnicí:

$$\dot{Q} = \dot{m}_w \cdot c_w \cdot (t_{w1} - t_{w2}) = k \cdot S_L \cdot (t_{wm} - t_i) \quad (8)$$

\dot{Q} je tepelný výkon [W]

\dot{m}_w je hmotnostní tok topného média v otopném tělese [kg/s]

c_w je měrná tepelná kapacita topného média [J/kg · K]

t_{w1} , t_{w2} jsou teploty topného média na vstupu a výstupu radiátoru [°C]

k je součinitel prostupu tepla [W/m² · K]

S_L je vnější přestupní plocha tělesa [m²]

t_{wm} je střední teplota topného média [°C]

t_i je vnitřní výpočtová teplota v místnosti [°C]

4.3 Provozní charakteristika

Provozní charakteristiky se zabývají veličinami a kritérii, které vyjadřují hydraulické a provozní vlastnosti otopných těles. Jedna z hlavních je setrvačnost natápění otopných těles, která souvisí s hmotnostním průtokem topného média v tělese, jeho hydraulickým odporem, teplotou topného média, teplotou ve vytápěném prostoru, na materiálu a provedení otopného tělesa viz [9].

4.4 Určení otopného tělesa

Právě předešlý nástin výpočtu tepelné ztráty přes zdivo místnosti je určujícím faktorem pro správnou volbu otopného tělesa, které bude vytvářet požadovanou vnitřní teplotu. Tepelný výkon tělesa je určen teplotou topného média, průtočným množstvím topného média, plochou otopného tělesa a tento výkon je udáván za určených podmínek. V praxi se tyto podmínky liší. Hmotnostní tok tělesem může být snížen vlivem škrtení termohlavicí na vstupu do radiátoru, nebo může být využito jiného způsobu zatápění. V mém případě jde právě o využití ekvitermní křivky, které je spojeno se změnou teploty topného média. Proto je nutné výkon přepočítat pro příslušné podmínky. Tato problematika je dobře popsána ve zdroji [8] a z tohoto důvodu jsem se ji rozhodl použít pro tuto práci.

Tepelný výkon je dán rovnicí (9) uvedenou níže. Pro požadovaný výkon je nutné vytvořit přepočtový poměr mezi jmenovitou hodnotou a skutečnou hodnotou, které jsou uvedeny výrobcem.

Tepelný výkon:

$$Q = k \cdot S_L \cdot (t_{wm} - t_i) \quad (9)$$

Poměr mezi požadovaným a jmenovitým výkon (s indexem N) dle [8]:

$$\frac{Q}{Q_N} = \frac{k \cdot S_L \cdot (t_{wm} - t_i)}{k_N \cdot S_{LN} \cdot (t_{wmN} - t_{iN})} \quad (10)$$

V rovnici vystupuje plocha otopného tělesa S_L a S_{LN} , tato plocha se nemění a zůstává stále stejná $S_L = S_{LN}$. Dále se v rovnici vyskytuje součinitel prostupu tepla $k(k_N)$, který lze vlivem změny teplotních parametrů postihnout exponenciální funkcí.

$$\frac{Q}{Q_N} \approx \left(\frac{(t_{wm} - t_i)}{(t_{wmN} - t_{iN})} \right)^n = \left(\frac{\Delta t}{\Delta t_N} \right)^n \quad (11)$$

„Tento teplotní exponent n je určen experimentálně, tzn. je vypočten z naměřených hodnot v měřicí komoře pro příslušné otopné těleso“ jak uvádí [8]. Tudíž je zřejmé, že je závislý na více faktorech, jako je teplota topného média, rozměr a řešení tělesa a průtok topného média. Protože teplotní exponent lze měřit pro každé těleso a hodnoty v jisté míře budou stejné s malou odchylkou, je katalogizován od výrobců otopných těles. Pro představu přikládám tabulku topného exponentu od výrobce radiátoru Korado viz [14]. Rozptyl hodnoty exponentu pro daný radiátor a změnu jeho rozměru se projeví jen v setinách či tisícinách z čeho vyplývá, že pro výpočty jej můžeme považovat za konstantní a nedopustíme se nijak velké odchylky od skutečnosti.

tabulka 2 koeficientů otopných těles

	Radik 10	Radik 11	Radik 20	Radik 21	Radik 22	Radik 33	
koeficient OT n	1,3068	1,3123	1,3005	1,3278	1,3334	1,3282	Výška 500
koeficient OT n	1,2942	1,3107	1,3014	1,3319	1,3353	1,3434	Výška 600

Hodnoty jsou uváděny na délku jednoho metru deskového radiátoru s rozdílnou výškou a hloubkou radiátoru.

