

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2009

Václav Macháček

PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA UNIVERSITY PALACKÉHO V OLOMOUCI
KATEDRA EXPERIMENTÁLNÍ FYZIKY

Tvorba software v prostředí Visual Basic ke zpracování výstupních signálů snímačů
mechanických a termomechanických veličin tepelného stroje

VYPRACOVAL

Václav Macháček

Studující III. ročník

Obor Fyzika – Výpočetní technika

Studijní rok 2008/2009

VEDOUCÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

RNDr. Pavel Krchňák, Phd.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady v příloženém seznamu.

V Olomouci dne 30. července 2009

.....

Poděkování

Děkuji vedoucímu práce panu RNDr. Pavlu Krchňákovi, Phd. za rady, které mi při plnění zadaného úkolu poskytl.

Bibliografická identifikace

Autor: Václav Macháček

Název práce: Tvorba software v prostředí Visual Basic ke zpracování výstupních signálů snímačů mechanických a termomechanických veličin tepelného stroje

Typ práce: Bakalářská práce

Pracoviště: Katedra experimentální fyziky

Vedoucí práce: RNDr. Pavel Krchňák, Phd.

Rok obhajoby: 2009

Abstrakt: Cílem mojí práce bylo provést návrh a zpracování programu který by byl využitelný ve fyzikálním praktiku z molekulové fyziky pro lepší pochopení činnosti tepelných strojů. Program je zpracován v jazyku Visual Basic. Při své práci jsem vycházel z modelu Stirlingova motoru který je k dispozici u RNDr. Pavel Krchňák, Phd.

V první kapitole se věnuji historii Stirlingova motoru a zmiňuji se i o unikátní projektu jeho využití na lodi USS Monitor. V druhé kapitole se věnuji principu činnosti Stirlingova motoru. V kapitole tři jsem se zaměřil na uživatelskou část programu a popsal jednotlivé jeho části z pohledu uživatele. V kapitole čtvrté rozebírám program z programátorského pohledu zaměřuji se na jednotlivé formuláře a moduly a jejich procedury a funkce. V kapitole páté rozebírám Smithovu teorii Stirlingových motorů. A v šesté kapitole podle ní počítám příklad.

Klíčová slova: tepelné motory, Stirlingův motor, Visual Basic, Smithova teorie Stirlingových motorů

Počet stran: 35

Počet příloh: 1

Jazyk: Český

Bibliographical identification

Author: Václav Macháček

Title: Creation of software inside Visual Basic to signal processing of engine sensor

Type of thesis: Bachelor thesis

Department: Department of experimental physics

The year of presentation: 2009

Abstrakt: The aim of my work was to perform design and processing program that would be available in the physical practice of molecular physics to better understand the action of heat engine. Program is processed in the Visual Basic. The first chapter deals with the history of Stirling engines is also going to mention a unique project of its use on the ship USS Monitor. V second chapter deals with the principle activities of Stirling engines. In chapter three. I focused on the user part of the program and describe the individual parts of a user's perspective. In the fourth chapter I focused on processing perspective on forms and modules and procedures, and the fifth chapter I focused examine Smith theory Stirling engine. A in the sixth chapter in its count example.

Keywords: Visual Basic, Smith theory, Stirling engine

Number of pages: 35

Number of appendices: 1

Language: English

OBSAH

1 HISTORIE STIRLINGOVA MOTORU	10
2 PRINCIP ČINOSTI STIRLINGOVA MOTORU	12
2.1 Rozdělení Stirlingových motorů	14
3 PROGRAM STIRLING ENGINE - UŽIVATELSKÁ ČÁST	15
3.1 Cíle tvorby programů	15
3.2 Instalace programu	15
3.3 Spuštění aplikace	15
3.4 Výběr z nabídky hlavního okna.....	16
3.4.1 Simulace	16
3.4.2 Měření.....	17
3.5 Nastavení	18
3.6 Info	19
3.7 Tabulka.....	20
4 PROGRAMATORSKÁ ČÁST	21
4.1 Popis jednotlivých částí programu	21
4.1.1 Formulář Form1	21
4.1.1.1 Hlavní procedury a funkce Form1	21
4.1.1.1.1 Sub ver()	21
4.1.1.1.2 Sub hornic()	21
4.1.1.1.3 Sub StartToolStripMenuItem_Click.....	21
4.1.1.1.4 Sub otackomer()	21
4.1.1.1.5 Sub teplomer1()	21
4.1.2 Formulář Form3.....	22
4.1.3 Formulář Form4.....	22
4.1.3.1 Nejdůležitější procedury a funkce z formuláře Form4	22
4.1.3.1.1 Sub Form4_Load	22
4.1.3.1.2 Sub ulozexcel()	22
4.1.4 Formulář Form8.....	23
4.1.5 Formulář inf.vb	24
4.1.6 Modul Smith	24
4.1.6.1 Nejdůležitější procedury a funkce z modulu Smith.....	24
4.1.6.1.1 Function pomKonst	24
4.1.6.1.2 Function energie	24
4.1.6.1.3 Function energie2	24
4.1.6.1.4 Function energie3	24
5 SMITHOVA TEORIE STIRLINGOVÝCH MOTORŮ	25
5.1 Použité značení.....	25
5.2 Gama typ	27
6 UKÁZKA VÝPOČTU GAMMA TYPU STIRLINGOVA MOTORU	29
7 ZÁVĚR.....	32

ÚVOD

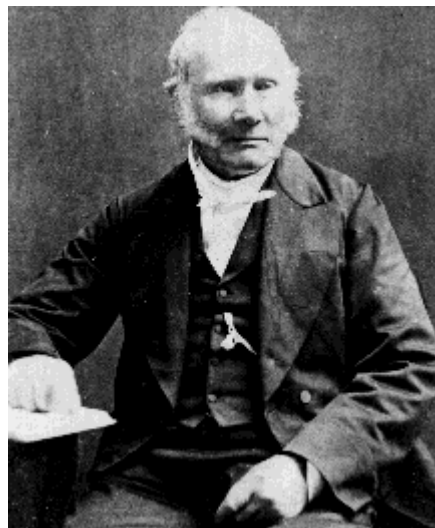
Hlavním cílem mé bakalářské práce bylo vytvořit návrh programu, který by se dal použít při fyzikálních praktikách na Katedře experimentální fyziky Univerzity Palackého v Olomouci. Samotná aplikace by měla být dostatečně konformní na ovládání a měla by obsahovat možnost simulace i měření. Výstupní data by se měla být lehce zpracovatelná. A uložena v lehce čitelném formátu.

V první kapitole se věnuji historii Stirlingova motoru a zmiňuji se i o unikátní projektu jeho využití na lodi USS Monitor. V druhé kapitole se věnuji principu činnosti Stirlingova motoru. V kapitole třetí jsem se zaměřil na uživatelskou část programu a popsal jednotlivé jeho části z pohledu uživatele. V kapitole čtvrté rozbírám program z programátorského pohledu zaměřuji se na jednotlivé formuláře a moduly a jejich procedury a funkce. V kapitole páté rozebírám Smithovu teorii Stirlingových motorů. A v šesté kapitole podle ní počítám příklad.

