

# **Softwarová aplikace pro výpočet tepelných ztrát prostupem tepla ve vícevrstvé rovinné desce**

Software application for computing of the heat loss effected by  
heat passage through the multiple plane plate

Miroslav Jančařík



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta aplikované informatiky

akademický rok: 2010/2011

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Miroslav JANČAŘÍK**

Osobní číslo: **A08228**

Studijní program: **B 3902 Inženýrská informatika**

Studijní obor: **Informační a řídicí technologie**

Téma práce: **Softwarová aplikace pro výpočet tepelných ztrát  
prostupem tepla ve vícevrstvé rovinné desce**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární studii se zaměřením na výpočet stacionárního tepelného toku vícevrstvou rovinnou stěnou. Pozornost věnujte výpočtu dílčích mechanismů sdílení tepla - vedení a přestupu tepla a dále popisu fyzikálních parametrů ovlivňujících množství předaného tepla ve vícevrstvé rovinné stěně.
2. Navrhněte postup výpočtu tepelného toku vícevrstvou rovinnou stěnou.
3. Vytvořte softwarovou aplikaci pro výpočet tepelného toku vícevrstvou rovinnou stěnou.
4. Pomocí Vámi vytvořené aplikace proveďte posouzení vlivu hlavních parametrů, ovlivňujících tepelné ztráty vícevrstvou rovinnou stěnou.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. MÍKA, Vladimír. Základy chemického inženýrství. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1977. 870 s.
2. CARSLAV, H. S., JAEGER, J. C. Conduction of Heat in Solids. 2. vyd. Oxford University Press, 1986.
3. ŠESTÁK, Jiří, ŽITNÝ, Rudolf. Tepelné pochody II : Výměníky tepla, odpařování, sušení, průmyslové pece a elektrický ohřev. 2. vyd. Praha : Nakladatelství ČVUT, 2006. 165 s. ISBN 80-01-03475-5.
4. KOLOMAZNÍK, Karel, et al. Teorie technologických procesů III. 1. vyd. Brno : Vysoké učení technické v Brně, 1976. 139 s.
5. ŠESTÁK, Jiří, RIEGER, František. Přenos hybnosti, tepla a hmoty. 3. vyd. Praha : Nakladatelství ČVUT, 2005. 299 s. ISBN 80-01-02933-6.
6. PERRY, R., H.; GREEN, D., W. Perrys chemical engineers handbook. (CD ROM). 7 th ed. New York: McGraw-Hill Book Co. 1999.

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Hana Charvátová, Ph.D.**

Ústav automatizace a řídicí techniky

Datum zadání bakalářské práce:

**25. února 2011**

Termín odevzdání bakalářské práce:

**7. června 2011**

Ve Zlíně dne 25. února 2011

prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.  
*děkan*



prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.  
*ředitel ústavu*

## **ABSTRAKT**

V bakalářské práci řeším problematiku výpočtu tepelných ztrát prostupem tepla ve vícevrstvé rovinné desce. V první části bakalářské práce popisuji mechanismus sdílení tepla prostupem přes vícevrstvou rovinnou stěnu. V praktické části jsem naprogramoval sofistikovaný program pro výpočet tepelných ztrát prostupem tepla ve vícevrstvé rovinné desce a ověřil funkčnost aplikace s porovnáním se vzorovým výpočtem. Vytvořený program bude použit jako učební pomůcka pro výuku předmětu Procesní inženýrství i jako nástroj pro reálné technologické výpočty.

Klíčová slova: Java, XML, prostup tepla vícevrstvou rovinou stěnou, nucené konvekce, volná konvekce, součinitel přestupu tepla, součinitel prostupu tepla

## **ABSTRACT**

In bachelor's work I solved the problem with computing calculation of the heat loss effected by heat passage through the multiple plane plate. In the first part of bachelor's work I deal with heat penetration through the multiple plane plate. In the practical part I programmed with a sophisticated program for computing calculation of the heat loss effected by heat passage through the multiple plane plate. I verified function of this software application comparing with exemplary calculation. This program is intended for using as teaching materials for school subject Process engineering and as a tool for realistic calculations of Technology.

Keywords: Java, XML, heat passage through the multiple plane plate, forced convection, free convection, heat transfer coefficient, coefficient of heat penetration

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucí bakalářské práce Ing. Haně Charvátové, Ph.D. za její pomoc při vedení během programování aplikace a trpělivost při konzultacích ohledně této práce. Taktéž děkuji rodičům za jejich všeobecnou podporu, díky které tato práce vznikla.

**Prohlašuji, že**

- beru na vědomí, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

**Prohlašuji,**

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně

.....  
podpis diplomanta

**OBSAH**

<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>10</b>
<b>1 SDÍLENÍ TEPLA</b> .....	<b>11</b>
1.1 VEDENÍ TEPLA (KONDUKCE) .....	11
<b>2 PROSTUP TEPLA</b> .....	<b>14</b>
2.1 SOUČINITEL PROSTUPU TEPLA .....	15
2.2 SOUČINITEL PŘESTUPU TEPLA .....	16
2.2.1 Volná konvekce .....	19
2.2.2 Nucená konvekce .....	20
<b>3 VÝVOJOVÉ PROSTŘEDÍ</b> .....	<b>22</b>
<b>4 PROGRAMOVÉ VYBAVENÍ</b> .....	<b>23</b>
4.1 JAZYK JAVA .....	23
4.2 JAZYK XML.....	24
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>26</b>
<b>5 POPIS PROGRAMU</b> .....	<b>27</b>
5.1 OVLÁDÁNÍ PROGRAMU .....	27
5.2 STRUKTURA PROGRAMU .....	32
5.3 VYUŽITÉ PROGRAMOVÉ ALGORITMY .....	34
<b>6 OVĚŘENÍ FUNKČNOSTI PROGRAMU SE VZOROVÝMI VÝPOČTY PROSTUPU TEPLA VÍCEVRSTVOU ROVINOU STĚNOU</b> .....	<b>36</b>
6.1 VÍCEVRSTVÁ STĚNA S VOLNOU KONVEKČÍ .....	36
6.1.1 Určení součinitele přestupu tepla mezi vnitřním okolním vzduchem a vnitřní stěnou .....	37
6.1.2 Určení součinitele přestupu tepla mezi vnějším okolním vzduchem a vnější stěnou .....	38
6.1.3 Určení součinitele prostupu tepla vícevrstvou rovinou stěnou .....	39
6.1.4 Výpočet ztrát tepla prostupem vícevrstvou rovinou stěnou .....	39
6.1.5 Porovnání vypočítaných hodnot .....	39
6.2 VÍCEVRSTVÁ STĚNA S NUCENOU KONVEKČÍ .....	40
6.2.1 Určení součinitele přestupu tepla mezi vnitřním okolním vzduchem a stěnou .....	41
6.2.2 Určení součinitele přestupu tepla mezi stěnou a vnější okolní vodou .....	42
6.2.3 Určení součinitele prostupu tepla vícevrstvou rovinou stěnou .....	43
6.2.4 Výpočet ztrát tepla prostupem vícevrstvou rovinou stěnou .....	43
6.2.5 Porovnání vypočítaných hodnot .....	44
<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>45</b>
<b>ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ</b> .....	<b>46</b>

<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>47</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>49</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>51</b>
<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>52</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>53</b>

## ÚVOD

S případem předávání tepla mezi dvěma tekutinami oddělenými pevnou stěnou se v praktickém životě setkáváme neustále, neboť k němu dochází všude kolem nás. V praxi mohou být důsledky tohoto procesu jak pozitivního tak negativního charakteru. Každý z nás chce využít tepelnou energii, která je závislá na tomto ději, co nejefektivněji, ať už jde o izolaci domů, trubek, konstrukci různých technologických zařízení jako jsou výměníky tepla apod. Nevhodně navržená izolace staveb či konstrukce již zmíněných technologických zařízení jednak narušuje tepelnou pohodu člověka, ale při jejich dlouhodobém používání způsobuje především značné ekonomické ztráty a zároveň negativně ovlivňuje životní prostředí.

Výpočet tepelných ztrát prostupem tepla je však poměrně komplikovaný děj, neboť prostup tepla je složitý proces představující kombinaci základních mechanismů sdílení tepla – tj. vedení, proudění a sálání, a tudíž je ovlivněn mnoha faktory, k nimž patří především geometrické a termofyzikální vlastnosti uvažované stěny jako je její tvar, tloušťka a teplotní vodivost materiálu, z něhož je vyrobena. Průběh prostupu tepla je dále silně závislý na fyzikálních vlastnostech tekutiny obtékající povrch uvažované stěny, jako je její střední teplota, hustota, viskozita, měrná tepelná kapacita, charakter jejího toku atd.

Všechny tyto parametry je potřeba uvažovat při praktických výpočtech součinitele prostupu tepla stěnou a následných tepelných ztrát způsobených prostupem tepla stěnou. Získané informace o průběhu daného děje pak umožňují omezit ztráty tepla na minimum, což má v současné době značný význam z ekonomického i ekologického hlediska.

Ve své bakalářské práci se zaměřím na řešení problematiky procesu prostupu tepla tělesem tvaru vícevrstvé rovinné desky. Při výpočtech budu uvažovat ustálené sdílení tepla pro případ volné i nucené konvekce tekutiny obtékající uvažovanou stěnu. Pro usnadnění výpočtu naprogramuji softwarovou aplikaci, která bude provádět automatický výpočet součinitele prostupu tepla a tepelného toku vícevrstvou rovinnou stěnou pro požadované podmínky.

## I. TEORETICKÁ ČÁST

## 1 SDÍLENÍ TEPLA

Je proces přenosu tepla. K přenosu energie dochází v prostoru z oblasti o vyšší teplotě do oblasti o nižší teplotě. Například při dotyku dvou těles o různé teplotě dochází k přenosu pohybové energie strukturních částic (molekul, atomů, volných elektronů). Pohyb částic teplejšího tělesa se zmenšuje a částice chladnějšího tělesa se pohybují rychleji. Proto se teplejší těleso ochlazuje a chladnější těleso se ohřívá. Tento tok energie, mezi částicemi teplejšího tělesa a chladnějšího tělesa, se nazývá tepelným tokem. Podmínkou vzniku tepelného toku je rozdíl teplot těles a směru, kterým klesá teplota.

Sdílení tepla probíhá třemi základními způsoby:

- a) vedení tepla (kondukce) – při vedení se tepelná energie postupně šíří v nepohyblivé hmotě.
- b) sdílení tepla prouděním (konvekce) – při sdílení tepla prouděním dochází k přenosu tepla pomocí proudění a promíchávání různě teplých hmot.
- c) sdílením tepla zářením (sálání) – při sdílení tepla zářením dochází k vyzařování energie ze sálajícího tělesa ve formě elektromagnetických vln a po dopadu na pohlcující se těleso se opět přemění na teplo.

Kombinací těchto mechanismů sdílení tepla nazýváme prostup tepla.

[1], [2]

### 1.1 Vedení tepla (kondukce)

Vedení tepla se především vyskytuje u pevných látek anebo u kapalin a plynů, které můžeme uvažovat makroskopicky v klidu. Šíření tepla probíhá dotykem jednotlivých částic těles s různou teplotou. Kondukce je způsobena pohybem mikročástic (atomů a molekul). Kmitání mikročástic se přenáší z teplejších míst na místa chladnější.

Po odvození diferenciální rovnice vedení tepla v pevných látkách dostáváme Fourierovu rovnici

$$a\nabla^2 t = \frac{\partial t}{\partial \tau} \quad (1)$$

Podle Fourierova zákona je hustota tepelného toku

$$q = -\lambda \partial t \quad (2)$$

Při odvozování diferenciální rovnice jsme zavedli fyzikální veličinu součinitele teplotní vodivosti, která vyjadřuje tepelnou setrvačnost tělesa nebo rychlost změny teploty. Tělesa s malou teplotní vodivostí, jakou jsou kapaliny a plyny, mají velkou tepelnou setrvačnost. Kovy mají velkou teplotní vodivost, takže jejich tepelná setrvačnost je malá.

Teplotní vodivost je dána součinitelem tepelné vodivosti, která je definována jako množství tepla, které projde za jednotku času tělesem, aby na jednotkovou délku byl jednotkový teplotní spád. Předpokládá se, že se teplo šíří pouze v jednom směru.