Předešlá rovnice (9) výpočtu výkonu radiátoru zohledňuje plochu otopného tělesa, ale v úvodu jsem naznačil, že je možné vypočítat výkon tělesa i z hmotnostního toku, proto tuto rovnici uvádím také:

$$Q = m_w \cdot c_w \cdot (t_{w1} - t_{w2}) \quad (12)$$

V této rovnici je rozhodující hmotnostní průtok vody tělesem m_w a rozdíl teplot vstupní t_{w1} a výstupní t_{w2} topného média. Jako topné médium je v praxi využívána voda, proto ji použiji i já. Měrnou tepelnou kapacitu vody považuji za konstantní ($c_w=4,19$ kJ/kg.K) pro rozsah teplot 30 až 80 °C. Pakli že se bude výkon tělesa měnit, bude velikost jeho změny dána poměrem:

$$\frac{Q}{Q_N} = \frac{m_w \cdot c_w \cdot (t_{w1} - t_{w2})}{m_{wN} \cdot c_{wN} \cdot (t_{w1N} - t_{w2N})} = \left(\frac{m_w}{m_{wN}} \right) \cdot \left(\frac{t_{w1} - t_{w2}}{(t_{w1N} - t_{w2N})} \right) \quad (13)$$

Tento nástin výpočtu je později využit pro výpočet ekvitermní křivky.

Pokud bude místnost osazena otopným tělesem s nedostačujícím výkonem, bude nutné vytvářet topnou vodu s vyšší teplotou a zvýšit průtok tímto tělesem, vzhledem k jeho zvýšenému ochlazení vlivem rychlé ztráty tepla prostupem přes zdi a okna. Proto je důležité dbát na správnou volbu otopného tělesa. Po zvolení otopného tělesa s dostačujícím výkonem lze postoupit dále ve výpočtu ekvitermní křivky. Samotný výkon tělesa je jedním z určujících prvků jejího průběhu a je z tohoto hlediska velmi významným faktorem.

5 Výpočet ekvitermní křivky

Protože se jedná o závislost topné vody na venkovní teplotě, je zřejmé, že se s touto teplotou bude měnit i tepelná ztráta, tudíž se bude měnit i výkon otopného tělesa. Tedy je nutné stanovit opravný součinitel na teplotní rozdíl. Tento opravný součinitel zahrnuje přepočtení tepelného výkonu na jiné teplotní podmínky. To znamená, na teplotní podmínky lišící se od jmenovitých, tedy takových, při kterých je znám či udáván tepelný výkon otopného tělesa. Přepočtení výkonu Q_N na tepelný výkon Q při změněných teplotách závisí na teplotním podílovém součiniteli c , dostaneme jej z této rovnice, která se nachází v [8]:

$$c = \frac{t_{w2} - t_i}{t_{w1} - t_i} \quad (14)$$

Teplota t_i je teplota v místnosti a teploty t_{w1} a t_{w2} jsou teplotami na vstupu a výstupu z otopného tělesa. Výsledek této rovnice porovnáváme s experimentálně zjištěnou hodnotou, která je 0,7. Podle toho, jestli náš výsledek je menší nebo větší, dále pokračujeme s jinými rovnicemi výpočtu výkonu otopného tělesa viz [8].

Pro $c > 0,7$ platí:

$$Q = Q_N \cdot \left(\frac{\frac{t_{w1} + t_{w2}}{2} - t_i}{\frac{t_{w1N} + t_{w2N}}{2} - t_{iN}} \right)^n = Q_N \cdot f \quad (15)$$

Pro $c < 0,7$ platí:

$$Q = Q_N \cdot \left(\frac{\frac{t_{w1} - t_{w2}}{\ln \frac{t_{w1} - t_i}{t_{w2} - t_i}}}{\frac{t_{w1N} - t_{w2N}}{\ln \frac{t_{w1N} - t_{iN}}{t_{w2N} - t_{iN}}}} \right)^n = Q_N \cdot f \quad (16)$$

V těchto rovnicích je hledaná neznámá t_{w1} , kterou chceme znát pro vytvoření rovnice ekvitemní křivky. V této rovnici bude za Q_N dosazen jmenovitý výkon otopného tělesa, za Q dosadíme tepelnou ztrátu (v závislosti na venkovní teplotě), teploty t_i a t_{iN} jsou teplotami stejnými a současně požadovanými. Ovšem pro přímý výpočet teploty vstupní vody je třeba počítat trochu odlišně. Je nutné předpokládat, že průtok tělesem m bude konstantní a vlivem klesající ztráty bude klesat teplotní spád v tělese. Jde o iterační postup, kdy si zvolím teplotu vstupní vody t_{w1} , pomocí ztrátového tepla Q , hmotnostního toku m a tepelné kapacity topného média c_v (voda) spočítám teplotu výstupní vody.