1 HISTORIE STIRLINGOVA MOTORU

Vynálezce Stirlingova motoru *Robert Stirling* se narodil v *Cloagu* ve Skotsku v roce 1790 jako třetí z osmi sourozenců. [1] Již v roce 1816 jako 26 letý si nechal patentovat horkovzdušný motor. [2] *Robert Stirling* byl v roce 1816 uveden na úřad duchovního ve své rodné obci. Nedlouho objevil nebezpečnost současných parních motorů a velké nebezpečí, které každý den dělníci podstupují. Příčina katastrof byla ve špatně zhotovených kotlích, které nevydržely velký tlak a explodovaly.

Všechny své úvahy o tepelných motorech musel vymyslet sám, neboť první velké dílo „*Adi Carnota* „Úvahy o hnací síle ohně a strojích tuto sílu rozvíjet“ bylo napsáno až osm let po podání patentu na motor. *Robert Stirling* pracoval na tepelných motorech celý svůj život a neustále je vylepšoval. Na jeho počest tyto motory nesou jeho jméno.

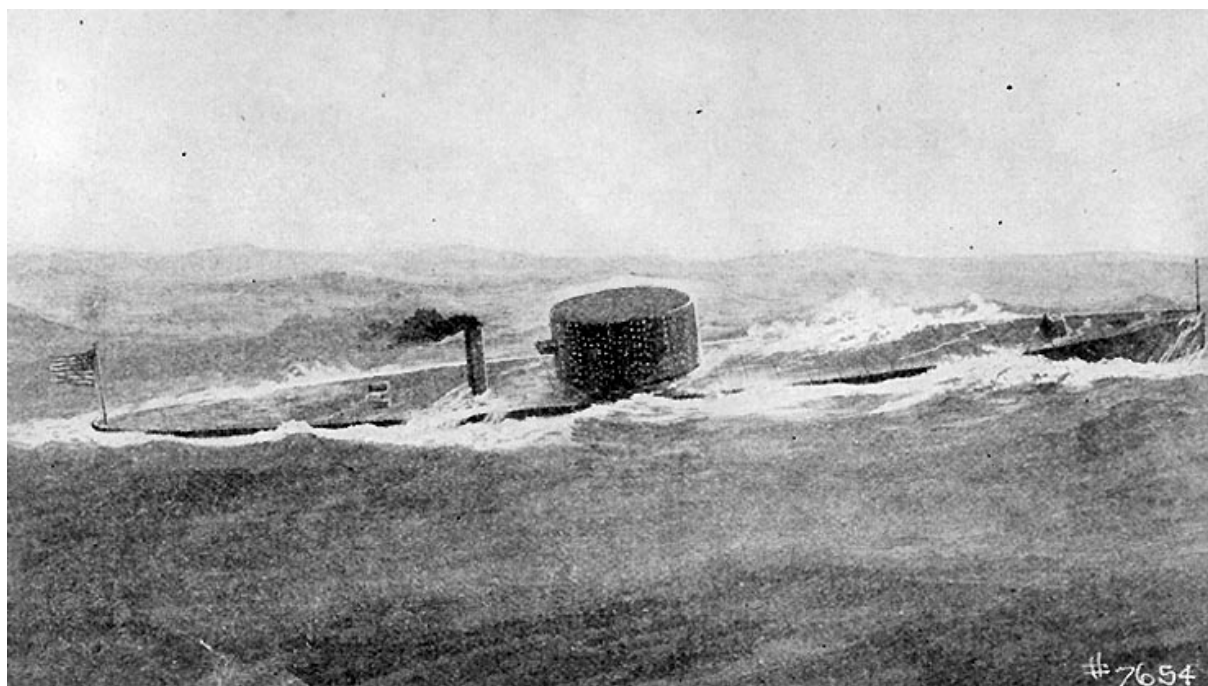


Obr. 1. Robert Stirling

Zdroj: <http://www.cse.iitk.ac.in/~amit/courses/371/abhishe/main.html>

Se Stirlingovým motorem nepracoval pouze jeho vynálezce, ale v průběhu 19. století a na počátku 20. století se jeho nejrozmanitější aplikace objevovaly poměrně často: jako pumpy vody pro dobytek, na železnicích, v dolech. Dodávaly vodu bezpočtu sídel a statků. Našly využití jako zubařské vrtačky, domácí ventilátory, šicí stroje atp. Velké typy se používaly v průmyslu jako navijáky a v dalších průmyslových aplikacích. Používaly se různé druhy paliv.

Dalším významným průkopníkem byl *John Ericsson*, jehož nejznámějším projektem byla pancéřová bitevní loď *Monitor* z doby občanské války v USA.. Zúčastnila se na straně Unie americké občanské války, kde byla nasazena na blokádě jižanských přístavů. V bitvě na *Hampton Roads* se zúčastnila historicky první námořní bitvy dvou obrněných lodí. *USS Monitor* představoval nízké plavidlo, které bylo z větší části skryto pod hladinou. Jeho výtlak byl 987 tun.. Byla to pobřežní loď, která nemohla na širé moře. Díky nízkému profilu hrozilo nebezpečí proniknutí vody přes komín, což se ji potom také stalo osudným.



