



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

**VÝPOČTOVÝ NÁSTROJ PRO MODELOVÁNÍ TOKU PLYNŮ
PŘES PÍSTNÍ SKUPINU**

COMPUTATIONAL TOOL FOR GAS FLOW MODELING THROUGH THE PISTON ASSEMBLY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Zuzana Vitteková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Peter Raffai

BRNO 2016

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Studentka: **Zuzana Vitteková**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Stavba strojů a zařízení
Vedoucí práce: **Ing. Peter Raffai**
Akademický rok: 2015/16

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Výpočtový nástroj pro modelování toku plynů přes pístní skupinu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Výpočtové modelování částí spalovacích motorů je trendem moderního inženýrství a má tedy významnou roli. K vytvoření použitelného výpočtového modelu je zapotřebí, aby se jeho tvůrce v dané problematice maximálně orientoval. V oblasti simulace pístních kroužků se zejména jedná o pochopení činnosti a funkce pístních kroužků v motoru a znalost tribologie kontaktních párů pístní kroužek - vložka válce a pístní kroužek - píst. Při řešení daného úkolu se dále očekává od studenta(ky) získání zručnosti v programování v Matlabu.

Cíle bakalářské práce:

1. Rešeršní vpravení do tematiky pístních kroužků spalovacích motorů.
2. Popis výpočtového modelu toku plynů přes pístní skupinu.
3. Vlastní návrh a vytvoření grafického uživatelského rozhraní pro zadávání vstupních parametrů výpočtu pomocí softwaru Matlab.
4. Implementace existujícího zdrojového kódu výpočtu toku plynů do grafického rozhraní pomocí vhodně zvolených úprav.
5. Vlastní návrh a vytvoření grafického uživatelského rozhraní pro vyhodnocení výsledků výpočtu pomocí softwaru Matlab.
6. Vytvoření samostatného návodu k výpočtovému nástroji.
7. Popis vytvořeného výpočtového nástroje a použitých řešení.
8. Vlastní závěr a shrnutí práce.

Seznam literatury:

Sigloch, H. (2011): Technische Fluidmechanik. 8. Auflage. Berlin: Springer. ISBN 978-364-2228-445.

Tian, T. (1997): Modeling the Performance of the Piston Ring-Pack in Internal Combustion Engines. Cambridge, MA (USA). Dissertation. Massachusetts Institute of Technology.

MathWorks: MATLAB Documentation [online]. ©1994-2016. The MathWorks, Inc. [cit. 2016-04-25].
Dostupné z: <http://www.mathworks.com/help/matlab/>

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty



ABSTRAKT

Hlavním tématem této bakalářské práce je vytvoření grafického uživatelského rozhraní v programu Matlab usnadňujícího zadávání vstupních parametrů pro výpočet toku plynů přes pístní skupinu a jeho vyhodnocení. První část je věnována teorii o pístních kroužcích, následuje krátké vpravení do problematiky profuku plynů. Druhá část se týká postupu při vytváření výše zmíněného grafického rozhraní.

KLÍČOVÁ SLOVA

Pístní kroužek, profuk, Matlab, grafické uživatelské rozhraní, kód, příkaz, funkce.

ABSTRACT

The main topic of this bachelor's thesis is to create a graphical users interface (GUI) in Matlab, facilitating the entry of input parameters for the calculation of the gas flow through the piston assembly and its evaluation. The first part is dedicated to the theory of piston rings followed by an introduction into the gas flow problematics. The second part concerns the procedure of creating the aforementioned GUI.

KEYWORDS

Piston ring, blow-by, Matlab, graphical user interface, code, command, function.



BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Vitteková, Zuzana. *Výpočtový nástroj pro modelování toku plynů přes pístní skupinu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 42 s., 3 přílohy, CD. Vedoucí diplomové práce Ing. Peter Raffai.



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Petera Raffaie a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 25. května 2016

.....

Zuzana Vitteková



PODĚKOVÁNÍ

Chtěla bych moc poděkovat panu Peteru Raffaiovi za pomoc při tvorbě této práce a při návrhu grafického rozhraní. Také bych chtěla poděkovat mé rodině za podporu a pomoc při studiu.



OBSAH

Úvod	7
1 Pístní kroužky	8
1.1 Funkce pístních kroužků	8
1.2 Základní parametry pístních kroužků	8
1.3 Síly působící na pístní kroužek	9
1.4 Konstrukce pístních kroužků	11
1.4.1 Zámky pístních kroužků	11
1.4.2 Těsnící pístní kroužky	12
1.4.3 Stírací pístní kroužky	16
1.5 Materiál pístních kroužků	17
1.5.1 Šedá litina	18
1.5.2 Tvárná litina	18
1.5.3 Ocel	19
1.6 Povrchová úprava pístních kroužků	19
1.6.1 Cínování	19
1.6.2 Fosfátování	19
1.6.3 Ferroxování	20
1.6.4 Tvrdé chromování	20
1.6.5 Nástřik molybdenem	20
1.6.6 Nitridování	20
2 Profuk	21
3 Grafické uživatelské rozhraní	23
3.1 Úvod do tvorby grafiky	23
3.2 Úvod do tvorby m-file	25
3.3 Vlastní návrh gui – zadávání vstupních parametrů	26
3.3.1 Vložení obrázku	29
3.3.2 Načtení hodnot do souboru	30
3.3.3 Uložení hodnot	30
3.3.4 Načtení hodnot	32
3.4 Implementace zdrojového kódu výpočtu	33
3.5 Návrh gui - vyhodnocení výsledků	34
3.5.1 Spuštění nového okna	34
3.5.2 Sjednocení struktury handles pro dva skripty	36
3.5.3 Zobrazení průběhu tlaků v grafu	36
Závěr	38



Seznam použitých zkratek a symbolů	40
Seznam příloh	41



ÚVOD

V dnešní době jsou pístní kroužky důležitou součástí spalovacích motorů jak z důvodů snížení spotřeby a většího využití energie vzniklé spalováním, tak z důvodů zvýšení čistoty oleje v motoru a snížení emisí na které jsou postupem času kladeny stále vyšší nároky. Pro tyto náročné požadavky je nutné před uvedením motoru do provozu zajistit jeho správnou funkci. Výpočtové modelování částí motorů zajišťuje získání informací o vhodnosti navržených částí. Co se týče pístních kroužků, je nutné, aby si udrželi požadované vlastnosti při působení vysokých teplot a tlaků, kterým jsou vystaveny a které na ně působí ve velkém rozsahu hodnot. Při výpočtech těchto veličin se vychází z teoretických poznatků ideálních látek, které jsou následně upravené pomocí hodnot zjištěných experimentálně.

Pro modelování částí motoru jsou použity různé výpočtové programy například Matlab. Použití těchto programů je možné pouze s e znalostí daného programovacího jazyka. Pro snadnější použití programu Matlab je vytvořeno grafické uživatelské rozhraní, která umožňuje použití koncovým uživatelem bez znalostí tohoto jazyka. Je ale nutné, aby toto grafické rozhraní bylo přizpůsobeno požadované funkci. Jak upravením grafického prostředí se kterým bude uživatel pracovat, tak vepsání potřebných kódů pro dané použití tohoto grafického prostředí.



1 PÍSTNÍ KROUŽKY

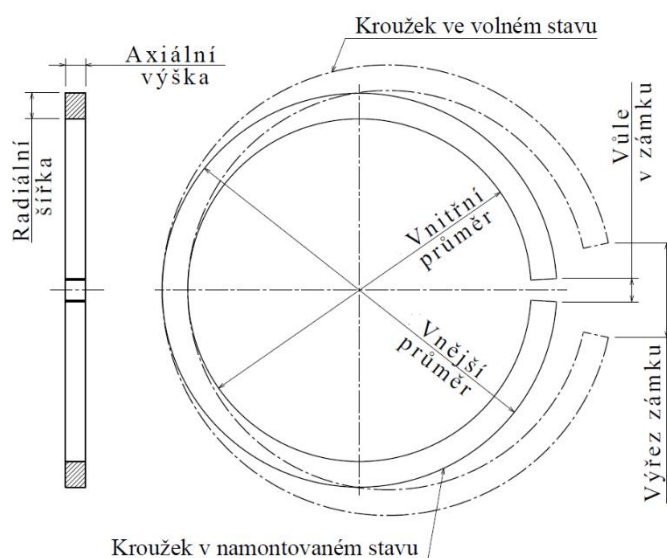
Pístní kroužky jsou nedílnou součástí moderních spalovacích motorů. Už v roce 1777 James Watt používal u svých parních strojů kožené manžety a konopná lana k utěsnění pístu. V roce 1797 byly první zmínky o litinových kroužcích, které byly nejprve soustruženy na větší průměr válce, než byl jeho skutečný průměr a poté byla vyříznuta odpovídající část tak, že mohl být osazen do válce a tím došlo k vytvoření přitlačné síly na stěnu válce. Později byly litinové kroužky soustruženy na stejný průměr, jaký má válec a přitlačná síla byla vytvořena soustružením vnitřního průměru kroužku. John Ramsbotton si v roce 1955 nechal patentovat výrobní proces těsnících kroužků, který je dodnes používán. [1]

1.1 FUNKCE PÍSTNÍCH KROUŽKŮ

Hlavní funkcí pístních kroužků je utěsnit prostor nad pístem, což je splněno pouze v případě, pokud jsou čelní plochy kroužků neustále ve styku s válcem po celou dobu běhu motoru. Dobře utěsnit tento prostor je nutné ze dvou důvodů. Spaliny z pracovního prostoru válce by se neměly dostat do prostoru klikové skříně a naopak, mazivo, které je vstřikováno na stěny válce by se nemělo dostat do spalovacího prostoru válce. Tímto je zachována čistota oleje v mazací soustavě a je dosaženo snížení emisí. Dno pístu je vystaveno vysokým teplotám, které jsou pomocí pístních kroužků odvedeny do válce. Nejeefektivnější přenos tepla mezi kroužky a válcem nastane, pokud budou k sobě co nejtěsněji doléhat. Pro vznik co nejmenších třecích sil mezi kroužky a válcem, je nutné, aby prostor mezi nimi vyplňovalo mazivo, které je na stěnu válce vstřikováno od hnacího mechanismu a pístními kroužky roztíráno na stěnu válce v optimální tloušťce. [1]

1.2 ZÁKLADNÍ PARAMETRY PÍSTNÍCH KROUŽKŮ

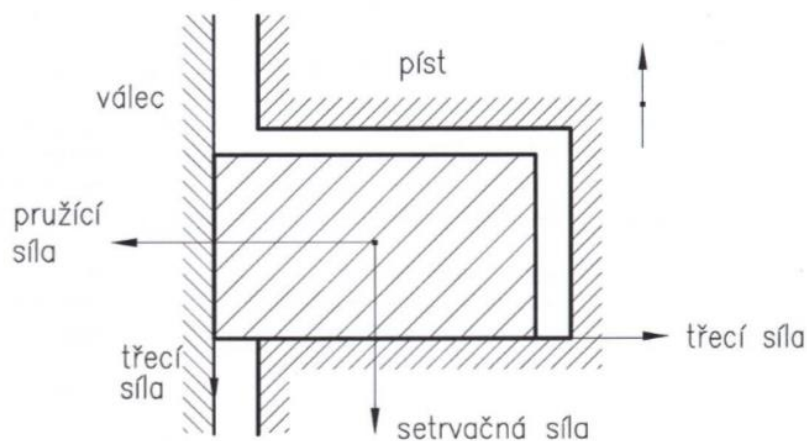
Pístní kroužky musí splňovat několik různých požadavků, které se ale vzájemně rozcházejí a proto je jejich výrobní postup stále ve vývoji. Musí být pružné a mít dlouhou trvanlivost, naproti tomu musí mít dobré kluzné vlastnosti a musí být pevné. Tyto požadavky se ale při volbě materiálu není možné naráz splnit. Proto je pro výrobu kroužku volen materiál s pružnými vlastnostmi a pevnosti je dosaženo různými typy povrchových úprav. Vůle v zámku neboli zámek kroužku je nutný k namontování kroužku na píst ve válci. Slouží také k jeho dilataci při ohřevu a zároveň nesmí dojít vymezení jeho vůle z důvodu možného prasknutí kroužku. Hlavní těsnící plocha kroužku je ta, která se přímo dotýká stěny válce, a je označovaná jako pracovní plocha kroužku. Je skoro vždy povrchově upravována, zatímco boční dosedací plochy kroužku, které jsou v místě styku kroužku s drážkou pístu, jsou jemně broušeny. [1,4]



Obrázek 1. Schéma pístního kroužku, zdroj: [vlastní]

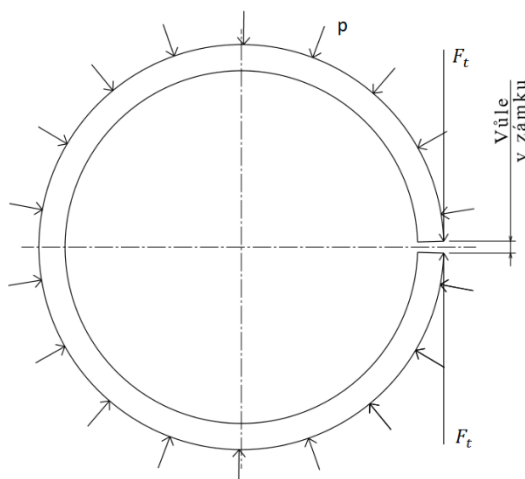
1.3 SÍLY PŮSOBÍCÍ NA PÍSTNÍ KROUŽEK

Na kroužek působí setrvačná síla, která vzniká vlivem translačního vratného pohybu pístu ve válci. Také vzniká třecí síla mezi pracovní plochou kroužku a stěnou válce a třecí síla mezi kroužkem a drážkou pístu. Body dotyku se mění v závislosti na rychlosti a směru pohybu pístu, a vnějších zátěžných sil.