$$t_{w2} = t_{w1} - \frac{Q}{m \cdot c_w} \quad (17)$$

Po obdržení této teploty lze vypočítat podílový součinitel c , který určí ($c > 0,7$ nebo $c < 0,7$) kterou rovnicí použít pro další výpočet. Tento další výpočet je kontrolním, kdy zjistím zda zvolená vstupní teplota byla správná. Znovu vypočítám výkon otopného tělesa Q_R a pokud se tyto hodnoty shodují s tepelnou ztrátou Q , získávám správnou teplotu topné vody a tudíž dostávám bod ekvitemní křivky. Pokud takto budu pokračovat pro každou tepelnou ztrátu, která je závislá na venkovní teplotě, získám závislost venkovní teploty na teplotě vstupní topné vody do otopného tělesa, neboli ekvitemní křivku. Tento postup se na první pohled zdá časově náročný a nelogický, ale v dnešní době výpočetní techniky jej lze automatizovat a rychle upravovat vstupní proměnné a tím modulovat ekvitemní křivku. Získaný výsledek je přesný a rychle dostupný.

$$Q_R = Q \cdot f \quad (18)$$

kde f je výsledek podílů v závorkách viz rovnice (15) nebo (16).

5.1 Vzorový výpočet teploty topné vody pomocí výpočtu tepelných ztrát a zvoleného otopného tělesa:

Ve své práci dokládám vzorový výpočet pro zvolenou místnost panelového domu. Tato místnost je obdélníkového půdorysu 3,5 m x 5,5 m a výška je 3 m, přičemž ze dvou stran sousedí s dalšími obývanými pokoji, z dalších dvou stran je obklopena venkovním okolím. Podlaha i strop jsou také ve styku s obytným prostorem. Plochy, které jsou ve styku s dalšími místnostmi, jsem do výpočtu ztrát nezahrnul, protože je zde ztráta zanedbatelná. Zaměřil jsem se pouze na rohovou část místnosti. Tyto dvě stěny obsahují jedno okno, které je moderní konstrukce, dále jsou tyto stěny opatřeny tepelně izolační vrstvou a jsou postaveny z betonových panelů. V delší ze stěn je zabudované okno o rozměrech 2 x 1,2 m. Informace o vlastnostech okna a stavebních prvků jsem čerpal ze zdroje [12] a [13].

Tabulka 3 se stavebními prvky a jejich rozměry a vlastnostmi

	Plocha S [m ²]	Hloubka konstrukce d [m]	Součinitel prostupu tepla U [W/m ² .K]	Součinitel tepelné vodivosti λ [W/m.K]	Odpor proti vedení tepla R [m ² .K/W]
Okno	2,4	-	1,17	-	0,854
Polystyren PPS	24,6	0,15	0,25	0,037	4
Beton panelu	24,6	0,28	0,89	0,250	1,24
Vnitřní omítka (vápená)	24,6	0,012	73,3	0,880	0,014
Fasáda (se silikonovou drťí)	24,6	0,005	140	0,700	0,007

Ztráta přes okno (rozdíl teplot jsem zvolil: vnitřní teplota $T_i = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ a venkovní teplota $T_e = -12 \text{ }^\circ\text{C}$) použití rovnice (1):

$$Q_o = U \cdot S_o (T_i - T_e) = 1,17 \cdot 2,4 (20 - (-12)) = 90W \quad (19)$$

Ztráta přes betonovou zeď se zateplením ($20 \text{ }^\circ\text{C} / -12 \text{ }^\circ\text{C}$, součinitel odporu při přestupu uvnitř $R_{Ki} = 0,25 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ a zvenku je $R_{Ko} = 0,07 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ viz [5]) rovnice (5):

$$\begin{aligned} Q_B &= S_c \cdot \frac{(T_i - T_e)}{R_p + R_B + R_m + R_F + R_{Ki} + R_{Ko}} = \\ &= 24,6 \cdot \frac{(20 - (-12))}{4 + 1,24 + 0,014 + 0,007 + 0,25 + 0,04} = \\ &= 142W \end{aligned} \quad (20)$$

Ztráta přes betonovou zeď bez zateplení polystyrenem, při stejných teplotách, se zvýší až na $Q_{B2}=507 \text{ W}$, což je 3,5x více. Tato úspora pomocí zateplení se projevila znatelně na celkové ztrátě.