Obr. 2. USS Monitor

Zdroj: <http://niahd.wm.edu/attachments/34182.jpg>

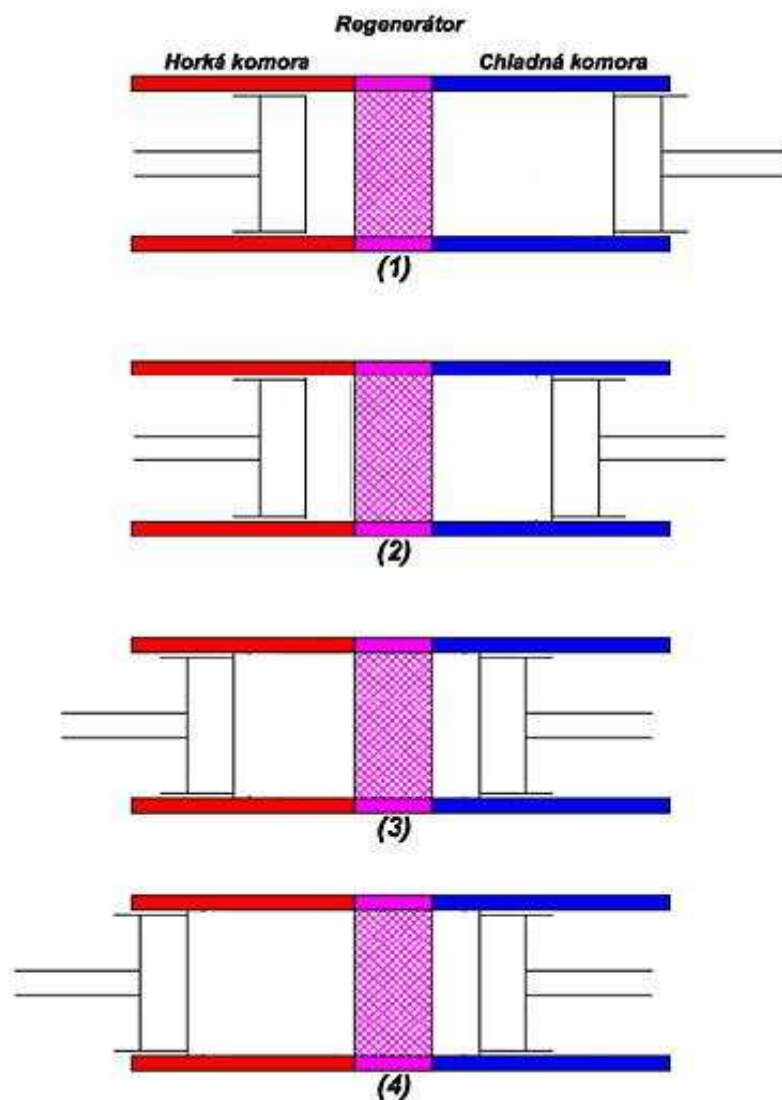
John Ericsson si uvědomoval výhody Stirlingova motoru a svými vizionářskými konstrukcemi předběhl svou dobu. Z důvodu vyšší hmotnosti byl ale vytlačen elektromotory a spalovanými motory, které jej uvrhly do zapomnění až do poloviny 20 století.

Dále se firmy pokoušeli vyvinout aplikaci motoru pro osobní vozy, ale ty se bohužel nikdy nedostaly do masové výroby.

2 PRINCIP ČINOSTI STIRLINGOVA MOTORU

Tepelné stroje, ke kterým patří Stirlingův motor, mění tepelnou energii na mechanickou nebo naopak. Výsledná práce tepelných strojů a tím pádem i Stirlingova motoru je důsledkem stlačení pístů při nízké teplotě a roztažení media po zahřátí. Stirlingův motor má dva oddělené prostory a medium se přemísťuje pomocí dvou pracovních pístů.

Ideální cyklus Stirlingova motoru je tvořen dvěma izochorickými a dvěma izotermickými ději. Pro naše potřeby neuvažujeme mrtvé objemy a regulátor.[3]



Obr. 3. Polohy pístu v cyklu

Zdroj: http://www.stirling.cz/images/obr_11.jpg

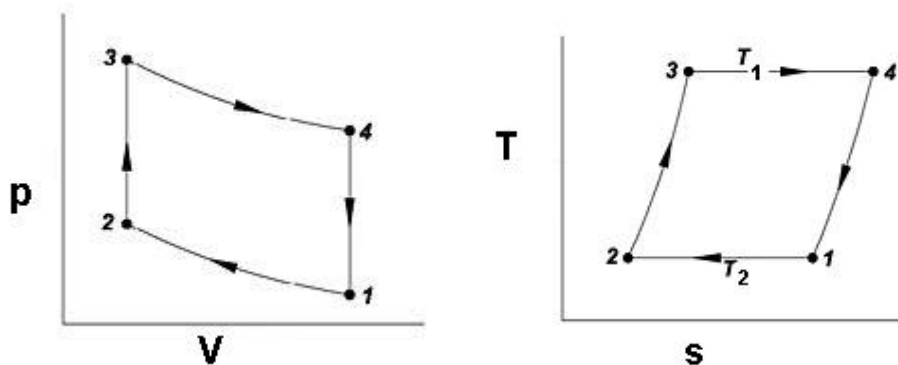
Na začátku cyklu uvažujeme pracovní píst v chladné komoře ve vnější krajní poloze a přemísťovací píst ve vnitřní krajní poloze. Veškeré médium je umístěno v chladné komoře, teplota klesne. Objem je tedy maximální a teplota je minimální.

V další fázi 1-2 se v chladné pohybuje pracovní směrem k vnitřní krajní poloze a přemísťovací píst zůstává v klidu. Veškeré médium je stlačováno v chladné komoře a tlak roste. Teplota zůstává stejná, neboť teplo je odváděno do okolí stěnou chladné komory. Práce potřebná na stlačení pracovní látky je přímo úměrné teplu které odváděno, proto se teplota nemění.

Ve fázi 2-3 se začne médium přemísťovat do horké komory pomocí pracovního pístu. Teplota i tlak začnou narůstat.

Ve fázi 3-4 započneme médium roztahovat za konstantní teploty a tlak začne postupně klesat. I v této fázi médium zahříváme..V této fázi se vykoná práce (pracovní takt).

Konečnou fází je fáze 4-1, médium se postupně přesouvá do chladné komory. Podstatnou součástí je regenerátor „R“. Ten se nachází mezi oběma komorami, kde je teplo média uloženo do tělesa regenerátoru a později přiváděno ve fázi 2-3. Teplota média klesá na teplotu T_2 . Regulátor tedy značně zvyšuje účinnost motoru.



Obr. 4 Ideální p-V a T-s diagram Stirlingova motoru

Zdroj:http://www.stirling.cz/images/obr_12.jpg,http://www.stirling.cz/images/obr_13.jpg

1-2...izotermické stlačení pracovního média s oddělením odevzdané tepelné energie

2-3...izochorické pohlčení tepelné energie

3-4...izotermické rozpínání pracovního média s pohlčením tepelné energie

4-1...izochorické oddělení tepelné energie

Tepelná účinnost:

$$[n_t = 1 - \frac{T_2}{T_1}] \quad (2.0.1)$$

2.1 Rozdělení Stirlingových motorů

- a) podle způsobu práce
- b) podle způsobu spojených válců

- a) 1. nerezonanční
- 2. rezonanční

- b) podle způsobu spojených válců

- 1. alfa

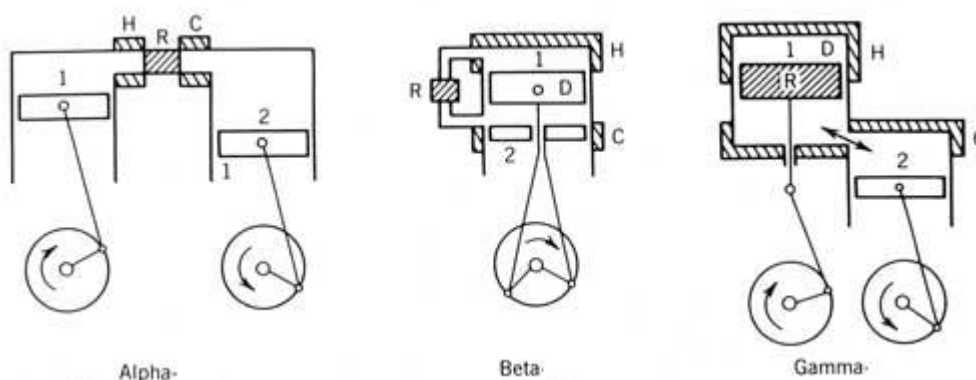
-stroj se dvěma oddělenými válci s písty

