



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta strojní

Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel

Návrh na konstrukci 4-válcového zážehového motoru

Proposal for Design of 4-Cylinder Spark-Ignition Engine

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Studijní program: Strojírenství

Studijní obor: Konstrukce podporovaná počítačem

Vedoucí práce: Ing. Antonín Mikulec

Autor práce: **MILAN HAHN**

Praha 2015

Vysoká škola: **České vysoké učení technické v Praze**
Fakulta: **strojní**
Ústav: **12120 Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel**
Akademický rok: **2014/2015**



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): **Milan Hahn**

studijní program: **B 2341 Strojírenství**
studijní obor: **3902R051 Konstruování podporované počítačem**

Název tématu: **Návrh na konstrukci 4- válcového zážehového motoru**

Název anglicky: **Proposal for Design of 4-Cylinder Spark-Ignition Engine**

Označení diplomové práce: **BP 2015 – SM 03**

Pokyny pro vypracování:

Vypracujte základní konstrukční návrh 4- válcového 4- dobého zážehového motoru o obsahu od 1200 do 1600 cm³, s ventilovým rozvodem typu DOHC se 4 ventily. Pracovní postup konstrukce a základní informace o motoru budou dodány zadavatelem a konzultantem projektu. Parametrický 3D model motoru vytvořte v prostředí CATIA, CREO (PRO-E) nebo podobného programu. Proveďte základní pevnostní analýzu zvolených součástí nebo systému motoru.

Rozsah průvodní zprávy: min. 35 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek v textu)

Rozsah grafických prací: CAD model

Doporučené podklady: Spalovací motory. Jan Macek

Vedoucí bakalářské práce: Antonín Mikulec, Ing.

Odborný konzultant: Sergii Bogomolov, Ing.

Datum zadání bakalářské práce: 30. 4. 2015

Datum odevzdání bakalářské práce: 19. 6. 2015

Studijní a zkušební řád ČVUT v Praze, čl. 21, odst. 4: „Pokud student neodevzdal bakalářskou nebo diplomovou práci v určeném termínu, tuto skutečnost předem písemně zdůvodnil a omluva byla děkanem uznána, stanoví děkan studentovi náhradní termín odevzdání bakalářské nebo diplomové práce. Pokud se však student řádně neomluvil nebo omluva nebyla děkanem uznána, může si student zapsat bakalářskou nebo diplomovou práci podruhé.“

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Zadání bakalářské práce převzal dne: 27. 4. 2015

.....
podpis diplomanta



Doc. Ing. Oldřich Vítek, Ph.D. vedoucí ústavu 12120

Prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
děkan fakulty strojní

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW apod.) uvedené v příloženém seznamu.

V Praze dne 16. 6. 2015

.....
Milan Hahn

Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Antonínu Mikulcovi, za podklady, rady a čas, který mi věnoval při přípravě této diplomové práce. Také bych chtěl poděkovat své ženě Len-ce, za její toleranci a podporu během celého mého studia.

Anotace

Tato bakalářská práce popisuje návrh čtyř-dobého spalovacího motoru pomocí výpočetní techniky. V programu Creo Elements/Pro5.0 (CREO) je vytvořen parametrický 3D model, který získává potřebné rozměry (parametry) propojením s programem Microsoft Excel (ME). ME provádí výpočet potřebných parametrů na základě dvou zadaných rozměrů (vrtání, zdvih).

Annotation

This bachelor thesis describes proposal for four strokes combustion engine by information technology. 3D parametric model is made by software Creo Elements/Pro(CREO). The important parameters are computed by Microsoft Excel (ME) than are supplied to CREO. ME calculates important parameters based on entering two basic parameters (bore, stroke)

Klíčová slova:

Parametrický 3D model, Parametry, Motor

Key words

Parametric 3D model, Parameters, Engine

Obsah

Obsah.....	- 8 -
1 Úvod.....	- 9 -
2 Výpočetní software.....	- 10 -
2.1 PTC Creo Elements/Pro 5.0.....	- 10 -
2.2 Microsoft Excel	- 12 -
3 Zážehový čtyřdobý spalovací motor.....	- 13 -
3.1 Složení motoru.....	- 14 -
4 Návrh a konstrukce motoru.....	- 16 -
4.1 Úvodní skica.....	- 16 -
4.2 Tvorba modelu v Creo Elements/Pro 5.0.....	- 19 -
4.3 Shrnutí k modelovaným součástem.....	- 22 -
4.4 Tvorba tabulky parametrů pomocí Microsoft Excel	- 24 -
4.5 Parametrizace.....	- 27 -
4.5.1 Import dat příslušné součásti	- 27 -
4.5.2 Přiřazení parametrů	- 29 -
5 Proces změny vstupních parametrů motoru	- 32 -
5.1 Změna parametrů v tabulce ME	- 32 -
5.2 Načtení nových parametrů	- 33 -
5.3 Regenerace modelu	- 33 -
5.4 Výsledek změny parametru v CREO	- 34 -
6 Výpočet systému motoru	- 35 -
6.1 Porovnání parametrických modelů.....	- 35 -
6.2 Výpočet ojnice.....	- 35 -
7 Závěr.....	- 41 -
Seznam použitých zdrojů	- 42 -
Seznam použitých zkratk.....	- 43 -
Seznam obrázků.....	- 45 -
Seznam příloh.....	- 46 -

1 Úvod

Práce konstruktéra se v současné době prolíná se schopnostmi a výkonem výpočetních systémů. Potenciál počítačů, jak se těmto systémům obecně říká, využívají speciální počítačové programy (software). Díky tomuto spojení dostává konstruktér do ruky velmi silný nástroj, který mu pomáhá, usnadňuje a v mnoha případech zefektivňuje jeho konstruktérské schopnosti. Proto je tento systém konstruktérské práce uplatňován předními výrobci různorodých výrobků.

Pro konstruktérské prostředí byl několika firmami vyvinut speciální software, který umožňuje konstruktérovi zejména

- zobrazení 3D modelu označovaného jako programy CAD¹
- simulaci a analýzu namáhání a technické výpočty označované jako programy CAE²
- zobrazení drah nástroje při obrábění označovaného jako programy CAM³

Soubor těchto programů se obecně označuje jako CAD systémy. Dají se dále rozdělit podle obsahu na malý, střední nebo velký CAD systém. Velké CADy zpravidla obsahují programy CAD/CAM/CAE a jsou schopny vytvořit plně parametrický 3D model, z něj následně generovat 2D výkres a použít v modelu například napět'ovou (teplotní) analýzu při daném zatížení. V automobilovém průmyslu jsou využívány většinou předních výrobců. Malé CADy obsahují program CAD umožňující například pouze 2D tvorbu a výstup a bývají používány malými firmami vyrábějící jednoduché součásti.

Používání těchto programů vlastně znamená přechod konstruktérů od rýsovacích prken k monitorům počítačů, kde hlavní výhodou je časová úspora, zjednodušení práce a názornost. Kreslení pomocí programu CAD je nesrovnatelně pohodlnější než u rýsovacího prkna, a zobrazení pomocí 3D je daleko názornější než 2D od rýsovacího prkna. Nicméně i výstup 2D v podobě tisku klasického výkresu je samozřejmě možný. Pokud se používá i simulační program CAE, získáváme určitou představu o chování modelu při různém zatížení (např. napět'ovém a teplotním) bez nutnosti provedení experimentů. I přesto musí být každý konstruktérský

¹ CAD: Computer-aided design/drafting – počítačem podporované projektování/kreslení

² CAE : Computer-aided Engieneering – počítačem podporované konstruování

³ CAM: Comuter-aided manufacturing – počítačová podpora obrábění

návrh před uvedením do reálné praxe odzkoušen reálným experimentem, avšak díky pomocnému softwaru můžeme počet těchto experimentů zredukovat na minimum.

Cílem této práce je ukázat jeden z možných způsobů návrhu spalovacího motoru právě pomocí výpočetního softwaru, kdy je vytvořen parametrický model spalovacího motoru schopný měnit své rozměry (parametry) bez nutnosti kreslit znovu celý model. Použitý CAD program je od společnosti PTC a jmenuje se Creo Element/Pro 5.0 (CREO). Parametry (rozměry) budou počítány v programu Microsoft Excel (ME) a pomocí možného propojení programů budou vloženy do programu CREO.

2 Výpočetní software

2.1 PTC Creo Elements/Pro 5.0

Tento software byl vyvinut americkou společností Parametric Technology Corporation (PTC), která byla založena roku 1985 Samuelem Geisbergem. Společnost se zaměřuje na 2D a 3D návrhový software a dále na související software jako je řízení životního cyklu a inženýrské výpočty. Samotný program CREO ELEMENTS/PRO 5.0 (Obr. 1), dříve známý jako PRO ENGINEER, je parametrický 3D CAD/CAM/CAE systém. Představuje vysoce kvalitní komplexní řešení pro strojařské společnosti zabývající se konstruktérskou prací. Obsahuje moduly umožňující návrh, analýzu a výrobu⁴.

V prostředí návrhu je možné vytvořit 3D objemový parametrický model, kde je možné měnit pouze rozměry bez nutnosti nového vytvoření prvku. Výhody tohoto řešení je zejména vysoká produktivita práce. Vytvořený prvek se dá snadno upravovat. A to několika způsoby, od jednoduché změny rozměru přímo v programu až po změnu rozměrů velké sestavy buď vytvořením vztahů přímo v programu, nebo pomocí externího programu. Způsob změny rozměrů pomocí externího programu bude i výsledkem této práce. CREO dále umožňuje tvorbu 2D a 3D výkresů, tvorbu ploch, konstrukci plechových dílů a svárů, tvorbu fotorealistických obrázků a animací.

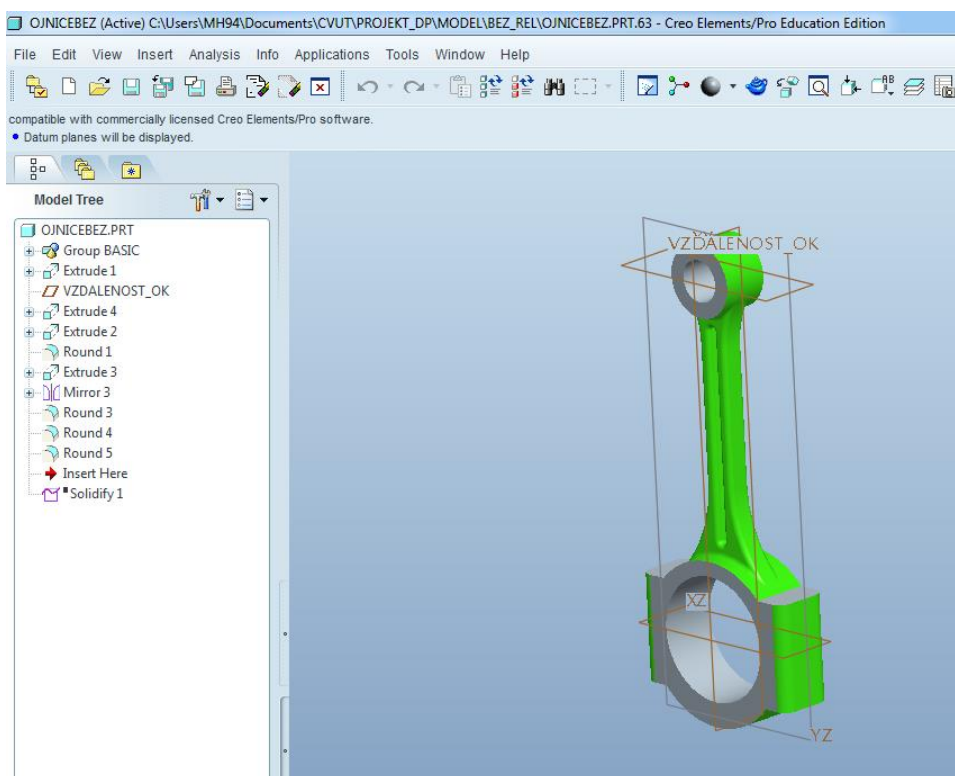
V prostředí analýzy lze provádět teplotní, statické, dynamické a únavové analýzy pomocí metody konečných prvků (MKP)

⁴ http://en.wikipedia.org/wiki/Parametric_Technology_Corporation

A v prostředí výrobním umožňuje simulovat dráhy nástrojů při obrábění na CNC stroji.

Program CREO dále obsahuje například prostředí pro tvorbu mechanismů pro sestavení funkčního pohyblivého modelu a tvorbu animací a spousty dalších užitečných pomůcek.

Program CREO ELEMENTS/PRO je v současné době společností PTC nahrazen programem CREO PARAMETRIC X.X. Viditelný rozdíl je zejména v grafickém prostředí a ovládání, kde je snaha o zjednodušení práce pomocí pásu karet (Ribbon) známého hlavně z produktů Microsoft Office.



Obr. 1 Creo Elements/Pro 5.0

2.2 Microsoft Excel

Program od společnosti Microsoft je tzv. tabulkový procesor, jehož prostředí je organizováno do řádků a sloupců (Obr. 2). Jejich křížením vznikají tzv. buňky, které jsou základním vstupním rozhraním jak pro textová a číselná pole tak i vztorce. S buňkami lze následně provádět operace na základě definovaného algoritmu (vzorce). V této práci je program použit k výpočtu parametrů jednotlivých dílů. Výsledkem je opět časová úspora práce a také přehlednost, kdy si mohou informativně zjišťovat jednotlivé rozměry bez nutnosti otevírat CREO.

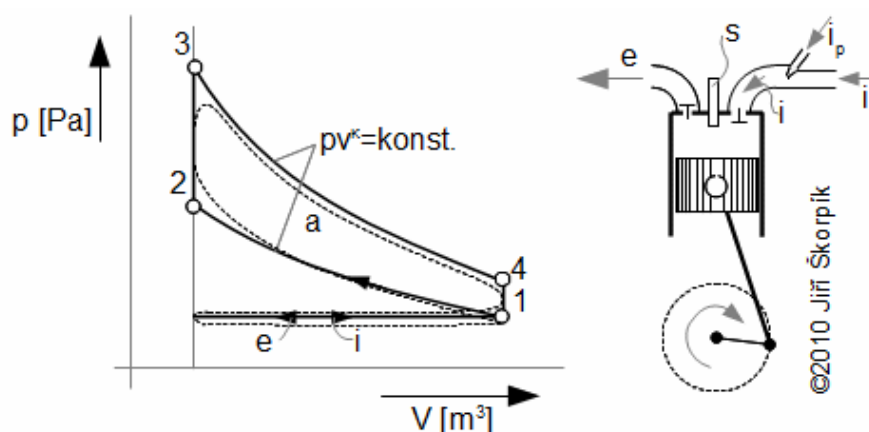
	A	B	C	D	E
1	/* PARAMETRY MOTORU				ENGINE PARAMETERS
2	POČET VÁLČŮ	4			
3	/* D	90	/* vrtání motoru		cylinder bore diameter
4	/* Z	85	/* zdvih motoru		stroke of piston
5	OBJEM	2162.987			
6					
7	/* BLOK_VÁLČŮ_MOTORU		[mm]		CYLINDER BLOCK
8	BVLH =	117	/* šířka horní "válcové" části bloku		width of upper area of cylinder block
9	BVTSPRICNE =	13.5	/* tloušťka stěny příčného řezu bloku		wall thickness at block cross section
10	BVDL =	65.0	/* průměr ložisek klikového hřídele		crankshaft bearing diameter
11	BVDKS =	184	/* šířka klikové části bloku		width of crank area
12	BVV =	242	/* výška bloku		height of cylinder block
13	BVLV =	148	/* délka vrtání bloku		length of bore
14	BVLOVB =	63.3	/* vzdálenost osy vrtání od bloku motoru		
15	BVTSPODEL =	18.3	/* tloušťka stěny podélného řezu bloku		wall thickness at block longitudinal cross section
16	VRTANI =	90.0	/* průměr vrtání		bore diameter
17	BVBL =	27.7	/* šířka ložisek klikového hřídele		width of crankshaft bearing
18	BVLOVL =	49.5	/* vzdálenost osy vrtání od středu ložiska		distance from bore center to bearing center
19	BVROZTEC =	99.0	/* vzdálenost os vrtání		bore spacing
20	BVL =	424	/* celková délka bloku		length of cylinder block
21					

Obr. 2 Microsoft Excel

3 Zážehový čtyřdobý spalovací motor

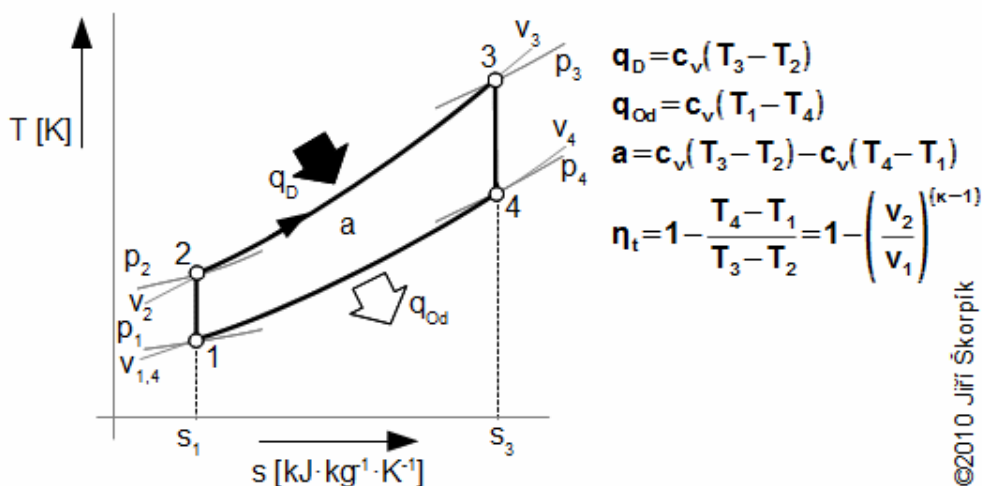
O vznik tohoto motoru se zasloužil Nikolas August Otto, německý obchodník z Kolína nad Rýnem. Tento typ motorů bývá označován „Ottův motor“. Jeho pracovní oběh se skládá ze čtyř fází, sání, komprese, expanze a výfuk, které můžeme znázornit pomocí diagramů P - V (Obr. 3) a T - s (Obr. 4). Podstatou je zapálení směsi externím zdrojem energie, kterým v současnosti bývá elektrická jiskra mezi elektrodami zapalovací svíčky.