Teplotní gradient je vektor, který udává směr, ve kterém teplota nejrychleji roste. Velikost teplotního gradientu nám udává, jak rychle roste. Abychom mohli řešit konkrétní případy vedení tepla, je nutno obecnou diferenciální rovnici vedení tepla doplnit o hraniční podmínky, které nejčastěji dělíme na tři typy:

- a) je dáno rozložení teploty na povrchu tělesa
- b) je dáno rozložení plošné hustoty tepelného toku na povrchu tělesa
- c) je dána teplota okolního prostředí a charakter přestupu tepla mezi prostředím a tělesem

Pro tok tepla libovolnou plochou, lze vyjádřit hustotou tepelného toku ze vztahu

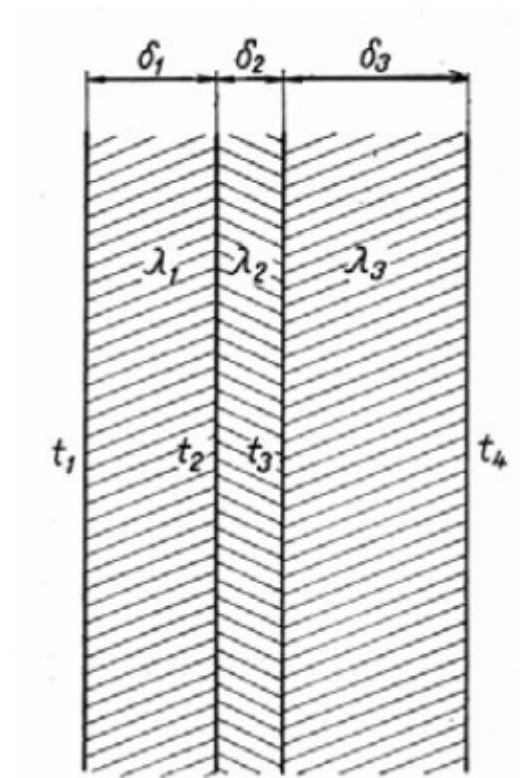
$$\dot{Q} = \int_A q \cdot dA \quad (3)$$

Při stejnorodé stěně s konstantním součinitelem tepelné vodivosti, na jejíchž protilehlých koncích jsou konstantně udržovány různé teploty, dostáváme tok tepla ve tvaru

$$\dot{Q} = \lambda A \frac{t_1 - t_2}{\delta} \quad (4)$$

V praxi se často vyskytují stěny, skládající se z více těsně přiléhajících vrstev, které jsou zhotoveny z různých materiálů o různých tepelných vodivostech. Pro n-vrstvé stěny platí vztah

$$\dot{Q} = \frac{t_1 - t_{n+1}}{\sum_{j=1}^n \frac{\delta_j}{\lambda_j}} A \quad (5)$$

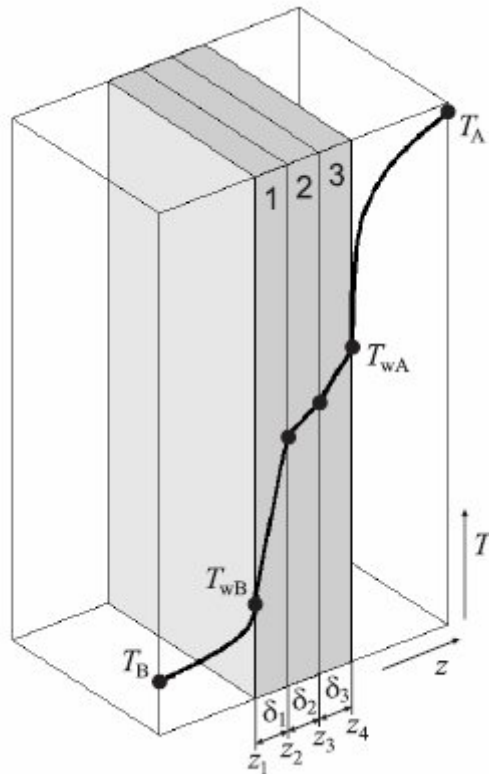


Obr. 1 Řez tří vrstvou  
rovinou stěnou [3]

[1],[3]

## 2 PROSTUP TEPLA

Prostup tepla se skládá z přestupu tepla teplejší tekutiny do povrchu stěny, vedení tepla stěnou, přestupem tepla z povrchu stěny do chladnější tekutiny. Na obrázku (Obr. 2) je znázorněn prostup tepla jednoduchou rovinnou stěnou, která je z levé strany obtékána chladnější tekutinou a z pravé části teplejší tekutinou.



Obr. 2 Prostup tepla třívrstvou  
rovinou stěnou [4]

Tok tepla lze vyjádřit vztahem

$$d\dot{Q} = k_m \Delta t_m dA \quad (6)$$

kde  $k_m$  je lokální součinitel prostupu tepla,  $\Delta t_m$  je celková lokální hybná síla a  $dA$  je element teplotěrné plochy.  $k_m$  a  $\Delta t_m$  jsou místní hodnoty, závislé na ploše. Při praktických výpočtech zavádíme střední hodnoty  $k$  a  $\Delta t$ . Dostáváme tak vztah ve tvaru

$$\dot{Q} = k \cdot \Delta t \cdot A \quad (7)$$

[1], [3], [4]

## 2.1 Součinitel prostupu tepla

Pro výpočet součinitele prostupu tepla jsou dány teploty obou tekutin  $t_{f1}$  a  $t_{f2}$ , součinitel přestupu tepla  $\alpha_1$  a  $\alpha_2$  na obou površích stěny, součinitel tepelné vodivosti stěny  $\lambda$  a tloušťka stěny  $\delta$ .

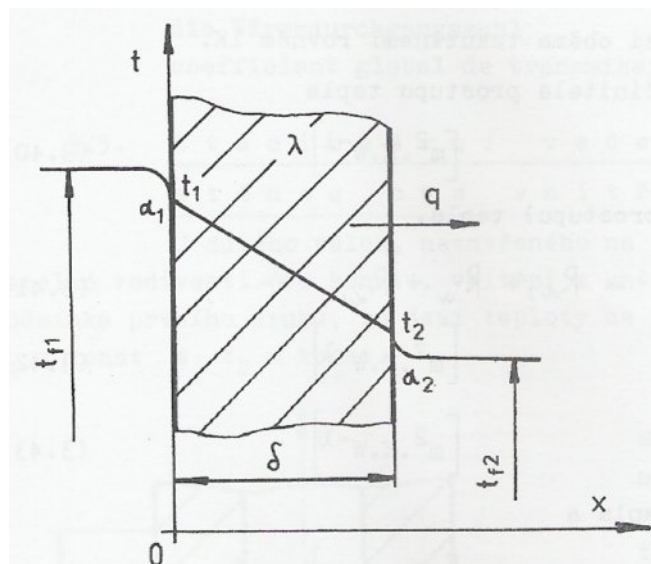
Při stacionárním prostupu tepla si musí být plošné hustoty tepelného toku rovny. Pro vyjádření plošné hustoty tepelného toku přestupujícího mezi tekutinami a povrchy stěny použijeme Newtonova zákona pro přestup tepla. Jednotlivé plošné hustoty tepelného toku mají tvar:

$$q = \alpha_1 \cdot (t_{f1} - t_1) \quad (8)$$

$$q = \frac{\lambda}{\delta} \cdot (t_1 - t_2) \quad (9)$$

$$q = \alpha_2 \cdot (t_2 - t_{f2}) \quad (10)$$

Kde rovnice (8) vyjadřuje vztah plošné hustoty tepelného toku mezi tekutinou č. 1 do povrchu stěny, rovnice (9) vyjadřuje vztah hustoty tepelného toku procházejícího vedením stěnou a rovnice (10) vyjadřuje vztah hustoty tepelného toku mezi povrchem stěny a tekutinou č. 2.



Obr. 3 Prostup tepla jednovrstvou rovinou stěnou[1]

Po sečtení dostáváme vztah

$$q = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} (t_{f1} - t_{f2}) = k(t_{f1} - t_{f2}) \quad (11)$$

kde součinitel prostupu tepla pro rovinou stěnu je

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (12)$$

Pro n-vrstvou rovinou stěnou, platí pro hustotu tepelného toku vztah

$$q = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}} (t_{f1} - t_{f2}) = k(t_{f1} - t_{f2}) \quad (13)$$

kde součinitel prostupu tepla n-vrstvou rovinou stěnou je

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (14)$$

[1], [3]

## 2.2 Součinitel přestupu tepla

Přestup tepla označujeme jako sdílení tepla mezi povrchem stěny a okolní tekutinou. Kvůli obtížnému analytickému řešení diferenciálních rovnic sdílení tepla v proudící tekutině se zavede zjednodušený vztah pro hustotu tepelného toku v tekutině na fázovém rozhraní. Předpokládá se, že je rovna rozdílu mezi střední teplotou tekutiny  $\langle t \rangle$  a teplotou tekutiny  $t_w$  na rozhraní. Součinitel přestupu tepla je koeficient úměrnosti a značíme ho symbolem  $\alpha$ . Vztah pro hustotu tepelného toku mezi kapalinou a stěnou je

$$q_w = \alpha(\langle t \rangle - t_w) \quad (15)$$

a pro tok tepla platí vztah

$$d\dot{Q} = q_w \cdot dA = \alpha(\langle t \rangle - t_w) dA \quad (16)$$

kde

$$q_w = -\lambda \left( \frac{\partial t}{\partial n} \right)_{n=0} \quad (17)$$

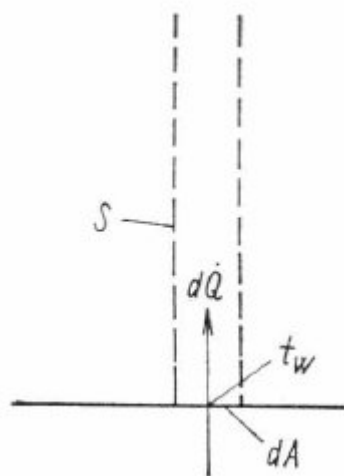
Ze vztahů (15) a (17) plyne pro součinitel přestupu tepla výraz

$$\alpha = -\frac{\lambda \left( \frac{\partial t}{\partial n} \right)_{n=0}}{\langle t \rangle - t_w} \quad (18)$$

Veličinou  $\alpha$ , tedy součinitel přestupu tepla, nahrazujeme těžko stanovitelný gradient teploty tekutiny na fázovém rozhraní.

Stanovení střední teploty tekutiny  $\langle t \rangle$  závisí na tom, jestli jde o sdílení tepla ve velkých objemech tekutiny nebo o sdílení tepla v tekutině proudící potrubím. V případě velkých objemů tekutiny je na fázovém rozhraní tenká mezní vrstva, ve které nastává změna teploty, a mimo tuto vrstvu považujeme teplotu za konstantní. Protože je mezní vrstva tenká, je možno za střední hodnotu považovat teplotu tekutiny mimo tuto vrstvu, která se dá snadno stanovit. Pro konstantní hodnotu hustoty a měrného tepla tekutiny je střední teplota podle obrázku (Obr. 4) vyjádřena rovnicí:

$$\langle t \rangle = \frac{1}{\dot{V}} \int_S t \cdot v dS \quad (19)$$



Obr. 4 Přestup tepla ze stěny do tekutiny [6]

Tekutiny proudí většinou turbulentně, což způsobuje turbulentní fluktuace, které vedou k dobrému promíchávání tekutiny. V důsledku toho je rychlostní profil plochý a to samé platí i o profilu teplotním.

Součinitel přestupu tepla je veličina, která se stanovuje pokusně. Z definice rovnice (15) můžeme hodnotu zjistit dělením pokusně zjištěné hodnoty hustoty tepelného toku na fázovém rozhraní rozdílem teplot tekutiny ( $\langle t \rangle - t_w$ ) pro dané uspořádání. Protože aparáty mají konečné rozměry, určuje se střední přestup tepla podle plochy výměny tepla. Z rovnice (16) plyne

$$\int_Q \frac{d\dot{Q}}{\langle t \rangle - t_w} = \int_A \alpha \cdot dA = \langle \alpha \rangle A \quad (20)$$

Z integrálu na levé straně dostaneme teplotu jako integrační proměnnou. Záleží na podmínkách, jak se bude hodnota  $\alpha$  podle plochy výměny tepla měnit (při konstantní hodnotě  $\alpha$  je místní hodnota rovna střední hodnotě). Pokud je geometrické uspořádání podél celé plochy stejné, závisí hodnota  $\alpha$  pouze na změně teploty podél plochy. Střední hodnota  $\alpha$  odpovídá průměrné teplotě tekutiny.

Pro přestup tepla využíváme zobecněných pokusných měření pomocí teorie podobnosti. Pro jednoduchost předpokládáme, že se tepelná vodivost tekutiny nemění s místem a že tekutina neobsahuje zdroj energie. Vycházíme z Fourierovy-Kirchhoffovy rovnice a po úpravě dostáváme bezrozměrné rovnice, které jsou pro všechny podobné systémy stejné. Dostáváme tak kritéria, nutná pro počítání volné a nucené konvekce.

Nusseltovo

$$Nu = \frac{\alpha \cdot l}{\lambda} \quad (21)$$

kde po vyjádření součinitele přestupu tepla dostáváme vztah

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{l} \quad (22)$$

Grashofovo

$$Gr = \frac{g l^3}{\nu^2} \beta \Delta t \quad (23)$$

Prandtlovo

$$\text{Pr} = c_p \frac{\eta}{\lambda} \quad (24)$$

Rovnice kritérií se často zapisují ve tvaru součinu mocnin kritérií, používá se však i odlišných tvarů funkcí. Při velkých změnách teplot se výrazně mění vlastnosti tekutin. Do rovnic je třeba dosazovat hodnoty těchto vlastností při střední teplotě. Při obtékání těles se používá ke stanovení vlastností tekutiny aritmetický průměr teplot.

$$\langle\langle t \rangle\rangle = \frac{\langle t \rangle + t_w}{2} \quad (25)$$

kde  $\langle t \rangle$  je střední teplota tekutiny v místě vzdálené od stěny a  $t_w$  je teplota stěny.

