



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

JEDNOVÁLCOVÝ MOTOR PRO SILNIČNÍ ZÁVODNÍ MOTOCYKL

SINGLE-CYLINDER ENGINE OF A ROAD RACING MOTORCYCLE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. ROMAN ŠVÁBÍK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. LUBOMÍR DRÁPAL

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Roman Švábík

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Automobilní a dopravní inženýrství (2301T038)**

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 diplomové práce:

Jednoválcový motor pro silniční závodní motocykl

v anglickém jazyce:

Single-cylinder Engine of a Road Racing Motorcycle

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Konstrukční návrh zážehového čtyřdobého jednoválcového motoru pro silniční závodní motocykl třídy Moto3.

Cíle diplomové práce:

Proveďte rešerši v oblasti konstrukce čtyřdobých jednoválcových kapalinou chlazených motorů o zdvihovém objemu do 250 cm³ dle předpisů třídy Moto3 Mistrovství světa silničních motocyklů. V prostředí CAD zpracujte vlastní konstrukční návrh takovéto pohonné jednotky, přičemž se zaměřte především na samotný motor a jeho díly; spojku a převodovku zpracujte pouze schematicky. S využitím pokročilých metod proveďte výpočet vybraného konstrukčního uzlu. Vypracujte výkres sestavy motoru, kde uveďte hlavní a přípojně rozměry.

Seznam odborné literatury:

- [1] BORETTI, A. A. Engine Design Concepts for World Championship Grand Prix Motorcycles. 1st edition. Warrendale (Pennsylvania): SAE International, 2012. ISBN 978-0-7680-7799-5.
- [2] HEISLER, H. Advanced Engine Technology. 1st edition. Oxford: Arnold, 1995, reprint 2002. ISBN 1-56091-734-2.
- [3] KOŽOUŠEK, J. Výpočet a konstrukce spalovacích motorů II. 1. vydání. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1983, 488 s.
- [4] RAUSCHER, J. Spalovací motory. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2005. Studijní opory VUT v Brně.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Lubomír Drápal

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/2015.

V Brně, dne 27.10.2014

L.S.

prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty



ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá návrhem jednoválcového motoru pro silniční závodní motocykl o zdvihovém objemu 250 cm³. Na začátku práce jsou uvedeny pravidla vztahující se ke konstrukci motorů kategorie Moto3 a dále je shrnut současný stav poznání motocyklů a motorů dané kategorie.

Poté následuje popis jednotlivých konstrukčních prvků, doplněný pevnostním výpočtem klikového hřídele metodou LSA.

KLÍČOVÁ SLOVA

Jednoválcový motor, čtyřdobý motor, silniční závodní motocykl, Moto3

ABSTRACT

The aim of this thesis is design of one cylinder engine, with stroke volume 250ccm, for a Moto3 category racing motorbike. At the begin the thesis describes rules for engine design for Moto3 racing motorbike category and gives a summary about current technologies in engine design and motorcycle development.

Another part describes construction features of engine design, completed with crank shaft analysis using the LSA method.

KEYWORDS

Single cylinder engine, four-stroke engine, road racing motorcycle, Moto3



BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ŠVÁBÍK, R. *Jednoválcový motor pro silniční závodní motocykl*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 91 s. Vedoucí diplomové práce ing. Lubomír Drápal.



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 29. května 2015

.....

Roman Švábík



PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu mé diplomové práce Ing. Lubomíru Drápalovi a odbornému konzultantovi Ing. Jaroslavu Keprtovi za odborné vedení práce, cenné rady a ochotu při konzultacích. Dále bych chtěl poděkovat své rodině za podporu během studia.



OBSAH

Úvod	11
1 Pravidla Moto3	12
1.1 Motocykl	12
1.1.1 Rozměry a hmotnost	12
1.1.2 Bezpečnostní kritéria	12
1.1.3 Hluk	12
1.2 Motor	12
1.2.1 Parametry motoru	12
1.2.2 Životnost motoru	13
1.2.3 Sací potrubí	13
1.2.4 Výfukové potrubí	13
1.2.5 Rozvodové ústrojí	13
1.2.6 Materiály	14
1.2.7 Palivo a olej	14
1.3 Převodovka	14
2 Motocykly třídy Moto3	15
2.1 KTM RC250GP	15
2.2 Husqvarna FR250GP	17
2.3 Honda NSF250GP	17
2.4 Mahindra MGP30	19
3 Parametry navrhovaného motoru	21
3.1 Základní parametry motoru	21
3.2 Analýza klikového mechanismu	23
3.2.1 Kinematika klikového mechanismu	23
3.2.2 Síly působící v klikovém mechanismu	25
4 Konstrukce navrhovaného motoru	26
4.1 Klikový mechanismus	26
4.1.1 Pístní skupina	26
4.1.2 Ojnice	32
4.1.3 Klikový hřídel	35
4.2 Vyvažovací hřídel	43
4.3 Rozvodové ústrojí	45
4.3.1 Ventily	45
4.3.2 Vodítka ventilů	48
4.3.3 Misky ventilů	49