1 – 2 komprese; 2 – 3 zápal směsi; 3 – 4 expanze; 4 – otevření výfukového ventilu



Obr. 3 Diagram P-V (tlak – objem)

e – výfuk (exhaust); i – sání (intake); s – svíčka (spark)



Obr. 4 Diagram T - s (teplota – entropie),

q_d - teplo dodané; q_{od} - teplo odvedené; a – práce; η_t - účinnost

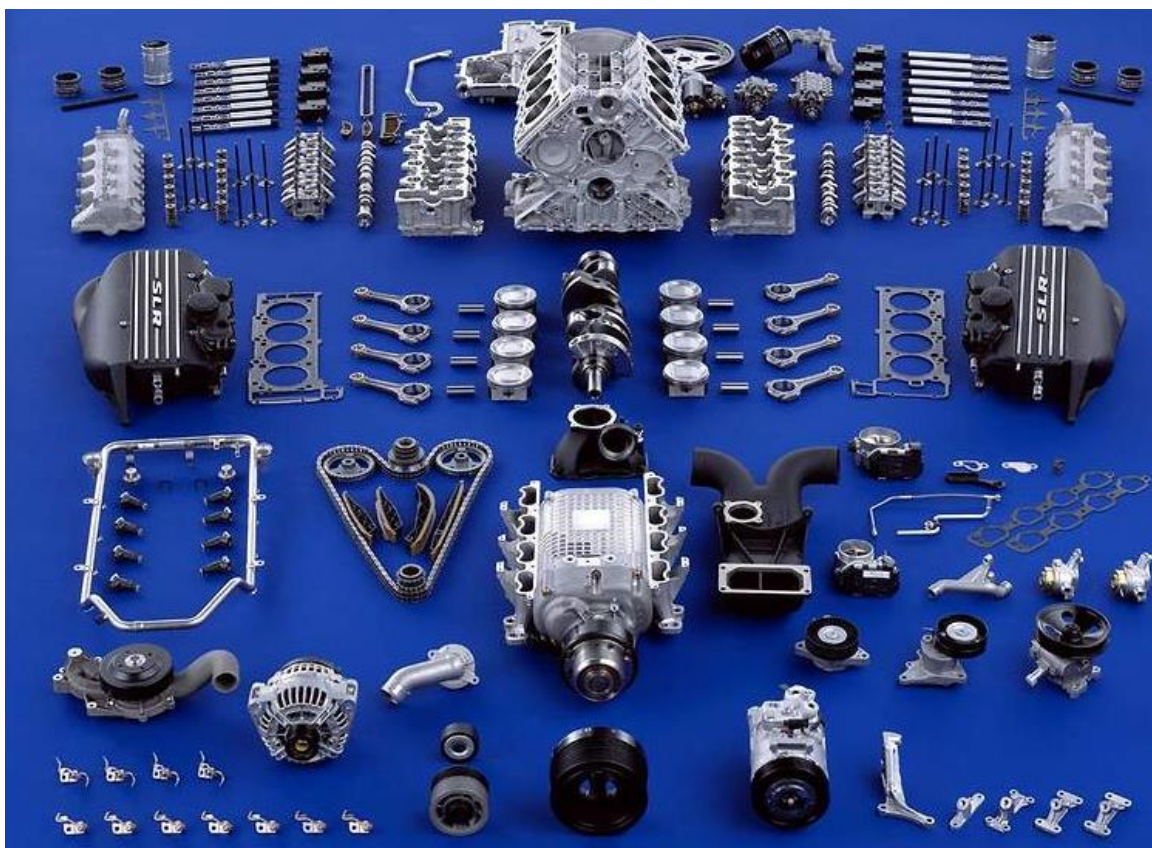
3.1 Složení motoru

Čtyřdobý kapalinou chlazený motor se skládá z několika částí, z nichž základní jsou

- blok motoru, klikový hřídel, píst, pístní čep, ojnice, hlava válců, vačkový hřídel, rozvody

Tyto části tvoří základní funkční jednotku, díky níž je motor schopen vykonávat práci. Jsou doplněny o víka, pojistné a spojovací a těsnící součásti, vyvažovací hřídele, chladicí a mazací soupravu a samozřejmě ložiska (Obr. 5). Dále může být doplněno například o turbodmychadlo nebo klimatizaci.

<http://bezurceni.blog.cz/galerie/mercedes-benz#35094046>



Obr. 5 Součásti spalovacího motoru

Tato práce je zaměřena na návrh a konstrukci hlavních funkčních částí a jejich následnou parametризaci.

Blok válců

Jedná se o základní statickou část, na kterou jsou připojeny ostatní části motoru. Umožňuje uložení klikového hřídele a dále uskupuje válce do jednoho bloku. V dnešní době bývá odlit společně s klikovou skříní do jednoho celku nazývaného blok motoru. Vytváří se tak základní nosný systém pro vyrovnávání silových účinků při provozu motoru. Obsahuje kanály pro chladící kapalinu.

Pístní skupina

Pístní skupina se skládá z pístu s pístními kroužky a pístního čepu s pojistkami. Tato skupina přenáší sílu od tlaku plynů na ojnici. Odděluje spalovací prostor od klikové skříně a zabezpečuje převod tepla. Píst je součástí nejvíce tepelně zatěžovaná kdy maximální teploty spalin mohou být až 2800K. Vzhledem k rozdílné tepelné roztažnosti pístu a válce musí být mezi pístem a válcem vůle. Tato vůle je vymezena a utěsněna pístními kroužky, které se zasazují do drážek v horní části pístu. Pomocí pístního čepu je píst kluzně připojen na horní oko ojnice a čep následně přenáší tlakovou sílu od spalin.

Kliková skupina

Kliková skupina se skládá z klikového hřídele a ojníc. Tato skupina umožňuje transformaci přímočarého pohybu pístní skupiny na rotační pohyb klikového hřídele. Klikový hřídel je uložen ve spodní části bloku válců pomocí hlavních čepů. Ojnice jsou na klikový hřídel připojeny pomocí ojnicích čepů. Pohyb je umožněn pomocí kluzných ložisek na čepech klikového hřídele. Klikový hřídel slouží částečně k vyvážení rotujících a posuvných hmot pomocí protizávaží a slouží také k přívodu maziva k ložiskům. Klikový hřídel je namáhán pružnými kmity na ohyb, tah a tlak. Z toho důvodu musí být tuhý. Vzhledem k cyklickému zatěžování by měl mít vysokou únavovou pevnost. V dnešní době se využívá uložení v bloku mezi každým čepem (ojnicím i hlavním).

Rozvody DOHC

Rozvody obsahují několik součástí tvořících celek umožňují správné načasování sání a výfuku, neboli otevírání a zavírání ventilů. Z klikového hřídele jsou převodem hnány vačkové hřídele v poměru 2:1. Vačkový hřídel obsahuje příslušný počet vaček, které obstarávají zdvih ventilů ve správný okamžik. Jejich zpětné uzavření je docíleno tlačnou pružinou. DOHC (Double overhead camshaft) znamená, že sací ventily ovládá jeden vačkový hřídel a výfukové ventily druhý vačkový hřídel.

Hlava válců

Hlava válců společně s blokem válců uzavírá válce a vytváří prostor pro spalování. Při řešení ventilů DOHC také obsahuje dva vačkové hřídele s ventilovou sadou. Obsahuje spalovací prostor, sací a výfukové kanály a otvor pro upevnění zapalovací svíčky. V odlitku bývají také kanály pro hladící kapalinu.

4 Návrh a konstrukce motoru

Při návrhu motoru se vychází z určitých požadavků, které jsou požadovány, nebo jsou zadány. V této práci byl zadán objem, typ rozvodu, počet válců. Veškeré ostatní prvky a rozměry (parametry) by měli být navrženy. Obecně se při návrhu motoru vychází ze zkušeností s již existujícími motory, pokud se nemá vyvinout něco nového nekonvenčního. Tím je víceméně dán určitý rámeček řešení jednotlivých konstrukčních dílů motoru. Jelikož má být vytvořen model motoru schopný změny rozměrů, lze s výhodou využít geometrickou podobnost rozměrů a sestavit na základě této podobnosti výpočtové vztahy pro parametry charakterizující model motoru. Tato geometrická podobnost je využitelná v omezeném rozsahu rozměrů, což je ale dle zadaného rozmezí obsahu motoru splněno.

4.1 Úvodní skica

Skica je zřejmě nejdůležitější část návrhu, jelikož skica bude jednak podkladem pro model v CREO, ale také podkladem pro tvorbu parametrické tabulky v programu ME. Navrhují a zakreslují se zde parametry (rozměry), které budou řídit výslednou podobu modelu. Jinak řečeno, zde si určují, jaké parametry budou potřebovat jako výstup z programu ME, abych mohl jednak vytvořit model a jednak získat rozměrově odpovídající model. Je důležité s rozmyslem zvolit výhodné parametry, které mají smysl pro tvorbu modelu. Tato skica je prvotní podklad určený pro tvorbu modelu v CREO (Obr. 6).

Je také vhodné tyto parametry smysluplně označit, aby se zjednodušila následná fáze přiřazování parametrů k určité kóťě (parametru) v modelu. Příklad zvolení parametrů klikového hřídele je uveden níže (Tab. 1).

Názvy parametrů jsem odvodil od názvu součásti a příslušného rozměru. Jejich označení by do jisté míry mělo dávat smysl a zlepšit orientaci pro následné přiřazování v CREO.

Pokusím se vysvětlit, jak jsem si zavedl systém označování, které nejspíše bude na první pohled působit zmatečně, ale lze se v něm s trochou obeznámení orientovat. Pro úplné pochopení co který parametr znamená, je v ME u každého parametru slovní popis.

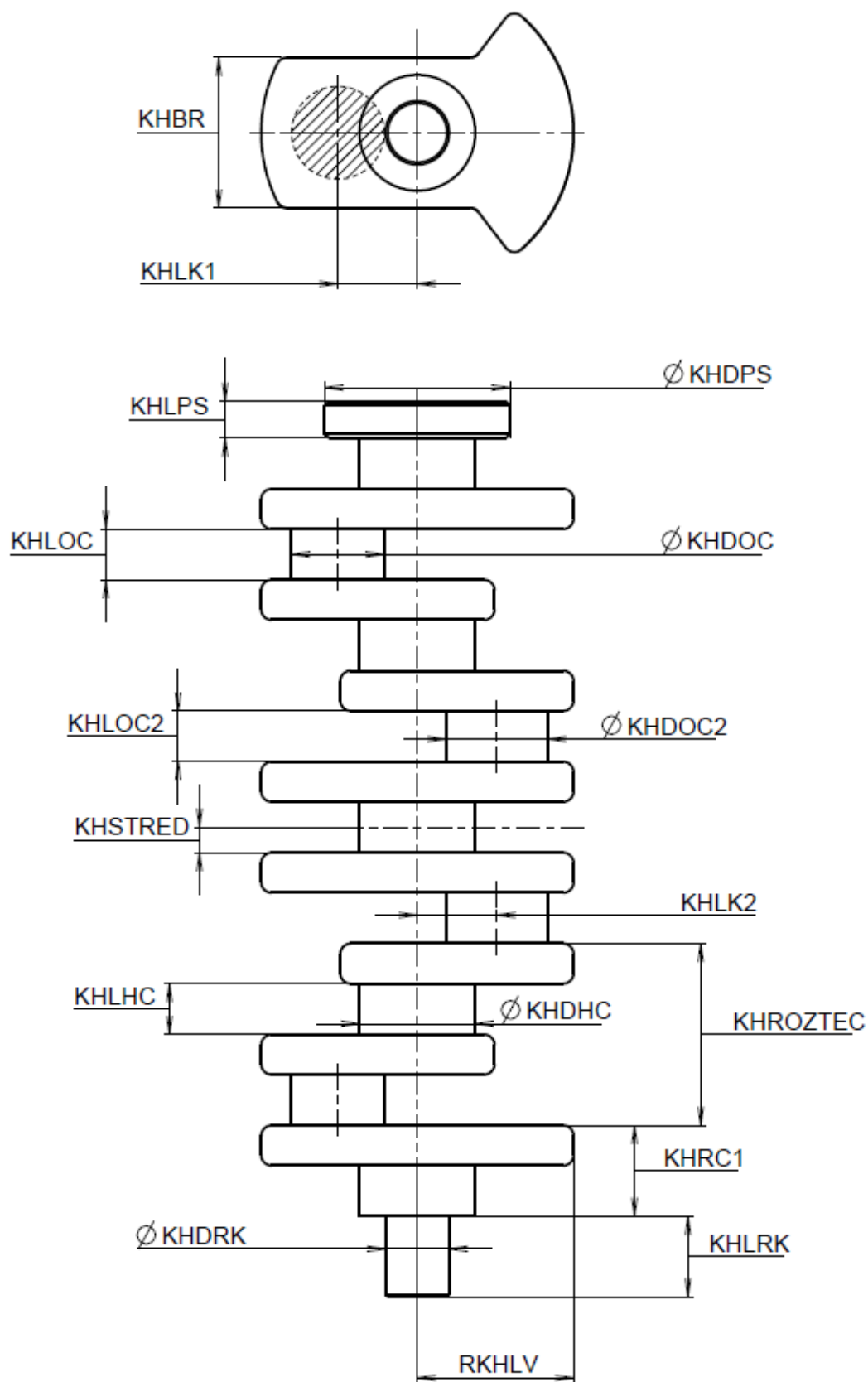
	1. část	2. část	3. část
KHDHC	KH	D	HC
průměr hlavního čepu klikového hřídele	klikový hřídel	průměr	hlavní čep
Obecně značení parametrů	Název součásti	rozměr	příslušná část součásti
	KH – klikový hřídel B – blok P – píst	D- průměr L – délka	OH – ojniční hlava RK – rozvodové kolo

Tab. 1. Značení parametrů

V případě parametrů vycházejících ze stejného rozměru je na konec připsáno pořadové číslo.

I když jsem se snažil dodržovat zvolené označování, jsou parametry, kde nelze jednoznačně jen podle názvu určit, jaký rozměr parametr reprezentuje a pro jednoznačné určení je nutné nahlédnout do skici parametrů, nebo ME tabulky a porovnat slovní popis k danému parametru.

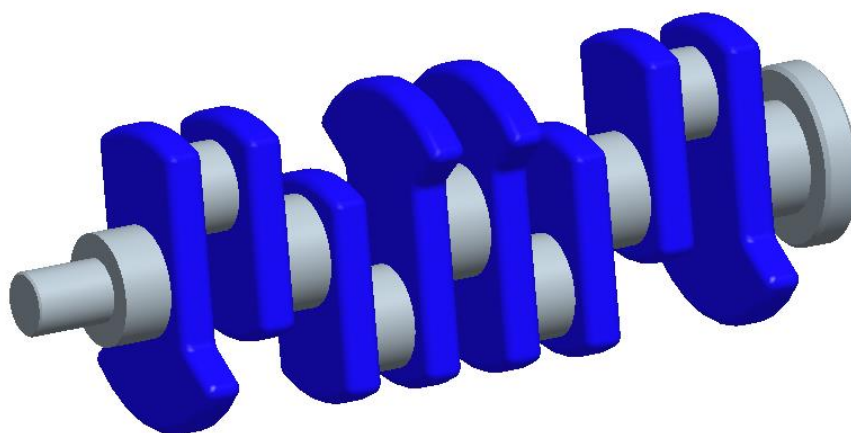
Skicu jsem tedy vytvořil jako základní pilíř pro další práci. Navrhnul jsem si zde základní tvar součásti, zakótoval důležité rozměry (parametry) a označil je názvy. Součásti by měly být smysluplným a proporcionálním konstrukčním prvkem a proto jsem při tvorbě dílů motoru vycházel hlavně z běžné praxe již zavedených motorů a dostupných podkladů. Nicméně díly jsem pomocí skici nevytvářel jako dokonalé konstrukční prvky obsahující veškeré nezbytné detaily s možností je vyrobit k plné a správné funkčnosti. Šlo mi o vytvoření spíše konceptu schopného plné parametrizace spojeného do mechanismu schopného pohybu. Po vytvoření skic tedy následuje tvorba samotného modelu v CREO a tvorba výpočetních vztahů v ME. Skica bude i poté sloužit jako informativní podklad.