[5], [6]

### 2.2.1 Volná konvekce

Volná konvekce je přestup tepla při volném proudění. Pokud je volné proudění vyvoláno pouze rozdílem teplot a značně velký prostor je vyplněný tekutinou ve srovnání s teplotěrnou plochou, pak je pro hodnotu Nusseltova kritéria rozhodující součin Grashofova a Prandtlava kritéria:

$$\text{Nu} = C(\text{Gr} \cdot \text{Pr})^n \quad (26)$$

Kde  $C$  a  $n$  jsou konstanty. Pro konkrétní vyjádření rovnice (26) jsou hodnoty konstanty  $C$  a  $n$  v tabulce (Tab. 1), pro konkrétní interval, do nějž spadá součin Grashofova a Prandtlava kritéria.

$\text{GrPr}$	$C$	$N$
$< 10^{-3}$	0,6	0
$< 1 \cdot 10^{-3}; 5 \cdot 10^2 >$	1,18	1/8
$< 5 \cdot 10^2; 2 \cdot 10^7 >$	0,54	1/4
$< 2 \cdot 10^7; 1 \cdot 10^{13} >$	0,135	1/3

Tab. 1 Konstanty pro výpočet rovnice (26)

[3], [5]

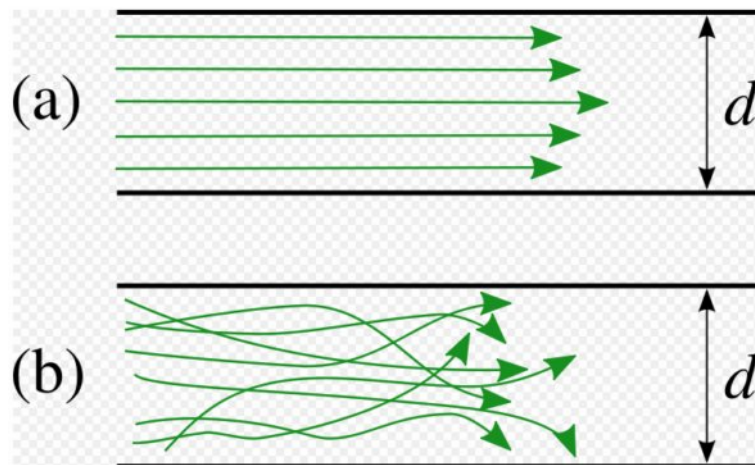
### 2.2.2 Nucená konvekce

Je-li tekutina přinucena k toku kolem teplotěrné plochy jinak než pouze rozdílem teplot nebo rozdílem koncentrací, hovoříme o tzv. nucené konvekci. V chemickém průmyslu jsou nejčastěji použity systémy, u kterých je teplotěrná plocha vyrobena z trubek a nádoby s míchadlem.

Reynoldsovo kritérium je číslo, které dává do souvislosti setrvační síly a viskozitu. Pomocí tohoto čísla je možné určit, zda je proudění tekutiny laminární, turbulentní anebo je v přechodové oblasti. Čím je Reynoldsovo číslo vyšší, tím nižší je vliv třecích sil částic tekutiny na celkový odpor. Reynoldsovo kritérium je dané vztahem

$$\text{Re} = \frac{v \cdot l}{\nu} \quad (27)$$

kde  $l$  je charakteristický rozměr,  $v$  je střední hodnota proudící kapaliny a  $\nu$  je kinematičká viskozita.



Obr. 5 (a) je laminární proudění, (b) je turbulentní proudění [15]

Laminární proudění, neboli vrstevnaté, je proudění kapaliny, při kterém se částice pohybují vedle sebe v rovnoběžných vrstvách a navzájem se nepromíchávají. Mezi jednotlivými vrstvami existuje vnitřní tření.

Pro laminární oblast proudění je  $\text{Re} < 2300$  a pro hodnotu Nusseltova kritéria, lze použít vztah

$$Nu = 0,15 \cdot Re^{0,32} \cdot Pr^{0,33} (Gr \cdot Pr)^{0,1} \cdot \left( \frac{Pr}{Pr_w} \right) \cdot \varepsilon_f \quad (28)$$

kde  $Re$  je Reynoldsovo číslo,  $Gr$  je Grashofovo kritérium,  $Pr$  je Prandtlovo kritérium,  $Pr_w$  je Prandtlovo kritérium při teplotě stěny a  $\varepsilon_f$  je součinitel, který je závislý na délce  $L$  a charakteristickém rozměru  $l$ . Příslušné hodnoty  $\varepsilon_f$  jsou uvedeny v tabulce (Tab. 2).

$L/l$	1	2	5	10	15	20	30	40	$\geq 50$
$\varepsilon_f$	1,90	1,70	1,44	1,28	1,18	1,13	1,05	1,02	1,00

Tab. 2 Konstanty vztahu  $\varepsilon_f$

Pro přechodovou oblast proudění je Reynoldsovo číslo v rozmezí  $2300 \leq Re \leq 1 \cdot 10^4$  a pro hodnotu Nusseltova kritéria, platí vztah

$$Nu = 0,116 \left( Re^{\frac{2}{3}} - 125 \right) \cdot Pr^{\frac{1}{3}} \cdot \left[ 1 + \left( \frac{l}{L} \right)^{\frac{2}{3}} \right] \cdot \left( \frac{\eta}{\eta_w} \right)^{0,14} \quad (29)$$

kde  $Re$  je Reynoldsovo číslo,  $Pr$  je Prandtlovo kritérium,  $\eta$  je dynamická viskozita při střední teplotě,  $\eta_w$  je dynamická viskozita při teplotě stěny,  $L$  je délka a  $l$  je charakteristický rozměr.

Turbulentní proudění (Obr. 5b) je proudění vazké tekutiny, při kterém se trajektorie pohybu jednotlivých částic navzájem promíchávají. Částice tekutiny při proudění se nejen posouvají, ale vykonávají i složitý vlastní pohyb, který vede ke vzniku vírů. Rychlosti částic tekutiny se nepravidelně mění. Turbulentní proudění není stacionární. Turbulentní proudění se nejčastěji objevuje při větších rychlostech proudění anebo u tekutin s menší přitažlivou silou mezi částicemi.

Pro turbulentní oblast proudění je  $Re \geq 1 \cdot 10^4$  a pro hodnotu Nusseltova kritéria, platí vztah

$$Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4} \quad (30)$$

[3], [15], [16], [17]

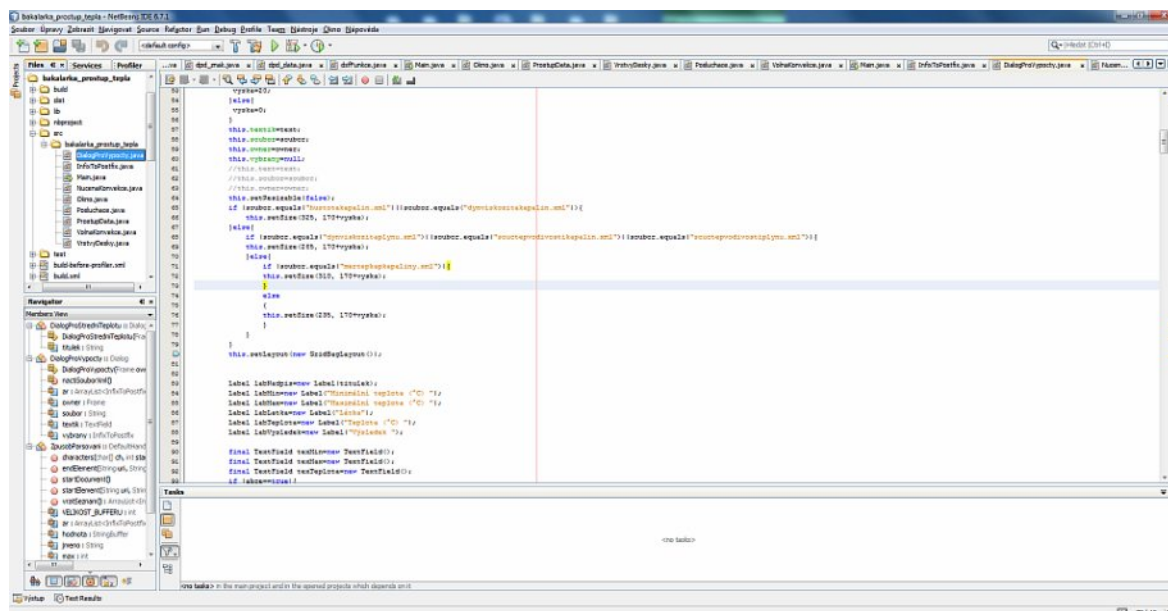
### 3 VÝVOJOVÉ PROSTŘEDÍ

Pro vývoj softwarové aplikace pro prostupu tepla vícevrstvou rovinou stěnou jsem si vybral Open Source vývojové prostředí Netbeans IDE, které má rozsáhlou uživatelskou základnu a dlouholetý vývoj podporován firmou Sun Microsystems. A jak už bylo zmíněno, je pod licencí Open Source, takže je volně dostupné jak pro nekomerční tak komerční využití.

Netbeans začal v roce 1996 jako studentský projekt pod vedením Matematicko-fyzikální fakulty Univerzity Karlovy v Praze. V roce 1999 byl koupen firmou Sun Microsystems a stal se Open Source vývojovým prostředím.

Vývojové prostředí Netbeans IDE je nástroj, ve kterém lze psát, překládat, ladit a distribuovat aplikace. Samotné vývojové prostředí je vytvářeno v jazyce Java, ale podporuje prakticky jakýkoli programovací jazyk. Vývojové prostředí se dá rozšířit o velké množství modulů. Poslední dostupná verze Netbeans IDE je 7.0. Vývoj softwarové aplikace pro prostupu tepla vícevrstvou rovinou stěnou je však napsán ve verzi 6.7.1.

[7], [12]



Obr. 6 Vývojové prostředí Netbeans IDE

## 4 PROGRAMOVÉ VYBAVENÍ

### 4.1 Jazyk Java

Java je objektově orientovaný jazyk, který od roku 1991 vyvíjí firma Sun Microsystems. Jeho vznik spadá do vzrušujícího období začátku celosvětové sítě Internetu, do doby dnes již rozhodnuté bitvy prohlížečů.

Hlavním důvodem vzniku Javy byly nevhodné stávající programovací jazyky, především nejpoužívanější C/C++, protože je potřeba programy přeložit pro každý procesor zvlášť. Java byla původně určena jako programovací jazyk pro tvorbu softwaru spotřební elektroniky, jakou jsou ledničky, mikrovlnné trouby, pračky, osobní digitální diáře, videa apod. Od té doby Java prošla značným vývojem a její využití v dnešní době je mnohem širší. Java se rozšířila do internetových aplikací, jak pomocí appletů, tak pomocí JSP (JavaServer Pages), které umožňuje vývoj dynamických webových stránek. Tím se stává Java přímým konkurentem jazyka PHP ve vývoji webových prezentací. S vývojem mobilních zařízení Java našla další široký okruh uplatnění.

Programovací jazyk Java je založený na principu C++, ke kterému má také syntakticky nejbliže. Proti jazyku C++ neobsahuje složité konstrukce, které způsobují mnoho problémů. Základními vlastnostmi programovacího jazyka Java je jednoduchost, distribuovatelnost, generační správa paměti, výkonný, dynamický a víceúlohový. Hlavními výhodami jazyka Java je multiplatformnost, robustnost, škálovatelnost a vysoká bezpečnost, která Javu řadí mezi jazyky používané i u kritických aplikací na mainframových počítačích. Multiplatformnost je zajištěna tím, že programy jazyka Java nejsou překládány přímo do strojového kódu daného procesoru, ale do formátu bajtového kódu, který je interpretován speciálními překladači JIT (just-in-time compiler), dostupné pro všechny platformy.

Proti programovacím jazykům, které provádějí kompilaci zdrojového kódu (C++, Pascal), je start programů psaných v programovacím jazyce Java pomalejší, protože se program musí nejprve přeložit a potom spustit.

Java Development Kit (JDK) je soubor základních nástrojů pro vývoj aplikací psaných v jazyce Java. Nyní je ve verzi JDK 1.6. Jakožto jeden z nejpoužívanějších jazyků poskytuje Java spoustu platform. Pro mobilní telefony a různá zabudovaná zařízení je platforma Java ME. Platforma Java SE je pro aplikace na desktopových počítačích. Pro rozsáhlé

distribuované systémy pracující na řadě spolupracujících počítačů, rozprostřených po celém světě, je platforma Java EE.