4.3.4	Zámky ventilů.....	49
4.3.5	Ventilové pružiny	49
4.3.6	Jednostranně vetknutá páka	50
4.3.7	Vymezení ventilové vůle	51
4.3.8	Vačkové hřídele.....	51
4.3.9	Hřídel s vloženým ozubeným kolem	53
4.3.10	Rozvodový řetěz	54
4.4	Hlava motoru	59
4.4.1	Spalovací prostor	59
4.4.2	Ventilová sedla	60
4.4.3	Sací a výfukové kanály.....	61
4.4.4	Chladicí jádro hlavy motoru	62
4.4.5	Zapalovací svíčka	63
4.4.6	Svorníky	64
4.4.7	nálitky pro uložení konstrukčních částí rozvodového ústrojí.....	65
4.4.8	Víka vačkových hřídelů.....	68
4.4.9	Kryt hlavy motoru	69
4.4.10	Kryt otvoru pro mezikolo	70
4.5	Válec motoru.....	71
4.6	Převodovka	73
4.7	Kliková skříň.....	74
4.7.1	Pravá část klikové skříně	74
4.7.2	Kryt pravé části klikové skříně.....	75
4.7.3	Kryt spojky	76
4.7.4	Kryt čerpadla chladicí kapaliny.....	77
4.7.5	Levá část klikové skříně	78
4.7.6	Kryt levé části klikové skříně a kryt olejového filtru	80
4.8	Chlazení motoru.....	82
4.8.1	Čerpadlo chladicí kapaliny	82
4.8.2	Chladicí soustava.....	83
4.9	Mazání motoru.....	84
4.9.1	Olejová čerpadla	84
4.9.2	Ostřík dna pístu.....	85
4.9.3	Mazací soustava.....	86
	Závěr.....	87
	Seznam použitých zkratk a symbolů	90



Seznam příloh.....91



ÚVOD

Spalovací motor je tepelný stroj, který spálením paliva přeměňuje chemickou energii na tepelnou, kterou pak za využití vhodného média převádí na mechanickou práci.

Pístový spalovací motor, který je dnes nejčastěji využíván v motocyklech a automobilech se řadí do skupiny motorů s vnitřním spalováním.

U motocyklů se dříve využívaly převážně dvoudobé motory. Svědčí o tom i fakt, že před vznikem kategorie Moto3 Mistrovství světa silničních motocyklů, se závodilo na motocyklech s dvoudobým motorem. Až v roce 2012 se přešlo u všech tří kategorií Mistrovství světa silničních motocyklů k motorům čtyřdobým.

Kategorie Moto3 má pravidly omezený maximální zdvihový objem motoru na 250 cm^3 . Jedná se ale o motory vysokootáčkové, maximální dovolené otáčky jsou $13\,500 \text{ min}^{-1}$, což klade velký důraz na vhodnou volbu materiálů a konstrukčních provedení jednotlivých částí motoru. Z tohoto důvodu se velice rozšířilo používání nejen CAD softwarů, ale i MKP a MBS softwarů pro provádění různých analýz.



1 PRAVIDLA MOTO3¹

Moto3 je nejslabší kategorie Mistrovství světa silničních motocyklů, která v roce 2012 nahradila kategorii motocyklů o objemu do 125 cm³.

1.1 MOTOCYKL

1.1.1 ROZMĚRY A HMOTNOST

Maximální šířka motocyklu nesmí v přední části přesáhnout 600 mm, v zadní části 450 mm. Minimální hmotnost motocyklu s jezdcem včetně kompletního ochranného oděvu je v kategorii Moto3 148 kg. Hmotnost motocyklu bude kontrolována na konci tréninku nebo závodu, s plnou nádrží, normální hladinou vody a oleje a všemi přídatnými zařízeními připojenými k motocyklu, jako jsou zařízení pro elektronický záznam dat, měřiče času apod. Při menší hmotnosti je povoleno přidat na motocykl zátěž pro splnění hmotnostního limitu.