Obr. 6 Klikový hřídel: skica s parametry

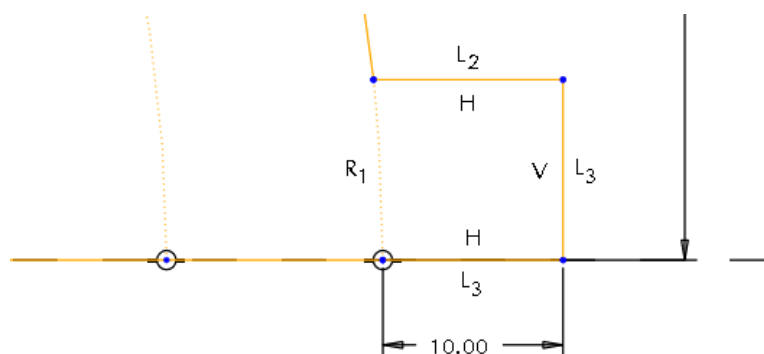
4.2 Tvorba modelu v Creo Elements/Pro 5.0

Pro tvorbu jednotlivých součástí motoru jsem vycházel ze skici, ale při modelování se může stát, že je nalezeno vhodnější řešení volby nějakého parametru, který zjednoduší modelování, a proto by tvorba modelu měla předcházet tvorbě tabulky parametrů v programu ME. Předělání skici je snadnější než předělávání vztahů v ME. Při modelování mám tedy zpětnou vazbu na skicu a její vhodnost pro návrh součásti v příslušném modelu. Skica parametrů nicméně vychází ze zkušenosti s modelováním v daném programu a navržené parametry součásti by tedy měli odpovídat požadavkům programu pro tvorbu modelu (Obr. 7).

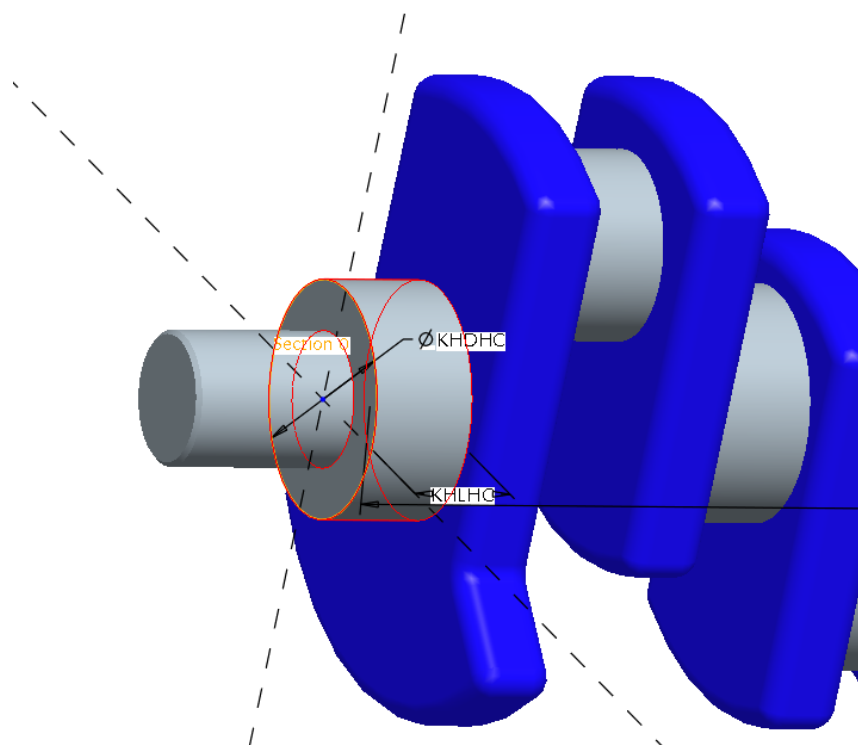


Obr. 7 klikový hřídel v CREO

Rozměry, které nepotřebujeme na první pohled znát z ME nebo ty které se nemusejí parametricky měnit, jsou řešeny přímo v modelování. Jsou například natvrdo ustanoveny jako průměr díry pro svíčku nebo různé zaoblení, zkosení vycházející z technologických možností, popřípadě jsou navázány na již existující kóty, řídicí kóta $L_3 = 10.00$ (Obr. 8).



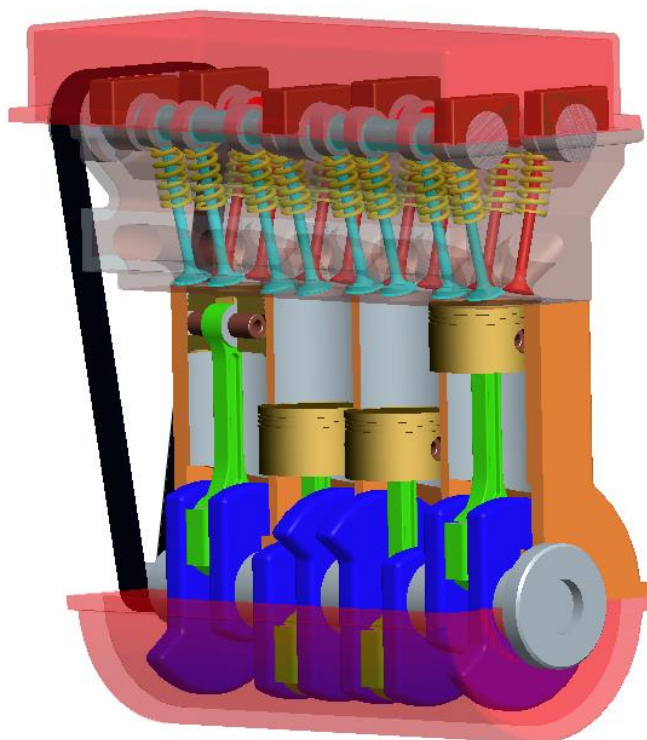
Obr. 8 vazby rozměrů v modeláři CREO



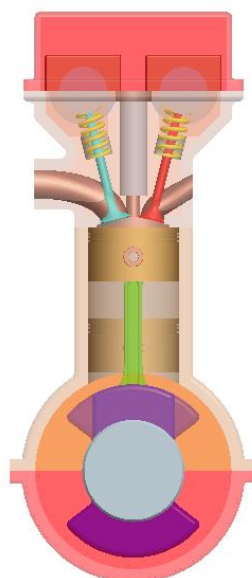
Obr. 9 označení parametrů v CREO

Tvorba modelu probíhá tedy jako prvotní „náštel“ na základě vytvořené skici a zadávané rozměry jsou spíše orientační. Jako důležité jsem ale vnímal označení parametrů (kót) názvem parametru identicky se skicou potažmo tabulkou parametrů ME (Obr. 9). Je to důležité pro zjednodušení práce, kdy v modulu „*Relations*“ přiřazujeme parametry z ME. Snižuje to pravděpodobnost vytvoření chybného přiřazení parametrů.

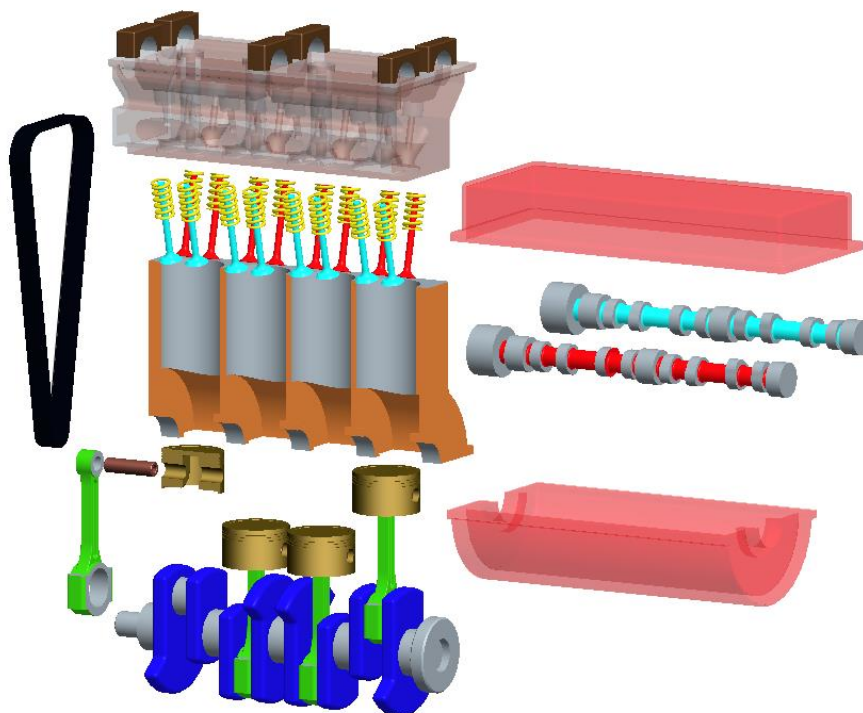
Takto jsem postupně vytvořil veškeré součásti a v sestavě je spojil do kompletního modelu motoru. Model motoru neobsahuje veškeré funkční prvky jako ložiskové pánve, spojovací závrtné šrouby a těsnění (Obr. 10, Obr. 11aObr. 12). Je sestaven i v modulu „*Mechanism*“ což umožňuje vizualizovat skutečný pohyb částí motoru.



Obr. 10 Model spalovacího motoru



Obr. 11 Model spalovacího motoru – boční pohled



Obr. 12 Model spalovacího motoru – rozložená sestava

4.3 Shrnutí k modelovaným součástem

Při modelování součástí jsem vycházel z následujících úsudků a předpokladů pro dané díly motoru.

Blok válců

Důležité prvky jsou díry vrtání, dále pak uložení pro čepy klikového hřídele. Počet válců byl zadán na čtyři a uložení klikového hřídele jsem zvolil pětkrát, tak jak se kvůli zvýšení tuhosti klikového hřídele praktikuje.

Klikový hřídel

Součástí klikového hřídel jsou hlavní čepy pro otočné uložení klikového hřídele v bloku motoru, kterých je pět a ojnicní čepy pro otočné spojení s ojnicemi jsou čtyři podle počtu válců. Klikový hřídel obsahuje také vývažky, které mají klikový mechanismus vyvážit. Na jednom konci hřídele je příruba pro setrvačnick na druhém konci osazení pro rozvodové kolo.

Ojnice

Ojnice tvoří horní oko a dolní oko, které spolu spojuje dřík. Horní oko obsahuje otvor pro pístní čep, dolní oko obsahuje otvor pro ojnicní čep klikového hřídele. Dřík je tvořen profilem H.

Píst a pístní čep

Píst jsem vytvořil jako otevřenou nádobu, kde jsou stěny opatřené úkosem. Píst obsahuje díru pro uložení pístního čepu, která prochází skrz píst a je u stěn pístu vyztužená nálitky pro zvýšení pevnosti. Na vnější stěně v horní části jsou po obvodu drážky pro pístní kroužky. Pístní čep je v podstatě trubka opatřená skosením hran.

Vačkový hřídel

Vytvořil jsem ho jako opracovaný odlitek. Opracovány jsou vačky pro stlačování ventilů a tři čepy pro uložení v hlavě válců. Geometrie vaček je tvořena základní a vrcholovou kružnicí. Vaček je osm rozdělených do čtyř skupin po dvou, je to dáno počtem ventilů na válec, tedy dva sací ventily a dva výfukové ventily na válec. Každá skupina je pootočena o devadesát stupňů podle pořadí zapalování. Výfukový a vačkový hřídel jsem zvolil stejný, i když se v praxi časování výfukových a sacích ventilů, dané geometrií vaček, může lišit.

Hlava válců

Hlava válců obsahuje spalovací komory, které mají střeovitou konstrukci, v každé ploše této střechy jsou umístěny sedla pro dva ventily, v jedné sací a ve druhé výfukové. Uprostřed spalovacího prostoru je otvor pro svíčku. Do spalovacího prostoru ústí výfukové a sací kanály. Na boku hlavy je vytvořen nálitek pro připojení sacího potrubí. V horní části hlavy jsem vytvořil rozšíření hlavy s jedním příčným žebrem a následným vybráním pro uložení čepů vačkových hřídelů. Ty jsou připevněny k hlavě můstky, které společně s hlavou tvoří ložiskový domek pro čepy vačky.

Ventily a pružiny

Ventily obsahují dřík opatřený drážkami pro možnost uchycení pružin přes klínové zámečky. Na spodní části je hlava s úkosem pro dosednutí do sedla ve spalovacím prostoru hlavy. Pružiny jsou vytvořeny drátem natočeným do šroubovice s příslušnou roztečí závitů.

Můstky

Jsou jednoduché součásti tvořené blokem materiálu s ložiskovou částí pro čep vačkového hřídele. Úzký pravý můstek je vytvořen ze základního můstku pomocí odříznutí materiálu.

Víka

Víka tvoří jednoduché zakrývající části motoru a jsou závislé na rozměrech bloku a hlavy.

4.4 Tvorba tabulky parametrů pomocí Microsoft Excel

Jelikož vstupními parametry pro změnu modelu motoru budou pouze **vrtání a zdvih**, musí být veškeré další rozměry pro tvorbu modelu vypočítány. Jako podklad pro parametry, které musíme dopočítat, jsou právě, jak už bylo zmíněno, parametry ze **skici**. Jelikož jsou jednotlivé součásti společně provázány funkčními prvky (pístní čep s dírou v pístu a dírou v horním oku ojnice atd.), bude toho využito při tvorbě vztahů pro výpočet parametrů v tabulce ME.

Protože jsem pro určení výpočtových vztahů všech potřebných parametrů potřeboval základní vstupní parametry, musel jsem se k nim dopracovat. Úvodní informace o objemu válců mi posloužila k základnímu výpočtu dvou vstupních parametrů, které budou moci být následně měněny.

Typy motorů bývají tzv.

- podčtvercové - zdvih je menší než vrtání
- nadčtvercové – zdvih je větší než vrtání
- čtvercové – zdvih odpovídá vrtání

A díky volbě čtvercového motoru mohu pomocí následující rovnice určit hrubý zdvih a vrtání.

zdvihový objem válců V_z

Za předpokladu čtvercového motoru kdy $D = z$:

$$V_z = \left(\frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot z \right) \cdot i \rightarrow D = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V_z}{\pi \cdot i}}$$

i...počet válců

D...vrtání válce

z...zdvih pístu

Nyní, když mám získané řídicí parametry **zdvih a vrtání**, mohu přistoupit k vytváření seznamu parametrů v tabulce ME pomocí vhodných vztahů. Na úvod tabulky jsem uvedl vstupní údaje (Obr. 13).

/* PARAMETRY MOTORU			
i	4		/* počet válců
D	73	mm	/* vrtání motoru
Z	72	mm	/* zdvih pístu
Vz	1205	cm ³	/* zdvihový objem motoru
zaokrouhlení	2		/* počet desetinným míst zaokrouhlení
/* PARAMETRY MOTORU			
i	4		/* počet válců
D	80	mm	/* vrtání motoru
Z	80	mm	/* zdvih pístu
Vz	1608	cm ³	/* zdvihový objem motoru
zaokrouhlení	2		/* počet desetinným míst zaokrouhlení

Obr. 13 Řídicí parametry před a po změně

Zelená pole jsou vstupní parametry, které je možné měnit a díky tomu měnit objem válců motoru.

Jelikož v praxi jsme schopni, nebo nám stačí vyrábět na omezenou přesnost (např. 0,01 mm) a ME počítá na několikanásobně vyšší počet desetinných míst, tam kde je to smysluplné jsem vložil možnost zaokrouhlit rozměry na libovolný počet desetinných míst za celým milimetrem. Poměrně nedůležité vnější rozměry (např. tloušťka víka) jsem rovnou zaokrouhlil na celé milimetry.

Tvorba parametrů samotné součásti vychází jednak ze skici a tvorba výpočtových vzorců pak z konstrukčních zvyklostí a zavedené praxe pro danou součást. Na základě těchto informací jsem vytvořil příslušný vzorec pro výpočet konkrétního parametru (rozměru), který bude odpovídat smontovatelnosti dané součásti. Vzorec je realizován součty a rozdíly jednotlivých parametrů a konstant (Obr. 14), ale také násobkem příslušného parametru zvoleným *koeficientem* (Obr. 15).

Schránka		Písmo		Zarovnání	
B8		fx		=B3+2*B9	
	A	B	C	D	
1	/* PARAMETRY MOTORU				
2	i	4		/* počet válců	
3	D	80	mm	/* vrtání motoru	
4	Z	80	mm	/* zdvih pístu	
5	Vz	1608	cm ³	/* zdvihový objem motoru	
6	zaokrouhlení	2		/* počet desetinným míst zaokrouhlení	
7	/* BLOK_VÁLCŮ_MOTORU			[mm]	
8	BVLH =	104.000		/* šířka horní části bloku	
9	BVTSPRICNE =	12.000		/* tloušťka stěny příčného řezu bloku	

Obr. 14 ME zadávání vzorce pro výpočet buňky BVLH (B8)

Schránka		Písmo		Zarovnání	
B19		fx		=ZAOKROUHLIT(1.1*B3;B6)	
	A	B	C		

Obr. 15 ME zadávání vzorce pomocí koeficientu

Postupně jsem každému parametru ze skici přiřadil vhodný vzorec a následně získal tabulku parametrů pro danou součást. V tabulce jsou žlutě označené buňky propojeny s CREO a buňky označené oranžově jsou nevyužité (informativní), nebo pouze pro pomocné výpočty (Obr. 16).