Obr. 7 Logo Java [11]

[8], [9], [10], [11]

## 4.2 Jazyk XML

Vývoj jazyka XML vyvstal velmi brzy po rozšíření počítačů kvůli potřebě značkovacího jazyka. Prvním úspěšným značkovacím jazykem byl jazyk SGML, který byl využitý i armádou. Jazyk SGML (Standard Generalized Markup Language) je navržen s komplexní gramatikou, která způsobuje jeho složité zpracování. Z tohoto důvodu začaly vznikat, redukcí původního SGML, nové zjednodušené verze. Nejznámějším potomkem SGML je jazyk HTML, který je vhodný pro použití na WWW.

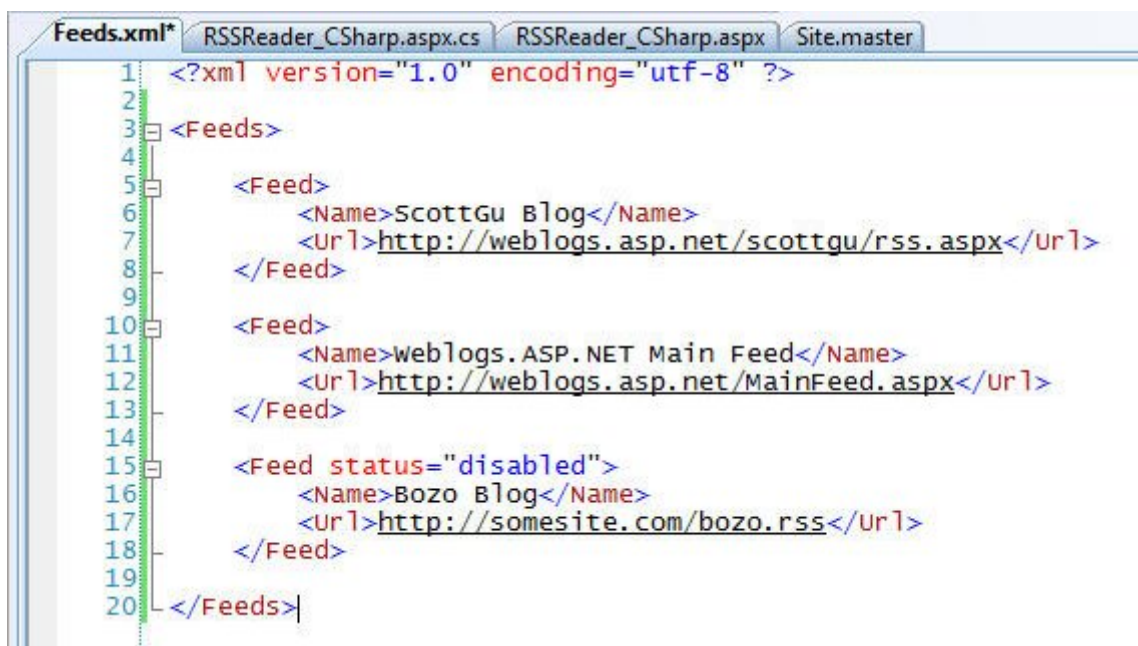
Na základě zkušeností s jazykem HTML se roku 1996 začal vyvíjet jazyk XML. Výsledkem vývoje byla verze jazyka 1.0. Současná verze je 1.1 a vůči verzi 1.0 se liší z pohledu uživatele minimálně.

XML (eXtensible Markup Language) je fenoménem současné doby. Spadá do oblasti zaměřené na uchování a zpracování textových dokumentů. Jak už bylo řečeno, jeho otcem je jazyk SGML a za jeho bratra je považován jazyk HTML.

XML je standardem W3C (World Wide Web Consortium) a je v dnešní době brán jako jeden z nejdůležitějších formátů pro výměnu dat strukturovaným způsobem. Během

posledních let došlo ke značnému rozšíření jazyka XML, díky jeho velmi dobrým vlastnostem, mezi které patří jednoduchost a otevřenost formátu, jasné značkování a pevná gramatika značek.

Jeho hlavní výhodou je nezávislost na platformě. Díky této vlastnosti je XML velmi mocný prostředek pro zajištění přenositelnosti dat a programů, které s těmito daty pracují. Nezávislosti na platformě je docíleno tím, že obsahem XML dokumentu jsou převážně textové informace. V hlavičce XML souboru jsou umístěny informace o kódování.



```
Feeds.xml* RSSReader_CSharp.aspx.cs RSSReader_CSharp.aspx Site.master
1 <?xml version="1.0" encoding="utf-8" ?>
2
3 <Feeds>
4
5   <Feed>
6     <Name>ScottGu Blog</Name>
7     <Url>http://weblogs.asp.net/scottgu/rss.aspx</Url>
8   </Feed>
9
10  <Feed>
11    <Name>weblogs.ASP.NET Main Feed</Name>
12    <Url>http://weblogs.asp.net/MainFeed.aspx</Url>
13  </Feed>
14
15  <Feed status="disabled">
16    <Name>Bozo Blog</Name>
17    <Url>http://somesite.com/bozo.rss</Url>
18  </Feed>
19
20 </Feeds>
```

Obr. 8 Formát XML [13]

[13], [14]

## II. PRAKTICKÁ ČÁST

## 5 POPIS PROGRAMU

Aplikaci pro výpočet tepelného toku vícevrstvou rovinou stěnou jsem naprogramoval v programovacím jazyku Java a pro uchování informací, které jsou použity pro výpočet tabulkových hodnot, jsem použil XML dokumenty.

Podle zadání jsem vytvořil program, který dokáže vypočítat součinitel prostupu tepla vícevrstvou rovinou stěnou. Stěna se může skládat až z 5 různých vrstev různé délky. Základní možností je prostup tepla jednovrstvou stěnou.

Program umí počítat volnou a nucenou konvekci na obou stranách jednovrstvé nebo vícevrstvé rovinné stěny, nabízí počítat tabulkové hodnoty vybraných látek a dokáže sestavit graf pro znázornění prostupu tepla stěnou, potom vypočítané hodnoty uloží do textového souboru.

### 5.1 Ovládání programu

Při startu programu se spustí hlavní okno aplikace, které lze vidět na (Obr. 9). V hlavním okně je nutné zadat teploty na vnější a vnitřní stěně, součinitele přestupu tepla, velikost desky, počet vrstev a pro každou vrstvu vyplnit délku a součinitel tepelné vodivosti. Po zadání už stačí jen stisknout tlačítko vypočítat a výsledky se zobrazí nad tlačítkem vypočítat v sekci vypočítané hodnoty.

Při stisknutí tlačítka vedle součinitele přestupu tepla se objeví nabídka se dvěma možnostmi: výpočet součinitele přestupu tepla pro volnou konvekci nebo součinitel přestupu tepla pro nucenou konvekci.

Výběrové pole počet vrstev ovlivňuje, kolik vrstev má vícevrstvá rovinná stěna. A při změně výběrového pole program automaticky nuluje zbytečná pole pro vícevrstvou rovinou stěnu a nechá vybraný počet prázdných textových

The screenshot shows the main window of the application. It has a menu bar with 'Soubor' and 'Nástroje'. The main area contains the following fields and controls:

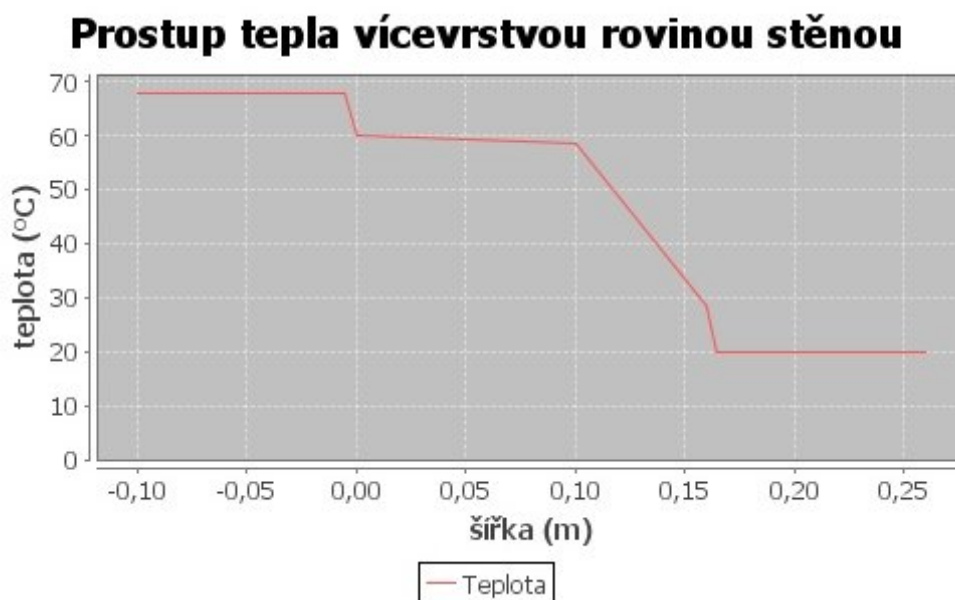
- Teplota tekutin:**
  - na vnitřní stěně (°C): [input field]
  - na vnější stěně (°C): [input field]
- Součinitel přestupu tepla:**
  - na vnitřní stěně (W/(m²\*K)): [input field] v
  - na vnější stěně (W/(m²\*K)): [input field] v
- Velikost desky:**
  - šířka (m): [input field]
  - výška (m): [input field]
- Počet vrstev:** [dropdown menu] 1 vrstva
- 1 vrstva:**
  - délka (m): [input field]
  - součinitel tepelné vodivosti (W/(m\*K)): [input field]
- 2 vrstva:**
  - délka (m): 0
  - součinitel tepelné vodivosti (W/(m\*K)): 0
- 3 vrstva:**
  - délka (m): 0
  - součinitel tepelné vodivosti (W/(m\*K)): 0
- 4 vrstva:**
  - délka (m): 0
  - součinitel tepelné vodivosti (W/(m\*K)): 0
- 5 vrstva:**
  - délka (m): 0
  - součinitel tepelné vodivosti (W/(m\*K)): 0
- Vypočítané hodnoty:**
  - součinitel prostupu tepla k (W/(m²\*K)): [input field]
  - ztráty tepla prostupem Q (W): [input field]

At the bottom right, there is a button labeled 'Vypočítat'.

Obr. 9 Hlavní okno aplikace prostupu tepla vícevrstvou rovinou stěnou

polí vícevrstvé rovinné stěny, takže ulehčuje práci s vyplňováním a mazáním informací a také jednoznačně viditelně určuje, kolik vrstev má stěna.

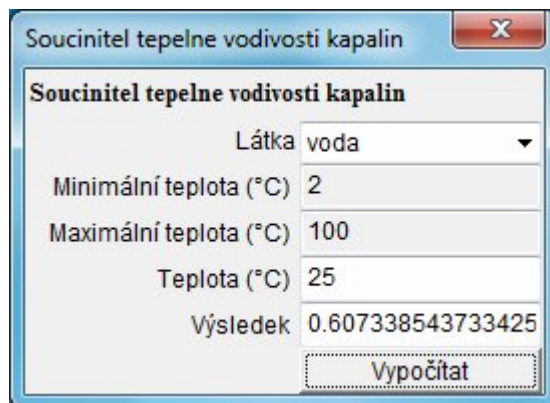
V horní části aplikace je menu programu. Uživatel si může v souborovém menu vybrat ze dvou položek, jednou z nich je zaškrťovací pole graf. Pokud bude toto pole zaškrtnuté, program při konci výpočtu sestrojí graf (Obr. 10) pro zadané hodnoty a ukáže tak uživateli jednotlivé teploty vrstev vícevrstvé rovinné stěny. Po sestrojení grafu se ještě vytvoří soubor (Obr. 11) s dalšími vypočítanými hodnotami, které by mohl uživatel potřebovat. Druhou z těchto položek je konec, která ukončí aplikaci pro výpočet vícevrstvou rovinou stěnou.