Ztráta větráním: realizoval jsem ji opětovným zahřátí větracího vzduchu na pokojovou teplotou ($20 \text{ °C} / -12 \text{ °C}$, $c_{pvz}=1010 \text{ J/kg.K}$, objem místnosti $V_m=57,75 \text{ m}^3$, větrací koeficient pro obytnou místnost $n_m=0,8$, hustota vzduchu $\rho=1,2 \text{ kg/m}^3$, zdroj výpočtových rovnic viz [6])

$$\begin{aligned} \dot{Q}_V &= \dot{m} \cdot c_{pvz} \cdot n_m \cdot (T_i - T_e) = \\ &= \frac{V_m}{3600} \cdot \rho \cdot c_{pvz} \cdot n_m \cdot (T_i - T_e) = \\ &= \frac{57,75}{3600} \cdot 1,2 \cdot 1010 \cdot 0,8 \cdot (20 - (-12)) = 498 \text{ W} \end{aligned} \quad (21)$$

Celková ztráta:

$$Q_C = Q_O + Q_B + Q_V = 90 + 142 + 498 = 730 \text{ W} \quad (22)$$

Tato celková tepelná ztráta je závislá na rozdílu teplot venku a uvnitř. Tuto ztrátu by pokrylo otopné těleso o výkonu $Q_N=746 \text{ W}$ viz [7] (Radik Vk Typ20 1100x500 ($70/55 - 20 \text{ °C}$, $n=1,3$). Vzhledem k tomu, že tato soustava byla navržena právě pro limitní rozdíl teplot, ke kterému v topné sezóně nedochází příliš často, mohlo by docházet ke zbytečnému přetápění, proto se využívá ekvitermní regulace zdroje tepla.

Pro ekvitermní způsob regulace jsem předpokládal konstantní průtok topného média (vody) v topném systému. Tento předpoklad je typickým pro ekvitermní regulaci a je také nutný pro můj výpočet. Teplotní spád v otopném tělese se bude měnit s tepelnou ztrátou (s venkovní teplotou).

Hmotnostní tok pro zvolené otopné těleso vyjádřený pomocí rovnice (12):

$$m = \frac{Q_N}{c_w \cdot (t_{w1N} - t_{w2N})} = \frac{746}{4190 \cdot (70 - 55)} = 0,0119 \text{ kg/s} \quad (23)$$

Nyní dojde k již zmíněné iteraci, zvolím si vstupní teplotu topné vody $t_{w1}=70 \text{ °C}$. Pomocí tepelné ztráty $Q_C=730 \text{ W}$, hmotnostního průtoku $m=0,01187 \text{ kg/s}$ a zvolené vstupní teploty topné vody vypočítám teplotu výstupní (vratné) topné vody, použita rovnice (12).

$$t_{w2} = t_{w1} - \frac{Q_C}{m \cdot c_w} = 70 - \frac{730}{0,0119 \cdot 4190} = 55,35 \text{ °C} \quad (24)$$

nyní bude nutné vypočítat podílový součinitel c :

$$c = \frac{t_{w2} - t_i}{t_{w2} - t_i} = \frac{55,35 - 20}{70 - 20} = 0,707 \quad (25)$$