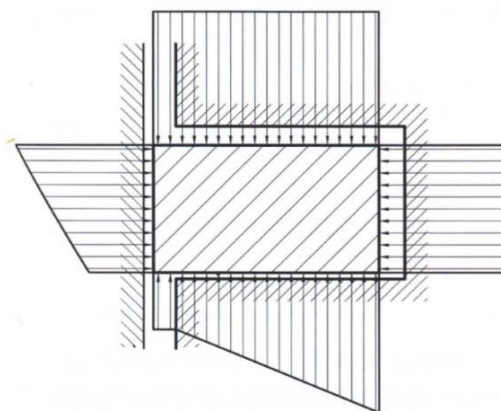
Obrázek 2. Síly působící na pístní kroužek, zdroj [vlastní]

Síla vyvolaná stlačením kroužku do polohy v jakém má být osazen na píst se nazývá tangenciální síla a označuje se jako F_t . Čím je výřez zámku větší tím větší je tato síla. [1]



Obrázek 3. Tangenciální síla, zdroj [vlastní]

Tangenciální síla se zvyšuje působením tlaku plynů, které proniknou do drážky pístu za kroužek. Tlak plynů proudící ze spalovací komory působí na kroužek po celém jeho obvodu. Největší tlaková síla doléhá na horní boční plochu a vnitřní průměr kroužku. Kroužek je více přitlačován k válci než k pístu, čímž se zajišťuje vysoká míra přizpůsobivosti kroužku k deformované stěně válce. Silové působení na jednotlivé strany kroužku od tlaků plynů směrem ke klikové skříni postupně klesají. [2,4]



Obrázek 4. Tlak působící na pístní kroužek, zdroj [vlastní]

1.4 KONSTRUKCE PÍSTNÍCH KROUŽKŮ

V dnešní době jsou kladeny požadavky na velikost a počet kroužků. Standartní počet kroužků u vozidlových spalovacích motorů jsou tři, u závodních motorů mohou být dva. Dříve jich bylo až pět, ale bylo zjištěno, že za třetím kroužkem se tlak blíží atmosférickému, tedy není nutné zvyšovat jejich počet. Také z důvodu snížení třecích sil je optimální menší počet kroužků. Výhodné je to i pro nižší výšku motoru a tedy i jeho nižší hmotnost. Tomu všemu samozřejmě také přispívá menší axiální výška kroužku. Nejmenší možná výška u zážehových motorů je 1 mm, výroba nižšího kroužku by byla velice nákladná. Pro vznětové motory se vyrábí kroužky o výšce 1.5 mm. Snižuje se i radiální šířka, aby se kroužek lépe přizpůsobil válci, avšak jen po tu hodnotu, aby byla zachována dostatečná tangenciální síla. [1,4]

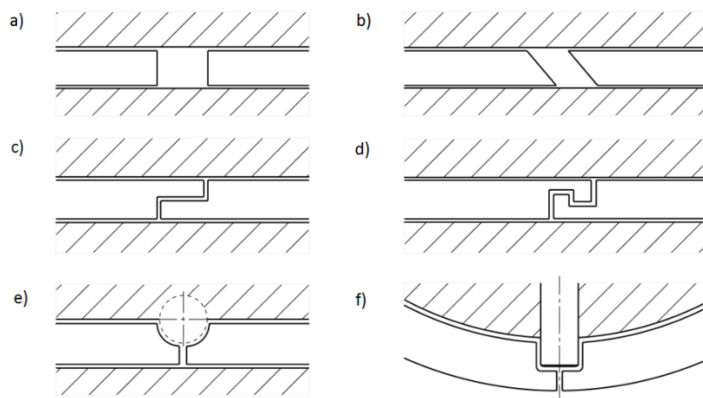
1.4.1 ZÁMKY PÍSTNÍCH KROUŽKŮ

U nových pístních kroužků se volí zámková vůle gap:

$$0.0006D < \text{gap} < 0.0012D, \quad (1)$$

kde D je průměr pístního kroužku a gap je vůle pístního kroužku

Vzhledem k průběhům teplot ve válci se volí u prvního kroužku největší zámková vůle. Je to z toho důvodu, že dno pístu je zasaženo nejvyššími teplotami, které se při odvádění prvním kroužkem do válce směrem k dalším kroužkům postupně snižují. Profuk plynů ze spalovací komory přes pístní skupinu je největší v místě zámků kroužku proto by jeho vůle neměla být větší než je nutné. Při větší vůli je také zvýšen přísun maziva z klikové skříně nad píst do spalovacího prostoru. To vše vede k zhoršení vlastností motoru, zvýšeným emisím a vyšší spotřebě. Pro snížení tohoto nežádoucího profuku se při montáži zámků třech pístních kroužků od sebe natáčejí o 120° a zámků dvou kroužků o 180° . První čtyři druhy zámků se používají u čtyřdobých motorů a nejčastěji je používán kolmý zámek (a). Zámek šikmý (b) se už dnes moc nepoužívá a zámků přesahující (c) a háčkový (d) se používají u velkých lodních či drážních motorů. Spodní dva zámků jsou s čelním (e) a vnitřním (f) pojištěním, používají se u dvoudobých motorů. U dvoudobých motorů je nutné zajištění kolíčkem proti pootočení, protože by mohlo dojít ke zlomení konců zámků při posouvání přes kanály rozvodu. [1,4,9]



Obrázek 5. Zámky pístních kroužků, zdroj[vlastní]

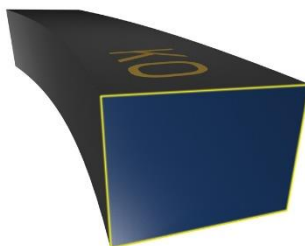


1.4.2 TĚSNÍCÍ PÍSTNÍ KROUŽKY

Těsnící pístní kroužky mají za úkol především utěsnit prostor mezi pístem a válcem. Zároveň musí odvádět teplo ze spalovacího prostoru. První kroužek odvádí necelou polovinu tepla vzniklého při vznícení paliva v pracovní části válce do stěn válce, které jsou chlazeny. Při použití tří pístních kroužků bývají první dva těsnící, přičemž druhý z nich má i funkci stírací. V následujících kapitolách jsou představeny nejběžnější druhy těsnících kroužků. [1,4]

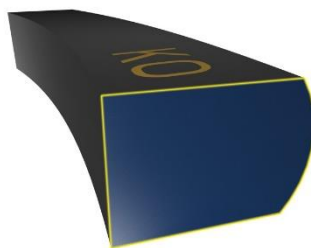
PRAVOÚHLÉ PÍSTNÍ KROUŽKY

Tyto pístní kroužky se dnes používají už jen u dvoudobých nízko otáčkových motorů nebo motorů malé mechanizace z důvodů velkých třecích ztrát a špatné regulace oleje kvůli velké ploše styku kroužku s válcem. Pracovní plocha by měla být kolmá na boční plochy, ale připouští se odchylka $\pm 3^\circ$. U motorů, kde je nutné zachovat pravý úhel, se musí kroužky honovat ve válcových pouzdrech. Bývají osazeny v první drážce pístu. Pravoúhlé kroužky se běžně používají jako hřídelové ucpávky, např. převodové těsnění. [1,4,8]



Obrázek 6. Pravoúhlý pístní kroužek, zdroj [9]

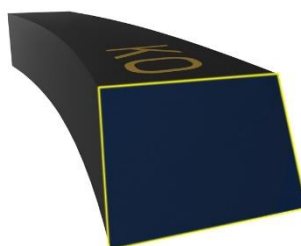
Pro nevýhody tohoto tvaru bylo zavedeno zaoblení pracovní plochy kroužku tzv. provedení „BALLIG“. Zaoblení může být symetrické k ose příčného průřezu nebo asymetrické. Tímto tvarem jsou zachovány optimální podmínky pro vytváření olejového filmu a zároveň menší třecí ztráty.



Obrázek 7. Pístní kroužek „Ballig“, zdroj [9]

MINUTOVÉ PÍSTNÍ KROUŽKY

Tento pístní kroužek se vyznačuje zkosenou pracovní plochou, která bývá $30^\circ - 50^\circ$. V počáteční fázi záběhu se dotýká válce spodní hranou. Což má za výhodu nižší plochu tření, rychlé přizpůsobení kroužku válci a dobré setření oleje ze stěny válce při pohybu pístu k dolní úvrati. Při pohybu k horní úvrati usnadňuje průnik oleje pod kroužek. I když je sklon pracovní plochy malý, je nutné jej na píst osadit správně, proto bývá horní plocha označena značkou „TOP“, což znamená, že tato strana má být blíže dnu pístu. Občas se stalo, že označení bylo na nesprávné straně a nyní už musí být kroužky v technologickém postupu kontrolovány. Při nesprávném nasazení na píst dochází k opačnému efektu, než je zapotřebí, a to k vysoké spotřebě oleje, který se dostane do spalovacího prostoru. Neměl by být osazen v drážce pro první kroužek, protože působením tlaku plynů na pracovní plochu kroužku dochází k rozkmitání kroužku při nízkých otáčkách. Proto se většinou osazuje do drážek pro druhý kroužek ve vznětových i zážehových motorech. [1,4,8]



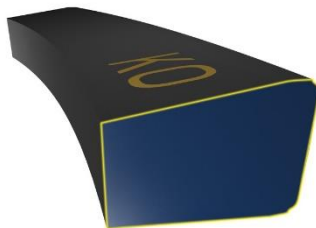
Obrázek 8. Minutový pístní kroužek, zdroj [9]

LICHOBĚŽNÍKOVÉ PÍSTNÍ KROUŽKY

Někdy označován jako trapézový, má šikmé boční plochy a vyrábí se i trapézový jednostranný, kdy je šikmá pouze horní část kroužku. Sklon těchto kroužků bývá 6° nebo 15° . Tyto pístní kroužky snižují nebezpečí jeho zapečení v drážce tím, že se při použití těchto kroužků neusazují v drážce pevné zplodiny hoření. Při pohybu pístu z horní úvrati do dolní a naopak mění i pohyb



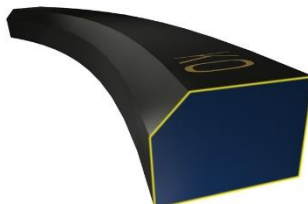
kroužku a radiální silou rozdrtí zuhelnatělé zbytky oleje, které jsou dále odplavovány mazacím olejem. Drážka pro tento kroužek má stejný sklon a rozměry drážky a vůle kroužky jsou navrženy tak, aby bylo možno celý kroužek zamáčknout o 0.1 mm pod povrch pístu. Osazují se do první drážky, kde je největší nebezpečí karbonizace oleje. Jednostranně lichoběžníkové kroužky se používají pro vysokootáčkové motory, protože po zabudování dochází k torznímu natočení a v záběhové fázi těsní pouze spodní strana kroužku. [1,4,7,8]



Obrázek 9. Lichoběžníkový pístní kroužek, zdroj [9]

TORZNÍ PÍSTNÍ KROUŽKY

Jsou to torzně zkroucené kroužky, kdy je vybrání na horní části kroužku, nebo negativně torzně zkroucené kroužky, kdy je vybrání na spodní straně kroužku. Také jsou možnosti vybrání buď zkosením, nebo ústupkem. Torzní kroužky po osazení na píst vlastním zkroucením vytváří profil podobný minutovému kroužku, dotýká se válce pouze svou spodní hranou. Musí být označen na horní straně kroužku značkou „TOP“. Používá se v druhé drážce u zážehových a vznětových motorů. U negativně torzních kroužků dochází k natočení tak, že se vnitřní horní hrana dotýká horní stěny drážky. Pracovní plocha musí být sražena tak, aby vytvářela opět efekt minutového kroužku a válec se nedotýkala horní hrana pracovní plochy ale spodní. Tlak plynů se přenáší ve velké míře na horní boční plochu kroužku a zvyšuje se efekt přitlaku a zabránění profuku spalín pod kroužek. Tento kroužek snižuje spotřebu oleje. Větší přitlak spodní pracovní plochy zlepšuje stírání oleje a umožňuje rychlejší usazení. [1,7,8]

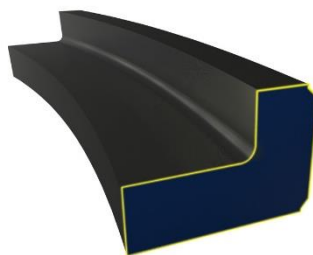


Obrázek 10. Torzní pístní kroužek, zdroj [9]



PÍSTNÍ KROUŽKY VE TVARU L

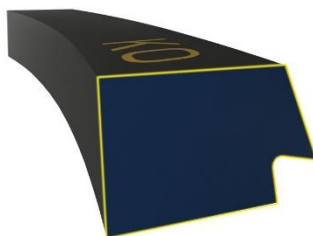
Tento kroužek se umísťuje do první drážky převážně dvoudobých motorů tak, aby horní hrana kroužku byla v rovině dna pístu. Přímý účinek tlaku plynů na vnitřní stranu pístu zlepšuje radiální přítlak kroužku a také zvyšuje odolnost proti rozkmitání. Výjimečně může být použit u vznětových motorů. [8]



Obrázek 11. Pístní kroužek ve tvaru „L“, zdroj [9]

POLOSTÍRACÍ KROUŽEK NAPIER

Jsou to pravoúhlé nebo minutové pístní kroužky, které mají spodní vnější hranu podsoustruženou. Vlivem vybrání se kroužek v drážce pozitivně zkroucí a stěny válce se dotýká pouze ostrá hrana pracovní plochy. Tím se zvýší těsnost i stírací účinek kroužku. Část kroužku u zámku není vybrána, což zmírňuje profuk plynů. Tento kroužek se používá v druhé drážce zážehových motorů osobních automobilů a vznětových nákladních automobilů. [1,8]



Obrázek 12. Pístní kroužek Napier, zdroj [9]