/* BLOK_VÁLCŮ_MOTORU		[mm]	
BVLH =	104.000		/* šířka horní části bloku
BVTSPRICNE =	12.000		/* tloušťka stěny příčného řezu bloku
BVDL =	58.000		/* průměr ložisek klikového hřídele
BVDKS =	171.200		/* šířka klikové části bloku
BVV =	213.960		/* výška bloku
BVLV =	132.880		/* délka vrtání bloku
BVLOVB =	56.295		/* vzdálenost osy vrtání od bloku motoru
BVTSPODEL =	16.295		/* tloušťka stěny podélného řezu bloku
VRTANI =	80.000		/* průměr vrtání
BVBL =	24.590		/* šířka ložisek klikového hřídele
BVLOVL =	44.000		/* vzdálenost osy vrtání od středu ložiska
BVROZTEC =	88.000		/* vzdálenost os vrtání
BVL =	376.590		/* celková délka bloku

Obr. 16 Tabulka parametrů pro součást Blok válců motoru

Až poté co je hotova tabulka parametrů, se může tvořit parametrizace, neboli propojení programů za účelem sdílení dat.

4.5 Parametrizace

Tato fáze je stěžejní pro správnou funkci modelu dle zadání, čili vytvořit 3D model schopný měnit své rozměry bez kolizí či zhroutení. V podstatě jde o to, vytvořit propojení mezi programy CREO ELEMENTS/PRO a Microsoft EXCEL. Tato fáze mi přišla nejnáchylnější na vytvoření chyby.

Program CREO umožňuje vytvoření parametrizace více způsoby.

- vytvoření parametrů v modulu „*Parameters*“ a následnou změnou hodnoty přímo v tomto modulu
- dále je tu modul „*Relations*“ kde jde spíše o vytvoření vztahů mezi existujícími parametry, tento modul je použit pro přiřazení parametrů z ME.
- modul nazvaný „*EXCEL ANALYSIS*“, který je vytvořený právě pro import dat z programu ME.

Postup vytvoření parametrizace pomocí modulu „*Excel Analysis*“ se skládá z několika níže popsaných kroků.

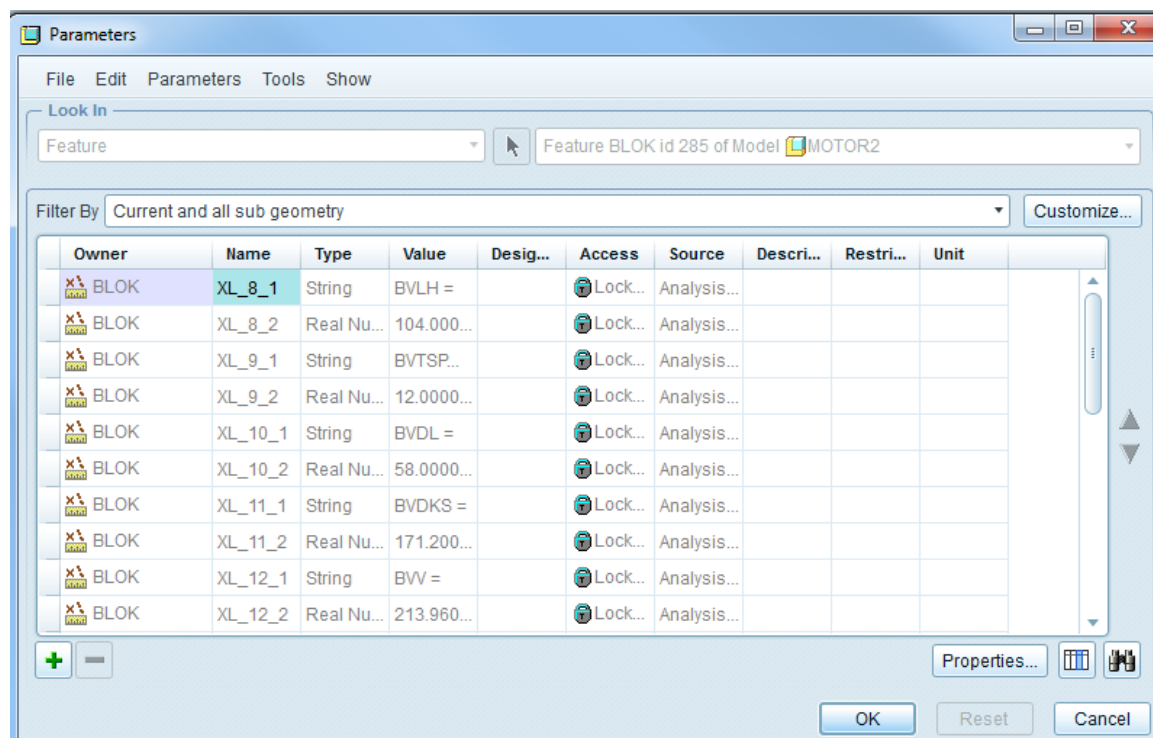
Předpoklady:

- Existující model součásti v CREO
- Existující tabulka parametrů v programu ME

Parametrizace je možná jak v rámci **součásti**, tak v rámci **sestavy**. Jelikož dle zadání jde o změnu rozměrů všech dílů, které na sebe jsou navázány, uplatníme vytvoření parametrizace v rámci **sestavy**. To umožňuje měnit parametry jak jednotlivých součástí (pokud mě zajímají), tak kompletní sestavy přímo z prostředí sestavy.

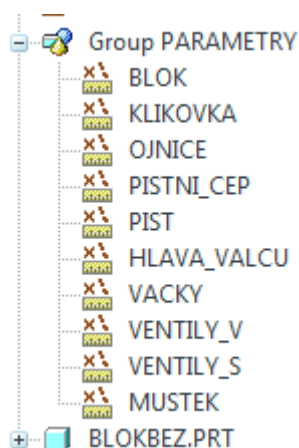
4.5.1 Import dat příslušné součásti

Vložení příslušných dat jsem provedl pomocí modulu „*Excel Analysis*“, který mi umožnil otevřít příslušný soubor. Defaultně umožňuje vybrat pouze přípony „xls“ (Excel do 2007), ale lze vybrat i „xlsx“ (Excel od 2007). Poté pomocí kliknutí na „Output cells“ dána možnost vybrat příslušné buňky z programu ME. Vybral jsem nejen parametry, ale i jejich názvy (Obr. 17). CREO si totiž každou buňku přiřadí pod svým vlastním názvem příslušnému umístění buňky (Obr. 18). Tak vzniká velké riziko nesprávného přiřazení parametrů, jelikož jen z čísla v podstatě nevím, kam ho správně přiřadit.



Obr. 18 importované parametry s vlastními názvy „Name“

Takto jsem importoval parametry všech součástí do jednotlivých položek, které jsem posléze uskupil do skupiny *GROUP_PARAMETRY* (Obr. 19).

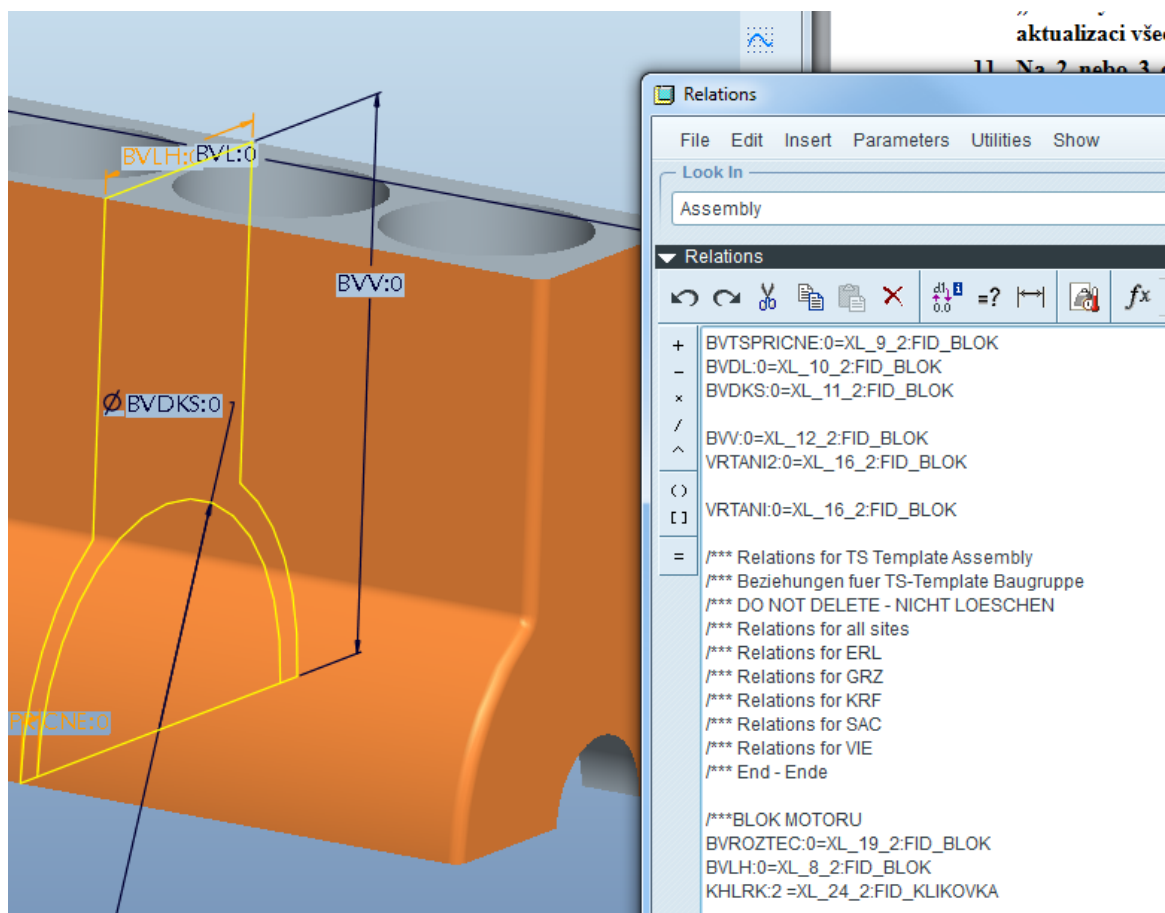


Obr. 19 seskupení parametrů

4.5.2 Přiřazení parametrů

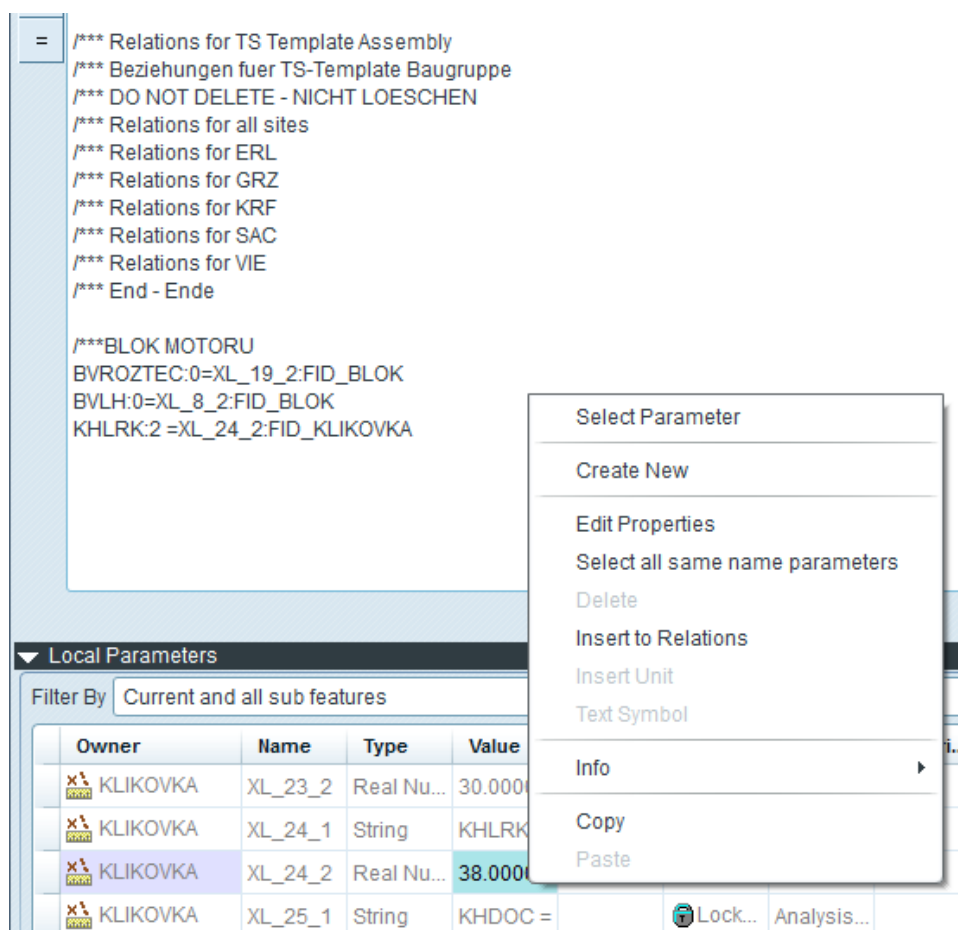
Po importování dat z ME, jsem přistoupil k vlastnímu přiřazení parametrů. Tedy provázání rozměrů vypočítaných programem ME s parametry vytvořenými v programu CREO. Za tímto účelem jsem použil modul „Relations“. Opět je několik způsobů přiřazování lišící se pracnos-

tí. Samotné parametry modelu je možno vkládat buď poklepáním na příslušný rozměr, nebo prostým napsáním jeho názvu (Obr. 20). V případě psaní názvu do okna „Relations“ musí být název správný, jinak program parametr vyhodnotí jako chybu. V případě jednoduché a přehledné součásti je vhodné parametry vkládat poklepáním a při složitějším modelu plného parametrů je vhodnější parametry obezřetně psát.



Obr. 20 vkládání parametrů modelu do modulu *Relations*

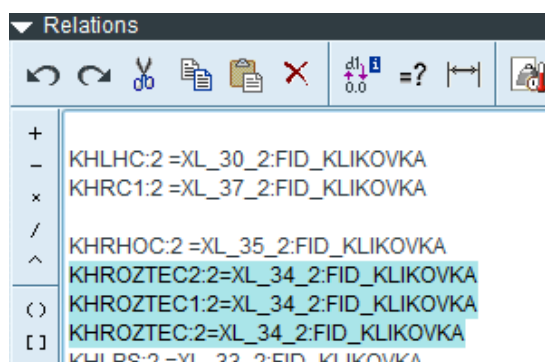
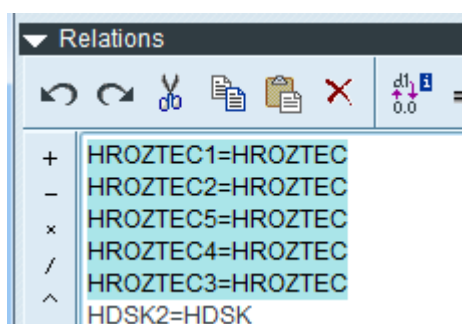
Přiřazení konkrétních parametrů jsem provedl odesláním buňky parametru do okna „Relations“ (Obr. 21). Přiřadit správné parametry mi zde velmi pomohl importovaný i název parametru z ME. Nacházel se vždy nad rozměrem, který mám přiřadit. Pomocí příkazu „insert to relations“ jsem přiřadil všechny parametry.



Obr. 21 přiřazení parametrů *excel analysis* konkrétnímu parametru modelu

Zde považuji za důležité zmínit způsob přiřazení stejných hodnot více parametrům. Opět je více způsobů:

- přiřadit stejným způsobem jako v předchozí části, kdy například každému parametru, který má v modelu stejnou velikost, přiřadím v modulu *Relations sestavy* stejný parametr z „*excel analysis*“ (Obr. 22)
- druhý způsob přiřazuji přímo v modulu „*Relations*“ **součásti**, kdy přiřadím všem rozměrově stejným parametrům jeden parametr, kterému byl přiřazen parametr „*excel analysis*“ v modulu *sestavy* (Obr. 23). To zlepšuje přehlednost, kdy v modulu *Relations sestavy* je už obsaženo mnoho přiřazených parametrů. Každopádně nemám zkušenost, do jaké míry to může ovlivňovat regeneraci modelu, jelikož můj model motoru je relativně jednoduchý.

Obr. 22 přiřazení v *Relations* sestavyObr. 23 přiřazení v *Relations* součásti

Rozdíl u názvu parametrů je v modulu sestavy vyjádřen pořadovým číslem součásti za dvojtečkou.

Další důležitý poznatek jsem zaznamenal při změně buněk v ME. „*Excel analysis*“ odkazuje totiž na konkrétní buňku a pokud dojde k posunutí nebo změně buňky v ME, CREO načte původní přiřazenou buňku, což může mít za následek degeneraci modelu nebo chybové hlášení. Je pak nutné opět přiřadit správný parametr ke správné buňce, neboli proces přiřazování zopakovat!