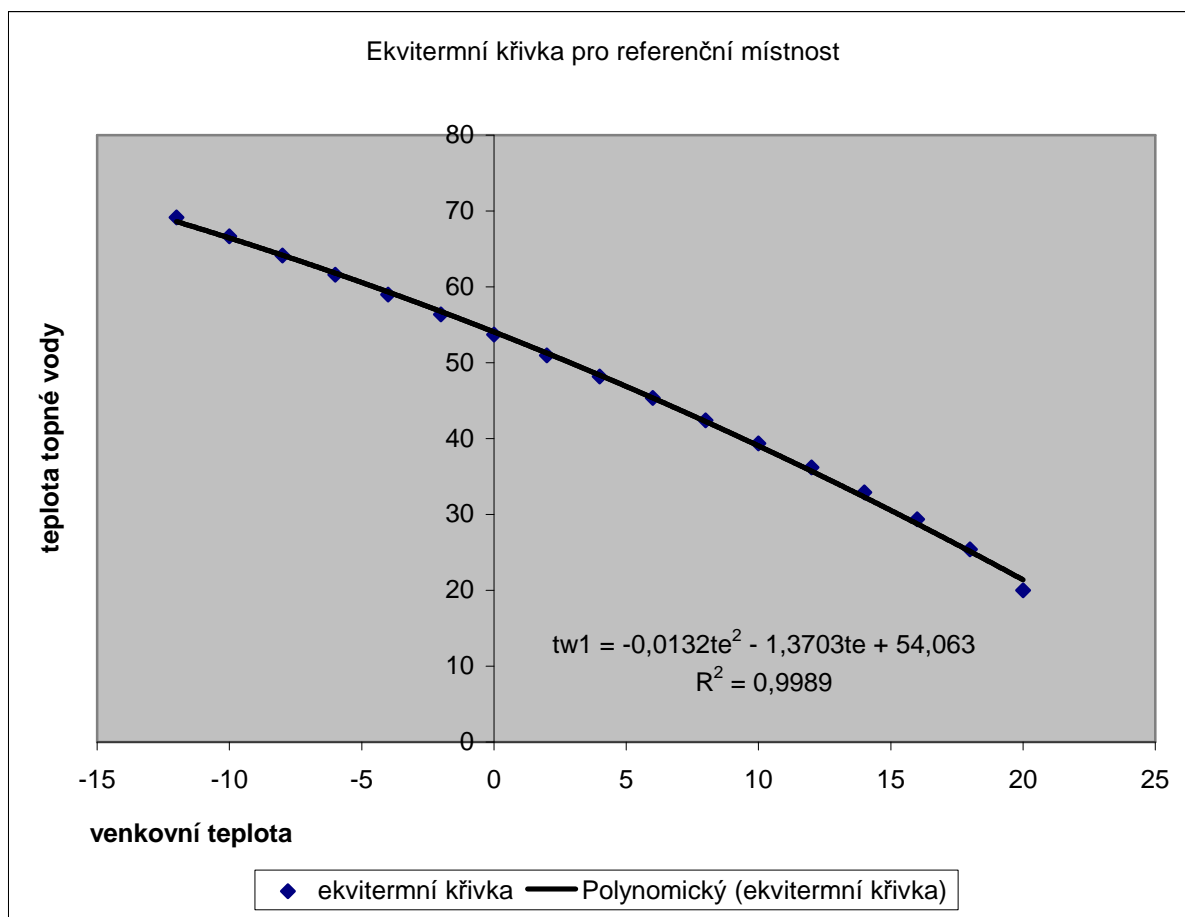
tato rovnice určí kterou rovnici pro přepočet výkonu použít.
 $c > 0,7$ použiji rovnici (15):

$$Q_{rad} = Q_N \cdot \left(\frac{\frac{t_{w1} + t_{w2}}{2} - t_i}{\frac{t_{w1N} + t_{w2N}}{2} - t_{iN}} \right)^n = Q_N \cdot f \quad (26)$$

$$= 746 \cdot \left(\frac{\frac{70 + 55,31}{2} - 20}{\frac{70 + 55}{2} - 20} \right)^{1,3} = 746 \cdot 0,978552 = 730W$$

Jelikož se výkon radiátoru Q_{rad} , při změněných podmínkách, rovná ztrátě Q_C , proběhla iterace správně a získal jsem bod ekvitemní křivky. Takhle bych pokračoval přes celý zvolený interval venkovní teploty a postupně získal soubor bodů ekvitemní křivky. Pro představu, kdybych zvolil na začátku výpočtu teplotu vstupní topné vody nižší, tedy $t_{w1}=65 \text{ }^\circ\text{C}$, výsledek výkonu radiátoru by byl $Q_{rad}=635,57 \text{ W}$. Což se neshoduje s tepelnou ztrátou $Q_C=730 \text{ W}$ a to znamená, že bych musel začít tento výpočet znovu se změněnou teplotou t_{w1} .

Pro moji zvolenou referenční místnost jsem pak vypočetl 17 bodů ekvitemní křivky s četností po dvou stupních celsia venkovní teploty. Vyšší četnost než jeden stupeň už se mi jeví jako zbytečná pro moji práci, v praxi je ovšem vypočtena s větší hustotou bodů.



Graf 1 vypočtených bodů ekvitermní křivky

tabulka vypočtených bodů ekvitermní křivky

te	-12	-10	-8	-6	-4	-2	0	2	6	10	14
Qc	730	684,37	638,75	593,12	547,5	501,87	456,25	410,62	319,37	228,12	136,87
tw1	69,1	66,7	64,1	61,9	59	56,4	53,7	51,0	45,3	39,4	32,9
f	0,979	0,916	0,855	0,795	0,734	0,672	0,611	0,5503	0,4281	0,3059	0,1837
Qrad	730	684,37	638,75	593,12	547,5	501,87	456,25	410,62	319,37	228,12	136,87

V grafu je vidět, že jsem jednotlivé body nechal proložit polynomickou funkcí druhého stupně, která popisuje závislost topné vody na venkovní teplotě. Se zvyšujícím stupněm polynomu by se křivka přesněji blížila ekvitermní závislosti, ale rovnice by nabývala na složitosti. Mě šlo o grafické znázornění průběhu závislosti a tomu použití funkce druhého řádu plně vyhovuje.