- 2. beta

-jeden válec s pracovním i přemísťovacím pístem

- 3. gamma

-dva oddělené válce jako v alfa a proměnný chladný prostor



Obr. 5. Typy způsobu spojení válců

Zdroj: http://www.stirling.cz/images/obr_11.jpg

3 PROGRAM STIRLING ENGINE - UŽIVATELSKÁ ČÁST

3.1 Cíle tvorby programů

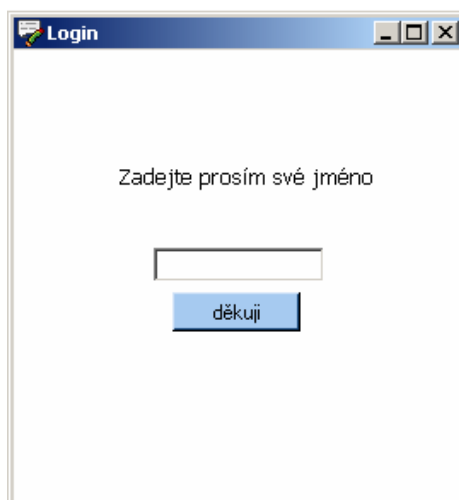
- Vytvořit program STIRLING ENGINE.
- Program by měl obsahovat dvě části: simulační část a část pro měření.
- Měl by obsahovat zjednodušenou animaci .

3.2 Instalace programu

Program vyžaduje instalaci na lokální disk. Při instalaci může nastat situace, že program bude vyžadovat připojení na internet, aby si mohl stáhnout potřebnou verzi Microsoft .NET Framework. Počítač by měl obsahovat program Microsoft Excel. V případě, že není nainstalován, sama aplikace to zjistí a ohlásí. Program je možné používat na systémech Microsoft Windows XP a novější obsahující Microsoft .NET Framework verze 3.5.

3.3 Spuštění aplikace

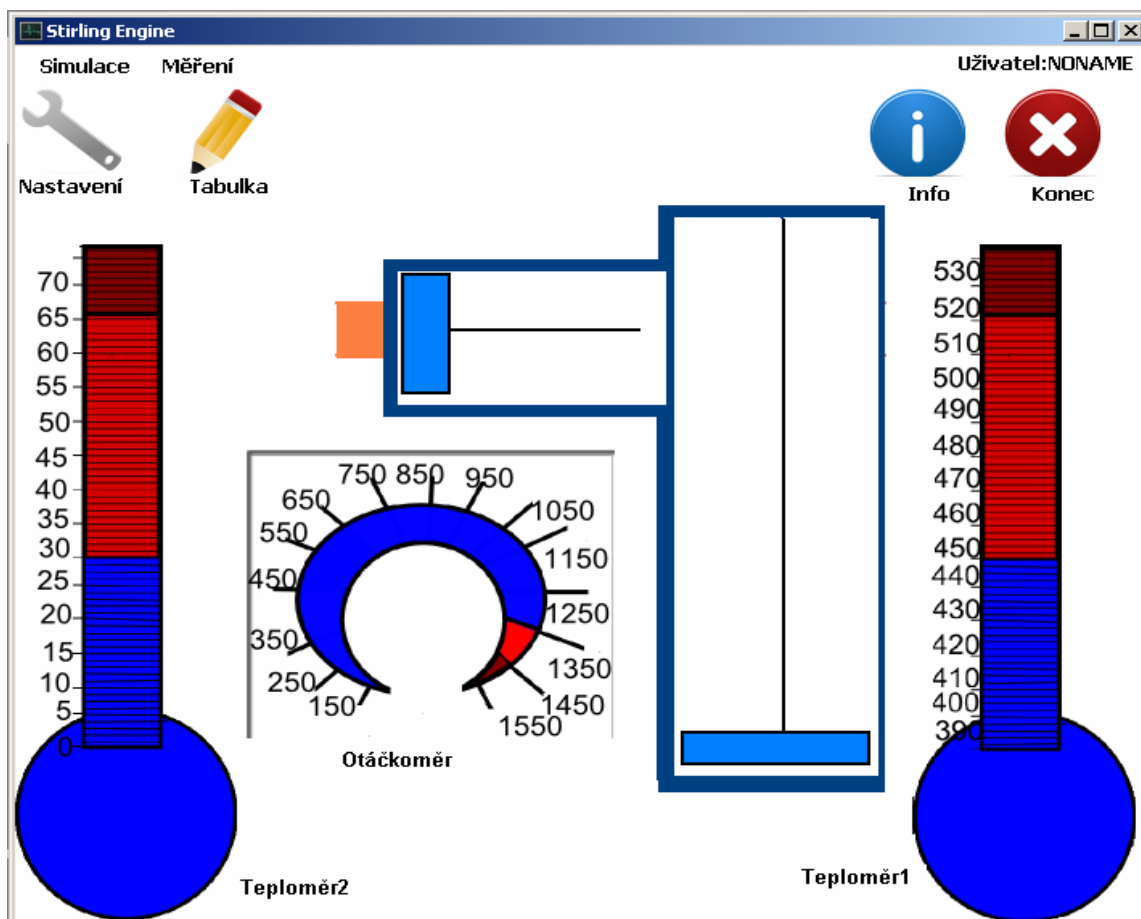
Po spuštění aplikace by se objeví okno viz obr 3 ., do kterého uživatel zadá své své jméno nebo heslo. Pokud ho nezadá, přiřadí se mu řetězec “*noname*”.



Obr. 6. Login

3.4 Výběr z nabídky hlavního okna

V hlavním okně je možnost výběru dvou hlavních funkcí. V horní liště je možnost výběru ze Simulace nebo Měření.



Obr. 7. Hlavní Okno

Dále jsou v hlavním okně ikonky Nastavení, Tabulka, Info, Konec. Dále jsou zde ukazatelé hodnot Otáčkoměr, Teploměr1, Teploměr2. Teploměr1 ukazuje teplotu T_1 neboli expanzní teplotu. Teploměr2 ukazuje T_2 , takzvanou kompresní teplotu. Teploměr1, Teploměr2 a Otáčkoměr zobrazí hodnoty.