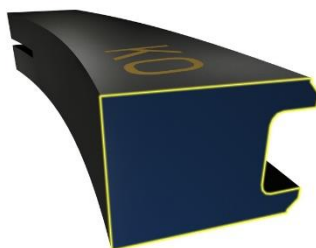


1.4.3 STÍRACÍ PÍSTNÍ KROUŽKY

Ve 20. letech minulého století byly používány pouze těsnící kroužky, což na výkony tehdejších motorů bylo dostačující. S nástupem výkonnějších motorů s vyššími otáčkami bylo nutné zajistit kontrolu oleje na stěnách válců. Jsou konstruované tak, aby stěnu válce pokrývala předem určená vrstva oleje a přebytečný olej byl zpět odváděn do klikové skříně. [1]

JEDNODÍLNÉ PÍSTNÍ KROUŽKY

Tyto pístní kroužky jsou opatřeny dvěma břity různých příčných profilů. Mezi nimi mají kroužky podélné výřezy či vrtané otvory, přes které může olej volně proudit. Vzhledem k nižšímu přítlaku k válci se tyto kroužky používají u nízkootáčkových motorů, ale u moderních motorů se používají nejčastěji vícedílné stírací kroužky. [8]



Obrázek 13. Jednodílný pístní kroužek, zdroj [9]

DVOUDÍLNÉ PÍSTNÍ KROUŽKY

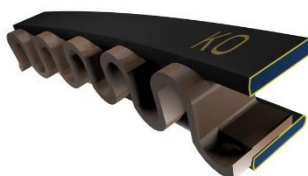
Od 60. let se začaly klást nároky na nižší hmotnost motorů, proto se steny válce zmenšily a bylo nutné vyrovnat se s deformací válců. Z toho důvodu byl kladen nárok na větší flexibilitu stíracích kroužků. Základní část má stejně jako u jednodílného kroužku, menší průřez s dvěma břity různých profilů s podélnými výřezy nebo vrtanými otvory, přičemž se v dnešní době začínají používat častěji vrtané otvory. Mají lepší mez pevnosti, nabízejí větší bezpečnost při montáži a mají rovnoměrnější vnější obrys, díky čemuž zajišťují lepší stírání oleje. Pružící schopnost mu dodává vinutá pružina, která bývá broušena pro snížení tření mezi oběma komponenty. Kroužky této konstrukce se používají pro vznětové a vysokootáčkové motory. [1,7,8]



Obrázek 14. Dvoudílný pístní kroužek, zdroj [9]

TŘÍDÍLNÉ PÍSTNÍ KROUŽKY

Skládají se ze dvou tenkých ocelových kroužků, zvaných kolejnice, a distanční vložky, která drží kolejnice v požadované axiální vzdálenosti, přičemž je zároveň přitlačuje ke stěně válce. Pracovní plocha kolejnic je zaoblená. Kroužky této konstrukce jsou nízké, lehké, zajišťují dobré řízení oleje a snadnou montáž. Také se velmi dobře přizpůsobují tvaru válce. Používají se v moderních benzínových motorech. [1,8]



Obrázek 15. Třídílný pístní kroužek, zdroj [9]

1.5 MATERIÁL PÍSTNÍCH KROUŽKŮ

Na materiál pístních kroužků jsou kladeny vysoké nároky, které použitím jednoho materiálu nelze všechny splnit. Kroužky by měly být odolné proti opotřebení. Měly by mít dostatečnou pevnost pro nadměrné namáhání v ohybu při navlékání kroužku na píst a elasticitu, aby se dobře přizpůsobil válci. Nesmí ztratit svou antikorozi schopnost, musí odolávat vlivům oleje, paliva, vzduchu a spalin. Při střídání vysokých a nízkých teplot by měl zachovat stejnou strukturu materiálu. Měl by být co nejlehčí, levný a mít nízké nároky na výrobu. Vzhledem k tomu, že je skoro vždy nutné opatřit kroužek povrchovou úpravou, měl by být schopen udržet tuto přidanou vrstvu. Pro co nejlepší odvod tepla ze spalovací komory by měl mít co nejlepší tepelnou vodivost. [1]



1.5.1 ŠEDÁ LITINA

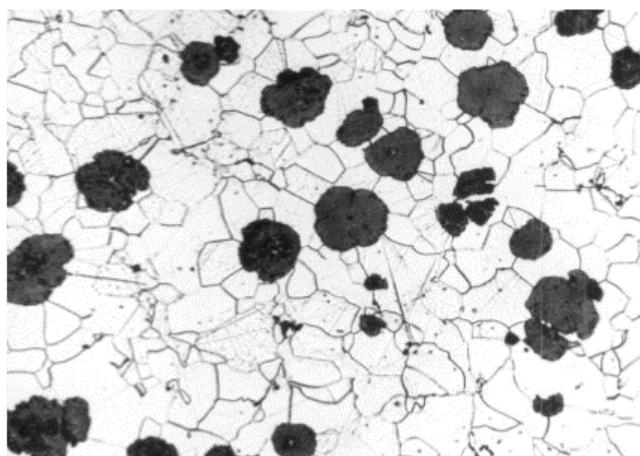
Litina je slitina železa a uhlíku a dalších prvků, přičemž obsah uhlíku je nejméně 2.11 %. Uhlík je vyloučen jako grafit a litiny se dělí podle jeho tvaru. Šedou litinou bývá nazývána litina s lupínkovým grafitem. Obsahuje 2.8 – 3.6 % uhlíku, 1.7 – 2.4 % křemíku a dalšími prvky jsou, mangan, fosfor a síra. Výhodou této litiny je cena a dobrá obrobiteľnosť. Nevýhodou je veľká krehkosť a ztráta pružnosti při vysokých teplotách. Nyní se používá už jen motorů s nízkými otáčkami, požadavkům pro výkony moderních motorů už nestačí. [2,4,5]



Obrázek 16. Šedá litina s lupínkovým grafitem, zdroj [5]

1.5.2 TVÁRNÁ LITINA

Tvárná litina se vyznačuje grafitem ve tvaru kuliček, toho se docílí naočkováním hořčíkem. Očkování znamená přidání hořčíku přímo do lící pánve s roztavenou litinou. Lupínkový grafit se působením hořčíku změní na kuličkový. Mění se i složení uhlíku na 4.2% a křemíku až na 4%, což má za následek zvýšení pevnosti a pružnosti oproti šedé litině. V porovnání s ocelí mají dobré kluzné vlastnosti a jsou snadno obrobiteľné. [2,5]



Obrázek 17. Tvárná litina s kuličkovým grafitem, zdroj [5]



1.5.3 OCEL

Na výrobu pístních kroužků se používají legované oceli, což jsou oceli třídy 13 – 14, nebo vysokolegované oceli třídy 17. Ocel třídy 13 jsou legovány křemíkem a manganem. S obsahem křemíku do 1.7 % mají zvýšenou mez únavy, vydrží opakované dynamické namáhání. Jsou vhodné na výrobu vysoce namáhaných pružin s velkou pružností a houževnatostí. Oceli třídy 14 jsou legovány chromem, manganem a křemíkem. Mohou se cementovat, kalit, nitridovat i zušlechťovat a používají se na různé dynamicky namáhané strojní součásti. Oceli třídy 15 se legují chromem, molybdenem, wolframem, manganem, vanadem a křemíkem. Vzhledem k velkému množství legujících prvků je v této třídě mnoho druhů a značek ocelí, které mají velmi dobré mechanické vlastnosti při vysokých teplotách. Oceli této třídy mají vysokou pevnost a mez kluzu. Oceli třídy 16 jsou legované převážně niklem v kombinaci s chromem, wolframem, vanadem nebo jejich různou kombinací. Vyrábí se z nich nejnamáhavější součásti strojů pracující při vysokých teplotách. Oceli třídy 17 jsou legovány několikanásobně větším množstvím prvků, než jak je tomu u tříd 13 – 16. Jsou legovány křemíkem, niklem, wolframem, titanem, vanadem, chromem, manganem a dalšími prvky. Tyto oceli jsou korozivzdorné a odolávají vysokým teplotám. Ocel je sice dražší než šedá litina, zato se vyznačuje vyšší pevností a pružností. [1,8]

1.6 POVRCHOVÁ ÚPRAVA PÍSTNÍCH KROUŽKŮ

Vzhledem k požadavkům na pístní kroužky, aby byli pružné, dobře přizpůsobivé stěně válce a zároveň pevné, odolné a mít dobré kluzné vlastnosti v kontaktu s válcem, je nutné pístní kroužky opatřit povrchovou úpravou. Tím můžou být alespoň částečně splněny tyto protichůdné požadavky. Těchto vlastností se docílují různými druhy povrchových úprav. [1,2]

1.6.1 CÍNOVÁNÍ

Měkká vrstva cínu znesnadňuje zadírávání mezi kroužkem a vložkou válce, a když dojde k částečnému přidření, roztavující se cín převezme funkci maziva. Kroužky s touto povrchovou úpravou mají dobré antikorozi vlastnosti. Mají krátkou dobu záběhu, a proto se často používá při výrobě náhradních dílů. Někdy se cínují kroužky, které jsou již opatřeny vrstvou tvrdochromu. Cínování se provádí galvanickým způsobem při teplotě lázně 75 °, tloušťka vrstvy bývá 0.004 – 0.008 mm. Galvanický proces se provádí dvakrát pro menší houbovitost povlaku. [1,4]

1.6.2 FOSFÁTOVÁNÍ

Stejně jako cínování se fosfátování používá pro výrobu náhradních dílů, protože má také krátkou dobu záběhu. Chrání kroužek proti korozi a otřené fosfátové krystalky působí spolu s mazacím olejem jako zabrušovací pasta, takže nedochází k zadření. Zbývající část vrstvy je porézní a udržuje v sobě olej, který může být použit, kdyby došlo k suchému tření. Fosfátování se provádí ponořením kroužku do kyseliny fosforečné doplněné o fosfáty manganu, následně se na povrchu vytvoří tenká vrstva krystalků fosforečnanu, které dobře drží na základní ploše. Tloušťka vrstvy je 0.002 – 0.005 mm. [1,4]



1.6.3 FERROXOVÁNÍ

Povrch po této úpravě je tvrdší než po fosfátování, má vnější měkčí vrstvu, která zlepšuje záběh a vnitřní pevnou vrstvu, která dodává kroužkům vyšší životnost. Tímto procesem je určitá tloušťka povrchu změněna na oxid železa Fe_3O_4 , a jeho povrch má modrošedou barvu. Tato vrstva drží na původním materiálu velmi dobře a její tloušťka bývá 0.0075mm. [1,4]

1.6.4 TVRDÉ CHROMOVÁNÍ

Je to nejčastější povrchová úprava, ale protože je vrstva chromu velmi tvrdá, zhoršuje se záběh a jsou proto kladeny vysoké požadavky na přesnost jak kroužků, tak vložky válce. Hrany těchto kroužků musí být sraženy nebo zaobleny a vrstva chromu musí být nanesena k této linii. Použití tohoto povrch zvyšuje životnost motoru až trojnásobně. U benzínových motorů bývá tloušťka chromu 0.06 – 0.01mm, u vznětových 0.1 – 0.15mm. Použití této vrstvy je nejvhodnější u ocelí a u litin s menším množstvím grafitu. [1,4]

1.6.5 NÁSTRÍK MOLYBDENEM

V případě, že použití tvrdochromu není vyhovující, použije se jako povrchová úprava nástrík molybdenem. Tento proces se provádí natavením kovového drátu a jeho rozstříknutím po ploše kroužku kdy se na něj nataví a velice rychle zchladne. Oproti chromu dochází k nižšímu tření, vyšší tvrdost a teplotu tání. Vrstva molybdenu je porézní, takže do sebe nasákne určité množství oleje a snižuje se možnost zadření. Nejčastěji se používá u druhého kroužku, přičemž se jeho použitím zároveň sníží zadření i u prvního kroužku. Tloušťka vrstvy bývá 0.2mm. [1,4]

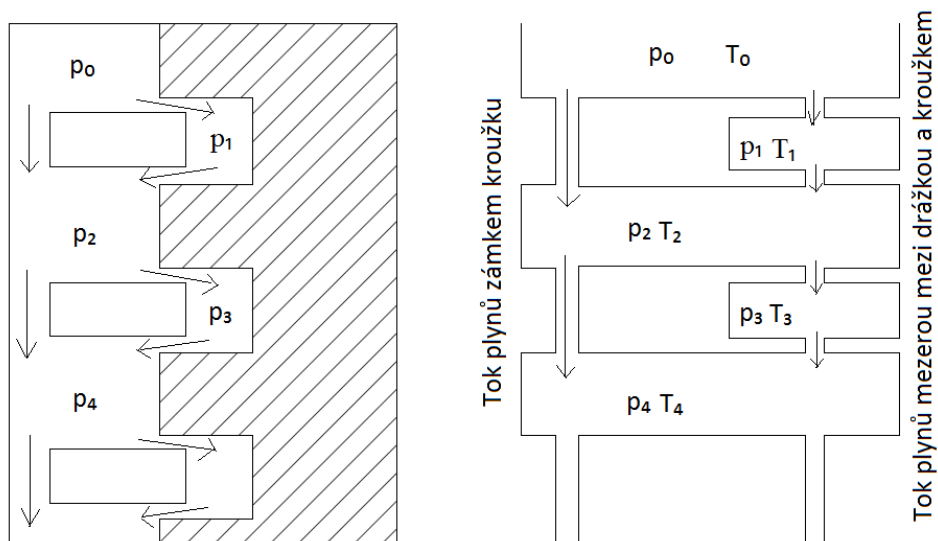
1.6.6 NITRIDOVÁNÍ

Tato úprava se používá pro zvýšení výkonu benzínových motorů a zvýšení tvrdosti povrchu pístního kroužku. Je to tepelné zpracování pomocí dusíku absorbovaného při teplotách 450 – 680°C pro vytvoření vícevrstvé nitridové vrstvy. Před nitridací může být kroužek obroben bez přídavku, protože při nitridování nevzniká pnutí, jako je tomu tak při prudkém ochlazování při použití jiných povrchových úprav. Další možností je nitrocementování, což je kombinace nitridování a cementování a probíhá při vyšších teplotách od 750 do 880°C. Pokud probíhá při vyšších teplotách, převažuje obsah uhlíku a při nižších obsah dusíku. Vyznačuje se bílou barvou povrchu. [2,8]