5.2 Jiný způsob výpočtu ekvitermní křivky

V praxi existuje více způsobů výpočtu ekvitermní křivky. Uvádím zde jeden z dalších způsobů stanovení ekvitermní křivky, který využívá společnost Amit s.r.o. ve svých pomůckách pro programátory řídicích systémů k aplikaci ekvitermní závislosti teploty topné vody na teplotě venkovní. Tato ekvitermní závislost (křivka) je charakterizována číslem určeným ze zkoušky při ožívání automatického systému regulace vytápění podle níže uvedeného postupu a výpočtu viz [10],[11].

Jejich řídicí systém a programátor provedou v několika dnech nahodilou zkoušku, kdy několikrát zkouší odezvu objektu (teplotu v referenční místnosti) na změnu teploty vstupní topné vody do objektu, přitom měří teplotu v referenční místnosti a hledá její ustálené hodnoty pro jednotlivě nastavené a udržované teploty topné vody. Z naměřených hodnot teploty venkovní a ustálené teploty vnitřní je provedeno určení ekvitermní konstanty E podle rovnice (27):

$$E = \frac{t_{w1z} - t_{w2z}}{t_{i1u} - t_{i2u}} \quad (27)$$

E je ekvitermní konstanta [-]

t_e je venkovní teplota [°C]

t_i je teplota v místnosti [°C]

t_{w1z} a t_{w2z} jsou nahodilé teploty topné vody [°C]

t_{i1u} a t_{i2u} jsou ustálené teploty uvnitř místnosti [°C]

Takto zjištěné číslo ekvitermní konstanty pak vstupuje do rovnice (28), podle které je řízen ohřev topné vody v závislosti teploty uvnitř a venku.

$$t_{w1} = E \cdot t_i + (1 - E) \cdot t_e \quad (28)$$

Ačkoliv se na první pohled může zdát, že tento výpočet neobsahuje tepelnou ztrátu objektu nebo parametry radiátorů, jsou tato data zahrnuta právě v nahodilém zkoušení odezvy vnitřní teploty (ustálené teploty) na ustálenou teplotu topné vody, lze říci že si tento systém MaR doslova osahá vytápěný objekt přesně, tak aby dodávaná teplota topné vody pokryla jeho ztrátu. Je to jeho výhodou i nevýhodou.

Výhody:

- + umožňuje zprovoznit automatickou regulaci objektu, kde není vypočtena ekvitermní konstanta,
- + Proces lze zautomatizovat

Nevýhody:

- toto zkoušení může trvat i několik dní,
- je nutné mít v průběhu zkoušení alespoň trochu stabilní venkovní teploty

Nutné podmínky pro průběh zkoušky:

- ❖ v průběhu zkoušky je průběžně měřena a zaznamenávána teplota venkovní, teplota v referenční místnosti a teplota topné vody na vstupu do otopné soustavy
- ❖ referenční místnost nesmí být v průběhu zkoušky vybavena vlastní automatickou regulací teploty, například termostatickou hlavicí.
- ❖ Referenční místnost nesmí být v průběhu zkoušky uměle ochlazována (provětrávána) nebo přehřívána z jiného zdroje,
- ❖ Regulační systém musí udržovat teplotu topné vody do otopného systému na konkrétně zvolené hodnotě

5.3 Vzorový výpočet dle systému firmy Amit, spol. s r.o.:

Jde o příklad výpočtu provedený pro potřeby této bakalářské práce na základě volených hodnot topné vody i teplot uvnitř referenční místnosti a teplot venkovních.

(první zvolená teplota $t_{w1z}=60$ °C, první ustálená teplota uvnitř $t_{i1u}=25$ °C; druhá zvolená teplota $t_{w2z}=40$ °C, druhá ustálená teplota uvnitř $t_{i2u}=17$ °C, teplota uvnitř $t_i=20$ °C, teplota venku $t_e=-12$ °C)

$$E = \frac{60 - 40}{25 - 17} = 2,5 \quad (29)$$

$$t_{w1} = 2,5 \cdot 20 + (1 - 2,5) \cdot (-12) = 68^\circ\text{C} \quad (30)$$

Pro výpočet celé ekvitermní křivky by se postupně zadávala rostoucí venková teplota s určitým krokem čímž by vznikla ekvitermní křivka. Její strmost je vyjádřena ekvitermní konstantou, která lze využít pro rychlejší zátap.