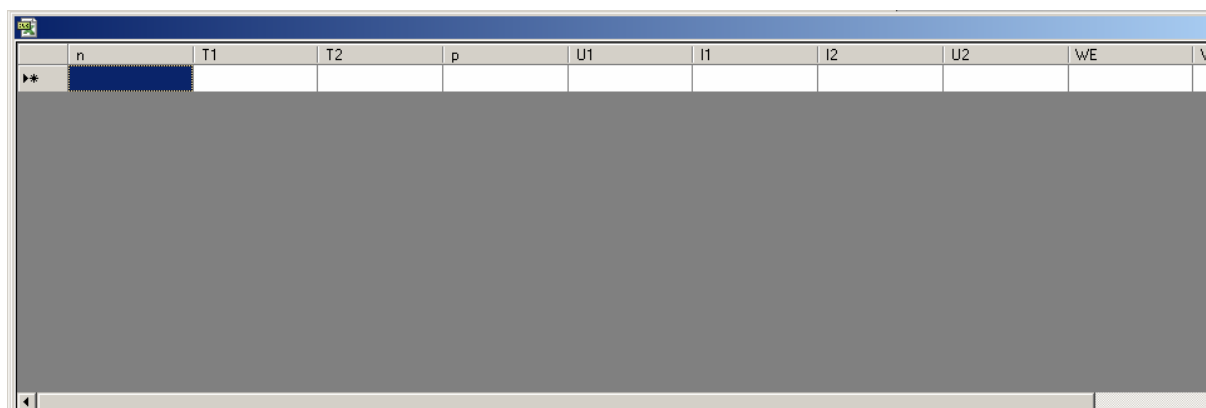
3.4.1 Simulace

V Simulaci se používá tzv. Smithův model[7]. Při kliknutí na Simulaci se zobrazí dvě možnosti spustit Simulaci, konec Simulace. Po kliknutí na spustit simulaci se nám zobrazí

tabulka hodnot. V Teploměru1, Teploměru2 a v Otáčkoměru se zobrazí hodnoty teplot, se kterými se počítá v simulaci.

3.4.2 Měření

V Měření se používá hodnot, které se do počítače dostanou pomocí sériového portu (nebo jiného rozhraní). Při kliknutí na Měření se zobrazí spustit měření nebo konec měření. Pokud není připojen přístroj, zobrazí se okno, kde je oznámeno, že přístroj není připojen. Po kliknutí na spustit měření se nám zobrazí tabulka hodnot. V Teploměru1, Teploměru2 a v Otáčkoměru se zobrazí hodnoty teplot, se kterými se počítá v měření. Data v tabulce se uloží přímo do kořenového adresáře na pevném disku.



n	T1	T2	p	U1	I1	I2	U2	WE	W
**									

Obr. 8. Tabulka hodnot

Tab. 1. proměnných, které se zobrazují v tabulce hodnot

Proměnná	Symbol proměnné	jednotka
Otáčky motoru	N	ot/min
Expanzní teplota media	T_1	$^{\circ}\text{C}$
Kompresní teplota media	T_2	$^{\circ}\text{C}$
Přiváděné napětí*	U_1	A
Přiváděný proud*	I_1	V
Výstupní napětí*	U_2	A
Výstupní proud*	I_2	V
Okamžitá energie při expanzi	W_E	J
Okamžitá energie při kompresi	W_K	J
Celková energie za jeden cyklus	W_i	J
Uhel natočení klikového mechanismu	X	$^{\circ}$ (stupeň)

3.5 Nastavení

Když spustíme nastavení, tak se nám zobrazí přihlašovací Admin menu.



Obr. 9. Přihlašovací Admin menu

Po zadání uživatele ADMIN a hesla 12345 je vám umožněn přístup do Okna zadávání konstant.

V okně zadávání hodnot se mění konstanty, které jsou již v programu zabudované, a to v případě změny zařízení nebo změny některých konstant při simulaci.

The image shows a standard Windows-style dialog box with a title bar containing a small icon and window control buttons (minimize, maximize, close). The title of the dialog is "Zadání konstant". The main area contains ten labels, each followed by a rectangular input field:

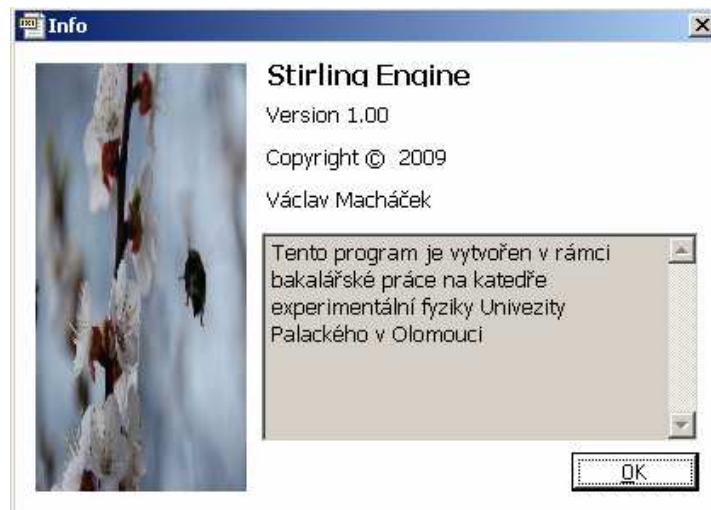
- Konstanta tlakového čidla
- Délka ojnice pracovního pístu
- Poloměr kliky
- Délka pístu
- Plynová konstanta
- De- Průměr přemístovacího pístu
- Dk-Průměr pracovního pístu
- Ze-Zdvih přemístovacího pístu
- Zk- Zdvih pracovního pístu
- Fázový úhel pístů

At the bottom of the dialog, there are two buttons: "OK" on the left and "Zruš" (Cancel) on the right.

Obr. 10. Zadávání konstant

3.6 Info

Při výběru se zobrazí okno které uživatele informuje o spuštěné aplikaci, o aktuální verzi a o autorovi.



Obr. 11. Info

3.7 *Tabulka*

Při výběru se zobrazí tabulka, která obsahuje námi užívaná data, získaná při simulaci nebo naměřená.

4 PROGRAMATORSKÁ ČÁST

V této části dokumentace se podrobněji zaměříme na jednotlivé části programu z pohledu programátora. Popíšeme si zde jeho důležité části.

4.1 Popis jednotlivých částí programu

4.1.1 Formulář Form1

Obsahuje především procedury pro animaci, také obsahuje timer, díky kterému je celá simulace sladěná do jednoho okamžiku. Také obsahuje funkce na zobrazení teploty na teploměrech a otáček na otáčkoměru.

4.1.1.1 Hlavní procedury a funkce Form1

4.1.1.1.1 *Sub ver()*

Používá se pro animaci malého pístu, který se pohybuje v x-ových souřadnicích.

4.1.1.1.2 *Sub hornic()*

Používá se pro animaci velkého pístu, který se pohybuje v y-ových souřadnicích.

4.1.1.1.3 *Sub StartToolStripMenuItem_Click*

Obsahuje proceduru, která umožňuje následující, když najedeme myší na Teploměry nebo na Otáčkoměr, zobrazí se malé okénko s aktuální hodnotou teploty či otáček viz ukázka kódu č.1.

```
tp.SetToolTip(PictureBox11, "Teplota je " & tc & "°")
    tp1.SetToolTip(PictureBox10, " Otáčky jsou je" & otacky & "ot/min")
    tp2.SetToolTip(PictureBox9, " Teplota je " & te & "°")
```

4.1.1.1.4 *Sub otackomer()*

Tento podprogram umožňuje animaci otáčkoměru.