5 Proces změny vstupních parametrů motoru

Když jsou veškeré parametry přiřazeny, může být celý model motoru parametricky řízen pouze na základě zadání dvou parametrů a to vrtání a zdvihu. Postup je následující:

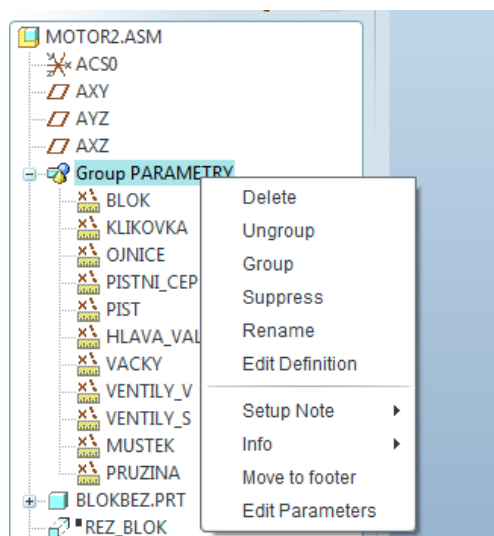
5.1 Změna parametrů v tabulce ME

Jak bylo dříve uvedeno, jako vstupní parametry slouží pouze dva, **vrtání a zdvih**. Mohu samozřejmě měnit pouze jeden z nich. Vzájemným kombinováním těchto dvou parametrů zís-

kám výsledný zdvihový objem motoru, který by podle zadání měl být 1200 – 1600 cm³. Po změně parametrů a provedeném výpočtu ME je nutné uložit soubor s parametry.

5.2 Načtení nových parametrů

Pro změnu celého modelu je nutné načíst změněné veškeré parametry všech součástí. Parametry lze načíst jednotlivě po součástech, ale díky umístění ve skupině i najednou, což šetří čas. Změna se provádí pomocí „*edit definition*“ (Obr. 24).



Obr. 24 Načtení nových parametrů z ME

5.3 Regenerace modelu

Když jsou načtené nové parametry, mohou model pomocí příkazu „*Regenerate*“ aktualizovat a získat tak model odpovídající novým rozměrům vygenerovaných v ME. Zjistil jsem, že pokud je model současně sestavený jako mechanismus je vhodné model **regenerovat po částech** stromu, jinak program nemusí plně aktualizovat vše najednou tak jak by bylo očekáváno, model se jakoby rozhodí, ale výše zmíněným postupem lze vše napravit a usadit do správných pozic.

Při změně modelu může vzniknout nějaký defekt či kolize. V tomto případě musím přehodnotit výpočtové vzorce ME součásti a upravit ho tak, aby byl defekt odstraněn. Tento závěrečný proces odladí celkový návrh 3D modelu tak, aby fungoval v celém rozsahu daného zadáním.

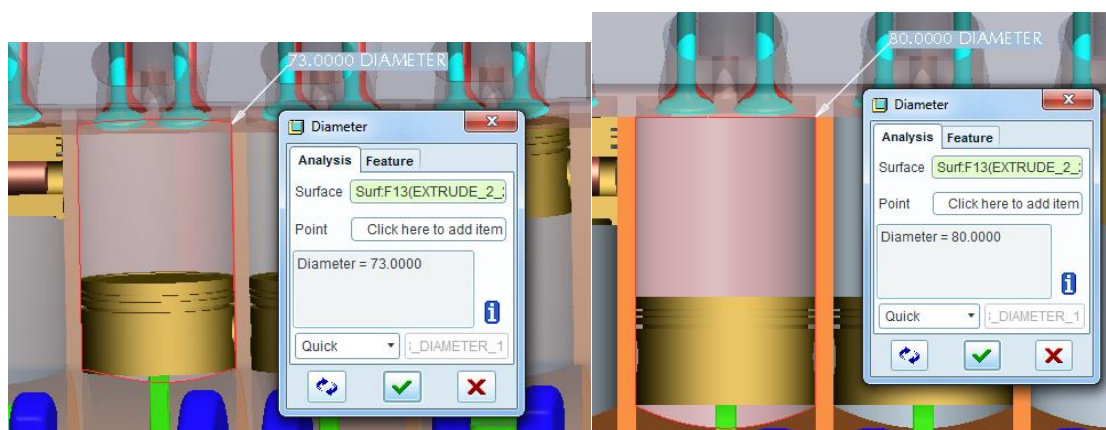
5.4 Výsledek změny parametru v CREO

Provedenou změnu rozměrů dle tabulky parametru ME (Obr. 25) lze snadno zjistit změřením jednotlivých součástí v CREO. Průměr vrtání (Obr. 26) a zdvih pístu (Obr. 27).

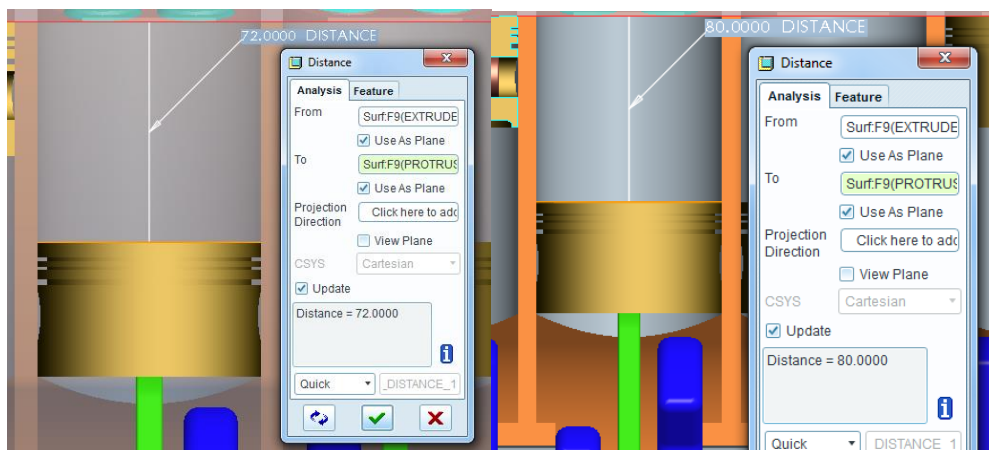
	A	B	C	D
1	/* PARAMETRY MOTORU			
2	i	4		/* počet válců
3	D	73	mm	/* vrtání motoru
4	Z	72	mm	/* zdvih pístu
5	Vz	1205	cm ³	/* zdvihový objem motoru
6	zaokrouhlení	2		/* počet desetinným míst zaokrouhlení
7	/* BLOK_VÁLCŮ_MOTORU		[mm]	

1	/* PARAMETRY MOTORU			
2	i	4		/* počet válců
3	D	80	mm	/* vrtání motoru
4	Z	80	mm	/* zdvih pístu
5	Vz	1608	cm ³	/* zdvihový objem motoru
6	zaokrouhlení	2		/* počet desetinným míst zaokrouhlení
7	/* BLOK_VÁLCŮ_MOTORU		[mm]	

Obr. 25 Příslušné parametry v tabulce Microsoft Excel



Obr. 26 Rozměry vrtání před a po změně parametrů



Obr. 27 Rozměry zdvihu před a po změně parametrů

6 Výpočet systému motoru

6.1 Porovnání parametrických modelů

Pro porovnání výsledných parametrických modelů motorů byla sestavena následující tabulka.

MOTOR	Označení	jednotka	Motor 1	Motor 2	Motor 3
Vrtání válce	B	dm	73	76.5	80
Zdvih pístu	z	dm	72	76	80
Počet válců	i	dm	4	4	4
Zdvihový objem	V	dm ³	1205	1397	1608
Výkon motoru	Pe	kW	48.2	55.9	64.3
Délka motoru	Lm	dm	415	434	452
Výška motoru	H	dm	457.83	479	498.16
Šířka motoru	W	dm	182	188	196
Objem sestavy	VOL	dm ³	7.37	8.3	9.33
Váha motoru	W	kg	37.7	42.7	48.2
Měrná váha	Ws	kg/dm ³	5.115332	5.144578	5.1661308
Měrný výkon	Ps	kW/kg	1.278515	1.309133	1.3340249

Tab. 2. Porovnávací tabulka

Výpočet výkonu: $Pe = \frac{bmep \cdot V \cdot n}{30 \cdot \tau} [kW]$

bmep...střední efektivní tlak 1,2MPa

V...zdvihový objem podle motoru

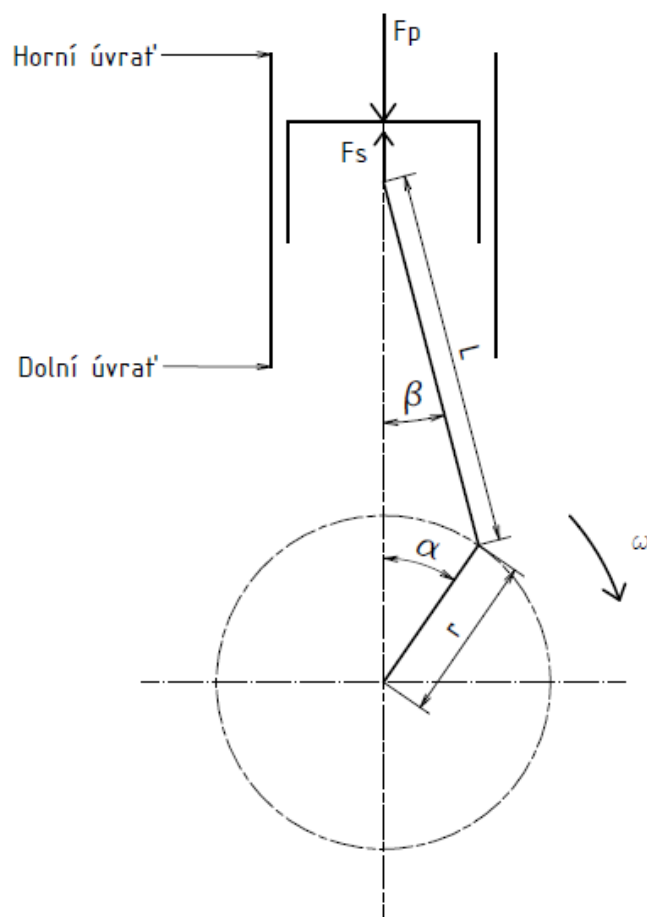
n...otáčky motoru 4000 min⁻¹

τ...počet zdvihů na cyklus 4 (čtyřdobý)

6.2 Výpočet ojnice

Jako součást pro základní pevnostní analýzu jsem si vybral ojnici. Ojnice je v motoru namáhána několika způsoby. V podstatě se dá rozdělit na namáhání horního ojničního oka, dolního ojničního oka (hlava ojnice) a dříku ojnice podle schématu (Obr. 28). Je také namáhána střídavým zatížením tah/tlak ovlivňujícím životnost součásti, které ale pro a jednoduchost výpočtu provádět nebudu.

Základní výpočet provedu pro dřík ojnice, který je namáhán na tlak od vzniklého tlaku spalín a tah od setrvačných sil posuvných hmot. Kontrola se provádí i na vzpěr, pokud je dřík relativně štíhlý.



Obr. 28 Schéma klikového mechanismu

Pro výpočet byly použity parametry příslušné následujícím řídicím parametrům.

D	75	mm	/* vtání motoru
Z	75	mm	/* zdvih pístu
Vz	1325	cm ³	/* zdvihový objem motoru

Poloměr klikového hřídele $r = \frac{\text{zdvih}}{2} = \frac{75}{2} = \mathbf{0,0375 \text{ mm}}$

Délka ojnice $L = \mathbf{138,4 \text{ mm}}$

Ojniční poměr $\kappa = \frac{r}{L} = \frac{37,5}{138,4} = \mathbf{0,27}$

Otáčky $n = 4000 \text{ min}^{-1} = \mathbf{66,67 \text{ s}^{-1}}$

Maximální tlak od spalín $p_{\max} = \mathbf{5 \text{ MPa}}$ *experimentálně zjištěná hodnota*

hmotnost části ojnice $m_o = \mathbf{0,112 \text{ kg}}$

hmotnost pístní skupiny $m_{ps} = \mathbf{0,343 \text{ kg}}$

Síla od tlaku spalin

Při určení síly působící na píst vyjdeme z experimentálně zjištěných hodnot maximálního tlaku ($p_{max} = 5 \text{ MPa}$) [1] a průřezu pístu $D = 75 \text{ mm}$.

$$F_{pmax} = p_{max} \cdot S_D = p_{max} \cdot \frac{\pi D^2}{4} = 5 \cdot \frac{\pi \cdot 75^2}{4} = \mathbf{22\ 089\ N}$$

Setrvačná síla

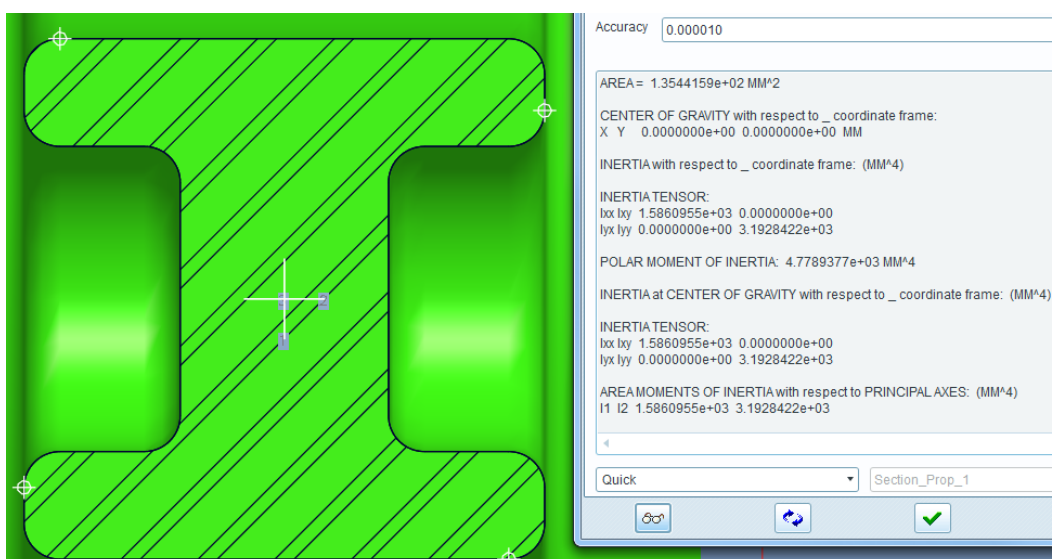
Síla vzniká setrvačným účinkem hmot pístní skupiny a hmoty části ojnice nad průřezem. Tato síla je největší v horní úvratí pístu při výfuku, kde se mění smysl pohybu ($\alpha = 0^\circ$). Působí opačně než síla od tlaku spalin F_p .

$$F_s = (m_{ps} + m_o) \cdot \omega^2 \cdot r \cdot (\cos \alpha + \kappa \cdot \cos 2 \alpha)$$

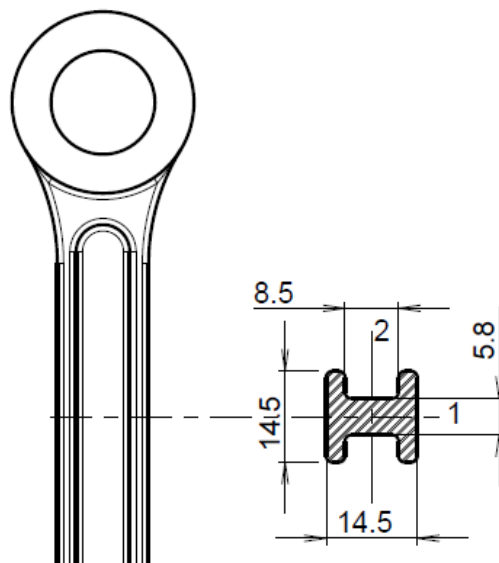
$$\begin{aligned} F_s &= (m_{ps} + m_o) \cdot \omega^2 \cdot r \cdot (1 + \kappa) \\ &= (0,343 + 0,112) \cdot (2\pi \cdot 66,67)^2 \cdot 0,0375 \cdot (1 + 0,27) = \mathbf{3802,5\ N} \end{aligned}$$

Průřez dřívku

Při výpočtu se vychází ze zjednodušeného profilu H, kde se zanedbává zaoblení kvůli zjednodušení výpočtu. Jelikož ale máme model navržený v programu, který nám práci sám dokáže usnadnit, můžeme skutečnou plochu průřezu a kvadratické momenty průřezu k osám získat přímo z programu (Obr. 29).



Obr. 29 Hodnoty plochy a kvadratických momentů průřezu v programu CREO



Obr. 30 průřez dřívku ojnice

Získané údaje z CREO:

plocha průřezu dřívku $S_d = 135,4 \text{ mm}^2$

kvadratické momenty $I_1 = 1586 \text{ mm}^4$; $I_2 = 3193 \text{ mm}^4$

Pro kontrolu: Vydeme z rozměrů průřezu (Obr. 30)

$$S_d = 14,5 \cdot 14,5 - (14,5 - 5,8) \cdot 8,5 = 136,3 \text{ mm}^2$$

$$I_1 = \frac{1}{12} \cdot [8,5 \cdot 5,8^3 + (14,5 - 8,5) \cdot 14,5^3] = 1662 \text{ mm}^4$$

$$I_2 = \frac{1}{12} \cdot [14,5 \cdot 14,5^3 - (14,5 - 5,8) \cdot 8,5^3] = 3238 \text{ mm}^4$$

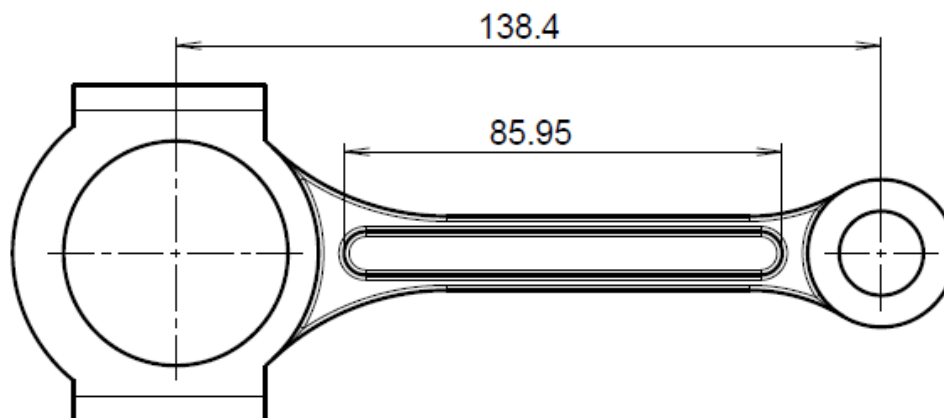
Hodnoty se mírně liší, jelikož jsem si výpočet zjednodušil zanedbáním zaoblení. Budu tedy vycházet z hodnot CREO.