1.1.2 BEZPEČNOSTNÍ KRITÉRIA

Při naklopení motocyklu o 50° se žádná jeho část kromě pneumatik nesmí dotknout vozovky. Kryt řetězu musí být namontován tak, aby se zabránilo namotání mezi řetěz a řetězové kolo. Odvzdušňovací potrubí z motoru nebo převodovky musí ústít do airboxu nebo vhodné nádoby. Boční kryty motorů obsahující olej, které by se mohli dostat při havárii do kontaktu s vozovkou, by měly být chráněny druhým krytem vyrobeným z ocelových, hliníkových nebo kompozitních materiálů – nylon, uhlík, Kevlar®. Všechny kryty musí být odolné proti náhlým otřesům, oděru a musí být řádně a bezpečně upevněny.

1.1.3 HLUK

Testování hlučnosti motocyklu musí být prováděno na otevřeném prostranství s minimálním množstvím okolního hluku. Minimální vzdálenosti motocyklu od zdi musí být 10 m. Měřicí zařízení může být umístěno 50 cm od konce výfukového potrubí pod úhlem 45° do strany nebo nad konec výfukového potrubí. Maximální povolená hladina zvuku je 115 dB při 5 500 min⁻¹.

1.2 MOTOR

1.2.1 PARAMETRY MOTORU

V kategorii Moto3 musí být motocykl vybaven jednoválcovým čtyřtákním motorem s přirozeným sáním o maximálním zdvihovém objemu 250 cm³. Maximální vrtání válce je

¹ Informace obsažené v kapitole 1 Pravidla Moto3 byly čerpány ze zdroje [1]



81 mm. Píst a válec motoru musí být v půdorysu kruhové. Úchylka kruhovitosti nesmí přesáhnout hodnotu 5 %. Zdvihový objem motoru je definován jako zdvihový objem jednotlivých válců vynásobený počtem válců. Žádné odchylky nejsou tolerovány. Výkon motoru se měří při pokojové teplotě. Maximální otáčky jsou $13\,500\text{ min}^{-1}$. Vačky musí být poháněné jedním řetězem. Cena motoru bez převodovky nesmí přesáhnout 12 000 €. Za motor se podle definice považuje kompletní motor včetně vstříkovačích trysek a tělesa škrticí klapky, a zařízení potřebných k mapování motoru (čidla, snímače, zapalovací svíčky...)

1.2.2 ŽIVOTNOST MOTORU

V kategorii Moto3 je omezený počet motorů na 6 ks na sezonu pro každého jezdce. Toto omezení neplatí pro motory pro testování, vztahuje se pouze na motory na kvalifikaci a závody GP. Pro výrobce motorů, který dodává motory pro Moto3 první sezonu je počet omezený na 8 ks na sezonu.

1.2.3 SACÍ POTRUBÍ

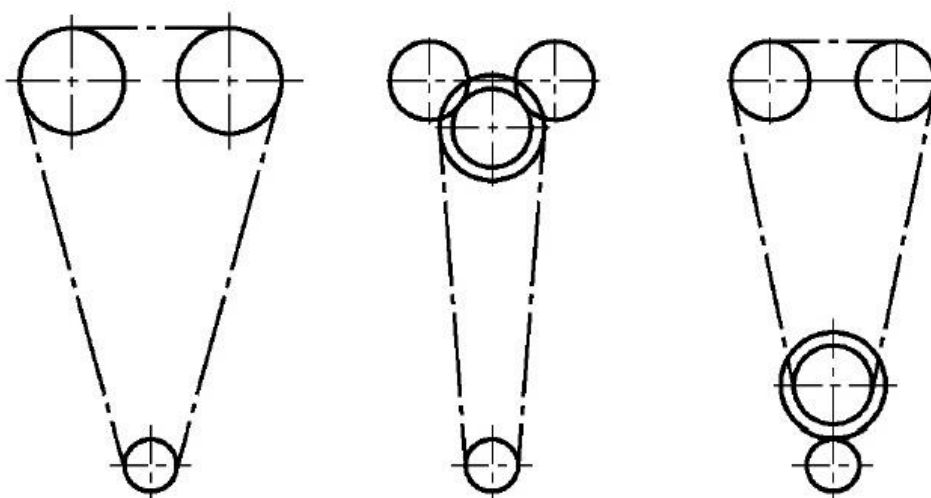
Maximální relativní tlak paliva je 0,5 MPa. Proměnlivá délka systému sání není povolena. Ovládání škrticí klapky je povoleno pouze mechanické. Vstříkování paliva musí být prováděno před sacími ventily motoru. Motor může být mazán pomocí olejové vany. Směšování paliva a vzduchu je povolené pouze v sacím traktu a spalovacím prostoru.