6 Závěr

Tématem této bakalářské práce bylo nalézt výpočet ekvitemní křivky, pro tento cíl jsem shrnul potřebné informace ze stavebního odvětví, topenářství a s těmito podklady jsem vypočítal ekvitemní křivku pro zvolenou referenční místnost. Provedené výpočty tepelných ztrát s ohledem na stále se zvyšující důraz na hospodárnější využívání energii ukázaly, že nejvýznamnější roli pro snížení nákladů má správná kvalitní konstrukce samotné budovy. V kvalitně postavené budově dochází k mnohem menším ztrátám teploty energie, které do jejich provozu investujeme.

Z provedených výpočtů jsem si vyvodil, že na hospodárnost vytápění má vliv i způsob vytápění objektu a zejména teplota topné vody. Využitím ekvitemní křivky reagujeme na klimatické podmínky v okolí vytápěného prostoru a využíváním topné vody o minimální nutné teplotě dosahujeme snížení energetických nákladů na vytápění. Myslím, že s využitím dnešních prvků v otopných systémech jako je např. akumulární nádrž s vnořenou nádrží pro ohřev užitkové vody a otopným systémem využívajícím směšovací ventilů řízených právě ekvitemní křivkou by úspora v oblasti vytápění velmi znatelně zasáhla ve prospěch snížení provozních nákladů budov.

Způsob využití znalosti venkovní teploty se mi jeví jako dobrý způsob jak regulovat množství tepla potažmo nákladů vkládaných do budov - objektů. Celá práce mi dala základní přehled o složitosti této problematiky a dala mi zkušenost v oblasti energetické hospodárnosti ve vytápění a výpočtu ztrát.

7 Seznam použitých zdrojů a literatury

- [1] MATZ, Václav. *Tzb-info.cz* [online]. 8.3. 2010 [2011-03-12]. Ekvitermní regulace – princip a využití v systémech regulace vytápění. Dostupné z WWW: <<http://vytapani.tzb-info.cz/mereni-a-regulace/6294-ekvitermní-regulace-princip-a-vyuziti-v-systemech-regulace-vytapani>>.
- [2] PAVELEK, Milan a kolektiv. *Termomechanika*. Brno : Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. Brno, 2003. 284 s.
- [3] REINBERK, Zdeněk. *Www.tzb-info.cz* [online]. Praha ČVUT : 2010 [2011-05-11]. Prostup tepla vícevrstvou konstrukcí a průběh teplot v konstrukci. Dostupné z WWW: <<http://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/68-prostup-tepla-vicевrstvou-konstrukci-a-prubeh-teplot-v-konstrukci>>.
- [4] *Www.wikipedia.cz* [online]. 17. 11. 2010 [cit. 2011-04-15]. Prostup tepla. Dostupné z WWW: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/76/Prostup_tepla.svg>.
- [5] REINBERK, Zdeněk. *Www.tzb-info.cz* [online]. 2008 [2011-05-11]. Výpočet součinitele prostupu tepla - Náповěda. Dostupné z WWW: <http://stavba.tzb-info.cz/docu/tabulky/0000/000068_help.html#undefined>.
- [6] RUBINOVÁ, Olga; RUBIN, Aleš. *Www.tzb-info.cz* [online]. 2006 [2011-04-16]. Tepelná ztráta větráním a zpětné získávání tepla. Dostupné z WWW: <<http://www.tzb-info.cz/2988-tepelna-ztrata-vetranim-a-zpetne-ziskavani-tepla>>.
- [7] *Www.korado.cz* : *Radik VK - deskové otopné těleso* [online]. [2011-05-16]. Tepelný výkon tělesa. Dostupné z WWW: <http://www.korado.cz/file/cms/cs/vyrobky/radik/tepelny_vykon/korado_tep_vykon_radik_kl_asik_vk_vku_vkl.pdf>.
- [8] BAŠTA, Jiří. *Www.tzb-info.cz* [online]. 2006 [2011-05-17]. Otopné plochy (IV - 1.část) - přepočet tepelného výkonu. Dostupné z WWW: <<http://www.tzb-info.cz/3184-otopne-plochy-iv-1-cast-prepocet-tepelneho-vykonu>>.
- [9] BAŠTA, Jiří; VAVŘIČKA Roman. *Www.tzb-info.cz* [online]. 2006 [2011-05-17]. Otopné plochy (I) - Charakteristiky otopných těles. Dostupné z WWW: < <http://www.tzb-info.cz/3060-otopne-plochy-i-charakteristiky-otopnych-teles>>.
- [10] Amit spol. s.r.o. *Www.amit.cz* : *Obecně-Jak určit ekvitermní konstantu* [online]. - [2011-05-19]. FAQ - Programování řídicích systémů. Dostupné z WWW: <http://amit.cz/cz/faq/faq_paramsw.htm>.
- [11] Amit, spol. s.r.o. *Www.forum.amit.cz* [online]. 2009 [2011-05-19]. EqLine - výpočet doporučené teploty topné vody. Dostupné z WWW: <<http://forum.amit.cz/viewtopic.php?f=31&t=215>>
- [12] *Www.tzb-info.cz* [online]. - [2011-03-25]. Katalog stavebních prvků. Dostupné z WWW: <http://stavba.tzb-info.cz/docu/tabulky/0000/000068_katalog.html>.