4.1.1.1.5 *Sub teplomer1()*

Tento podprogram umožňuje animaci teploměru.

4.1.2 Formulář Form3

Slouží ke změně konstant.

4.1.3 Formulář Form4

Vytváří se zde pomocí DataGridView tabulka s daty ,které jsme získali ze simulace, která je pak uložena do Excelu.

4.1.3.1 Nejdůležitější procedury a funkce z formuláře Form4

4.1.3.1.1 Sub Form4_Load

Při načtení Form4 se ve formuláři vytvoří tabulka s daty získanými ze simulace.

4.1.3.1.2 Sub ulozexcel()

Tento podprogram vytvoří soubor excel s názvem, který se skládá z loginu, který uživatel použil, a z aktuálního data. V souboru excel jsou již založeny sloupce, do kterých se uloží hodnoty viz ukázka kódu č.2.

```
Public Sub ulozexcel()  
  
    Dim filename As String  
    Dim col, row As Integer  
  
    Dim Excel As Object = CreateObject("Excel.Application")  
    If Excel Is Nothing Then  
        MsgBox("Na tomto počítači bohužel není nainstalovaný excel,  
který je k jeho plné funkčnosti potřeba", MsgBoxStyle.Critical)  
        Return  
    End If  
  
    Try  
        With Excel  
            .SheetsInNewWorkbook = 1  
            .Workbooks.Add()  
            .Worksheets(1).Select()  
  
            Dim i As Integer = 1  
            For col = 0 To table.Columns.Count - 1  
                .cells(1, i).value = table.Columns(col).ColumnName  
                .cells(1, i).EntireRow.Font.Bold = True  
                i += 1  
            Next  
            i = 2  
            Dim k As Integer = 1  
            For col = 0 To table.Columns.Count - 1  
                i = 2  
                For row = 0 To table.Rows.Count - 1  
                    .Cells(i, k).Value = table.Rows(row).ItemArray(col)  
                    i += 1  
                Next  
                k += 1  
            Next  
        End With  
    End Try  
End Sub
```

```

        filename = "c:\\" & Form1.aa & " " & Format(Now(), "dd-MM-
yyyy_hh-mm-ss") & ".xls"
        .ActiveCell.Worksheet.SaveAs(filename)
    End With
    System.Runtime.InteropServices.Marshal.ReleaseComObject(Excel)
    Excel = Nothing

    Catch ex As Exception
        MsgBox(ex.Message)
    End Try

    Dim pro() As Process =
System.Diagnostics.Process.GetProcessesByName("EXCEL")
    For Each i As Process In pro
        i.Kill()
    Next

End Sub

```

Ukázka kódu č. 2

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	n	T1	T2	p	I1	I2	U1	U2	WE						
2	1000	500	35	79630	2	2	2	141	8						
3	1000	500	35	48194	2	2	2	141	8						
4	1000	500	35	48194	2	2	2	141	8						
5	1000	500	35	79630	2	2	2	141	8						
6	1000	500	35	100978	2	2	2	141	8						
7	1000	500	35	48194	2	2	2	141	8						
8	1000	500	35	48194	2	2	2	141	8						
9	1000	500	35	79630	2	2	2	141	8						
10	1000	500	35	79630	2	2	2	141	8						
11	1000	500	35	48194	2	2	2	141	8						
12	1000	500	35	79630	2	2	2	141	8						
13	1000	500	35	100978	2	2	2	141	8						
14	1000	500	35	79630	2	2	2	141	8						
15	1000	500	35	79630	2	2	2	141	8						
16	1000	500	35	48194	2	2	2	141	8						
17	1000	500	35	79630	2	2	2	141	8						
18	1000	500	35	48194	2	2	2	141	8						
19	1000	500	35	100978	2	2	2	141	8						
20	1000	500	35	79630	2	2	2	141	8						
21	1000	500	35	48194	2	2	2	141	8						
22	1000	500	35	79630	2	2	2	141	8						
23	1000	500	35	79630	2	2	2	141	8						
24	1000	500	35	48194	2	2	2	141	8						
25	1000	500	35	79630	2	2	2	141	8						
26	1000	500	35	79630	2	2	2	141	8						
27	1000	500	35	100978	2	2	2	141	8						
28	1000	500	35	48194	2	2	2	141	8						
29	1000	500	35	100978	2	2	2	141	8						
30	1000	500	35	48194	2	2	2	141	8						
31	1000	500	35	79630	2	2	2	141	8						
32	1000	500	35	79630	2	2	2	141	8						
33	1000	500	35	79630	2	2	2	141	8						
34	1000	500	35	48194	2	2	2	141	8						
35	1000	500	35	100978	2	2	2	141	8						

Obr. 8. Tabulka excel s daty

4.1.4 Formulář Form8

Obdoba na formuláře Form3 pouze s tím rozdílem, že data jsou zde získaná z naměřených hodnot.

4.1.5 Formulář inf.vb

Formulář umožňuje zobrazení informací o programu, o autorovi, o aktuální verzi a o právech se zacházení s danou aplikaci..

4.1.6 Modul Smith

Tento modul se používá pro propočítávání hodnot při simulaci pomocí Smithova modelu .

4.1.6.1 Nejdůležitější procedury a funkce z modulu Smith

4.1.6.1.1 *Function pomKonst*

Tato funkce počítá konstantu ve Smithově modelu Stirlingova motoru.

4.1.6.1.2 *Function energie*

Tato funkce počítá W_e , takzvanou expanzní energii.

4.1.6.1.3 *Function energie2*

Tato funkce počítá W_k , takzvanou kompresní energii.

4.1.6.1.4 *Function energie3*

Počítá celkovou energii W_i .

5 SMITHOVA TEORIE STIRLINGOVÝCH MOTORŮ

Tato Smithova teorie je jednou z řady izotermických metod výpočtu pro Stirlingovy motory.

Teorii rozlišujeme pro alfa, beta a gamma typ motoru.

Tato teorie je založena na izotermické expanzi a kompresi ideálního plynu.[7]

Vycházíme z těchto předpokladů:

1. Neexistuje žádná ztráta tlaku, při tepelné výměně nejsou žádné vnitřní rozdíly tlaku.
2. Komprese i expanse jsou izotermické děje.
3. O mediu uvažujeme jako o ideálním plynu.
4. Mrtvý prostor při expanzi je závislý na expanzní teplotě T_1 a mrtvý prostor při kompresi je závislý na kompresní teplotě T_2 během běhu cyklu.
5. Expanzní objem V_e a kompresní objem V_k se mění podle křivky goniometrické funkce sinus.