Napětí tahové: Působí pouze setrvačná síla.

$$\sigma = \frac{F_s}{S_d} = \frac{3802,5}{135,4} = 28,1 \text{ MPa}$$

Napětí tlakové: Výsledná síla se rovná rozdílu síly tlakové a setrvačné.

$$\sigma_{tl} = \frac{(F_p - F_s)}{S_d} = \frac{(22\,089 - 3\,802,5)}{135,4} = 135,1 \text{ MPa}$$



Obr. 31 Ojnice

štíhlost

$$\lambda_1 = \frac{L}{\sqrt{\frac{I_1}{S}}} = \frac{138,4}{\sqrt{\frac{1586}{135,4}}} = \mathbf{40,44} ; \lambda_2 = \frac{L}{\sqrt{\frac{I_2}{S}}} = \frac{138,4}{\sqrt{\frac{3193}{135,4}}} = \mathbf{28,5}$$

$$\lambda_1, \lambda_2 < \lambda_{mezni} = 86 \rightarrow \text{oblast nepružného vzpěru}$$

Jedná se o oblast nepružného vzpěru a kontrola na vzpěr pro ocele třídy 17 se provádí pro $\lambda > 22$.

Kontrola vzpěrného namáhání

Jedná se o nepružný vzpěr, tak se kontrola provede podle Tetmajera. Kontrola se provádí vzhledem k rovině náchylnější ke zhroucení, což je rovina s menším kvadratickým průřezem.

$$\sigma_{KR} = a - b \cdot \lambda_1 = 589 - 3,82 \cdot 40,44 = 434,5 \text{ MPa}$$

a, b..... konstanty určené z tabulek pro ocel třídy 17.

Lze také určit maximální sílu a maximální tlak v oblasti nepružného vzpěru.

$$F_{KR} = \sigma_{KR} \cdot S_d = 434 \cdot 135,4 = 58\,831 \text{ N}$$

$$F_D = \frac{F_{KR}}{k} = \frac{58\,831}{2} = 29\,415 \text{ N} \rightarrow p_{MAX} = \frac{F_D}{S_{PIST}} = \frac{29\,415}{4417} = \mathbf{6,66 \text{ MPa}}$$

Ojnice by vydržela maximální tlak 6,66 MPa při bezpečnosti $k = 2$.

Bezpečnost

$$k = \frac{\sigma_{KR}}{\sigma_{tl}} = \frac{434,5}{135,1} = \mathbf{3,21}$$

Bezpečnost vyšla celkem v pořádku. Pokud by vyšla příliš vysoká, můžu upravit výpočtový vzorec v tabulce parametrů ME. Kdyby naopak vyšla bezpečnost nedostačující, opět bych, tentokrát musel, změnit výpočtový vzorec pro příslušný rozměr v ME. Změna se provede úpravou koeficientu (Obr. 32).

	A	B	D
48	OLKH =	23.200	/* šířka ojnicí hlavy klikové
49	OTR =	=ZAOKRO	/* tloušťka ramena ojnice

Obr. 32 Úprava koeficientu ve výpočtovém vzorci

Tím že upravím koeficient, dojde ke změně rozměru, a proto je **nutné** provést celý bezpečnostní výpočet znovu.

7 Závěr

Výše bylo popsáno a ukázáno jakým způsobem lze přistoupit k návrhu spalovacího motoru pomocí výpočetní techniky a vhodných programů. Tento způsob návrhu vede k efektivitě práce zejména v době návrhu, kdy hledáme vhodné rozměry všech součástí. Poté lze jednoduše porovnávat navrhované modely podle porovnávací tabulky (Tab. 2) a vyhodnotit výhodnost toho, či onoho řešení. Nebo lze porovnávat modely podle vlastních kritérií. Změnu jednotlivých rozměrů kvůli technologičnosti nebo bezpečnostním výpočtům lze jednoduše upravit v programu ME.

V podstatě byl vypracován základní koncept, na kterém lze dále pracovat do té míry, než budou veškeré detaily propracovány a zparametrizovány. Parametrizace nabízí například skokové změny, nebo podmíněné změny. CAD systém je velmi silný nástroj, a čím více se dokáže využít jeho potenciál, tím více může být užitečný.

Díky informačním technologiím je tedy možné realizovat úlohy, které by bez výpočetních systémů byly těžce proveditelné. V této práci již zmíněná parametrizace 3D modelu spalovacího motoru.

Seznam použitých zdrojů

- [1] Macek, J.: Spalovací motory I. Nakladatelství ČVUT, 2007
- [2] Hromádko, J a kolektiv: Spalovací motory, Praha: Grada publishing 2011,
ISBN – 978-80-247-3475-0
- [3] Kovařík, L. – Ferencey, V. – Skalský, R. – Částek, L: Konstrukce vozidlových spalovacích motorů, Praha : Naše vojsko, 1992. 28-073-92 05/169
- [4] Leinveber, J a Vávra, P: Strojnické tabulky, ALBRA 2008. ISBN 978-80-7361-051-7

Seznam použitých zkratek

B	[dm]	Vrtání válce
b _{mep}	[MPa]	střední efektivní tlak
CREO	-	PTC CREO ELEMENT/PRO 5.0
D	[mm]	průměr pístu
F _{KR}	[N]	kritická vzpěrná síla
F _{PMAX}	[N]	Maximální tlaková síla
F _S	[N]	setrvačná síla
H	[dm]	Výška motoru
i	[dm]	Počet válců
I ₁	[mm ⁴]	kvadratický moment průřezu k ose 1
I ₂	[mm ⁴]	kvadratický moment průřezu k ose 2
k	[1]	bezpečnost
L	[mm]	délka ojnice
L _m	[dm]	Délka motoru
ME	-	Microsoft EXCEL 2010
m _o	[kg]	hmotnost ojnice
m _{ps}	[kg]	hmotnost pístní skupiny
n	[min ⁻¹]	otáčky klikového hřídele
p	[Mpa]	tlak

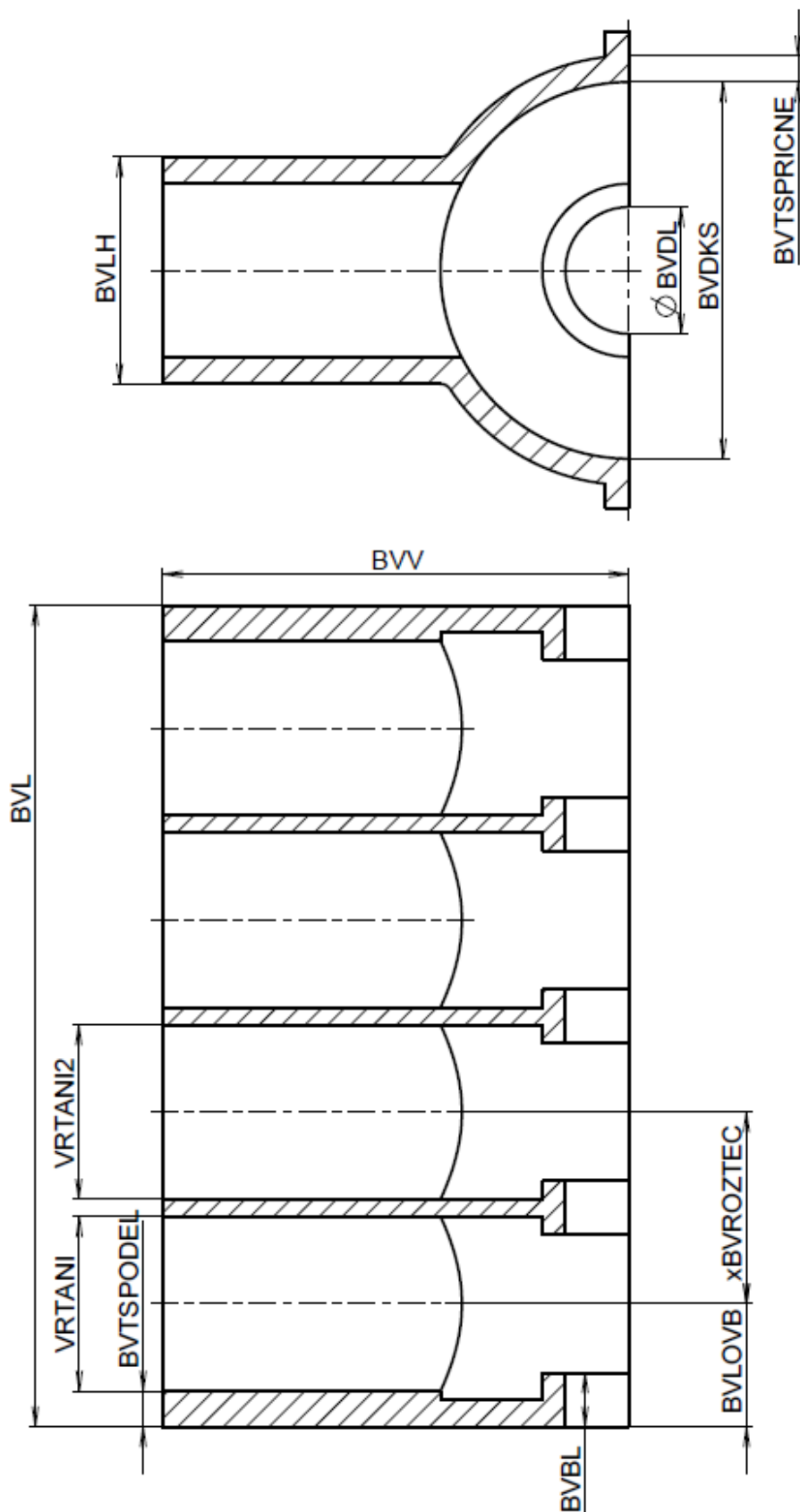
P_e	[kW]	Výkon motoru
P_s	[kW/kg]	Měrný výkon
r	[mm]	poloměr klikového hřídele
S_D	[mm ²]	průřez pístu
S_d	[mm ²]	průřez dřívku ojnice
V	[dm ³]	Zdvihový objem
VOL	[dm ³]	Objem sestavy
V_Z	[m ³]	zdvihový objem
W	[dm]	Šířka motoru
W	[kg]	Váha motoru
W_s	[kg/dm ³]	Měrná váha
z	[dm]	Zdvih pístu
α	[°]	úhel natočení klikového hřídele
κ	[1]	ojniční poměr
λ	[1]	štíhlost
σ	[N.mm ⁻²]	napětí v tahu
σ_{KR}	[N.mm ⁻²]	Kritické vzpěrné napětí
σ_{tl}	[N.mm ⁻²]	napětí v tlaku
ω	[rad·s ⁻¹]	uhlová rychlost klikového hřídele

Seznam obrázků

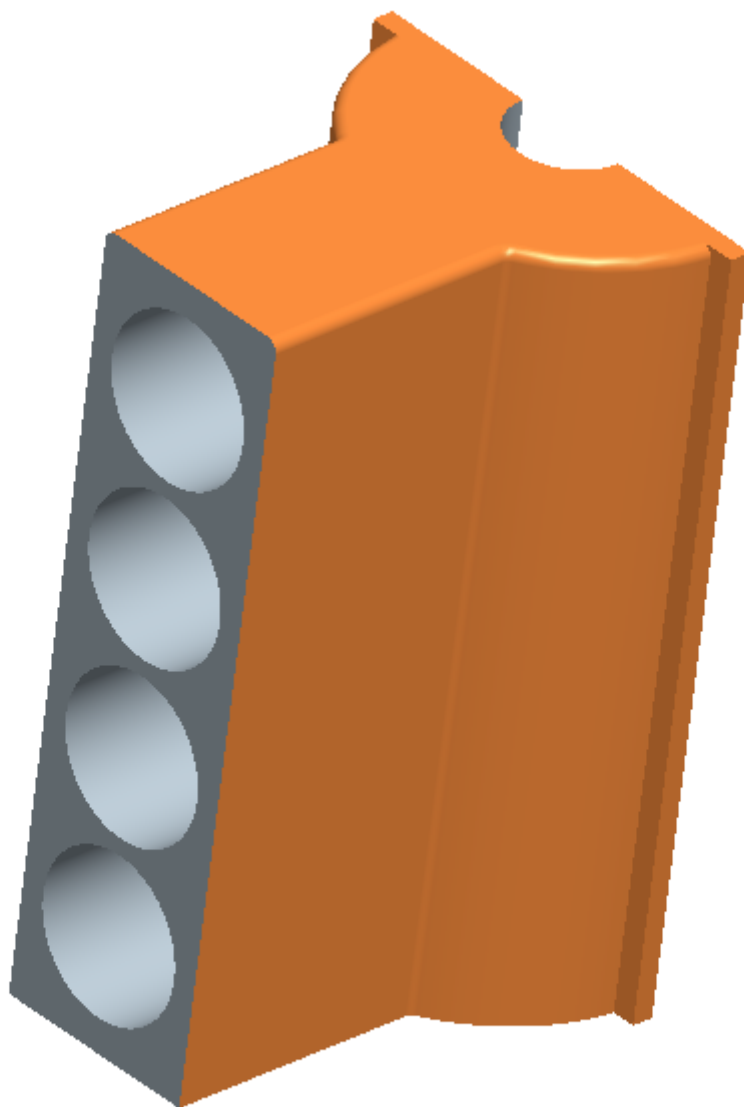
Obr. 1 Creo Elements/Pro 5.0	- 11 -
Obr. 2 Microsoft Excel	- 12 -
Obr. 3 Diagram P-V(tlak – objem).....	- 13 -
Obr. 4 Diagram T – s (teplota – entropie),	- 13 -
Obr. 5 Součásti spalovacího motoru.....	- 14 -
Obr. 6 Klikový hřídel: skica s parametry.....	- 18 -
Obr. 7 klikový hřídel v CREO	- 19 -
Obr. 8 vazby rozměrů v modeláři CREO.....	- 19 -
Obr. 9 označení parametrů v CREO	- 20 -
Obr. 10 Model spalovacího motoru	- 21 -
Obr. 11 Model spalovacího motoru – boční pohled	- 21 -
Obr. 12 Model spalovacího motoru – rozložená sestava	- 22 -
Obr. 13 Řídicí parametry před a po změně.....	- 25 -
Obr. 14 ME zadávání vzorce pro výpočet buňky BVLH (B8)	- 26 -
Obr. 15 ME zadávání vzorce pomocí koeficientu.....	- 26 -
Obr. 16 Tabulka parametrů pro součást Blok válců motoru	- 26 -
Obr. 17 Import dat z ME pomocí modulu <i>Excel analysis</i>	- 28 -
Obr. 18 importované parametry s vlastními názvy „Name“	- 29 -
Obr. 19 seskupení parametrů	- 29 -
Obr. 20 vkládání parametrů modelu do modulu <i>Relations</i>	- 30 -
Obr. 21 přiřazení parametrů <i>excel analysis</i> konkrétnímu parametru modelu	- 31 -
Obr. 22 přiřazení v <i>Relations</i> sestavy	- 32 -
Obr. 23 přiřazení v <i>Relations</i> součásti	- 32 -
Obr. 24 Načtení nových parametrů z ME	- 33 -
Obr. 25 Příslušné parametry v tabulce Microsoft Excel	- 34 -
Obr. 26 Rozměry vrtání před a po změně parametrů	- 34 -
Obr. 27 Rozměry zdvihu před a po změně parametrů.....	- 34 -
Obr. 28 Schéma klikového mechanismu.....	- 36 -
Obr. 29 Hodnoty plochy a kvadratických momentů průřezu v programu CREO.....	- 37 -
Obr. 30 průřez dřívku ojnice.....	- 38 -
Obr. 31 Ojnice.....	- 39 -
Obr. 32 Úprava koeficientu ve výpočtovém vzorci	- 40 -