[13] Harmonia Brno, s.r.o. *Www.harmonie-brno.cz : ke stažení* [online]. - [2011-03-25]. Technické informace - Roplast 7001. Dostupné z WWW: <<http://www.harmonie-brno.cz/ke-stazeni/>>.

[14] Korado a.s. *Www.korado.cz : Radik-klasik* [online]. - [cit. 2011-04-25]. Základní technické parametry. Dostupné z WWW: <http://www.korado.cz/file/cms/cs/vyrobky/radik/technicke_parametry/korado_tech_param_radik_klasik_vk_vku_vkl.pdf>.

8 Seznam použitých symbolů a zkratek

- α_1 – vzduch uvnitř místnosti [-]
 α_2 – venkovní vzduch [-]
 δ – hloubka stěny [m]
 λ – konstanta úměrnosti (tepelná vodivost) [W/m.K]
 Φ – poměr přestupních ploch [-]
 ρ – hustota vzduchu [kg / m³]
 c_w – měrná tepelná kapacita topného média [J/kg . K]
 c_{wN} – nominální měrná tepelná kapacita topného média [J/kg . K]
 c_{pvz} – měrná tepelná kapacita vzduchu [J/kg . K]
 E – ekvitermní konstanta [-]
 k – součinitel prostupu tepla [W/m² . K]
 \dot{m}_w – hmotnostní tok topného média v otopném tělese [kg/s]
 n – teplotní exponent [-]
 n_m – počet kolikrát se vymění vzduch v místnosti za hodinu [1 / hod]
 Q' – Tepelný tok přes stěnu [W]
 Q – tepelný výkon [W]
 Q_N – jmenovitý tepelný výkon [W]
 Q_{rad} – výkon radiátoru s novými podmínkami [W]
 R – odpor proti vedení tepla [m².K/W]
 R_c – celkový odpor stěny [m².K/W]
 S – plocha stěny [m²]
 S_L – vnější přestupní plocha tělesa v kontaktu s vytápěným prostorem [m²]
 S_{LN} – vnější jmenovitá přestupní plocha tělesa v kontaktu s vytápěným prostorem [m²]
 S_w – vnitřní přestupní plocha tělesa v kontaktu s topným médiem [m²]
 T_i – teplota v místnosti [K]
 T_e – teplota venku [K]
 T_1 – ustálená teplota stěny [K]
 T_2 – ustálená teplota v dýchání venku v dostatečné vzdálenosti [K]
 t_1 – ustálená teplota vzduchu uvnitř [°C]
 t_2 – ustálená teplota vzduchu venku [°C]
 t'_1 – teplota na povrchu stěny uvnitř [°C]
 t'_2 – teplota na povrchu stěny zvenku [°C]
 t_{w1} – teplota topného média na vstupu do radiátoru [°C]
 t_{w1N} – jmenovitá teplota topného média na vstupu do radiátoru [°C]
 t_{w2} – teplota topného média na výstupu z radiátoru [°C]
 t_{w2N} – jmenovitá teplota topného média na výstupu z radiátoru [°C]
 t_{wm} – střední teplota topného média v radiátoru [°C]
 t_e – teplota venku [°C]
 t_i – vnitřní výpočtová teplota v místnosti [°C]
 t_{wmN} – jmenovitá střední teplota topného média v radiátoru [°C]
 t_{iN} – jmenovitá vnitřní teplota v místnosti [°C]
 t_{w1z} – první nahodilá teplota topné vody [°C]
 t_{w2z} – druhá nahodilá teplota topné vody [°C]
 t_{i1u} – první ustálená teplota v místnosti [°C]
 t_{i2u} – druhá ustálená teplota v místnosti [°C]
 Δt – rozdíl střední teploty a teploty v místnosti [°C]
 U – součinitel prostupu tepla [W/m².K]
 V_m – objem místnosti [m³]