Obr. 10 Graf sestrojený aplikací

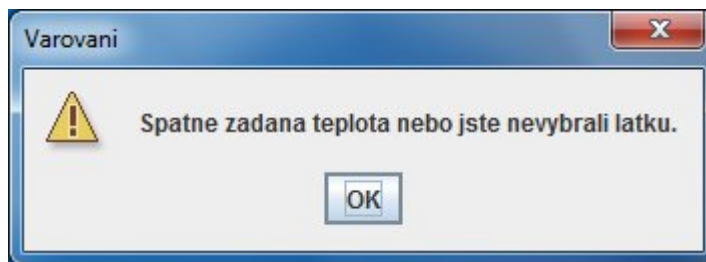
```
vysledky-1305551939831 – Poznámkový blok
Soubor  Úpravy  Formát  Zobrazení  Nápověda
Soucinitel prostupu tepla: 0.525588769002357 (w/(m*m*K))
Ztraty prostupem: 25.228260912113136 (w)
Intenzita: 25.228260912113136 (w/(m*m))
Teplota na vnitřní stěně: 68.0 (°C)
Teplota 0: 60.00118550662234 (°C)
Teplota 1: 58.739772461016685 (°C)
Teplota 2: 28.465859366480924 (°C)
Teplota na vnější stěně: 20.0 (°C)
```

Obr. 11 Textový soubor vytvořený aplikací



Obr. 12 Nástroj pro výpočet tabulkových hodnot vody součinitele tepelné vodivosti

Menu nástroje obsahuje nástroje pro výpočet tabulkových hodnot vybraných prvků, tím rozšiřuje funkčnost aplikace, i jako rychlý a snadný dopočet hustoty, dynamické viskozity, měrné tepelné kapacity a součinitele tepelné vodivosti (Obr. 12). Na obrázku (Obr.12) lze vidět, že je nutné vybrat látku, která obtéká stěnu, a zadat teplotu v rozsahu mezi minimální a maximální teplotou. Při nedodržení těchto podmínek se zobrazí varovný dialog, který lze vidět na obrázku (Obr. 13). V menu nástroje je i možnost vypočítat střední teplotu, která je důležitá pro ostatní výpočty a tím zajistí, že uživatel neudělá zbytečnou chybu, která by ovlivnila výpočet aplikace.



Obr. 13 Varovný dialog při výpočtu tabulkových hodnot součinitele tepelné vodivosti

Pro součinitel přestupu tepla při volné konvekci se nám zobrazí nové okno (Obr. 14). Pro výpočet je nutné vyplnit charakteristický rozměr, teplotu povrchu, teplotu okolí, měrnou tepelnou kapacitu, součinitel tepelné vodivosti a dvě ze tří hodnot dynamická viskozita, hustota a kinematická viskozita. Pro rychlejší ovládání aplikace je možnost vypočítat tabulkové hodnoty měrné tepelné kapacity, součinitele tepelné vodivosti, dynamické viskozity a hustoty stisknutím tlačítek  $v$ , kdy se zobrazí nový dialog pro výpočet příslušné hodnoty. Po výpočtu tabulkové hodnoty dojde k automatickému uzavření dialogu

a vypočítaná hodnota se vloží do příslušného pole. Pro lepší využití aplikace je tu ještě zaškrtnuté políčko látka, které umožňuje, pro výpočet kapalin, při jeho odškrtnutí, vyplnit pole teplotního součinitele objemové roztažnosti. Po stisknutí tlačítka vypočítat, se zobrazí všechny důležité mezivýpočty, jako Grashofovo kritérium, Prandtlovo kritérium, konstanty  $C$  a  $n$  a Nusseltovo kritérium, zobrazí se i součinitel přestupu tepla v sekci vypočítané hodnoty. Takže je možné si zkontrolovat vlastní výpočty s výpočty vypočítanými aplikací.

Zadané hodnoty:	
charakteristický rozměr (m)	1,5
teplota povrchu (°C)	28
teplota okolí (°C)	20
měrná tepelná kapacita (J/(kg*K))	988.097542568459 v
součinitel tepelné vodivosti (W/(m*K))	0.02601055471473 v
dynamická viskozita (Pa*s)	1.83622520718165 v
hustota (kg/m <sup>3</sup> )	1,18855 v
kinetická viskozita (m <sup>2</sup> /s)	
látka	<input checked="" type="checkbox"/> plyn
teplotní součinitel objemové roztažnosti (1/K)	
Vypočítané hodnoty:	
teplotní součinitel objemové roztažnosti (1/K)	0.0033653037186606
Gr	3.7345653184963884E
Pr	0.6975512958940202
C	0.135
n	0.333333
Nu	185.75308406599893
součinitel přestupu tepla (W/(m <sup>2</sup> *K))	3.221027171019415

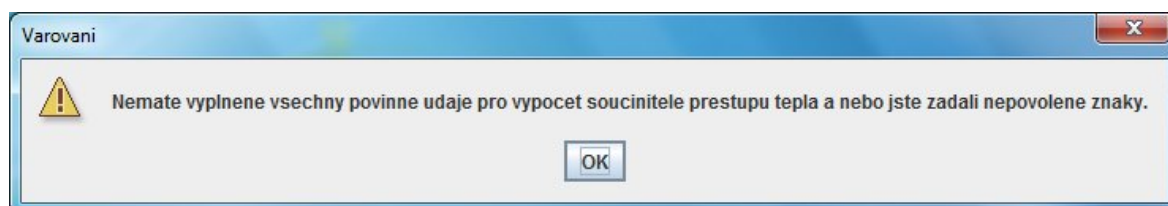
Obr. 14 Okno pro výpočet volné konvekce

Pro výpočet součinitele přestupu tepla při nucené konvekci se nám zobrazí nové okno (Obr. 15). Výpočet nucené konvekce se skládá ze dvou kroků. Pro výpočet prvního kroku je nutné vyplnit charakteristický rozměr, rychlost proudění a dvě ze tří hodnot dynamická viskozita, hustota a kinetická viskozita. Potom musíme nechat vypočítat Reynoldsovo číslo, pomocí tlačítka výpočet Re. Podle výsledku Reynoldsova kritéria se nám zpřístupní jen nutná pole pro výpočet druhého kroku, který má díky laminárnímu, přechodovému a turbulentnímu proudění tři varianty počítání. Po vyplnění zpřístupněných polí můžeme nechat vypočítat součinitel přestupu tepla. Při úspěšném výpočtu se zobrazí mezivýpočty, jako Prandtlovo kritérium při střední teplotě, Prandtlovo kritérium při teplotě stěny, Grashofovo kritérium, Nusseltovo kritérium a součinitel při laminárním prouděním, a součinitel přestupu tepla.

Zadané hodnoty:	
charakteristický rozměr (m)	1,5
rychlost (m/s)	1,5
dynamická viskozita stf. T (Pa*s)	1.8362252071816563E-5 v
hustota stf. T (kg/m <sup>3</sup> )	1,1885 v
kinematická viskozita stf. T (m <sup>2</sup> /s)	1.5449938638465768E-5
látko	<input checked="" type="checkbox"/> plyn
teplotní součinitel objemové roztažnosti (1/K)	
délka (m)	
teplota povrchu (°C)	
teplota okolí (°C)	
měrná tepelná kapacita stf. T (J/(kg*K))	v
součinitel tepelné vodivosti stf. T (W/(m*K))	v
dynamická viskozita T povrchu (Pa*s)	v
měrná tepelná kapacita T povrchu (J/(kg*K))	v
součinitel tepelné vodivosti T povrchu (W/(m*K))	v
Vypočítané hodnoty:	
Re	145631.64635477366
Pr	
Prw	
Gr	
součinitel	
Nu	
součinitel přestupu tepla (W/(m <sup>2</sup> *K))	
<input type="button" value="Výpočet součinitele přestupu tepla"/> <input type="button" value="Výpočet Re"/>	

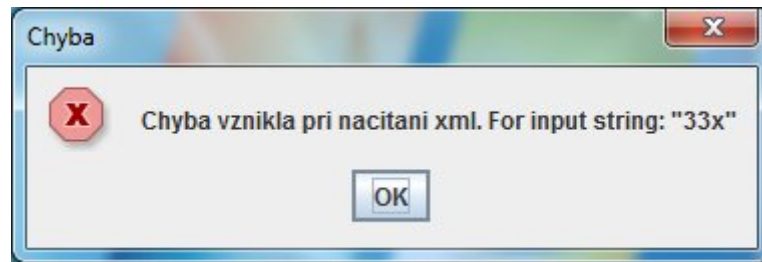
Obr. 15 Okno pro výpočet nucené konvekce

Samozřejmě u všech dosud popisovaných výpočtů se kontroluje vyplnění všech povinných údajů. Při nevyplnění se zobrazí varovný dialog, který můžeme vidět na obrázku (Obr. 16).



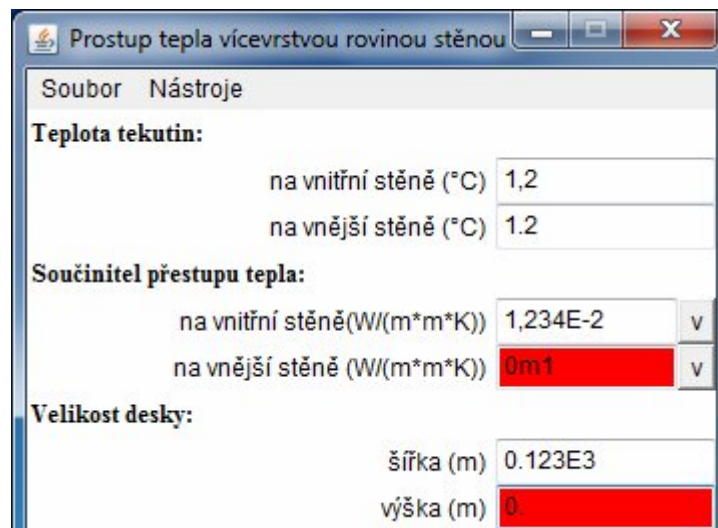
Obr. 16 Varovný dialog po nevyplnění všech povinných údajů

Mimo varovných dialogů aplikace pracuje i s chybovými dialogy, které se objevují jen při kritických chybách programu. Tyto chyby se vztahují k pracím se soubory XML, k vytvořenému textového souboru s mezivýsledky při prostupu tepla vícevrstvou rovinnou stěnou a k sestrojení grafu teplot na jednotlivých vrstvách rovinné stěny. Ukázka chybového dialogu je na obrázku (Obr. 17).



Obr. 17 Chybový dialog při čtení XML souboru

Aplikace pro prostup tepla vícevrstvou rovinnou stěnou kontroluje u všech zadávacích polí, jestli se zadává korektní číslo anebo nějaký nesmyslný řetězec kvůli překlepům. Při špatném zadání se barva pole změní na červenou, pokud je zadávaná hodnota korektní, zůstane pole bílé. Tuto kontrolu můžeme vidět na obrázku (Obr. 18).



Obr. 18 Ukázka kontroly zadávání čísla

## 5.2 Struktura programu

Celý program je rozdělen do 9 zdrojových souborů podle řešených témat pro lepší orientaci ve zdrojovém kódu. Všechny class soubory jsou zkomprimovány do jednoho spustitelného souboru „bakalarka\_prostup\_tepla.jar”.

Pro aplikaci prostupu tepla vícevrstvou rovinnou stěnou jsou důležité tři složky. A to jsou lib, vysledky a XML. Složka lib obsahuje další potřebné soubory jar, které pomáhají aplikaci sestavit graf. Adresář vysledky slouží k ukládání grafů a textových souborů

z vypočítaných příkladů. Složka XML je nedílnou součástí aplikace, kde jsou uloženy XML dokumenty s rovnicemi pro tabulkové hodnoty jednotlivých látek. Obsah XML adresáře je:

„dynviskozitakapalin.xml” – rovnice pro dynamickou viskozitu kapalin

„dynviskozitaplynu.xml” – rovnice pro dynamickou viskozitu plynů

„hustotakapalin.xml” – rovnice pro hustotu kapalin

„mertepkapkaliny.xml” – rovnice pro měrnou tepelnou kapacitu kapalin

„mertepkapplynu.xml” – rovnice pro měrnou tepelnou kapacitu plynů

„souctepvodivostikapalin.xml” – rovnice pro součinitel tepelné vodivosti kapalin

„souctepvodivostiplynu.xml” – rovnice pro součinitel tepelné vodivosti plynů

Popis jednotlivých zdrojových souborů:

„Main.java” – je hlavním zdrojovým souborem, který má jednoduchou funkci, a to spustit hlavní okno aplikace.

„Okno.java” – je zdrojovým souborem pro hlavní okno aplikace.

„ProstupData.java” – je pomocným souborem k hlavnímu oknu aplikace. Obsahuje deklaraci proměnných potřebných pro výpočet prostupu tepla vícevrstvou rovinou stěnou.

„Posluchace.java” – je soubor, který má v sobě naprogramovaný regulární výraz pro kontrolu správně zadávaného čísla.

„VolnaKonvekce.java” – je zdrojový soubor pro zobrazení uživatelského rozhraní a výpočet součinitele přestupu tepla pro volnou konvekci.

„InfixToPostfix.java” – je zdrojový soubor pro přečtení XML souborů a zajišťuje výpočet tabulkových hodnot.

„DialogProVypocty.java” – je zdrojový soubor pro zobrazení uživatelského rozhraní pro výpočet tabulkových hodnot.

„NucenaKonvekce.java” – je zdrojový soubor pro zobrazení uživatelského rozhraní a výpočet součinitele přestupu tepla pro nucenou konvekci.