2 PROFUK

Prostup plynů (blow-by) ze spalovací komory přes pístní skupinu do klikové skříně má nepříznivý vliv na výkon, spotřebu motoru a čistotu oleje v klikové skříně. Profuk je možný přes zámek kroužku nebo tenkou mezerou mezi pístem a kroužkem vzniklou pohybem kroužku v drážce. Může nastat i mezi kroužkem a válcem, ale je to nestandardní stav, neboť by mezi nimi měla být tenká olejová vrstva chránící před zadřením kroužku s válcem. Modelování toku plynů je tedy důležité pro zjištění teoretických nežádoucích účinků prostupu plynů před možnými katastrofálními následky použitím nevhodných pístních kroužků v praxi. [2,11]

Ke stanovení profuku přes pístní skupinu se používá labyrintový model graficky znázorněný na obrázku 18. Tento model a dále zmíněné rovnice pro výpočet jsou použity pro výpočet průběhu tlaků přes pístní skupinu implementovaný ve vlastním návrhu grafického rozhraní popsaném v kapitole 3. Výpočet tlaku plynů zámkem pístního kroužku vychází z rovnice pro hmotnostního toku plynů malým otvorem. Pro řešení hmotnostního toku plynů potřebujeme znát tlak plynů ve spalovacím prostoru válce, teplotu těchto plynů, poissonovu konstantu těchto plynů, geometrické rozměry pístu, kroužku a válce, a provozní podmínky motoru. Se znalostí hmotnostního toku určíme ze stavové rovnice ideálního plynu tlak plynů za prvním pístním kroužkem. Pro určení tlaku plynů v drážce prvního kroužku je použita rovnice pro Poiseuilleovo průtok. Tyto rovnice jsou použity i pro výpočet tlaku plynu v dalších oblastech, přičemž tlak v mezeře mezi druhým a třetím kroužkem je považován za tlak atmosférický, protože bylo experimentálně zjištěno, že se tlak v tomto prostoru této hodnotě blíží. Pro stanovení tlaku plynů je nutné znát v každém prostoru teplotu plynů, která jsou pro výpočet použity v grafickém rozhraní určeny experimentálně z teploty pístu v daných oblastech. [10,11]



Obrázek 18. Labyrintový model pro výpočet Blow-by, zdroj [vlastní]



Kritické proudění plynu [11]:

$$\frac{p_2}{p_0} \leq \frac{p_k}{p_0}, \quad (2)$$

kde p_0 je tlak plynů ve spalovacím prostoru, p_2 tlak plynů pod kroužkem, p_k/p_0 je kritický tlakový poměr.

Podkritické proudění plynu [11]:

$$\frac{p_2}{p_0} > \frac{p_k}{p_0}. \quad (3)$$

Kritický tlakový poměr [11]:

$$\frac{p_k}{p_0} = \left(\frac{\kappa}{\kappa+1} \right)^{\frac{\kappa}{\kappa-1}}. \quad (4)$$

Výpočet hmotnostního toku plynu zámkem kroužku pro podkritické proudění plynu [10]:

$$\dot{m} = SC_d p_0 \sqrt{\frac{2}{RT_0}} \sqrt{\frac{\kappa}{\kappa-1} \left[\left(\frac{p_2}{p_0} \right)^{\frac{2}{\kappa}} - \left(\frac{p_2}{p_0} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \right]}, \quad (5)$$

kde S je průřez zámkem kroužku, C_d je koeficient průtoku, R je univerzální plynová konstanta a T_0 je teplota plynů ve spalovacím prostoru.

Výpočet hmotnostního toku plynu zámkem kroužku pro kritické proudění [10]:

$$\dot{m} = SC_d p_0 \sqrt{\frac{2}{RT_0}} \sqrt{\frac{\kappa}{\kappa+1} \left(\frac{2}{\kappa+1} \right)^{\frac{\kappa}{\kappa-1}}}. \quad (6)$$

Pro výpočet tlaku plynů v jednotlivých objemech se použije stavová rovnice ideálního plynu: [11]

$$p_2 = \frac{RT_2}{V_2} (m + \dot{m} \Delta t), \quad (7)$$

kde T_2 je teplota měřením daná hodnota teploty pístu použita jako teplota plynů v místě pod kroužkem, V_2 je objem oblasti pod kroužkem, m je hmotnost plynu a t je čas.

Tok plynu tenkou mezerou mezi drážkou a kroužkem [10]:

$$\dot{m} = \frac{(p_0 - p_1)}{24 \eta_{\text{plyn}} R T_1 \int_{x_a}^{x_b} \frac{dx}{h^3}}, \quad (8)$$

kde η_{plyn} je dynamická viskozita, h je výška oblasti průchodu plynů.

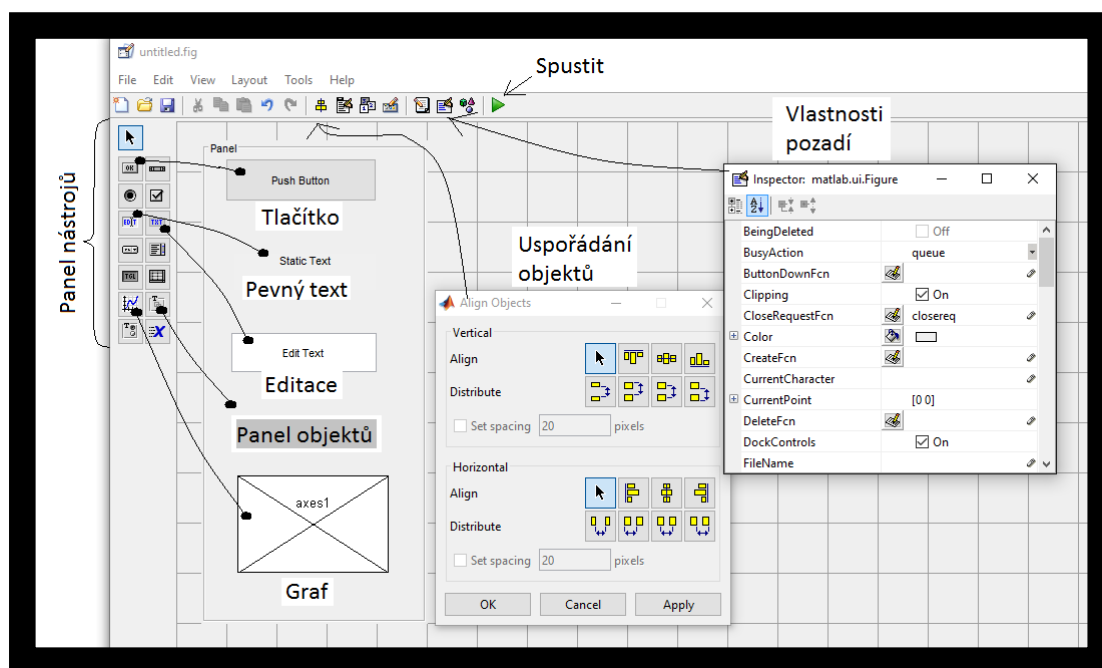


3 GRAFICKÉ UŽIVATELSKÉ ROZHRAŇÍ¹

Grafické uživatelské rozhraní (dále GUI) je uživatelské rozhraní sestavené z grafických objektů, například tlačítka, editace, grafy apod. Je to vlastně rozhraní mezi uživatelem a aplikací podřízeným kódem. GUI umožňuje jeho použití uživatelem bez znalosti práce s příkazovou řádkou programu Matlabu. GUI lze vytvořit v příkazovém řádku ručně (popsáno v kapitole 3.4.1 kód (K.4), což je mnohem komplikovanější než využít příkaz Guide, který je součástí programu a spustíme jej zapsáním do příkazového řádku. Otevře se nám okno s možností otevření nového GUI. Pokud by bylo potřeba ve dříve vytvořeném okně provádět grafické změny, je to možné také pomocí příkazu `guide`. Po vytvoření nového rozhraní se automaticky vytvoří dva soubory, grafické okno (soubor s příponou `fig`) a `m-file` (soubor s příponou `m`) ve kterém se vypisují příkazy pro objekty vytvořené v grafickém okně. Každému objektu, který do rozhraní vložíme, se automaticky vytvoří vlastní funkce v `m-file`, ke které se v GUI odkazujeme přes vlastnosti prvku, konkrétně přes `Tag` (Název) prvku. Po vypsání všech požadovaných příkazů pro správnou funkci GUI spustíme funkční uživatelské rozhraní tlačítkem `run` (zelená šipka) v panelu nástrojů.

3.1 ÚVOD DO TVORBY GRAFIKY

Při spuštění nového GUI se nám zobrazí okno s šedým pozadím včetně mřížky a panelem nástrojů, se kterým máme neomezené možnosti grafického ztvárnění požadovaného funkčního grafického rozhraní. Na obrázku 19 jsou zobrazeny funkce použité ve vlastním návrhu.

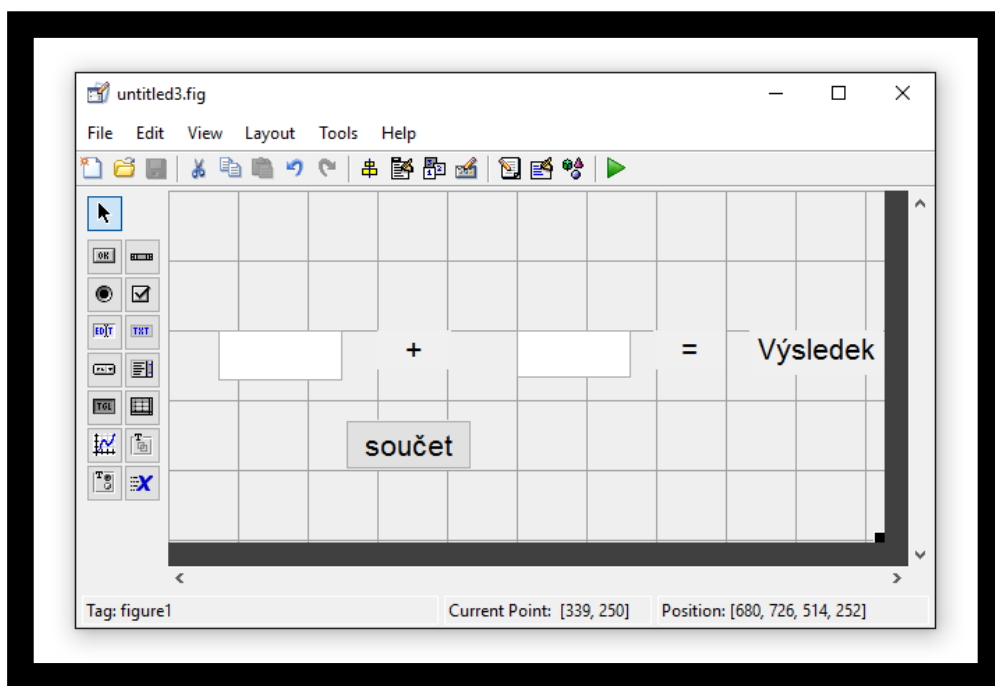


Obrázek 19. Popis grafického prostředí, zdroj [vlastní]

¹ MathWorks [online]. UNITED STATES: The MathWorks, Inc., 1994 [cit. 2016-05-23]. Dostupné z: <http://www.mathworks.com/>



Pokud se bude v budoucím grafickém rozhraní nacházet větší množství objektů, je vhodné vytvořit několik panelů, pomocí kterých můžeme s několika objekty pohybovat zároveň a můžeme se na celý panel odkazovat v souboru m-file. Do panelů, i na samotné pozadí okna, můžeme vkládat tlačítka, jejichž hlavním úkolem je spustit funkci, která je vypsána příslušným kódem v programovací části GUI. Dalším použitým nástrojem je pevný text, který převážně slouží k pojmenování různých objektů nebo popisu jejich funkcí. Může být také použit například při zobrazení obrázku, který uživatel v grafickém rozhraní otevře, pro vypsání cesty k danému obrázku. Jak je z názvu zřejmé, že objekt nemůže být uživatelem přepsán. Opakem toho je nástroj editace, kterým se vytvoří objekt, který je uživatelem editovatelný. Například účelem grafického rozhraní je součet dvou čísel s vypsáním výsledku. Grafické okno obsahuje dvě editace, několik objektů pevný text a tlačítko. Uživatel do editací vypíše dvě čísla a při stisknutí tlačítka opatřeného v m-file kódem pro součet proběhne výpočet a v pevném textu se zobrazí výsledek. Uživatel může tato dvě čísla změnit a dalším stisknutím tlačítka proběhne nový výpočet, který předcházející přepíše. Jedině tímto způsobem může uživatel změnit pevný text. Příklad grafického nastavení po tuto funkci je znázorněno na obrázku 20. Naprogramování funkce tohoto grafického rozhraní je popsáno v další kapitole.