5.1 Použité značení

Výkon motoru lze vypočítat pomocí PV diagramu. Když se objem a hmotnost pracovního média a teplota ustálí, pak se vypočítá tlak pro ideální plyn způsobem, jak je uvedeno ve Stavové rovnici ideálního plynu.

$$[pV = nRT] \quad (5.1.1)$$

Tab. 2. Tabulka použitých neznámých v kapitole 5.

Název	Značení	Jednotka
Tlak	p	Pa
Zdvihový objem válce při expanzi	V_1	m^3
Zdvihový objem válce při kompresi	V_2	m^3
Mrtvý prostor při expanzi	V_{ME}	m^3
Mrtvý prostor při kompresi	V_{MC}	m^3
Okamžitá energie při expanzi	W_e	J
Okamžitá energie při kompres	W_k	J
Teplota media při expanzi	T_1	$^{\circ}C$
Teplota media při kompresi	T_2	$^{\circ}C$
Otáčky motoru	n	Hz
Plynová konstanta	R	
Okamžitý objem při expanzi	V_e	m^3
Okamžitý objem při kompresi	V_K	m^3
Fázový úhel (úhel mezi dvěma písty)	dx	$^{\circ}$
Střední tlak	p_{stv}	Pa
Teplotní poměr	t	
Objemový poměr	v	
Celková energie za jeden cyklus	W_i	J
Úhel natočení klikového mechanismu	x	$^{\circ}$ (stupen)
Objem regenerátoru	V_R	m^3

Model motoru, který je u RNDr. Pavla Krchňáka, Phd. Je podle rozdělení Stirlingových motorů dle spojení válců typ gamma, proto se dále budu věnovat už jen gama modelu.

5.2 Gama typ

Okamžitý expanzní objem $-V_e$ i okamžitý kompresní objem $-V_k$ jsou oba závislé na následující rovnici se zdvihovým objemem přemístovacího pístu – V_1 , zdvihovým objemem pracovního pístu – V_1 a fázovým úhlem- dx mezi oběma písty.

$$[V_e = \frac{V_1}{2}(1 - \cos x) + V_{Me}] \quad (5.2.1)$$

$$[V_c = \frac{V_1}{2}(1 - \cos x) + \frac{V_2}{2}\{1 - \cos(x - dx)\} + V_{Mk}] \quad (5.2.2)$$

Celkový okamžitý objem

$$[V = V_e + V_c] \quad (5.2.3)$$

Celkový tlak

$$[p = \frac{p_{\min}(1 + c)}{1 - c \cdot \cos(x - a)} = \frac{p_{\max}(1 - c)}{1 - \cos(x - a)} = \frac{p_{stv} \sqrt{1 - c^2}}{1 - c \cdot \cos(x - a)}] \quad (5.2.4)$$

Poměr teplot

$$[t = \frac{T_2}{T_1}] \quad (5.2.5)$$

Poměr zdvihového kompresního a expanzního objemu

$$[v = \frac{V_1}{V_2}] \quad (5.2.6)$$

Poměr mrtvých kompresních a expanzních prostorů a zdvihových objemů

$$[X_{DE} = \frac{V_{Me}}{V_1} \quad X_{DC} = \frac{V_{mc}}{V_1}] \quad (5.2.7)$$

$$[a = tg^{-1} \frac{v \cdot \sin dx}{t + \cos dx + 1}] \quad (5.2.8)$$

Za předpokladu, že $dx = 90^\circ$ platí $[a = tg^{-1} \frac{v}{t + 1}] \quad (5.2.9)$

$$[B = \sqrt{t^2 + 2(t - 1)v \cos dx + v^2 - 2t + 1}] \quad (5.2.10)$$

$$\text{Za předpokladu, že } dx=90^\circ \text{ platí } [B = \sqrt{t^2 + v^2 - 2t + 1} = \sqrt{t^2 - 2t + 2}] \quad (5.2.11)$$

$$[s = t + 2 + V_{Me} + \frac{4tV_R}{1+t} + v + 2V_{MK} + 1 = t + v + 1 = t + 2] \quad (5.2.12)$$

Za předpokladu, že $dx=90^\circ$ a ve stroji není regenerátor

$$[s = t + v + 1 = t + 2] \quad (5.2.13)$$

$$[c = \frac{B}{s}] \quad (5.3.14)$$

Celková energie (obsah p-V diagramu je určena pomocí následujících rovnic)

$$[W_e = \oint p dV_e = \frac{p_{stv} \cdot V_1 \cdot \pi \cdot c \cdot \sin a}{1 + \sqrt{1 - c^2}}] \quad (5.3.15)$$

$$[W_k = \oint p dV_k = -\frac{p_{stv} \cdot V_1 \cdot \pi \cdot c \cdot \sin a}{1 + \sqrt{1 - c^2}}] \quad (5.3.15)$$

$$[W_i = W_e + W_k] \quad (5.3.16)$$

V další kapitole uvedu ukázkový příklad výpočtu gamma typu s použitými údaji výše uvedeného programu.

6 UKÁZKA VÝPOČTU GAMMA TYPU STIRLINGOVA MOTORU

V daném příkladu se budou používat hodnoty pro již výše zmíněný model. Ty samé hodnoty jsou použity při simulaci v programu. Typ motoru je gamma typ, proto použijeme výše použité vzorce. Výsledkem bude p-V diagram.

$$V_{ME} = 0$$

$$V_{MK} = 0$$

$$dx = 90^\circ$$

$$T_2 = 35^\circ C$$

$$T_1 = 500^\circ C$$

$$n = 1000 \text{ ot/min}$$

$$p_{stv} = 101000 \text{ Pa}$$

$$D_1 = D_2 = D = 0,039 \text{ m}$$

$$h_1 = h_2 = h = 0,42 \text{ m}$$

$$V_1 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} h = 5,017 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$V_1 = V_2$$

$$t = \frac{35}{500} = 0,07 \quad v = \frac{5,017 \times 10^{-4}}{5,017 \times 10^{-4}} = 1$$

$$a = \text{tg}^{-1} \frac{1}{1+0,07} = 43^\circ 3'$$

$$S = t + v + 1 = t + 2 = 2,07$$

$$B = \sqrt{t^2 + v^2 - 2t + 1} = \sqrt{t^2 - 2t + 2} = 1,365$$

$$c = \frac{\sqrt{t^2 - 2t + 2}}{t + 2} = 0,659$$

$$W_e = \frac{P_{str} \cdot V_1 \cdot \pi \cdot \sin a}{1 + \sqrt{1 - c^2}} = 40,69101 \text{ J}$$

$$W_k = - \frac{P_{str} \cdot V_1 \cdot \pi \cdot c \cdot t \cdot \sin a}{1 + \sqrt{1 - c^2}} = -2,946 \text{ J}$$

$$W_i = 40,69 - 2,946 = 37,744 \text{ J}$$

Okamžitý tlak pro úhel $x=0^\circ$ natočení klikové hřídele $P= 146531,62\text{Pa}= 146,53162\text{kPa}$

Okamžitý tlak pro úhel $x=5^\circ$ natočení klikové hřídele $P= 157916,2675\text{Pa}= 157,91626\text{kPa}$