### 5.3 Využití programové algoritmy

Jak už jsem zmiňoval, zadávaná čísla do jednotlivých polí jsou kontrolována průběžně a potom ještě jednou těsně před výpočtem, aby se zajistilo správné zadání čísel. Program umožňuje zadávat neceločíselné hodnoty s tečkou nebo s čárkou pro lepší ovládání a pohodlí uživatele. Ověřování čísel dochází pomocí regulárního výrazu zobrazeného níže.

```
1 " ([0-9]+\.\. [0-9]+) | ([0-9]+, [0-9]+) | ([0-9]*) | ([0-9]+\.\. [0-9]+E-[0-9]+) | ([0-9]+, [0-9]+E-[0-9]+) | (-[0-9]+\.\. [0-9]+) | (-[0-9]+, [0-9]+) | (-[0-9]+) | (-[0-9]+\.\. [0-9]+E-[0-9]+) | (-[0-9]+, [0-9]+E-[0-9]+) | ([0-9]+\.\. [0-9]+E[0-9]+) | ([0-9]+, [0-9]+E[0-9]+) | (-[0-9]+\.\. [0-9]+E[0-9]+) | (-[0-9]+, [0-9]+E[0-9]+) | ([0-9]+E-[0-9]+) | (-[0-9]+E-[0-9]+) | ([0-9]+E[0-9]+) | (-[0-9]+E[0-9]+) | ([0-9]+E-[0-9]+) | (-[0-9]+E-[0-9]+) "
```

Pro jednotlivé tabulkové hodnoty látek jsou v XML souborech uložena potřebná data pro výpočet (minimální a maximální teplota výpočtu, funkce podle, které se počítá žádaná hodnota, a pomocná proměnná pro upravení již vypočítané hodnoty na základní jednotky). Díky XML formátu lze soubory editovat a tím pádem dopisovat tak další látky, pro které bude softwarové aplikace počítat tabulkové hodnoty. Ukázka části XML souboru pro výpočet tabulkových hodnot.

```
1 <?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
2 <blok>
3   <latka>
4     <jmeno>aceton</jmeno>
5     <min>-273</min>
6     <max>427</max>
7     <rovnice>6.301+(26.06e-2)*T+(-1.253e-4)*T^2+(2.038e-8)*T^3</rovnice>
8     <pomocna>0.05808</pomocna>
9   </latka>
10  <latka>
11    <jmeno>acetyldehyd</jmeno>
12    <min>-273</min>
13    <max>427</max>
14    <rovnice>7.716+(18.23e-2)*T+(-1.007e-4)*T^2+(2.380e-8)*T^3</rovnice>
15    <pomocna>0.04405</pomocna>
16  </latka>
```

Načítání funguje tak, že program získá hodnoty ze XML souboru v řetězovém formátu. Hodnotu řetězce rovnice nejdříve upraví, pak hodnotu rovnice rozseká pomocí algoritmu převodu infixu do postfixu, a potom vypočítá hodnotu postfixu. Pro převod a výpočet se

používá zásobník. Zásobník je datová struktura, pro kterou platí, že data uložena jako poslední, budou čtena jako první, proto je někdy označován anglickou zkratkou LIFO. Protože se provádí převod z infixu do postfixu, lze jakoukoli rovnici vypočítat před tím, než známe její konkrétní formulaci a dává nám možnost rozšíření již předem nachystaných tabulkových hodnot jednotlivých látek.

## 6 OVĚŘENÍ FUNKČNOSTI PROGRAMU SE VZOROVÝMI VÝPOČTY PROSTUPU TEPLA VÍCEVRSTVOU ROVINOU STĚNOU

### 6.1 Vícevrstvá stěna s volnou konvekcí

#### Zadání:

Vypočítejte součinitele prostupu tepla a ztráty tepla do okolí 1 m<sup>2</sup> dvouvrstvou rovinou stěnou, je-li dáno:

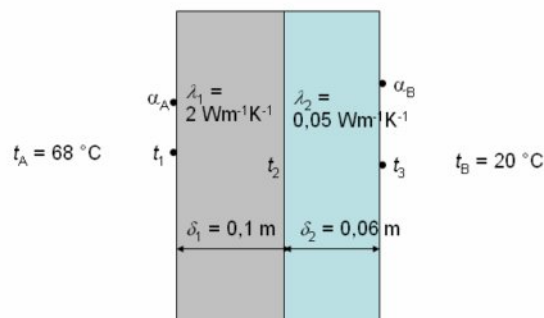
- vnitřní vrstva:
  - tloušťka  $\delta_1 = 0,1$  m
  - součinitel tepelné vodivosti  $\lambda_1 = 2$  W·m<sup>-1</sup>·K<sup>-1</sup>
  - teplota vnitřního povrchu  $t_1 = 60$  °C
- vnější vrstva:
  - vnější průměr  $\delta_2 = 0,06$  m
  - součinitel tepelné vodivosti  $\lambda_2 = 0,05$  W·m<sup>-1</sup>·K<sup>-1</sup>
  - teplota vnějšího povrchu  $t_3 = 28$  °C

Vnitřní stěna tělesa je obklopena vzduchem o teplotě  $t_A = 68$  °C a okolním prostředím je vzduch o teplotě  $t_B = 20$  °C.

Výška stěny je 1,5 m.

Uvažujte volnou konvekci jak uvnitř tělesa, tak i v okolním prostředí.

#### Náčrt:



Obr. 19 Náčrtek první úlohy

**Řešení:**

Nejprve je potřeba vypočítat součinitel přestupu tepla mezi vnitřním okolním vzduchem a vnitřní stěnou. Pak se vypočítá součinitel přestupu tepla mezi vnější stěnou a vnějším okolním vzduchem. Pro tyto výpočty je nutné určit tabulkové hodnoty vzduchu při střední teplotě pro hustotu, měrnou tepelnou kapacitu, dynamickou viskozitu a součinitel tepelné vodivosti. Potom z již vypočítaných hodnot určíme součinitel prostupu tepla a ztráty tepla prostupem. Pro výpočet ostatních teplot je nutné vypočítat hustotu tepelného toku.

**6.1.1 Určení součinitele přestupu tepla mezi vnitřním okolním vzduchem a vnitřní stěnou**

Pro výpočet součinitele přestupu tepla použijeme vztah (22). Pro určení Nusseltova kritéria využijeme vztah (26) s tabulkou (Tab. 1), kde vstupuje do výpočtu Grashofovo kritérium, které se počítá podle vztahu (23), a Prandtlovo kritérium, pro nějž platí vztah (24).

Pro výpočet je nutné znát tabulkové hodnoty vzduchu při střední teplotě mezi vnitřní stěnou a vnitřním okolním vzduchem:

- měrná tepelná kapacita  $c_{pv} = 995,992 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
- součinitel tepelné vodivosti  $\lambda_v = 0,029 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \text{K}^{-1}$
- dynamická viskozita  $\eta_v = 20,153 \cdot 10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{s}$
- hustota  $\rho_v = 1,047 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

Hodnoty jsou vypočítané pomocí aplikace anebo vyhledané v chemických tabulkách.

$$\text{Pr} = \frac{c_{pv} \cdot \eta_v}{\lambda_v} = \frac{995,992 \cdot 20,153 \cdot 10^{-6}}{0,029} \cong 0,6921 \quad (31)$$

$$\text{Gr} = \frac{g \cdot l^3 \cdot \rho_v^2 \cdot (t_A - t_1)}{\eta_v^2} \cdot \frac{1}{0,5(t_1 + t_A) + 273,15} = \quad (32)$$

$$\text{Gr} = \frac{9,81 \cdot 1,5^3 \cdot 1,047^2 \cdot 8}{(20,153 \cdot 10^{-6})^2} \cdot \frac{1}{64 + 273,15} = \quad (33)$$

$$Gr = \frac{290,35}{406,143 \cdot 10^{-12}} \cdot \frac{1}{337,15} \cong 2120430285 \quad (34)$$

$$Nu = C(Gr \cdot Pr)^n = 0,135 \cdot (2120430285 \cdot 0,6921)^{\frac{1}{3}} \cong 153,41 \quad (35)$$

kde  $C=0,135$  a  $n=\frac{1}{3}$  jsme určili z tabulky (Tab. 1)

$$\alpha_A = \frac{Nu \cdot \lambda_v}{l} = \frac{153,41 \cdot 0,029}{1,5} \cong 2,966 W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1} \quad (36)$$

### 6.1.2 Určení součinitele přestupu tepla mezi vnějším okolním vzduchem a vnější stěnou

Pro výpočet součinitele přestupu tepla na vnější stěně použijeme stejné vztahy jako pro součinitel přestupu tepla na vnitřní stěně.

Pro výpočet je nutné znát tabulkové hodnoty vzduchu při střední teplotě mezi vnitřní stěnou a vnitřním okolním vzduchem:

- měrná tepelná kapacita  $c_{pe} = 988,098 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
- součinitel tepelné vodivosti  $\lambda_e = 0,026 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \text{K}^{-1}$
- dynamická viskozita  $\eta_e = 18,362 \cdot 10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{s}$
- hustota  $\rho_e = 1,188 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

Hodnoty jsou vypočítané pomocí aplikace anebo vyhledané v chemických tabulkách.

$$Pr = \frac{c_{pe} \cdot \eta_e}{\lambda_e} = \frac{988,098 \cdot 18,362 \cdot 10^{-6}}{0,026} \cong 0,6978 \quad (37)$$

$$Gr = \frac{g \cdot l^3 \cdot \rho_e^2 \cdot (t_3 - t_B)}{\eta_e^2} \cdot \frac{1}{0,5(t_3 + t_B) + 273,15} = \quad (38)$$

$$Gr = \frac{9,81 \cdot 1,5^3 \cdot 1,188^2 \cdot 8}{(18,362 \cdot 10^{-6})^2} \cdot \frac{1}{24 + 273,15} = \quad (39)$$

$$Gr = \frac{373,82}{337,163 \cdot 10^{-12}} \cdot \frac{1}{297,15} \cong 3731212716 \quad (40)$$

$$Nu = C(Gr \cdot Pr)^n = 0,135 \cdot (3731212716 \cdot 0,6978)^{\frac{1}{3}} \cong 185,721 \quad (41)$$

kde  $C=0,135$  a  $n=\frac{1}{3}$  jsme určili z tabulky (Tab. 1)

$$\alpha_B = \frac{Nu \cdot \lambda}{l} = \frac{185,721 \cdot 0,026}{1,5} \cong 3,219 W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1} \quad (42)$$

### 6.1.3 Určení součinitele prostupu tepla vícevrstvou rovinou stěnou

Pro výpočet součinitele prostupu tepla využijeme vztahu (14), ve kterém použijeme vypočítané hodnoty součinitele přestupů tepla

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_A} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_B}} = \frac{1}{\frac{1}{2,966} + \frac{0,1}{2} + \frac{0,06}{0,05} + \frac{1}{3,219}} \quad (43)$$

$$k = \frac{1}{0,337 + 0,05 + 1,2 + 0,311} = \frac{1}{1,898} \cong 0,52687 W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1} \quad (44)$$

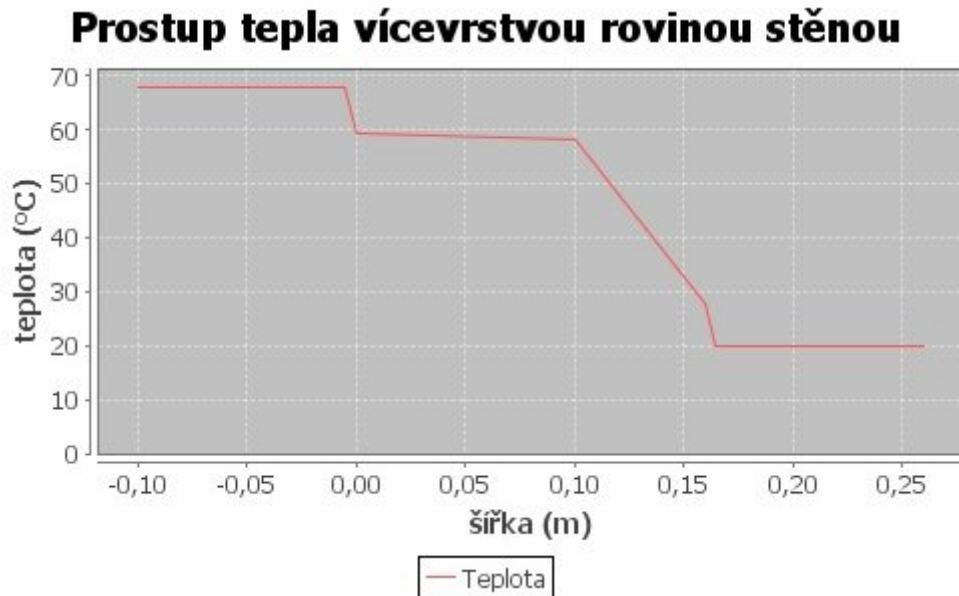
### 6.1.4 Výpočet ztrát tepla prostupem vícevrstvou rovinou stěnou

Pro výpočet ztrát tepla při prostupu použijeme vztah (7), do kterého dosadíme vypočítanou hodnotu součinitele prostupu tepla.