Obrázek 20. Grafické rozhraní pro součet čísel, zdroj [vlastní]

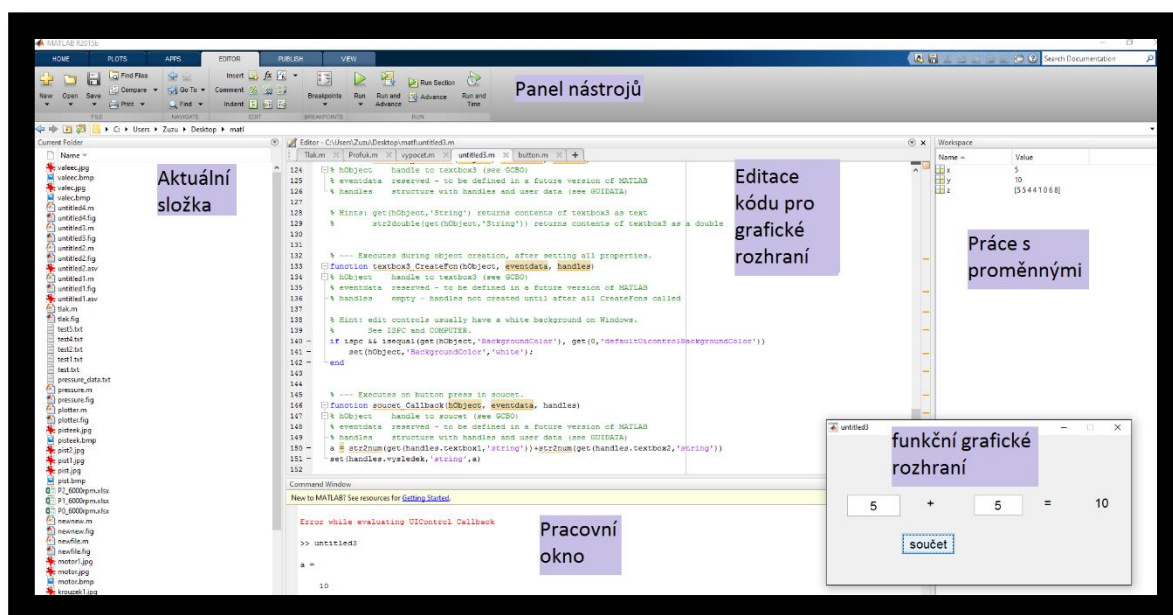
Nástroj graf se může používat pro zobrazení obrázku nebo vykreslení grafu. Pro zobrazení obrázku postačí v požadovaném okně změnit velikost. Pro zobrazení grafu jsou dvě možnosti, buď může tvůrce grafického rozhraní upravit vlastnosti grafu v grafickém rozhraní (velikosti os, barva grafu, barva os, vložení popisků apod.), nebo vypsáním kódu v programovací části. Pokud jsou na ploše všechny požadované objekty je vhodné je rovnoměrně rozmístit. K tomu slouží nástroj pro uspořádání objektů umístěný v hlavní liště nástrojů (viz obrázek 19). Objekty mohou být rozmístěny podle jejich okraje a to horizontálně nebo vertikálně, nebo podle určité vzdálenosti mezi objekty. Nástroj vlastnosti pozadí (viz obrázek 19) se týká hlavního okna



grafického rozhraní a tyto vlastnosti se dají také spustit poklepáním na plochu pozadí. Příkaz spustit (viz obrázek 19) v podobě zelené šipky na hlavní liště nástrojů má funkci spustit návrh jako funkční grafické rozhraní. Pokud pouze nastavíme vzhled bez vypsání příkazu jednotlivých objektů, bude zobrazené grafické rozhraní nečinné. Nastavení pro požadované funkce je nutné provést v m-file.

3.2 ÚVOD DO TVORBY M-FILE

Kódy pro příslušné objekty v grafickém rozhraní jsou vypsány do programovací části Matlabu, což je prostor Editace. V Editaci můžeme mít otevřených více souborů, mezi kterými můžeme přecházet poklepáním na konkrétní panel. Pro úspěšné spuštění grafického rozhraní (příkaz Spustit ve tvaru zelené šipky v panelu nástrojů) musí být v prostoru Aktuální složka otevřena složka, ve které se soubor, který má být spuštěn, nachází. Pokud tomu tak není, při spuštění konkrétního souboru se objeví okno s možností změnit požadovanou složku. V poli Práce s proměnnými mohou být uloženy proměnné s určitou hodnotou a je možné propojit tento prostor s vytvořeným grafickým rozhraním například pro uložení vypočtených hodnot, které se při výpočtu zobrazí v Pracovním okně.



Obrázek 21. Popis prostředí Matlabu, zdroj [vlastní]

Pokud je pro funkci určitého objektu vypsán nesprávný kód, je po spuštění souboru obsahující tento kód a stisknutí tohoto objektu v Pracovním okně vypsána chyba a umístění této chyby. V případě grafického rozhraní zobrazeného na obrázku dole je chyba v příkazu `get` a umístění této chyby je naznačeno vypsáním konkrétního řádku a pozici. Pokud je kód vypsán správně, proběhne požadovaný výpočet a hodnota proměnné je vypsána v Pracovním okně. Pro smazání obrazovky Pracovního okna je použit příkaz `clc`, který je potvrzen stisknutím klávesy `enter`.

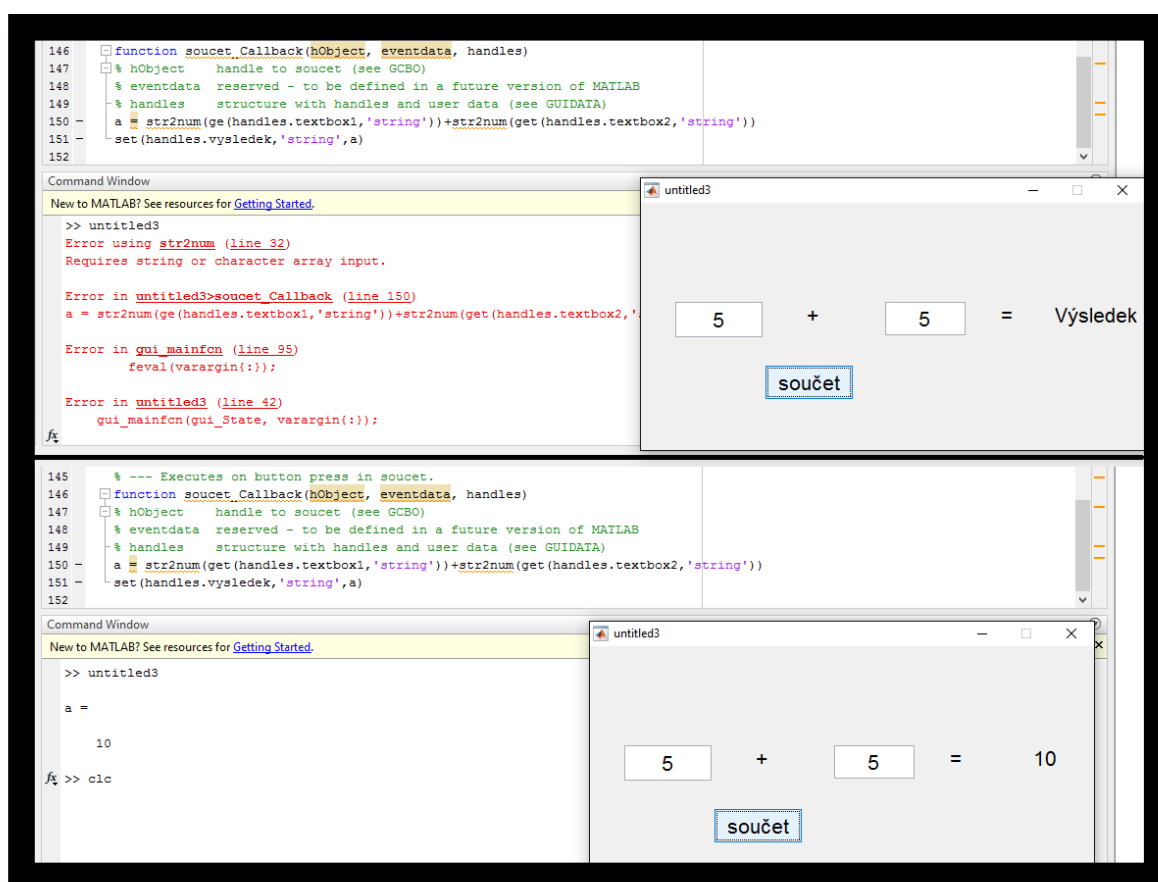


Příklad kódu pro součet (K.1):

```
function soucet_Callback(hObject, eventdata, handles)

a = str2num(get(handles.textbox1,'string')) + ...
str2num(get(handles.textbox2,'string'));
set(handles.vysledek,'string',a);
```

Pokud nastane, že potřebný příkaz je delší než jeden řádek v poli Editace kódu, oddělíme dva řádky pro jeden kód třemi tečkami na prvním řádku. Každý příkaz musí být zakončen středníkem.



Obrázek 22. Popis funkce příkazového řádku při použití grafického rozhraní, zdroj [vlastní]

3.3 VLASTNÍ NÁVRH GUI – ZADÁVÁNÍ VSTUPNÍCH PARAMETRŮ

Vlastní návrh na základě zadaných požadavků na vytvoření rozhraní pro zápis hodnot důležitých na výpočet průběhu tlaku plynů přes pístní skupinu se skládá ze tří panelů obsahující pevné texty určující editace proměnných pro zadávání hodnot a obrázky zobrazující umístění



těchto proměnných. Panel pro zadávání parametrů motoru, což jsou otáčky motoru, zdvih, vrtání válce, teploty oblastí mezi pístními kroužky a drážkami a atmosférický tlak. Panel pro zadávání parametrů pístu, což jsou průměry a výšky můstků a drážek. Panel pro zadávání parametrů kroužků, což jsou axiální výšky, radiální šířky a vůle zámků kroužků. Tlačítkem Otevřít načteme průběh hodnot tlaků ve spalovací komoře. Pro výpočet nutné hodnoty by měli být vypsány do prázdných políček, které stlačením tlačítka Uložit budou zapsány do textového editoru. Tlačítko Načíst můžeme použít na vypsání hodnot do prázdných příslušných políček, pokud už máme stávající soubor s požadovanými hodnotami. Tlačítko Výpočet spustí výpočet průběhu tlaků a hodnoty uloží do souboru Excel. Tlačítko Výsledky spustí nové okno s grafickým zobrazením vypočtených hodnot tlaků. Podrobnější popis funkcí je v následujících kapitolách.

ZADÁVÁNÍ VSTUPNÍCH PARAMETRŮ

PARAMETRY MOTORU

Otáčky
 $n =$ [] [min⁻¹]
 Vrtání válce
 $\phi D =$ [] [m]
 Zdvih
 $z =$ [] [m]
 Teploty
 $T_0 =$ [] [K]
 $T_1 =$ [] [K]
 $T_2 =$ [] [K]
 $T_3 =$ [] [K]
 $T_4 =$ [] [K]
 Tlak ve spalovací komoře
 $P_4 =$ [] [Pa]
 Atmosférický tlak
 $P_a =$ [] [Pa]

PARAMETRY PISTU

Průměr horního můstku
 $\phi d_1 =$ [] [m]
 Průměr 1. drážky
 $\phi d_2 =$ [] [m]
 Průměr 1. můstku
 $\phi d_3 =$ [] [m]
 Průměr 2. drážky
 $\phi d_4 =$ [] [m]
 Průměr 2. můstku
 $\phi d_5 =$ [] [m]
 Průměr 3. drážky
 $\phi d_6 =$ [] [m]
 Průměr 3. můstku
 $\phi d_7 =$ [] [m]
 Výška horního můstku
 $b_1 =$ [] [m]
 Výška 1. drážky
 $b_2 =$ [] [m]
 Výška 1. můstku
 $b_3 =$ [] [m]
 Výška 2. drážky
 $b_4 =$ [] [m]
 Výška 2. můstku
 $b_5 =$ [] [m]
 Výška 3. drážky
 $b_6 =$ [] [m]

PARAMETRY KROUŽKŮ

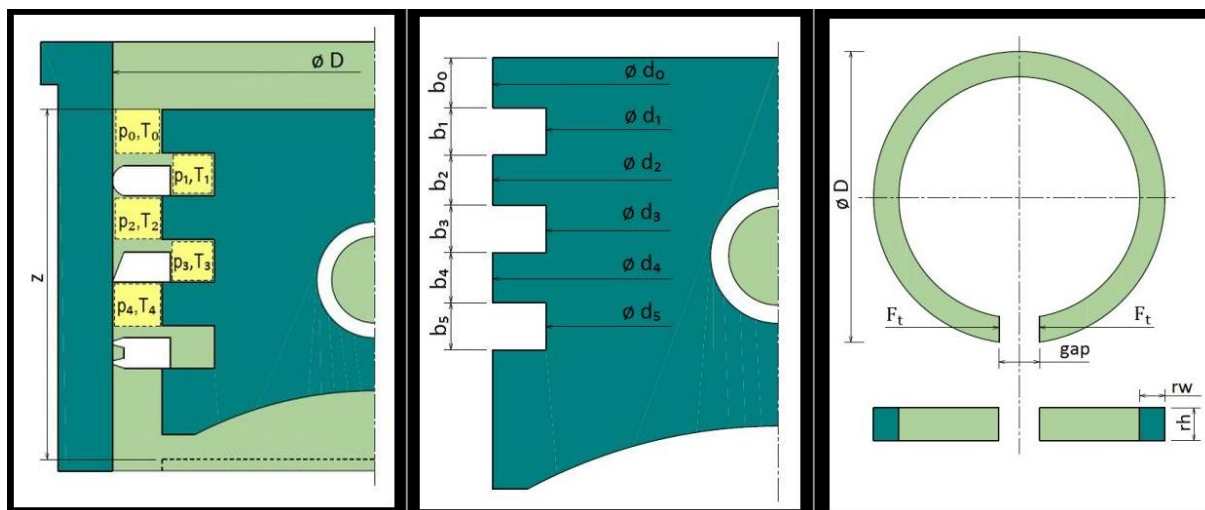
Axiální výška 1. kroužku
 $rh_1 =$ [] [m]
 Radiální tloušťka 1. kroužku
 $rw_1 =$ [] [m]
 Vůle 1. kroužku v namontovaném stavu
 $gap_1 =$ [] [m]
 Axiální výška 2. kroužku
 $rh_2 =$ [] [m]
 Radiální šířka 2. kroužku
 $rw_2 =$ [] [m]
 Vůle 2. kroužku v namontovaném stavu
 $gap_2 =$ [] [m]
 Axiální výška 3. kroužku
 $rh_3 =$ [] [m]
 Radiální šířka 3. kroužku
 $rw_3 =$ [] [m]
 Vůle 3. kroužku v namontovaném stavu
 $gap_3 =$ [] [m]