Seznam příloh

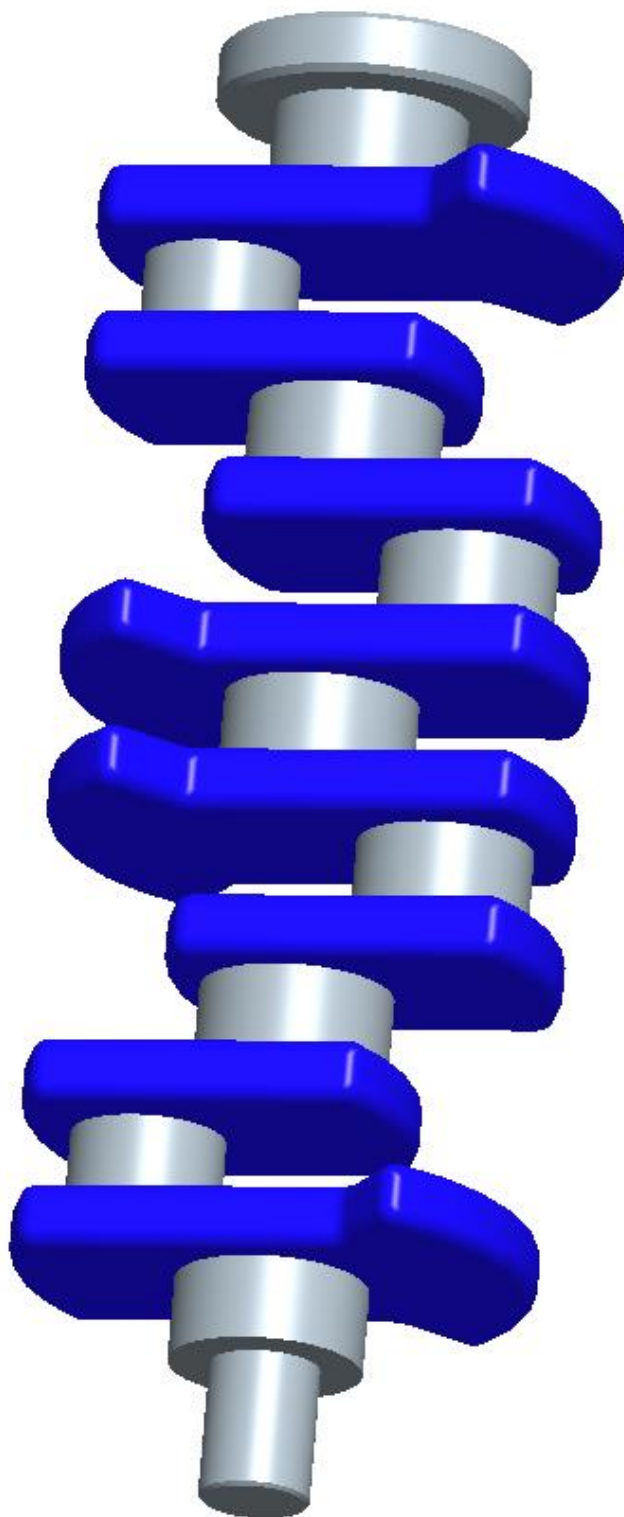
- Příloha 1. Blok válců – PARAMETRY**
- Příloha 2. Blok válců – 3D model**
- Příloha 3. Klikový hřídel – PARAMETRY**
- Příloha 4. Klikový hřídel – 3D model**
- Příloha 5. Ojnice – PARAMETRY / 3D model**
- Příloha 6. Pístní čep – PARAMETRY / 3d model**
- Příloha 7. Píst – PARAMETRY / 3D model**
- Příloha 8. Hlava válců – PARAMETRY**
- Příloha 9. Hlava válců – 3D model**
- Příloha 10. Ventil sací – PARAMETRY / 3D model**
- Příloha 11. Ventil výfukový – PARAMETRY / 3 D model**
- Příloha 12. Vačkový hřídel – PARAMETRY / 3D model**
- Příloha 13. Můstek – PARAMETRY / 3D model**
- Příloha 14. Pružina – PARAMETRY / 3D model**
- Příloha 15. Kryt horní – PARAMETRY / 3D model**
- Příloha 16. Kryt spodní – PARAMETRY / 3D**
- Příloha 17. Názvy parametrů 1/3**
- Příloha 18. Názvy parametrů 2/3**
- Příloha 19. Názvy parametrů 3/3**



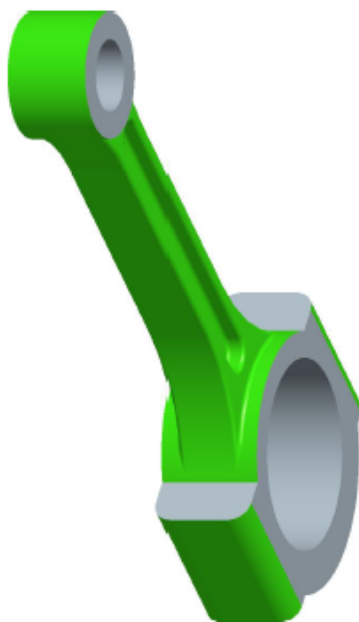
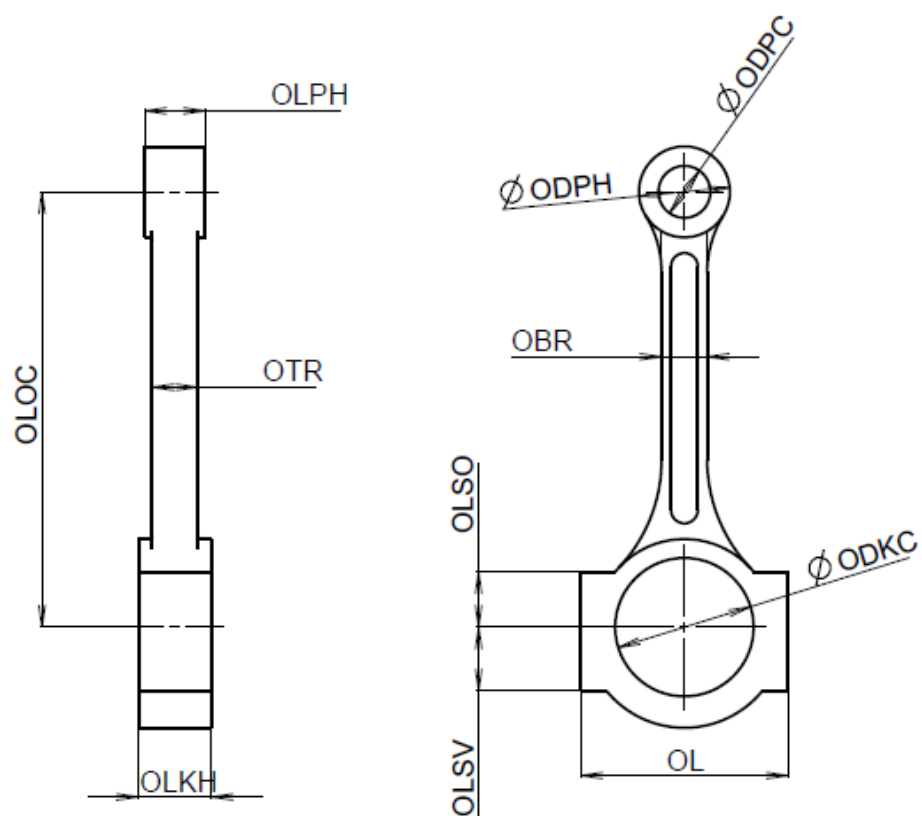
Příloha 1. Blok válců – PARAMETRY



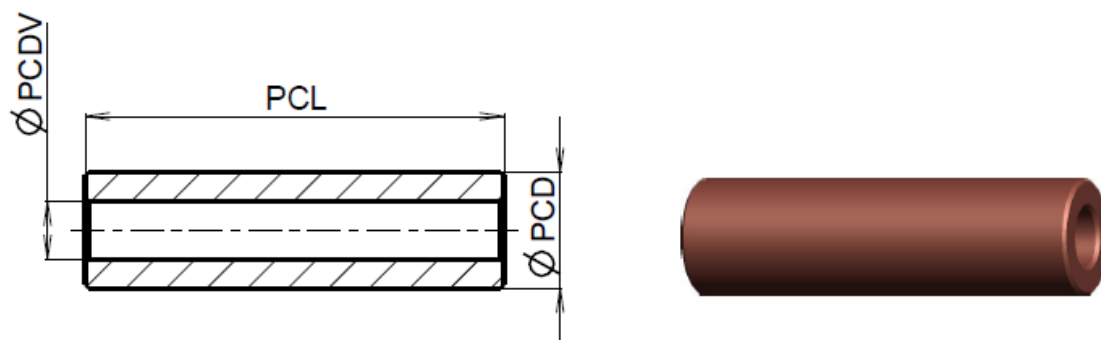
Příloha 2. Blok válců – 3D model



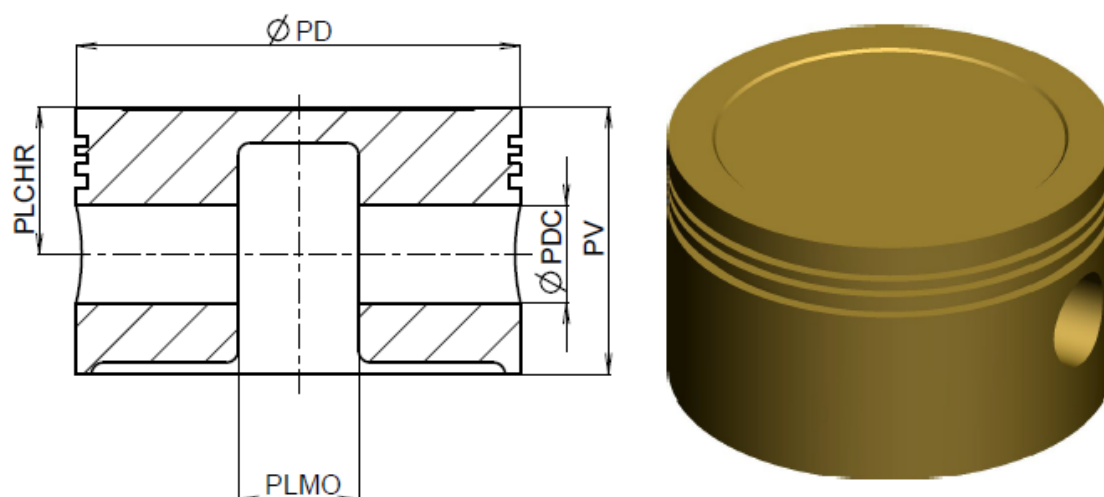
Příloha 4. Klikový hřídel – 3D model



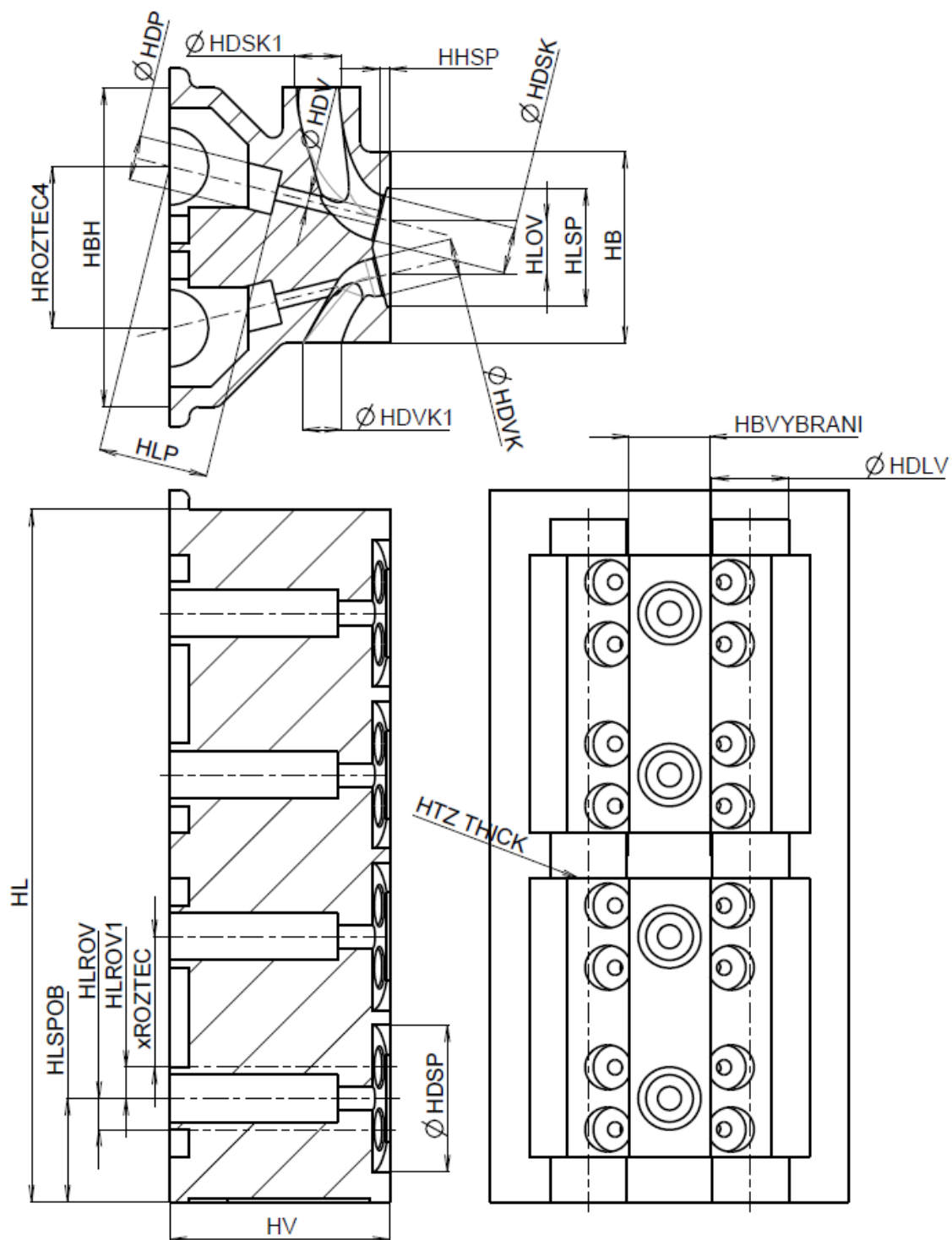
Příloha 5. Ojnice – PARAMETRY / 3D model



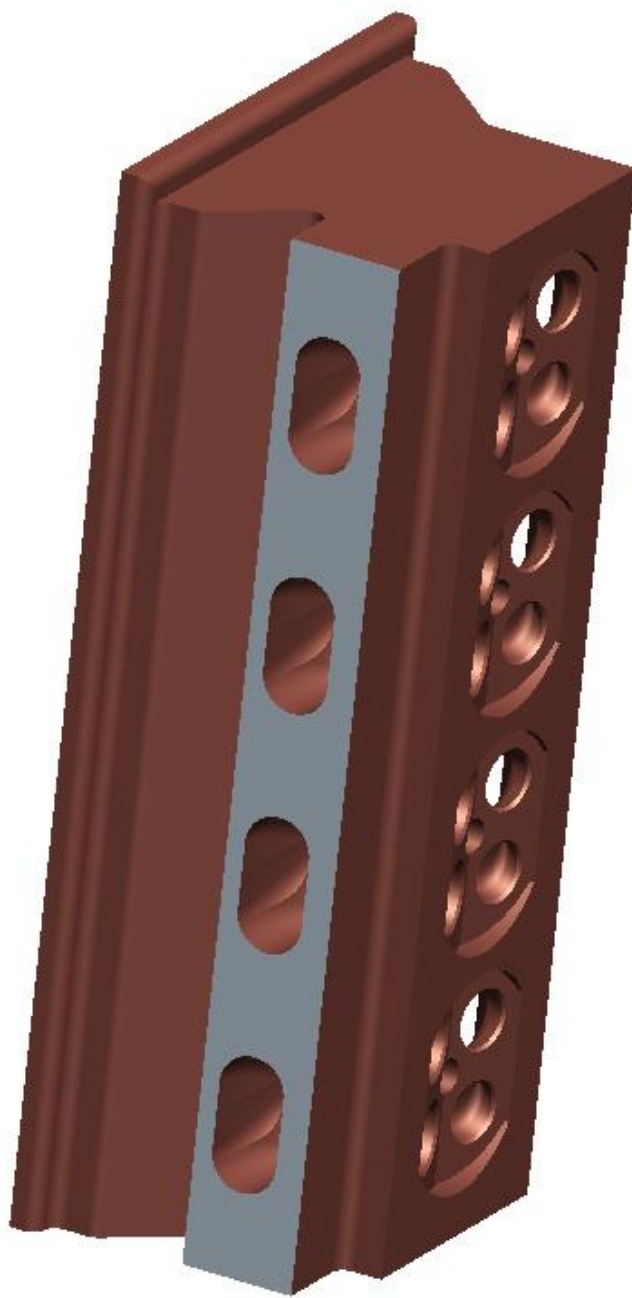
Příloha 6. Pístní čep – PARAMETRY / 3d model