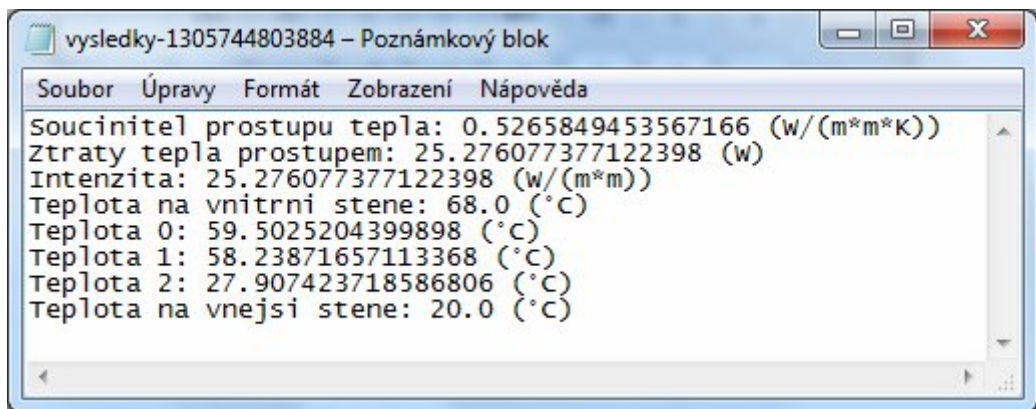
$$\dot{Q} = k \cdot (t_A - t_B) \cdot A = 0,52687 \cdot (68 - 20) \cdot 1 = 25,28978 W \quad (45)$$

### 6.1.5 Porovnání vypočítaných hodnot

Při počítání příkladu ručně nám vyšel součinitel prostupu tepla  $k = 0,52687 W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$  a pro ztráty tepla prostupem  $\dot{Q} = 25,28978 W$ . Zjištěné hodnoty pomocí aplikace jsou  $k = 0,52658 W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$  a  $\dot{Q} = 25,27608 W$ . Rozdíly mezi hodnotami jsou pro  $k = 0,00029 W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$  a  $\dot{Q} = 0,0137 W$ . Z rozdílů daných hodnot jde vidět, že se hodnoty liší velmi málo, které vznikly při zaokrouhlování jednotlivých mezivýsledků. Aplikace nám taky nabízí graf pro prostup tepla vícevrstvou stěnou (Obr. 20) a dopočítané hodnoty teplot na jednotlivých vrstvách (Obr. 21).



Obr. 20 Graf prostupu tepla pro první příklad



Obr. 21 Textový soubor s výsledky prvního příkladu

## 6.2 Vícevrstvá stěna s nucenou konvekcí

### Zadání:

Vypočítejte součinitele prostupu tepla a ztráty tepla do okolí 1 m<sup>2</sup> jednovrstvou rovinou stěnou, je-li dáno:

tloušťka stěny  $\delta = 0,03$

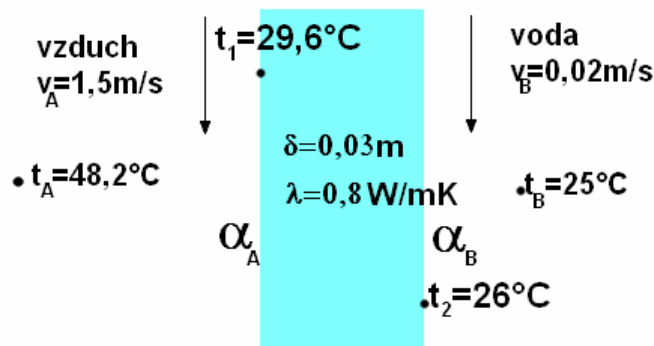
součinitel tepelné vodivosti stěny  $\lambda = 0,8 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$

Stěna o výšce 0,6 m je z jedné strany obtékána vzduchem o střední teplotě 48 °C rychlostí 1,5 m/s, z druhé strany je obtékána vodou o střední teplotě 25 °C, proudící rychlostí 0,02 m/s.

Teplota povrchu obtékaného vodou je 26 °C, teplota povrchu obtékaného vzduchem je 29,6 °C. Tloušťka stěny je 0,03 m, součinitel tepelné vodivosti stěny je 0,8 W.m<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>.

Teplosměnná plocha je 1 m<sup>2</sup>. Vypočítejte součinitele prostupu tepla stěnou a tepelný tok stěnou.

**Náčrt:**



Obr. 22 Náčrtek druhé úlohy

**Řešení:**

Nejprve je potřeba vypočítat součinitel přestupu tepla mezi vnitřním okolním vzduchem a stěnou. Pak se vypočítá součinitel přestupu tepla mezi stěnou a vnější okolní vodou. Pro výpočet součinitele přestupu tepla pro nucenou konvekci musíme nejdříve vypočítat Reynoldsovo číslo, podle kterého potom určíme tabulkové hodnoty potřebných vlastností látek pro další výpočet. Potom z již vypočítaných hodnot určíme součinitel prostupu tepla a ztráty tepla prostupem.

### 6.2.1 Určení součinitele přestupu tepla mezi vnitřním okolním vzduchem a stěnou

Pro výpočet součinitele přestupu tepla použijeme vztah (22). Reynoldsova kritérium vypočítáme pomocí vztahu (27). A podle hodnoty Reynoldsova čísla počítáme Nusseltova kritérium podle vztahů (28), (29) a (30). Pro výpočet Grashofova kritéria použijeme vztah(23) a pro Prandtlovo kritérium vztah (23).

Pro výpočet Reynoldsova kritéria je nutné znát tabulkové hodnoty vzduchu při střední teplotě mezi stěnou a vnitřním okolním vzduchem:

$$\text{- kinematická viskozita } \nu_A = 1,67792 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$$

$$\text{Re} = \frac{v_A \cdot l}{\nu_A} = \frac{1,5 \cdot 0,6}{1,67792 \cdot 10^{-5}} = 53637,84 \quad (46)$$

Pro výpočet Nusseltova kritéria, které budeme počítat podle vztahu (30), protože  $\text{Re} \geq 1 \cdot 10^4$  a tedy se jedná o turbulentní proudění. Pro výpočet je nutné znát tabulkové hodnoty vzduchu při střední teplotě mezi stěnou a vnitřním okolním vzduchem pro výpočet Prandtlova kritéria:

$$\text{- měrná tepelná kapacita } c_{pv} = 991,010 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$\text{- součinitel tepelné vodivosti } \lambda_v = 0,027 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$\text{- dynamická viskozita } \eta_v = 19,037 \cdot 10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{s}$$

Hodnoty jsou vypočítané pomocí aplikace.

$$\text{Pr} = \frac{c_{pv} \cdot \eta_v}{\lambda_v} = \frac{991,010 \cdot 19,037 \cdot 10^{-6}}{0,027} \cong 0,6987 \quad (47)$$

$$\text{Nu} = 0,023 \cdot \text{Re}^{0,8} \cdot \text{Pr}^{0,4} = 0,023 \cdot 53637,84^{0,8} \cdot 0,6987^{0,4} = 121,066 \quad (48)$$

$$\alpha_A = \frac{\text{Nu} \cdot \lambda_v}{l} = \frac{121,066 \cdot 0,027}{0,6} \cong 5,448 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1} \quad (49)$$

## 6.2.2 Určení součinitele přestupu tepla mezi stěnou a vnější okolní vodou

Pro výpočet součinitele přestupu tepla na vnější okolní vodu použijeme stejné vztahy jako pro součinitel přestupu tepla na vnitřní okolní vzduch.

Pro výpočet Reynoldsova kritéria je nutné znát tabulkové hodnoty vody při střední teplotě mezi stěnou a vnější okolní vodou:

$$\text{- kinematická viskozita } \nu_B = 8,83224 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$$

$$\text{Re} = \frac{v_B \cdot l}{\nu_B} = \frac{0,02 \cdot 0,6}{8,83224 \cdot 10^{-7}} = 13586,59 \quad (50)$$

Pro výpočet Nusseltova kritéria, které budeme počítat podle vztahu (30), protože  $Re \geq 1 \cdot 10^4$  a tedy se jedná o turbulentní proudění. Pro výpočet je nutné znát tabulkové hodnoty vzduchu při střední teplotě mezi stěnou a vnitřním okolním vzduchem pro výpočet Prandtlova kritéria:

- měrná tepelná kapacita  $c_{pe} = 4182,801 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
- součinitel tepelné vodivosti  $\lambda_e = 0,608 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
- dynamická viskozita  $\eta_e = 880,496 \cdot 10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{s}$

Hodnoty jsou vypočítané pomocí aplikace.

$$\text{Pr} = \frac{c_{pe} \cdot \eta_e}{\lambda_e} = \frac{4182,801 \cdot 880,496 \cdot 10^{-6}}{0,608} \cong 6,057 \quad (51)$$

$$\text{Nu} = 0,023 \cdot \text{Re}^{0,8} \cdot \text{Pr}^{0,4} = 0,023 \cdot 13586,59^{0,8} \cdot 6,057^{0,4} = 95,746 \quad (52)$$

$$\alpha_B = \frac{\text{Nu} \cdot \lambda_e}{l} = \frac{95,746 \cdot 0,608}{0,6} \cong 97,022 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1} \quad (53)$$

### 6.2.3 Určení součinitele prostupu tepla vícevrstvou rovinou stěnou

Pro výpočet součinitele prostupu tepla využijeme vztahu (14), ve kterém použijeme vypočítané hodnoty součinitele přestupů tepla

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_A} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_B}} = \frac{1}{\frac{1}{5,488} + \frac{0,03}{0,8} + \frac{1}{97,022}} = \quad (54)$$

$$k = \frac{1}{0,182 + 0,0375 + 0,010} = \frac{1}{0,230} \cong 4,34783 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1} \quad (55)$$

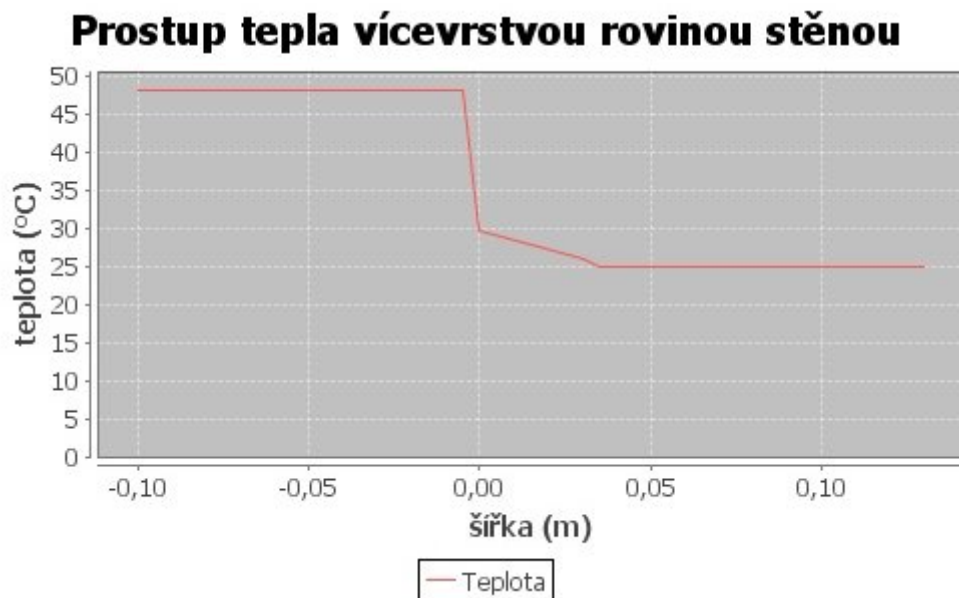
### 6.2.4 Výpočet ztrát tepla prostupem vícevrstvou rovinou stěnou

Pro výpočet ztrát tepla při prostupu použijeme vztah (7), do kterého dosadíme vypočítanou hodnotu součinitele prostupu tepla.

$$\dot{Q} = k \cdot (t_A - t_B) \cdot A = 4,34783 \cdot (48,2 - 25) \cdot 1 = 100,86966 \text{ W} \quad (56)$$

### 6.2.5 Porovnání vypočítaných hodnot

Při počítání příkladu ručně nám vyšel součinitel prostupu tepla  $k = 4,34783W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$  a pro ztráty tepla prostupem  $\dot{Q} = 100,86966W$ . Zjištěné hodnoty pomocí aplikace jsou  $k = 4,33664W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$  a  $\dot{Q} = 100,61002W$ . Rozdíly mezi hodnotami jsou pro  $k = 0,01119W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$  a  $\dot{Q} = 0,25964W$ . Z rozdílů daných hodnot jde vidět, že se hodnoty liší velmi málo, které vznikly při zaokrouhlování jednotlivých mezivýsledků. Aplikace nám taky nabízí graf pro prostup tepla vícevrstvou stěnou (Obr. 23) a dopočítané hodnoty teplot na jednotlivých vrstvách (Obr. 24).