Okamžitý tlak pro úhel $x=10^\circ$ natočení klikové hřídele $P= 169708,28\text{Pa}= 169,70828\text{kPa}$

Okamžitý tlak pro úhel $x=15^\circ$ natočení klikové hřídele $P= 181560,78\text{Pa}= 181,56068\text{kPa}$

Okamžitý tlak pro úhel $x=20^\circ$ natočení klikové hřídele

$$P = \frac{101000 \cdot \sqrt{1 - 0,659^2}}{1 - c \cdot \cos(x - 43^\circ)} = 192998,15\text{Pa} = 192,99815\text{kPa}$$

Okamžitý objem pro úhel $x=0^\circ$

$$V_e = \frac{0,0005}{2}(1 - \cos 0) = 0$$

$$V_c = \frac{0,0005}{2}(1 - \cos x) + \frac{0,0005}{2}(1 - \cos(0^\circ - 90^\circ)) = 2,5 \times 10^{-4} m^3$$

$$V = 2,5 \times 10^{-4} m^3$$

Okamžitý objem pro úhel $x=5^\circ$

$$V_e = \frac{0,0005}{2}(1 - \cos 5^\circ) = 9,513 \times 10^{-5} m^3$$

$$V_c = \frac{0,0005}{2}(1 - \cos x) + \frac{0,05}{2}(1 - \cos(0^\circ - 90^\circ)) = 0,0002291 m^3$$

$$V = 0,00023 m^3$$

Okamžitý objem pro úhel $x=10^\circ$

$$V_e = \frac{0,0005}{2}(1 - \cos 10^\circ) = 0,0000037806 m^3$$

$$V_c = \frac{0,05}{2}(1 - \cos 10^\circ) + \frac{0,05}{2}(1 - \cos(10^\circ - 90^\circ)) = 0,0002103 m^3$$

$$V = 0,0002142 m^3$$

Okamžitý objem pro úhel $x=15^\circ$

$$V_e = \frac{0,05}{2}(1 - \cos 15^\circ) = 8,5185 \times 10^{-6}$$

$$V_c = \frac{0,05}{2}(1 - \cos 10^\circ) + \frac{0,05}{2}(1 - \cos(10^\circ - 90^\circ)) = 0,0001938 m^3$$

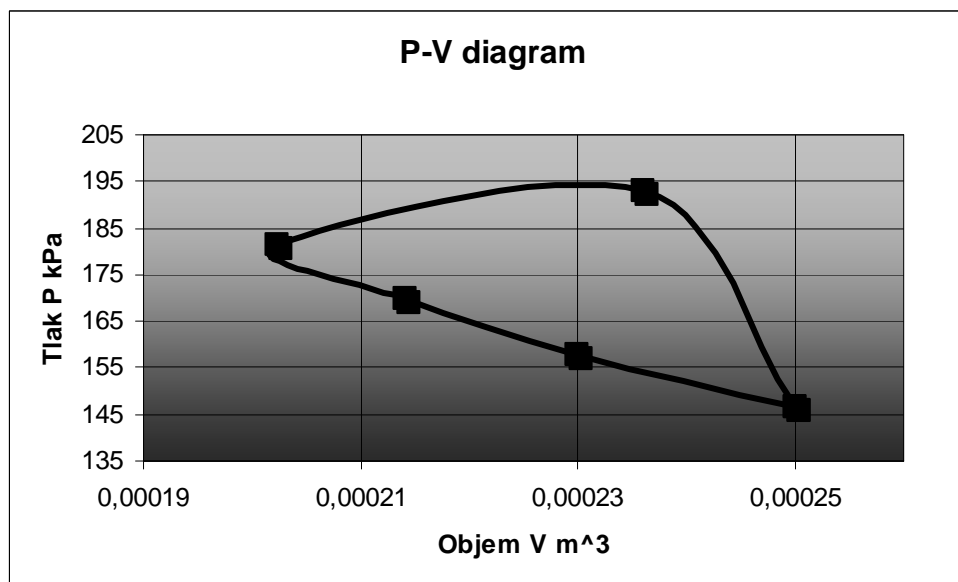
$$V = 0,0002023 m^3$$

Okamžitý objem pro úhel $\alpha = 20^\circ$

$$V_e = \frac{0,0005}{2}(1 - \cos 20^\circ) = 0,00001507806 m^3$$

$$V_c = \frac{0,0005}{2}(1 - \cos 10^\circ) + \frac{0,0005}{2}(1 - \cos(10^\circ - 90^\circ)) = 0,000221603 m^3$$

$$V = 0,000236 m^3$$



7 ZÁVĚR

Cílem této práce bylo navrhnout program, který by mohl být využit v hodinách fyzikálních praktik z molekulové fyziky, jako pomocník při studiu teplených motorů. Aplikace je stavěna jednoduše a přehledně a také ovládání je naprosto intuitivní. Program má dvě části, simulaci a měření. Data by měl získávat přes USB port (popřípadě i COM1), bohužel elektronika u již vytvořeného motoru není ještě udělána. Pro lepší práci s již naměřenými daty jsou tato importována do souboru otevíratelném v programu Excel. Na konci bakalářské práce je uveden příklad výpočtu Stirlingova motoru z dat, se kterými pracuji v simulaci.

Při práci na bakalářské práci jsem lépe pochopil činnost teplených strojů a procvičil se v práci s platformou Microsoft .NET Framework. V mé bakalářské práci by se v ní dalo pokračovat tak, že by se dodělala elektronika v modelu motoru a propojila se s PC.

Reference

- [1] Historie Stirlingova motoru
Dostupné z WWW <<http://www.stirling.cz/tedom-stirlinguv-motor-historie.html>>
- [2] Robert Stirling
Dostupné z WWW <http://en.wikipedia.org/wiki/Robert_Stirling>
- [3] USS Monitor
Dostupné z WWW <http://cs.wikipedia.org/wiki/USS_Monitor>
- [4] Princip funkce Stirlingova motoru
Dostupné z WWW <<http://www.stirling.cz/tedom-stirlinguv-motor-princip.html>>
- [5] PETROUTSOS, Evangelos. *Myslíme v jazyku Visual Basic .NET - 1. díl*. Praha:Grada, 2003. 668 s. ISBN 80-247-0371-8.
- [6] PETROUTSOS, Evangelos. *Myslíme v jazyku Visual Basic .NET - 2. díl* Praha:Grada, 2003. 540 s. ISBN 80-247-0372-6
- [7] SCHMIDT THEORY FOR STIRLING ENGINES
Dostupné z WWW
<<http://www.bekkoame.ne.jp/~khirata/academic/schmidt/schmidt.htm>>

SEZNAM TABULEK

Tab. 1. proměnných které se zobrazují v tabulce hodnot.....	16
Tab. 2. Tabulka použitých neznámých v kapitole 5.....	25

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha I Cd s programem Stirling engine