Parametry motoru
 Parametry pístu
 Parametry kroužku

Uložit Načíst Výpočet Výsledky

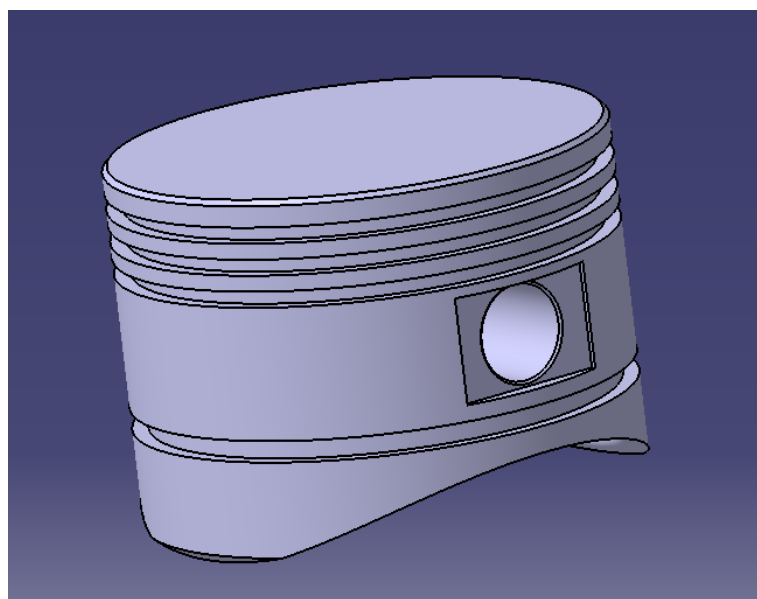
Obrázek 23. Vlastní návrh grafického rozhraní pro zadávání parametrů, zdroj [vlastní]

Na levé straně je obrázek zobrazující řez válce, pístu a pístních kroužků s kótami potřebných rozměrů a vyznačenými oblastmi tlaků v drážkách za pístem a mezi kroužky. Druhým tlačítkem pod obrázkem zobrazíme řez pístu s vypsány kótami a posledním tlačítkem průřez a pohled na pístní kroužek v namontovaném stavu.



Obrázek 24. Použité obrázky ve vlastním návrhu grafického rozhraní pro zadávání parametrů, zdroj [vlastní]

Obrázky byly vypracovány z vytvořeného modelu pístu (na obrázku) v programu Catia (Part design). Vytvořený model byl promítnut do kreslení výkresů v Catii (Drafting), po použití funkce řezu byl tento řez upraven pomocí výplně barev, ohrazení částí různých tlaků a teplot a kótami. Popisky kót musely být upraveny v jiném programu kvůli indexům popisujících různé průměry, teploty a tlaky.



Obrázek 25. Model pístu pro tvorbu obrázku ve vlastním návrhu grafického rozhraní pro zadávání parametrů, zdroj [vlastní]



3.3.1 VLOŽENÍ OBRÁZKU

Nejprve je do plochy GUI vložen objekt *axes* (osy), což je vlastně ohraničený prostor pro vytvoření grafu nebo vložení obrázku. Jeho velikost je určena natažením prvku do požadované velikosti nebo nastavením pozice a velikosti ve vlastnostech. Vlastnosti prvku jsou otevřeny poklepnutím na daný prvek. Jak už bylo zmíněno, nejdůležitější je kolonka *Tag* ve vlastnostech, proto je doporučeno nejprve změnit její původní označení pro přehlednost při psaní kódu. Pro zobrazení obrázku musí být vytvořen jeho spouštěč, což bývá obvykle prvek *pushbutton* (tlačítko), *radiobutton* (tlačítko) nebo *slider* (posuvník). Opět může být měněna jejich velikost, umístění a vzhled ve vlastnostech objektu. V editoru v pracovním prostředí je vybrána příslušná funkce tlačítka *function Tag (náš název)_Callback*, který se v m-file vytvoří po uložení grafického rozhraní, a kde je vypsáním kódu zajištěno, aby prvek v GUI splnil požadovaný úkol. Příkaz *imread* načte do proměnné *x* požadovaný obrázek a ta je uložena do paměti Matlabu, ale pouze pro funkci daného objektu. Za tímto příkazem v závorce je vypsán do uvozovek název obrázku. Matlab umí pracovat s nejpoužívanějšími grafickými formáty (jpg, png, tiff, gif). Příkaz *imshow* vloží obrázek do prostoru prvku *axes* a za tento příkaz do závorky je vypsána příslušná proměnná, ve které je daný obrázek uložen. V GUI se nepřizpůsobí rozlišení obrázku velikosti prvku *axes*, proto je nutné upravit rozlišení tohoto obrázku podle velikosti objektu *axes*. Při spuštění grafického rozhraní je objekt zobrazen stejně, jako vypadal při tvorbě rozhraní. Teprve až po stisknutí příslušného tlačítka je v prostoru objektu *axes* zobrazen daný obrázek. Je-li požadováno zobrazení obrázku při spuštění GUI, musíme vypsát daný kód do *function Navez_GUI_OpeningFcn* umístěné na začátku skriptu m-file, která spojuje všechny vytvořené prvky v GUI a kde jsou vypsány všechny příkazy požadované při spuštění. Pro úspěšné zobrazení obrázku musí být v pracovním adresáři Matlabu otevřena složka obsahující soubor GUI a obrázek. Pro použití jednoho ohraničeného prostoru pro zobrazení většího počtu obrázků, musíme vytvořit příslušný počet tlačítek, u každého z nich musí být vypsán výše zmíněný kód, ve kterém se budeme odkazovat na jiný obrázek uložený do nové proměnné. Pokud by v grafickém rozhraní bylo více objektů *axes*, musíme v příslušném tlačítku pro zobrazení obrázku určit, ve kterém objektu má být obrázek zobrazen. Toto určíme kódem (K.4) vypsáním na prvním řádku pod funkcí tlačítka. Slovo *picture* zde odkazuje na *tag* příslušného *axes*.

Kód pro zobrazení obrázku spuštěním tlačítka (K.2):

```
function picture_motor_Callback(hObject, eventdata, handles)
x = imread('motor.jpg');
imshow(x);
```

Kód pro zobrazení obrázku při spuštění GUI (K.3):

```
function Profuk_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
x = imread('motor.jpg');
imshow(x);
```

Kód pro zobrazení obrázku při použití více objektů *axes* (K.4):

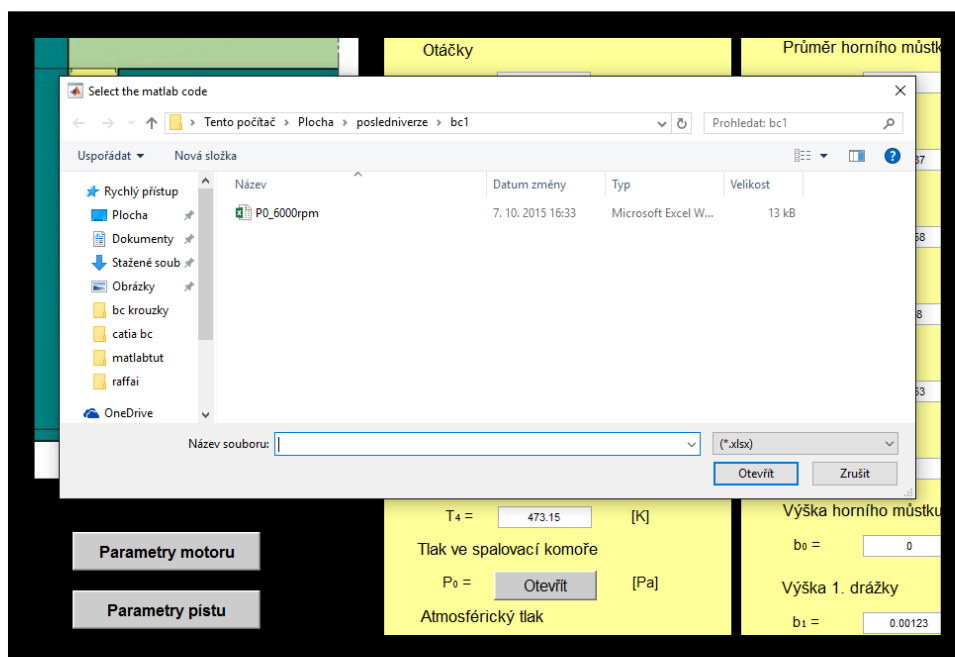
```
function picture_piston_Callback(hObject, eventdata, handles)
axes(handles.picture);
x = imread('pist.jpg');
imshow(x);
```

3.3.2 NAČTENÍ HODNOT ZE SOUBORU

Ve vlastním návrhu je načtení hodnot ze souboru spuštěno pomocí prvku *pushbutton* (tlačítko) s názvem Otevřít, které je umístěné v grafickém rozhraní, a po jeho stisknutí se hodnoty ze souboru pomocí matice uloží do paměti Matlabu. Opět, pokud nebude kódem dáno jinak, bude možno s hodnotami pracovat pouze ve funkci tohoto tlačítka. Pro použití hodnot v celém skriptu m-file a tedy ve všech jeho funkcích vytvořených objekty v grafickém rozhraní je nutné funkci tohoto tlačítka opatřit příslušným kódem *guidata(hObject,handles)* a soubor hodnot opatřit příkazem *handles* a tím uložit do globální proměnné. První řádek níže zobrazeného kódu je výběr souboru, který chceme otevřít, pomocí příkazu *uigetfile*. *Filename*, *pathname* je uložení načteného souboru do matice obsahující název souboru a cestu k němu. V závorce za příkazem *uigetfile*, je zapsáno, jaký typ souborů se nám má nabídnout a ze které složky má proběhnout výběr. Tyto načtené data jsou uloženy do proměnné opatřené *handles* pomocí příkazu *xlsread*. Tento příkaz slouží k načtení hodnot ze souboru Excel a v kulaté závorce je vypsána proměnná obsahující načtená data. *Guidata(hObject,handles)* vypíšeme na poslední řádek příslušné funkce.

Kód pro načtení hodnot ze souboru (K.5):

```
function open_Callback(hObject, eventdata, handles)
[FileName,PathName] = uigetfile('*.xlsx','Select the matlab code');
handles.P0 = xlsread([PathName,FileName]);
guidata(hObject,handles);
```



Obrázek 26. Funkce tlačítka otevřít, zdroj [vlastní]

3.3.3 ULOŽENÍ HODNOT

Poté co jsou vypsány číselné hodnoty do prvku *edit text* (prázdných políček) jednotlivých proměnných, jsou po stlačení daného tlačítka uloženy do paměti Matlabu a zároveň do námi zvoleného souboru. Pokud nejsou nutné k výpočtu všechny proměnné, do nepotřebných políček



musí být vypsána nula. Pokud by tomu tak nebylo, hodnoty by se při výpočtu přiřadily k nesprávným proměnným. Nejprve jsou všechna políčka pro vkládání textu přehledně pojmenována (*tag*), při větším množství proměnných je zachování stávajícího názvu nepraktické. Nejlépe podle názvu parametru, který je vypsán do prvku *static text* (stálý text) vedle prázdného políčka a který už nemůžeme po spuštění měnit. Potřebný kód pro výše zmíněnou úlohu je vypsán do *callback* funkce daného tlačítka. V kódu (K.6) je nejprve vypsán název, pomocí kterého se na něj dále budeme odkazovat. Matlab pracuje s hodnotami v prvku *edit text* jako s textem, je nutné použít příkaz *str2num*, který převede text na číslo. V závorce je příkaz *get*, určující, že hodnoty jsou načteny a ne vypsány. V závorce příslušící tomuto příkazu pomocí *handles* určíme ze kterého pole má být hodnota převedena. V prvním odstavci kódu (K.7) je příkaz pro vytvoření souboru, do kterého mají být hodnoty uloženy a v druhém odstavci výpis toho, co má být v souboru vypsáno. Pomocí příkazu *uiputfile* bude otevřeno okno s nabídkou souborů, kde je možnost textový soubor do kterého ukládáme pojmenovat, nebo přepsat už stávající soubor. V závorce za tímto příkazem musí být vypsáno, do jakého typu souboru mají být hodnoty uloženy a v dalších uvozovkách určeno kde bude nový soubor uložen. *Select the matlab code* zde znamená, že bude otevřena aktuální složka v programu matlab, tzn. složka, ve které se nachází tvořený m-file. Tento příkaz je uložen do matice obsahující název složky a název textového souboru. V druhém řádku je tato matice převedena do řetězce a uložena do proměnné *filestr*. Příkaz *sprintf* spojí dva názvy uložené v matici do jednoho řetězce. Dvakrát vypsání *%s* udává, že jde o dvě hodnoty, které mají být spojeny. Dále je vytvořena nová proměnná obsahující příkaz *fopen*, kterým je otevřen textový soubor uložený do proměnné *filestr*, a písmeno *w* v uvozovkách značí, že je tento soubor určen pro psaní. Pomocí příkazu *fprintf* vypíšeme do textového souboru hodnoty. Proměnná obsahující odkaz na tento soubor musí být vypsána v závorce na prvním místě. V uvozovkách za touto proměnnou je vždy vypsáno procento. Aby příslušný řádek byl považován programem za komentář, musí být vypsána dvě procenta. Vypsání *%s* udává, že má být vypsán jeden řetězec uložený v proměnné vypsání bez uvozovek na konci v dané závorce. Část kódu v uvozovkách opatřeném obráceným lomítkem značí odřádkování. Ve čtvrtém řádku kódu pro výpis hodnoty z editace můžeme nastavit nakolik desetinných míst, na které má být hodnota zaokrouhlena vložením tečky, za kterou je vypsáno počet desetinných míst a písmeno *f* určuje, že jde o desetinné číslo. Na konci závorky je v závorce vypsána proměnná, ve které je uložena hodnota z dané editace. Při vložení souboru do programu Matlab budou pomocí tohoto zápisu načteny pouze hodnoty editací z grafického rozhraní.