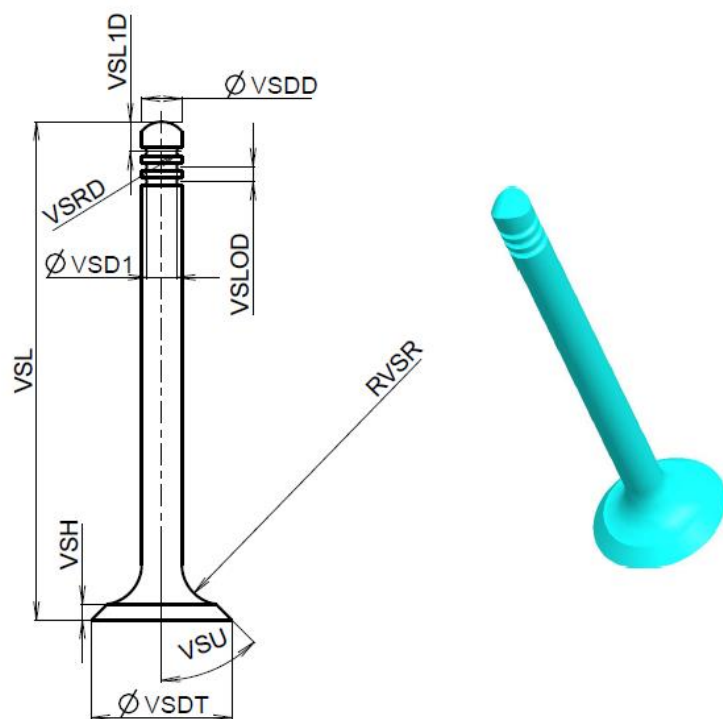
Příloha 7. Píst – PARAMETRY / 3D model



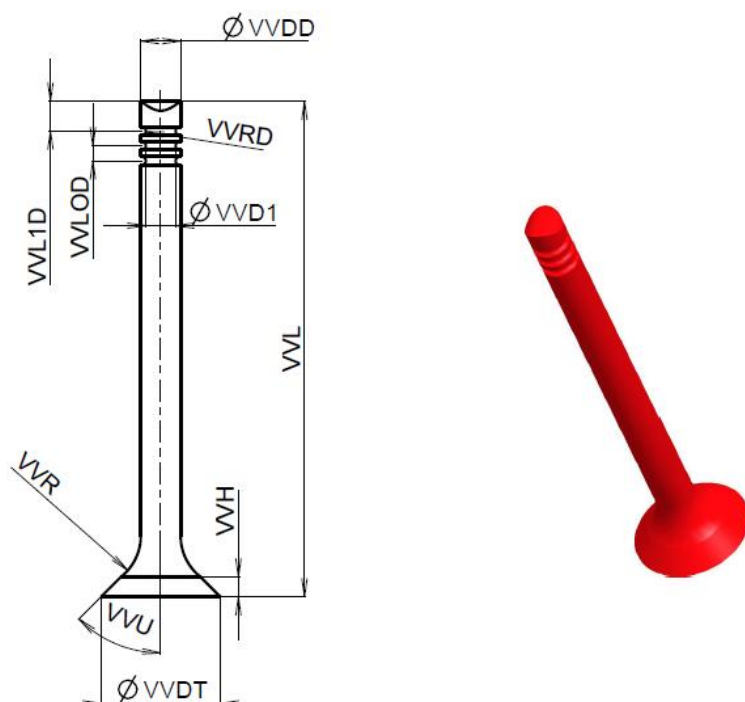
Příloha 8. Hlava válců – PARAMETRY



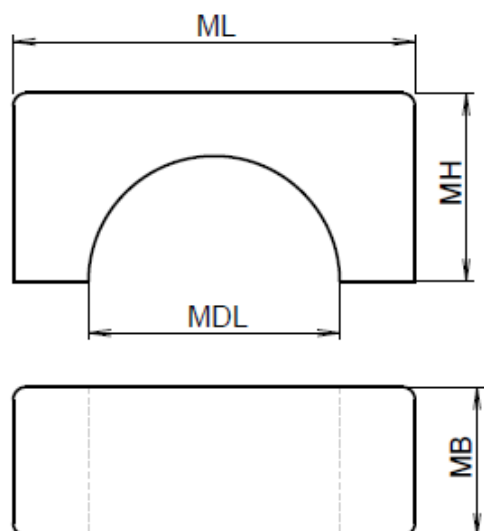
Příloha 9. Hlava válců – 3D model



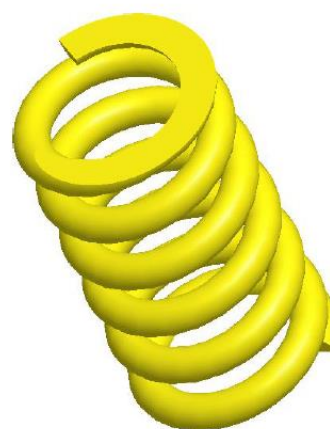
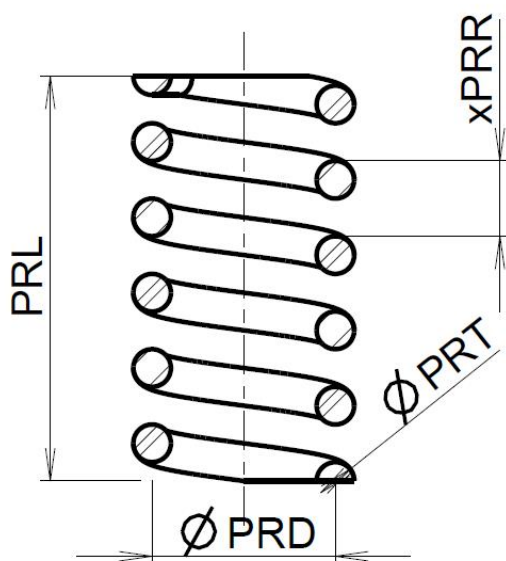
Příloha 10. Ventil sací – PARAMETRY / 3D model



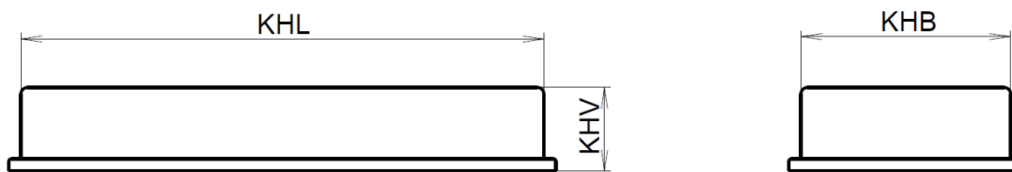
Příloha 11. Ventil výfukový – PARAMETRY / 3D model



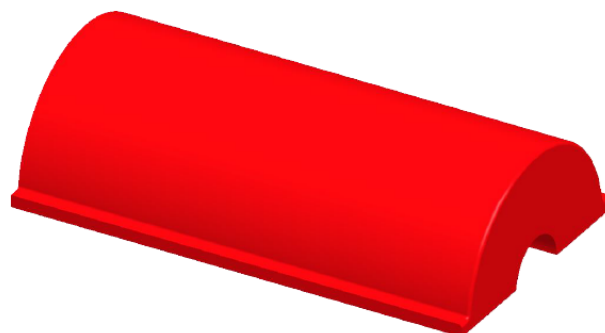
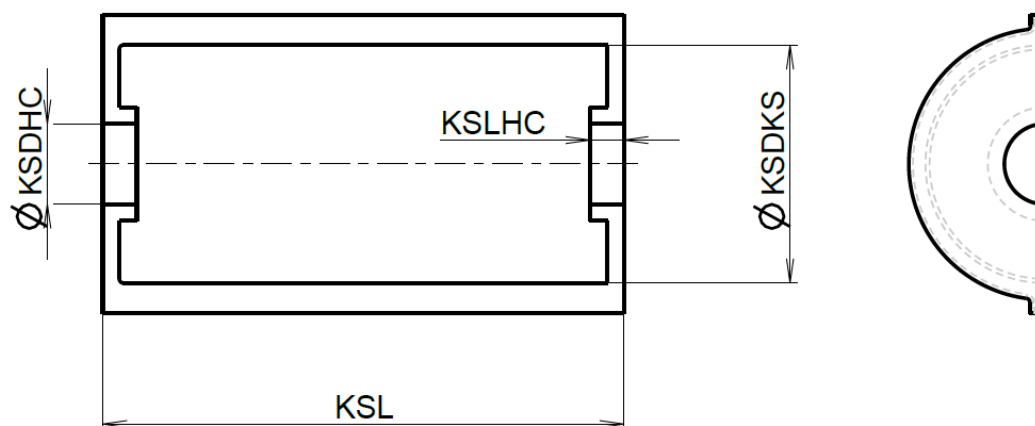
Příloha 13. Můstek – PARAMETRY / 3D model



Příloha 14. Pružina – PARAMETRY / 3D model



Příloha 15. Kryt horní – PARAMETRY / 3D model



Příloha 16. Kryt spodní – PARAMETRY / 3D

Příloha 17. Názvy parametrů 1/3

/* PARAMETRY MOTORU			
i	4		/* počet válců
D	80	mm	/* vrtání motoru
Z	80	mm	/* zdvih pístu
Vz	1608	cm ³	/* zdvihový objem motoru
zaokrouhlení	1		/* počet desetinným míst zaokrouhlení
/* BLOK_VÁLCŮ_MOTORU		[mm]	
BVLH =	104.000		/* šířka horní části bloku
BVTSPRICNE =	12.000		/* tloušťka stěny příčného řezu bloku
BVDL =	58.000		/* průměr ložisek klikového hřídele
BVDKS =	172.000		/* šířka klikové části bloku
BVV =	213.900		/* výška bloku
BVLV =	132.880		/* délka vrtání bloku
BVLOVB =	56.300		/* vzdálenost osy vrtání od bloku motoru
BVTSPODEL =	16.300		/* tloušťka stěny podélného řezu bloku
VRTANI =	80.000		/* průměr vrtání
BVBL =	24.600		/* šířka ložisek klikového hřídele
BVLOVL =	44.000		/* vzdálenost osy vrtání od středu ložiska
BVROZTEC =	88.000		/* vzdálenost os vrtání
BVL =	376.600		/* celková délka bloku
/* KLIKOVY_HRIDEL		[mm]	
KHDRK =	30.000		/* průměr části hřídele pro rozvodové kolo
KHLRK =	38.000		/* délka části hřídele pro rozvodové kolo
KHDOC =	44.800		/* průměr čepů ojnicních ložisek
KHLK =	40.000		/* délka kliky
KHLOC =	24.600		/* délka čepů ojnicních ložisek
KHLV =	76.000		/* délka vyvažovací části klikového hřídele
KHBR =	72.800		/* šířka ramena kliky
KHLHC =	24.600		/* délka čepů hlavních ložisek
KHDHC =	56.000		/* průměr čepů hlavních ložisek
KHDPS =	89.600		/* průměr příruby setrvačnicku
KHLPS =	18.000		/* šířka příruby setrvačnicku
KHROZTEC =	88.000		/* kliková rozteč
KHRHOC =	264.000		/* rozteč horních ojnicních čepů
KHRDOC =	88.000		/* rozteč dolních ojnicních čepů
KHRC1 =	44.000		/* rozteč 1.hlavního a 1.ojnicního čepu
KHSTRED =	12.300		/* polovina hlavního čepu
/* OJNICE		[mm]	
OLPH =	20.500		/* šířka ojnicní hlavy pístové
ODPC =	17.600		/* průměr ložiska pístového čepu
ODPH =	30.800		/* průměr ojnicní hlavy pístové
OLOC =	147.600		/* vzdálenost os ojnicních čepů
OL =	70.200		/* šířka části u ojnicních šroubů
OLSO =	18.700		/* délka šroubové části ojnice
ODKC =	46.800		/* průměr ložiska klikového čepu
OLKH =	24.600		/* šířka ojnicní hlavy klikové
OTR =	15.400		/* tloušťka ramena ojnice
OBR =	15.400		/* šířka ramena ojnice
OLSV	21.500		/* délka šroubové části víka ojnice
/* VIKO_OJNICE		[mm]	
OLSV =	21.500		/* délka šroubové části víka ojnice
-	31.824		/* vnější poloměr víka ojnice
-	24.600		/* šířka víka ojnice

Příloha 18. Názvy parametrů 2/3

/* PISTNI_CEP			
PCL =	63.800		/* délka pístního čepu
PCDV =	8.800		/* vnitřní průměr pístního čepu
PCD =	17.600		/* větší průměr pístního čepu
/* PIST			
		[mm]	
PD =	79.800		/* průměr pístu
PLCHR =	26.300		/* vzdálenost osy pístního čepu od horní roviny pístu
PV =	47.880		/* výška pístu
PDC =	17.600		/* průměr pístního čepu
PLMO =	21.500		/* délka mezery pro ojnicí hlavu
/* HLAVA_MOTORU			
		[mm]	
HROZTEC =	88.000		/* rozteč spalovacích prostorů v hlavě (= vzdálenost os vrtání)
HLOV =	28.800		/* vzdálenost os ventilů na dně hlavy
HLROV =	17.500		/* vzdálenost rovin ventilů od osy vrtání
HDSP =	80.000		/* průměr spalovacího prostoru
HL =	376.600		/* celková délka hlavy
HDSK =	25.000		/* průměr sedla sacího kanálu
HDV =	8.100		/* průměr díry pro vedení ventilu
HDP =	24.300		/* průměr sedla pružiny
HDVK =	21.000		/* průměr sedla výfukového kanálu
HBVYBRANI =	44.000		/* šířka středního bloku pro svíčky
HB =	104.000		/* šířka dna hlavy
HDLV =	41.600		/* průměr ložisek vačkového hřídele
HLSPOB =	56.300		/* vzdálenost roviny spalovacího prostoru od boku bloku
HTZ =	24.600		/* tloušťka žebra
HV =	119.600		/* celková výška hlavy
HLVYBRANI =	327.400		/* šířka vybrání hlavy
HLP =	60.000		/* hloubka roviny pro sedla pružin
HHSP =	5.600		/* hloubka spalovacího prostoru od osy ventilů
HLSP =	64.000		/* délka spalovacího prostoru
HBH =	173.300		/* šířka horní části hlavy
HUV =	0.243	[°]	/* úhel ventilů od osy válce (stupně)
/* VACKOVY_HRIDEL			
		[mm]	
VHLV3 =	61.500		/* vzdálenost 2.sací vačky od středního ložiska
VHLV2 =	114.500		/* vzdálenost 1.sací vačky od středního ložiska
VHBL =	24.600		/* šířka levého ložiska
VHLOK =	8.000		/* vzdálenost středů základní a vrcholové kružnice vačky
VHRZ =	17.000		/* poloměr základní kružnice vačky
VHRV =	12.800		/* poloměr vrcholové kružnice vačky
VHU3 =	90.000	[°]	/* úhel natočení 2.sací vačky
VHU1 =	0.000	[°]	/* úhel natočení 1.sací vačky
VHU2 =	270.000	[°]	/* úhel natočení 3.sací vačky
VHU4 =	180.000	[°]	/* úhel natočení 4.sací vačky
VHUP =	117.500	[°]	/* úhel natočení výfukové vačky vůči sací vačce
VHDR =	60.000		/* průměr konce hřídele pro rozvodové kolo
VHLL =	176.000		/* vzdálenost levého ložiska od levého konce hřídele
VHBP =	19.600		/* šířka pravého ložiska
VHLR =	35.200		/* délka osazení pro rozvodové kolo levého konce hřídele
VHLO =	10.560		/* délka osazení levého konce hřídele
VHDL =	41.600		/* průměr ložisek
VHDZ =	22.400		/* základní průměr vačkového hřídele
VHBV =	13.600		/* šířka vačky
VHDO =	27.000		/* průměr osazení levého konce hřídele
VHLV1 =	149.500		/* vzdálenost 1.výfukové vačky od středního ložiska
VHLV4 =	26.500		/* vzdálenost 2.výfukové vačky od středního ložiska

Příloha 19. Názvy parametrů 3/3

/* VENTIL_VYFUKOVY		[mm]	
VVL =	99.400		/* celková délka výfukového ventilu
VVDD =	8.000		/* průměr dířku výfukového ventilu
VVDT =	24.000		/* průměr talíře výfukového ventilu
VVD1 =	6.000		/* průměr drážek výfukového ventilu
VVR =	10.400		/* přechodový poloměr mezi dířkem a talířem výfukového ventilu
VVRD =	0.900		/* radius drážky výfukového ventilu
VVL1D =	6.000		/* vzdálenost od hlavy dířku k 1. drážce výfukového ventilu
VVLOD =	3.000		/* vzdálenost dvou sousedních drážek výfukového ventilu
VVDK =	3.000		/* vzdálenost mezi první a třetí drážkou výfukového ventilu
VVH =	4.000		/* výška talíře výfukového ventilu
VVU =	45.000		/* úhel sražení sedlové části výfukového ventilu
/* VENTIL_SACI		[mm]	
VSRD =	0.900		/* radius drážky sacího ventilu
VSL =	99.400		/* celková délka sacího ventilu
VSDD =	8.000		/* průměr dířku sacího ventilu
VSDT =	28.000		/* průměr talíře sacího ventilu
VSD1 =	6.000		/* průměr drážek sacího ventilu
VSR =	8.000		/* přechodový poloměr mezi dířkem a talířem výfukového ventilu
VSU =	45.000		/* úhel sražení sedlové části sacího ventilu
VSH =	3.200		/* výška talíře sacího ventilu
VSLOD =	3.000		/* vzdálenost dvou sousedních drážek sacího ventilu
VSL1D =	6.000		/* vzdálenost od hlavy dířku k 1. drážce sacího ventilu
/* MUSTEK		[mm]	
MDL =	41.600		/* průměr ložiska vačky
MB =	24.600		/* šířka můstku
ML =	66.600		/* délka můstku
MH =	31.200		/* hloubka můstku
MBU =	19.600		/* šířka úzkého můstku pravého ložiska
/* KRYT_HLAVY		[mm]	
KHV =	69.000		/* výška víka
KHL =	432.000		/* celková délka víka
KHB =	173.300		/* šířka víka
KHT =	5.000		/* tloušťka stěny víka
/* PRUŽINA		[mm]	
PRL =	43.000		/* délka pružiny
PRD =	19.500		/* střední průměr pružiny
PRT =	4		/* tloušťka drátu pružiny
PRR =	8		/* rozteč závitů pružiny
/* KRYT_SPODNÍ		[mm]	
KSL =	376.600		/* délka klikové skříně
KSDKS =	172		/* průměr klikové skříně
KSLHC =	24.6		/* délka hlavních čepů
KSDHC =	58.0		/* průměr hlavních čepů