Obr. 23 Graf prostupu tepla pro druhý příklad

```
vysledky-1305827440814 - Poznámkový blok
Soubor  Úpravy  Formát  Zobrazení  Nápověda
Součinitel prostupu tepla: 4.336638954184741 (w/(m*m*K))
Ztraty tepla prostupem: 100.610023737086 (w)
Intenzita: 100.610023737086 (w/(m*m))
Teplota na vnitřní stěně: 48.2 (°C)
Teplota 0: 29.809648771491126 (°C)
Teplota 1: 26.0367728813504 (°C)
Teplota na vnější stěně: 25.0 (°C)
```

Obr. 24 Textový soubor s výsledky druhého příkladu

## ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo zabývat se prostupem tepla vícevrstvou rovinnou stěnou a naprogramovat softwarovou aplikaci určenou pro popis tohoto procesu.

V první části bakalářské práce jsem se zabýval studiem prostupu tepla u vícevrstvé rovinné stěny. Popsal jsem důležité vztahy pro výpočet vedení tepla v n-vrstvé rovinné stěně. Uvedl jsem kritériální vztahy pro přestup tepla mezi stěnou a tekutinou při volné a nucené konvekci. Stručně jsem popsal vývojové prostředí Netbeans IDE a XML. Uvedl jsem hlavní výhody a nevýhody objektového programovacího jazyka Java.

V praktické části bakalářské práce jsem naprogramoval program v jazyce Java pro prostup tepla ve vícevrstvé rovinné stěně. Program dokáže počítat tabulkové hodnoty vybraných látek nutné pro výpočet volné a nucené konvekce. Také určí hodnoty součinitele přestupu tepla volné a nucené konvekce. Nakonec vypočítá součinitel prostupu tepla maximálně pětivrstvou rovinnou stěnou a ztráty tepla při prostupu. Program automaticky zobrazuje všechny mezivýpočty všech kritérií a konstant, které jsou nutné pro výpočet. Uživatel si může nechat vytvořit graf zobrazující průběh prostupu tepla u jednotlivých vrstev stěny. Při sestavení grafu program automaticky vytvoří i textový soubor zobrazující závislost teploty na místě ve stěně. V práci jsem popsal ovládání mé softwarové aplikace a uvedl jsem i možné reakce programu na špatně zadaná data. Pro ověření funkčnosti softwarové aplikace jsem vypočítal dva vzorové příklady tepelných ztrát prostupem tepla vícevrstvou rovinnou stěnou. V prvním případě jsem uvažoval volnou konvekci mezi stěnou a okolní tekutinou. Ve druhém příkladu jsem počítal ztráty prostupem tepla jednovrstvou rovinnou stěnou při nucené konvekci. Nakonec jsem porovnal mnou vypočítané hodnoty vzorových příkladů s hodnotami, které vypočítala softwarová aplikace pro prostup tepla ve vícevrstvé rovinné stěně. Výsledky se takřka shodují a nepatrné rozdíly mezi hodnotami byly způsobené zaokrouhlováním při ručním výpočtu.

## ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ

The main object of bachelor's work was to deal with heat passage through the multiple plane plate and I made software application specified to description this process.

In the first part of bachelor's work I deal with penetration through the multiple plane plate. I described important relations for calculating heat conduction in the multiple plane plate. I introduced criteria terms for the heat transfer between wall and liquid for the free convection and forced circumfluence. I described development environment Netbeans IDE and XML shortly. I introduced main advantages and disadvantages, which are object-oriented to programming language Java.

In the practical part of bachelor's work I programmed program in language Java for heat passage through the multiple plane plate. The program can calculate table values of chosen materials necessary for computer free and forced circumfluence. It also calculates the heat transfer coefficient of free and forced circumfluence. Finally, it calculates a coefficient of heat penetration maximum of five plane plate. It estimates the heat loss effected by the heat passage through. The program automatically shows intermediate computations of all criteria and constants. The user can make graph of heat passage through with text's file. The text's file contains individual temperatures. I wrote an extensive description about control of my software application, where we can see possible response from the program. I calculated two model examples to verify functionality software applications for the heat loss effected by heat passage through the multiple plane plate. Firstly, I described free convection between surrounding liquid and wall. In the second example, I calculated heat passage through the single plane plate for forced convection of surrounding liquid. Finally, I compared individual results. The results are nearly identical and the differences created by rounding in the calculation by hand.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] HEJZLAR, Radko. *Sdílení tepla*. Praha : České vysoké učení technické v Praze, 2004. 186 s. ISBN 80-01-02974-3.
- [2] ŠESTÁK, Jiří; RIEGER, František. *Přenos hybnosti, tepla a hmoty*. Praha : České vysoké učení technické v Praze, 2005. 299 s. ISBN 80-01-02933-6
- [3] MÍKA, Vladimír, et al. *Příklady a úlohy z chemického inženýrství - I. a II. díl.*. Praha : Vydavatelství VŠCHT, 1997. 825 s. ISBN 80-700-305-3.
- [4] ŠNITA, Dalimil, et al. *Chemické inženýrství I*. Praha : Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2005. 318 s. ISBN 80-7080-589-7.
- [5] *Ústav chemického inženýrství* [online]. 2011 [cit. 2011-05-24]. Chemické inženýrství A, B. Dostupné z WWW: <<http://www.vscht.cz/uchi/ped/chi/chi.ab.materialy.html>>.
- [6] MÍKA, Vladimír. *Základy chemického inženýrství*. Praha : SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1977. 870 s.
- [7] *Netbeans.org* [online]. 2011 [cit. 2011-05-23]. Vítejte u NetBeans. Dostupné z WWW: <[http://netbeans.org/index\\_cs.html](http://netbeans.org/index_cs.html)>.
- [8] KISZKA, Bogdan. *1001 tipů a triků pro programování v jazyce Java*. Brno : Computer Press, 2003. 519 s. ISBN 80-7226-989-5.
- [9] HEROUT, Pavel. *Učebnice jazyka Java*. České Budějovice : Nakladatelství Kopp, 2006. 349 s. ISBN 80-7232-115-3.
- [10] BRŮHA, Lubomír. *Java Hotová řešení*. Brno : Computer Press, 2006. 325 s. ISBN 80-251-0072-3.
- [11] Java (programovac%C3%AD jazyk). In *Wikipedia : the free encyclopedia*[online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 22. 6. 2004, last modified on 13. 3. 2011 [cit. 2011-05-23]. Dostupné z WWW: <[http://cs.wikipedia.org/wiki/Java\\_\(programovac%C3%AD\\_jazyk\)](http://cs.wikipedia.org/wiki/Java_(programovac%C3%AD_jazyk))>.
- [12] NetBeans. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 21. 4. 2003, last modified on 13. 5. 2011 [cit. 2011-05-23]. Dostupné z WWW: <<http://en.wikipedia.org/wiki/NetBeans>>.

- [13] *weblogs.asp.net* [online]. 2007 [cit. 2011-05-23]. Using LINQ to XML. Dostupné z WWW: <<http://weblogs.asp.net/scottgu/archive/2007/08/07/using-linq-to-xml-and-how-to-build-a-custom-rss-feed-reader-with-it.aspx>>.
- [14] HEROUT, Pavel. *Java a XML*. České Budějovice : Nakladatelství Kopp, 2007. 313 s. ISBN 978-80-7232-307-4.
- [15] Reynoldsovo %C4%8D%C3%ADslo. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 1. 4. 2006, last modified on 11. 4. 2011 [cit. 2011-05-23]. Dostupné z WWW: <[http://cs.wikipedia.org/wiki/Reynoldsovo\\_%C4%8D%C3%ADslo](http://cs.wikipedia.org/wiki/Reynoldsovo_%C4%8D%C3%ADslo)>.
- [16] Lamin%C3%A1rn%C3%AD proud%C4%9Bn%C3%AD. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 8. 6. 2003, last modified on 30. 4. 2011 [cit. 2011-05-23]. Dostupné z WWW: <[http://cs.wikipedia.org/wiki/Lamin%C3%A1rn%C3%AD\\_proud%C4%9Bn%C3%AD](http://cs.wikipedia.org/wiki/Lamin%C3%A1rn%C3%AD_proud%C4%9Bn%C3%AD)>.
- [17] Turbulentn%C3%AD proud%C4%9Bn%C3%AD. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 8. 6. 2003, last modified on 3. 4. 2011 [cit. 2011-05-23]. Dostupné z WWW: <[http://cs.wikipedia.org/wiki/Turbulentn%C3%AD\\_proud%C4%9Bn%C3%AD](http://cs.wikipedia.org/wiki/Turbulentn%C3%AD_proud%C4%9Bn%C3%AD)>.

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

A	plocha [ $m^2$ ]
C	konstanta [1]
Gr	Grashofovo kritérium [1]
Nu	Nusseltovo kritérium [1]
L	délka stěny [m]
Pr	Prandtlovo kritérium [1]
$Pr_w$	Prandtlovo kritérium při teplotě stěny [1]
$\dot{Q}$	tepelný tok [ $W$ ]
Re	Reynoldsovo kritérium [1]
S	průřez [ $m^2$ ]
$\dot{V}$	průtok [ $m^3$ ]
a	součinitel teplotní vodivosti [ $m^2 \cdot s^{-1}$ ]
$c_p$	měrná tepelná kapacita [ $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$ ]
k	součinitel prostupu tepla u rovinné stěny [ $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ ]
$k_m$	lokální součinitel prostupu tepla u rovinné stěny [ $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ ]
l	charakteristický rozměr [m]
n	normála [m]
q	hustota tepelného toku [ $W \cdot m^{-2}$ ]
$q_w$	hustota tepelného toku [ $W \cdot m^{-2}$ ]
t	teplota [ $^{\circ}C$ ]
$\langle t \rangle$	střední teplota tekutiny [ $^{\circ}C$ ]
$\langle\langle t \rangle\rangle$	aritmetická střední teplota [ $^{\circ}C$ ]

$t_f$	teplota tekutin [ $^{\circ}C$ ]
$\Delta t_m$	celková lokální teplotní hybná síla [ $^{\circ}C$ ]
$t_w$	teplota tekutiny na rozhraní [ $^{\circ}C$ ]
$v$	rychlost proudící tekutiny [ $m \cdot s^{-1}$ ]
$\alpha$	součinitel přestupu tepla [ $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ ]
$\langle \alpha \rangle$	střední hodnota součinitele přestupu tepla [ $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ ]
$\beta$	teplotní objemová roztažnost [ $K^{-1}$ ]
$\delta$	tloušťka vrstvy [ $m$ ]
$\varepsilon_f$	bezrozměrný součinitel závislý $L/l$ [1]
$\eta$	dynamická viskozita [ $Pa \cdot s$ ]
$\eta_w$	dynamická viskozita při teplotě stěny [ $Pa \cdot s$ ]
$\lambda$	součinitel tepelné vodivosti [ $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ ]
$\tau$	čas [ $s$ ]
$\rho$	hustota [ $kg \cdot m^{-3}$ ]
$\nu$	kinematická viskozita [ $m^2 \cdot s^{-1}$ ]

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obr. 1 Řez tří vrstvou rovinou stěnou [3].....	13
Obr. 2 Prostup tepla třívrstvou rovinou stěnou [4] .....	14
Obr. 3 Prostup tepla jednovrstvou rovinou stěnou[1] .....	15
Obr. 4 Přestup tepla ze stěny do tekutiny [6].....	17
Obr. 5 (a) je laminární proudění, (b) je turbulentní proudění [15].....	20
Obr. 6 Vývojové prostředí Netbeans IDE.....	22
Obr. 7 Logo Java [11] .....	24
Obr. 8 Formát XML [13].....	25
Obr. 10 Graf sestrojený aplikací.....	28
Obr. 11 Textový soubor vytvořený aplikací.....	28
Obr. 12 Nástroj pro výpočet tabulkových hodnot vody součinitele tepelné vodivosti .....	29
Obr. 13 Varovný dialog při výpočtu tabulkových hodnot součinitele tepelné vodivosti .....	29
Obr. 14 Okno pro výpočet volné konvekce .....	30
Obr. 15 Okno pro výpočet nucené konvekce.....	31
Obr. 16 Varovný dialog po nevyplnění všech povinných údajů .....	31
Obr. 17 Chybový dialog při čtení XML souboru.....	32
Obr. 18 Ukázka kontroly zadávání čísla .....	32
Obr. 19 Náčrtek první úlohy .....	36
Obr. 20 Graf prostupu tepla pro první příklad .....	40
Obr. 21 Textový soubor s výsledky prvního příkladu.....	40
Obr. 22 Náčrtek druhé úlohy.....	41
Obr. 23 Graf prostupu tepla pro druhý příklad .....	44
Obr. 24 Textový soubor s výsledky druhého příkladu.....	44

**SEZNAM TABULEK**

Tab. 1 Konstanty pro výpočet rovnice (26) .....	19
Tab. 2 Konstanty vztahu $\varepsilon_f$ .....	21

## SEZNAM PŘÍLOH

- P I Zdrojové kódy vytvořené softwarové aplikace a elektronická podoba této práce na přiloženém CD disku.