Kód pro výběr obsahu políčka a přepis textu na číslo (K.6):

```
function save_Callback(hObject, eventdata, handles)

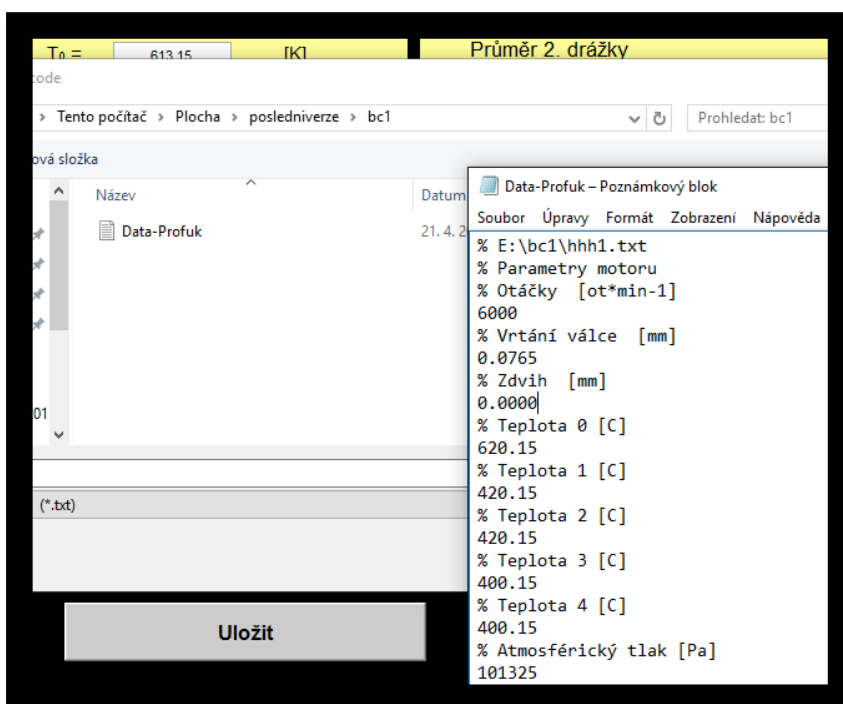
speed = str2num(get(handles.speed, 'string'));
D = str2num(get(handles.D, 'string'));
```



Kód pro uložení hodnot do souboru (K.7):

```
[FileName, PathName] = uiputfile('*.txt', 'Select the matlab code');
filestr = sprintf('%s%s', [PathName, FileName]);
fid = fopen(filestr, 'w');

fprintf(fid, '%s %s \r\n', filestr);
fprintf(fid, '%s Parametry motoru \r\n');
fprintf(fid, '%s Otáčky [ot*min-1] \r\n');
fprintf(fid, '%.0f \r\n', (speed));
fprintf(fid, '%s Vrtání válce [mm] \r\n');
fprintf(fid, '%.4f \r\n', (D))
```



Obrázek 27. Funkce tlačítka otevřít, zdroj [vlastní]

3.3.4 NAČTENÍ HODNOT

Pokud jsou hodnoty již dříve uloženy do textového dokumentu, je zde možnost z něj načíst hodnoty a vložit je do daných editací. Podmínkou je, aby potřebné hodnoty byly v pořadí ve sloupci podle pořadí objektů v grafickém rozhraní a místo hodnot, které zatím nejsou potřebné pro výpočet, byly v daném pořadí vypsány nuly. V příslušné *callback* funkci daného tlačítka je vypsán kód pro výběr textového souboru ze kterého se budou čerpat hodnoty (K.8). V hranatých závorkách je vypsána matice obsahující název souboru a cestu k němu, do které se uloží data. *Uigetfile* je příkaz pro vyjmutí dat ze souboru. V kulaté závorce je nejdříve určeno, který typ souborů má být při výběru nabídnut, v dalších uvozovkách je určeno ze které složky bude nabídka čerpat. Pomocí příkazu *importdata*, za nímž je v závorce vypsána proměnná obsahující hodnoty, načteme hodnoty do proměnné *input*, pomocí které budeme hodnoty vkládat do editací. Část kódu pro vložení načtených hodnot do editací v rozhraní je vypsán v kódu (K.9).



Pro vložení hodnot do příslušných editací je použit příkaz `set(handles.speed, 'string', INPUT.data(1))` (speed je v tomto případě *tag* políčka) určí do kterého pole má být hodnota vložena. Prostřední část kódu *string* převede číslo na řetězec a poslední část kódu `INPUT.data(1)` znamená, že do editace *speed* je vložena první hodnota ze souboru.

Kód pro výběr složky (K.8):

```
function load_Callback(hObject, eventdata, handles)

[FileName, PathName] = uigetfile('*.txt', 'Select the matlab code');
INPUT = importdata([PathName, FileName]);
```

Kód pro vložení hodnot do proměnných v rozhraní (K.9):

```
set(handles.speed, 'string', INPUT.data(1));
set(handles.D, 'string', INPUT.data(2));
```

3.4 IMPLEMENTACE ZDROJOVÉHO KÓDU VÝPOČTU

Zdrojový kód výpočtu byl vytvořen panem ing. Raffaiem a byl mi poskytnut pro uskutečnění této práce. Mým příspěvkem je začlenění tohoto výpočtu do vlastního grafického rozhraní. Toto začlenění proběhlo v několika krocích. Pro uskutečnění výpočtu je nutné do příslušné callback funkce výpočtu načíst potřebné hodnoty z editací v grafickém rozhraní, načtení tlaků ve spalovacím prostoru a vložení samotného výpočtu. Původní výpočet obsahoval pevný příkaz pro otevření konkrétních hodnot tlaků ve spalovacím prostoru. Aby bylo možné pro tento výpočet použít i jiné hodnoty tlaků, které máme možnost si vybrat pomocí tlačítka *otevřít*, viz Kapitola 3.1.3 kód (K.4), je callback funkce *otevřít* opatřena strukturou *handles*, která pomocí `guidata(hObject, handles)` uloží hodnoty do globální proměnné. Ve funkci tlačítka výpočet je pouze zapsán odkaz na tento *handles* pomocí `handles.P0` a uložení do proměnné, která ve výpočtu představuje tyto tlaky, což je proměnná se stejným názvem. Pokud je ve funkci tlačítka použita struktura *handles*, musí být na posledním řádku této funkce vypsán příkaz `Guidata(hObject, handles)`.

Kód pro výběr tlaků zvolených jinou callback funkcí (K.10):

```
P0 = handles.P0;
```

V původním zdrojovém kódu byl vypsán kód pro uložení do souboru Excel s názvem obsahující název oblasti, ve které zadaný i vypočtený průběh tlaků probíhá a velikost otáček motoru. Aby do názvu mohla být vložena hodnota, která je do výpočtu vložena jako číslo, musí být pomocí `num2str` převedena na řetězec. Všechny tyto vypočítané průběhy tlaků s názvy P1 – P4 musí být opatřeny strukturou *handles* pro použití hodnot v dalších callback funkcích mého grafického rozhraní, konkrétně tedy v části vyhodnocení výsledků.

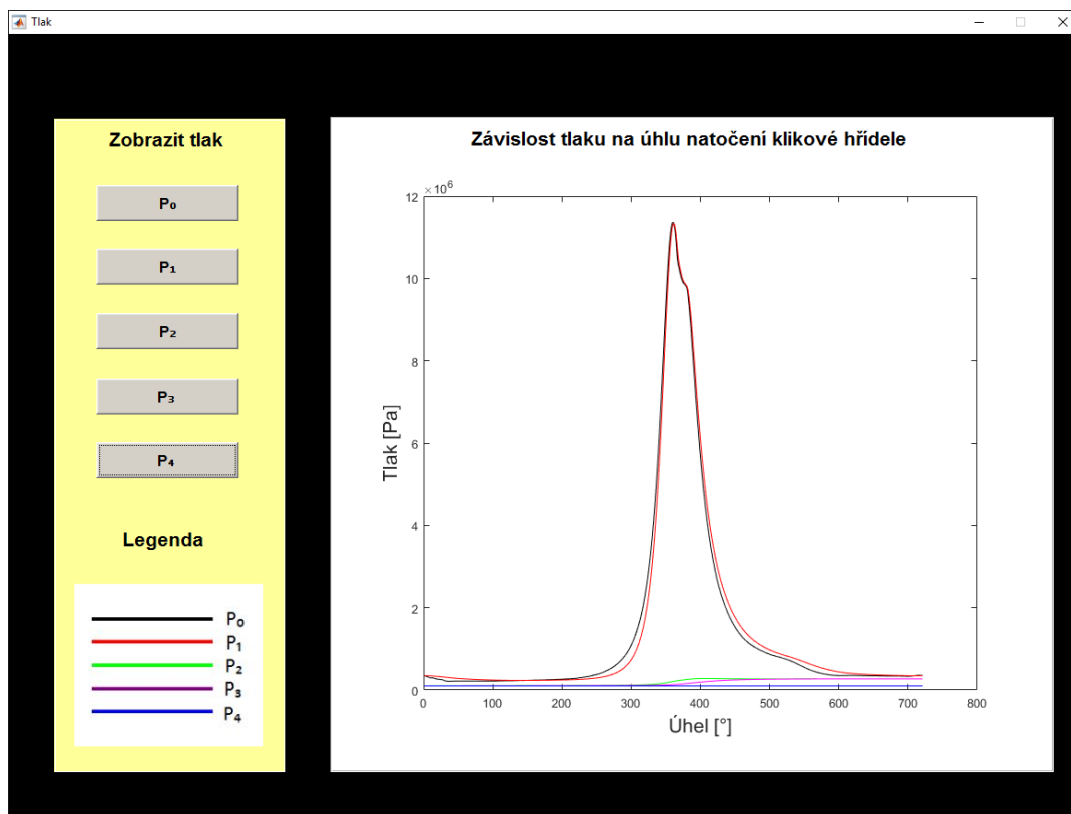
Kód pro uložení vypočtených hodnot do souboru Excel (K.11):

```
filename = ['P1_', num2str(speed), 'rpm.xlsx'];
P1 = P1(1:(1/step):end);
handles.P1 = P1;
xlswrite(filename, P1);
```



3.5 NÁVRH GUI - VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

V této fázi jsou vypočteny potřebné hodnoty průběhu tlaků všech zadaných oblastí a jsou uloženy do souboru Excel. Jsou to ovšem hodnoty pro každý jeden stupeň otáčky klikové hřídele a proto není možné zhodnotit správnost výpočtu pouhým přechtením hodnot. Je proto vytvořeno tlačítko Výsledky, které po stlačení spustí nové okno grafického uživatelského rozhraní.



Obrázek 28. Vlastní návrh grafického rozhraní pro zobrazení výsledků, zdroj [vlastní]

3.5.1 SPUŠTĚNÍ NOVÉHO OKNA

Otevřít tlačítkem v grafickém rozhraní nové okno je možné dvěma způsoby. První možností je naprogramování v příkazovém řádku ručně. To znamená, že není vytvořené editovatelné okno, ale pozice, funkce a velikosti objektů jsou nastaveny v příkazovém řádku m-file. V příkazovém řádku je vytvořena proměnná s názvem *x*, do které se uloží otevření nového okna příkazem *figure*. Pokud jí má být určena nějaká vlastnost musí být v závorce nejdříve v uvozovkách vypsáné, o kterou vlastnost se jedná, a v dalších uvozovkách požadovaná vlastnost. Pokud je nové okno pojmenováno graf, automaticky bude otevřeno okno s názvem *figure1graf*, proto je nutné toto automatické pojmenování vypnout. To je uskutečněno příkazem *set*, v závorce na prvním místě je určeno o kterou proměnnou se jedná, za ní v prvních uvozovkách je určeno o kterou vlastnost se jedná, což je automatický název okna, a v dalších uvozovkách je vypsána požadovaná vlastnost, tedy vypnutí automatického názvu. Do další proměnné je uloženo otevření panelu příkazem *uipanel*. Poloha panelu je zadána čtyřmi čísly, tečky před čísly znamenají, že jde o zaplnění plochy okna panelem v procentech. První a druhé číslo určí umístění levého spodního rohu, pokud to budou nuly, bude panel umístěn v levém dolním rohu

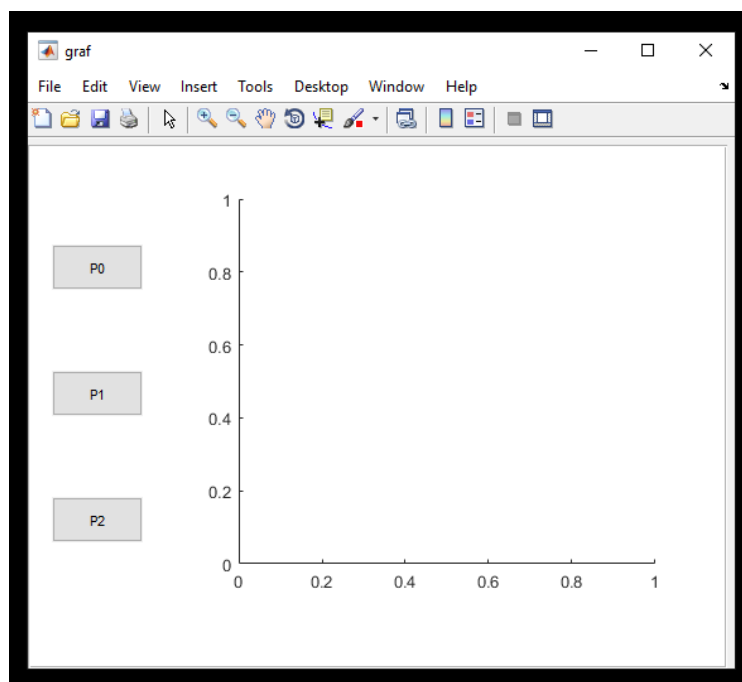


okna. Druhá dvě čísla určují umístění pravého horního rohu panelu. Pro vytvoření tlačítka je v proměnné vypsán příkaz `uicontrol`. V závorce, kde určujeme vlastnosti objektu je na prvním místě vypsáno `Parent` v uvozovkách, to znamená, že tlačítko je součástí panelu, za ním je vypsáno o kterou proměnnou obsahující panel se jedná. Zapsání čísel bez teček znamená, že jde o určení pozice v pixelech. Pozice levého spodního rohu je v tomto případě určena prvními dvěma čísly a velikost dalšími dvěma čísly. Tímto způsobem je možno vytvářet grafické rozhraní, avšak funkce k těmto objektům musí být vypsány v tomto kódu. Je tedy zřejmé nakolik je komplikovanější použít tento způsob, než použít programem Matlab vytvořenou aplikaci GUI.

Kód pro naprogramování nového okna v příkazovém řádku ručně (K.12):

```
function display_Callback(hObject, eventdata, handles)

x = figure('name','graf');
set(x,'NumberTitle','off');
y = uipanel('Title','', 'FontSize',12,...
    'BackgroundColor','white',...
    'Position',[.0 .0 .99 .99]);
a = uicontrol('Parent',y,'String','P0',...
    'Position',[18 300 72 36]);
b = uicontrol('Parent',y,'String','P1',...
    'Position',[18 200 72 36]);
c = uicontrol('Parent',y,'String','P2',...
    'Position',[18 100 72 36]);
d = axes('Parent',y,'Position',[.3 .2 .60 .70]);
```



Obrázek 29. Vytvoření nového grafického rozhraní pomocí vypsání kódu v příkazovém řádku *m-file*, zdroj [vlastní]



Spustit tlačítkem nové okno je možné dalším způsobem. Je vytvořen nový m-file a do tlačítka určeného pro spuštění nového okna je vypsán v příkazovém řádku název nového m-file a v závorce za ním *handles*.

Kód pro spuštění nového grafického rozhraní ve stávajícím GUI (K.13):

```
function display_Callback(hObject, eventdata, handles);  
Tlak(handles);
```

3.5.2 SJEDNOCENÍ STRUKTURY HANDLES PRO DVA SKRIPTY

V prvním m-file v příslušném tlačítku pro spuštění druhého grafického rozhraní musí být za názvem druhého skriptu vypsána struktura *handles*, ta odkazuje na všechny hodnoty v *handles* v prvním skriptu. Aby byly hodnoty v těchto handlech poskytnuty i pro druhé rozhraní, musí být uloženy do jednoho *handles* jak je naznačené v kódu (K.14). Opět musíme použít příkaz globální proměnné *guidata(hObject, handles)*.

Kód pro sjednocení dvou skriptů (K.14):

```
function Tlak_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)  
  
handles.output = hObject;  
handles.Hndll = varargin{1};  
  
guidata(hObject, handles);
```

Kód pro zobrazení legendy při spuštění okna Tlak tlačítkem Výsledky (K.15):

```
axes(handles.axes2);  
a = imread('legenda.jpg');  
imshow(a);
```

3.5.3 ZOBRAZENÍ PRŮBĚHU TLAKŮ V GRAFU

V okně grafického rozhraní pro zobrazení grafu je vytvořeno pět tlačítek uložených v panelu včetně legendy grafu a samotného grafu zobrazující průběh tlaků. Legenda grafu je vložena jako obrázek do objektu *axes* a příkaz pro zobrazení obrázku je vypsán v *Tlak_OpeningFcn* (K.15), to znamená, že obrázek je zobrazen při spuštění tohoto okna. Do proměnné *dataset1* jsou vloženy hodnoty tlaků P0 pomocí struktury *handles* mezi dvěma skripty. Osy pro vykreslení jsou určeny v druhém řádku vypsáním příkazu *axes*, v závorce je vypsán odkaz pro použití grafu s názvem *axes1*. Dále je nutné určit hodnoty pro osy x a y. Jde o vykreslení průběhu tlaků pro dvě otáčky klikové hřídele, proto je u osy x nastaven rozsah od 1 do 721 stupňů. Hodnoty pro osu y jsou uloženy v proměnné *dataset1*. Dalším příkazem *plot* je zajištěno vykreslení grafu, kde musí být v závorce vypsány proměnné x a y1. Pokud je potřeba určit jaká čára a barva čára má být použita pro vykreslení grafu jsou tyto údaje vypsány do uvozovek v též závorce. Bez určení druhu čáry je použita čára plná barvy modré. Pro vložení popisu os použijeme příkaz *xlabel* a *ylabel*, kde je v závorce určené pro který objekt *axes* je popis určen. Ve stejné závorce v uvozovkách je vypsán samotný popis osy, v dalších uvozovkách je určena další vlastnost, která má být změněna, v tomto případě velikost písma. Velikost písma je uložena v proměnné *fontsize*, která je vypsána bez uvozovek. Příkazem *hold on* zajistíme, že



po stisknutí dalšího tlačítka zobrazujícího jiný průběh tlaků, původní průběh tlaků zůstane vykreslen v grafu. Pokud nejsou ve vlastnostech grafu napevno nastaveny velikosti osy x a y, tyto osy budou flexibilní s načtenými hodnotami.

Kód pro vykreslení grafu (K.16):

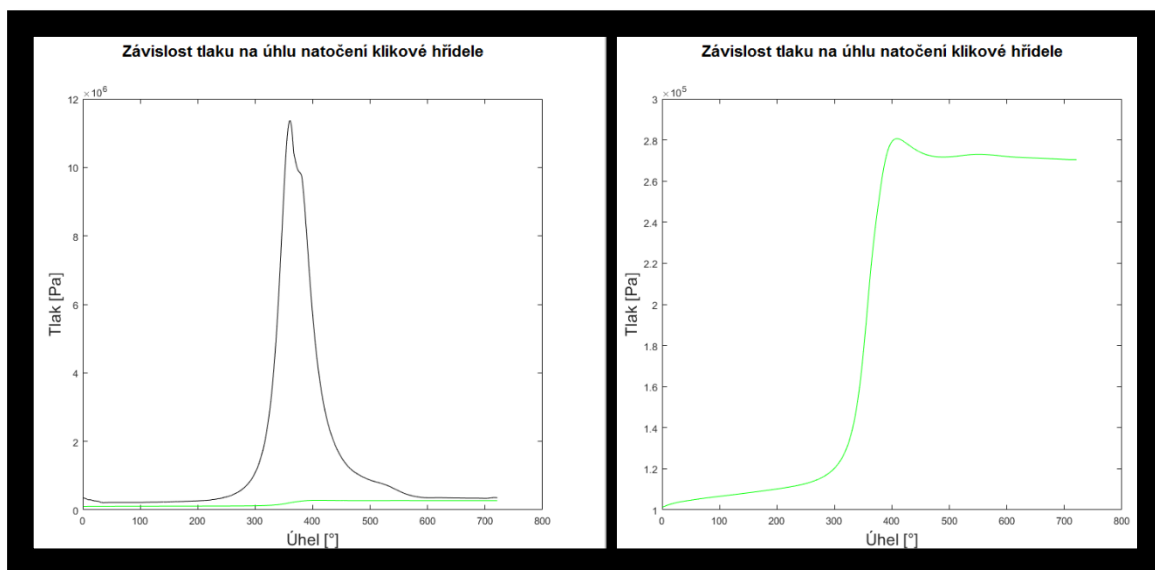
```
function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)

dataset1 = handles.Hnd11.P0;
axes(handles.axes1);

x = 1:721;
y1 = dataset1;

plot(x,y1,'k-');
fontsize = 16;

xlabel(handles.axes1,'Úhel [°]','FontSize', fontsize)
ylabel(handles.axes1,'Tlak [Pa]','FontSize', fontsize)
hold on;
```



Obrázek 30. Velikost os grafu při zobrazení různých průběhů tlaků, zdroj [vlastní]



ZÁVĚR

Hlavním zadáním této práce je tvorba grafického uživatelského rozhraní v programu Matlab pro zadávání parametrů potřebných pro výpočet průběhu tlaků přes pístní skupinu a zobrazení výsledných hodnot v grafu. První polovina této práce se věnuje vpravení do problematiky pístních kroužků. V této části jsou uvedeny druhy pístních kroužků, jejich důležité parametry, síly působící na kroužky, materiály použité na jejich výrobu a povrchové úpravy pro zlepšení jejich vlastností. Cílem při psaní této teorie o pístních kroužcích bylo, aby byla popsána stručně a obsahovala všechny důležité údaje pro čitatele, snažícího se porozumět této důležité součásti spalovacích motorů. Součástí tohoto úvodu do pístních kroužků je také krátké vpravení do mechanismu prostupu plynů ze spalovací komory přes pístní kroužky, ze kterého vychází výpočet integrovaný do grafického rozhraní. Myslím, že hlavní část práce splnila své zadání. Byl vytvořen funkční skript v Matlabu pro zadávání parametrů a funkční součást tohoto skriptu pro zobrazení výsledků.

Tento skript může být použit pro výpočet tlaků v oblastech pístních kroužků ve spalovacích motorech různých otáček, při různých spalovacích teplotách, různých parametrů kroužku, pístu a motoru. Umožňuje snadné zadání parametrů potřebných pro výpočet a snadné zobrazení grafu s výslednými hodnotami.

Vypracování této práce a vytvoření grafického rozhraní mi přineslo mnoho poznatků. Jedním z nich je získání základních znalostí pro práci s programem Matlab a pro práci s grafickým uživatelským prostředím. Vzhledem k mé mírné znalosti anglického jazyka mi zdroje pro návrh rozhraní psané anglicky obohatily slovní zásobu v tomto jazyce.



POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] HRABÁK A KOL., Václav. *Pístní kroužky: Konstrukce, výroba, provoz*. Hořovice: Charlie s.r.o., 2000.
- [2] MÜLLER, Miloslav a Zdeněk PETRŽELA. *Strojírenská technologie část I. a II.: Studijní text OMTO*. 2011.
- [3] PRIEBSCH, Hans H. a Hubert M. HERBST. *Simulation of Effects of Piston Ring Parameters on Ring Movement, Friction, Blow-by and LOC*: AVL List GmbH. Austria: MTZ, 1999.
- [4] RAUSCHER, Jaroslav. *Vozidlové motory: studijní opory FSI VUT v Brně*. 2005.
- [5] ROUČKA, Jaromír. *Metalurgie litin. 1*. Brno: PC-DIR Real, 1998. ISBN 80-214-1263-1 (brož) : bc.
- [6] WOLFF, ANDRZEJ. *Experimental Vertification of the Model of Piston Ring Pack Operation of an Internal Combustion Engine*. Warsaw, Poland, 2009. Warsaw University of Technology, Faculty of Transport.
- [7] Pístní kroužky: brožura Goetze. *Česomot s.r.o.* [online]. [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: http://www.cesomot.cz/doc_cz/GOETZE-pistni-krouzky.pdf
- [8] *Federal-Mogul Burscheid GmbH and Federal Mogul Corporation: Piston ring handbook* [online]. 2008 [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: <http://korihandbook.federalmogul.com/en/index.htm>
- [9] *Www.buzuluk.com/cz/*: *Výrobní program - pístní kroužky* [online]. [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: <http://www.buzuluk.com/cz/divize-pistni-krouzky/vyrobní-program/pistni-krouzky>
- [10] RAFFAI, Peter. *Research of Progressive Methods for Powertrain Dynamic Calculation*. Brno, 2015. Disquisition on Ph.D. Thesis. University of Technology. Vedoucí práce Doc. Ing. Pavel NOVOTNÝ, Ph.D.
- [11] Termomechanika. *Http://ottp.fme.vutbr.cz* [online]. Brno [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: <http://ottp.fme.vutbr.cz/skripta/termomechanika/>



SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

C_d	[-]	Koeficient průtoku
D	[m]	Vnější průměr pístního kroužku
gap	[m]	Vůle pístního kroužku v namontovaném stavu
h	[m]	Výška oblasti průchodu plynu
m	[kg]	Hmotnost plynu
$\dot{m}$	[kg s^{-1}]	Hmotnostní tok
p_0	[Pa]	Tlak plynů ve spalovacím prostoru
p_2	[Pa]	Tlak plynů pod kroužkem
p_k	[Pa]	Kritický tlak
R	[$\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$]	Univerzální plynová konstanta
S	[m^2]	Průřez zámku kroužku
Δt	[s]	Čas
T_0	[K]	Teplota plynů ve spalovacím prostoru
T_2	[K]	Teplota plynů pod kroužkem
V_2	[$\text{m}^3 \text{kg}^{-1}$]	Objem oblasti pod kroužkem
η_{plyn}	[$\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-1}$]	Dynamická viskozita
κ	[-]	Poissonova konstanta



SEZNAM PŘÍLOH

Příloha I. – CD - grafické uživatelské rozhraní programu Matlab pro zadávání vstupních parametrů pro výpočet toku plynů přes pístní kroužky a zobrazení jejich výsledků.

Příloha II. – Vzhled grafického uživatelského rozhraní pro zadávání vstupních parametrů.

Příloha III. – Vzhled grafického uživatelského rozhraní pro zobrazení výsledků.

Příloha IV. – Návod k použití výpočtového nástroje s grafickým rozhraním.