1.2.4 VÝFUKOVÉ POTRUBÍ

Konec výfuku nesmí přesahovat přes linii vedoucí vertikálně skrz hranu zadní pneumatiky. Z bezpečnostních důvodů musí být ostré hrany na výfuku zaobleny. Proměnlivá délka výfukového potrubí není povolena. Recirkulace výfukových plynů je zakázána. Žádné pohyblivé části (ventily, překážky) ve výfukovém potrubí nejsou povoleny.

1.2.5 ROZVODOVÉ ÚSTROJÍ

Pneumatické pružiny ventilů, variabilní časování a zdvih ventilů pomocí hydraulických, elektrických nebo elektronických systému jsou zakázány. Spojení vačkových a klikové hřídele musí být provedeno pomocí jednoho řetězu. Možné varianty provedení jsou uvedeny na obrázku 1.



Obr. 1 Povolené provedení rozvodového ústrojí

1.2.6 MATERIÁLY

Základní část klikové a vačkové hřídele musí být z železného materiálu, oceli nebo litiny. Části z jiného materiálu jsou povoleny pouze pro účely vyvažování klikové hřídele. Kliková skříň motoru, blok válce a hlava válce musí být vyrobeny z lité hliníkové slitiny. Písty musí být vyrobeny z hliníkové slitiny. Pístní čepy musí být vyrobeny z železných materiálů. Ojnice, ventily a ventilové pružiny musí být vyrobeny ze slitiny na bázi železa nebo titanu. Žádná část motocyklu nebo motoru nesmí být vyrobená z kovového materiálu, který má poměrný modul pružnosti větší než 50 GPa/(g/cm³). Použití materiálu MMC (Metal Matrix Composite) a FRM (Fibre Reinforced Metal) je zakázáno.

1.2.7 PALIVO A OLEJ

Všechny motocykly v kategorii Moto3 jsou povinny používat pouze palivo a motorový olej od jmenovaného dodavatele paliva a motorového oleje. Palivo i olej musí odpovídat kritériím FIM Grand Prix.

1.3 PŘEVODOVKA

Převodovka může být maximálně šestistupňová. Automatická převodovka je zakázána, povoleno je pouze manuální řazení. Pro každý převodový stupeň jsou povoleny dva převodové poměry, které mohou být používány během celé sezony. Maximální cena převodovky je 1 500 €.



2 MOTOCYKLY TŘÍDY MOTO3

V této kapitole budou popsány motocykly soutěžící v Mistrovství světa silničních motocyklů kategorie Moto3. Jedná se o stroje KTM RC250GP, Husqvarna FR250GP, Honda NSF250RW a Mahindra MGP 30.

2.1 KTM RC250GP

Motor motocyklu RC250GP, s označením M32, vychází z motokrosového motoru. Zdvihový objem motoru je 299,9 cm³. Vrtání motoru je 81 mm, což je největší dovolené vrtání v dané kategorii, zdvih 48,5 mm. Pro utěsnění spalovacího prostoru využívá KTM z důvodu ušetření hmotnosti posuvných částí pouze jeden těsnicí kroužek o tloušťce 0,8 mm. Ojnice je dělená, závity pro připevnění šroubů se nachází v ojnici, tudíž není potřeba matic, což opět vede ke snížení hmotnosti. [2]

Sací ventily, stejně jako výfukové jsou vyrobeny z titanu a jsou vůči sobě skloněny o 2°, což by podle konstruktéra motoru M32 Kurta Triebe mělo vést k přivádění směsi blíže k zapalovací svíčke a také k jejímu lepšímu víření ve válci. Tato opatření by se měla příznivě projevit na výkonu motoru. [3]



Obr. 2 Motocykl KTM RC250GP [5]



Další parametry motocyklu KTM RC250GP jsou uvedeny v tabulce 1.

Tab. 1 Vybrané parametry motocyklu KTM RC250GP [4]

Zdvihový objem	[cm ³]	249,5
Vrtání	[mm]	81
Zdvih	[mm]	48,5
Počet válců	[-]	1
Počet ventilů	[-]	4
Stupeň komprese	[-]	14,5
Výkon	[kW / min ⁻¹]	37 / 13 000
Rozvody		DOHC s vloženým mezikolem
Kliková skříň		Polosuchá
Počet převodových stupňů	[-]	6
Objem palivové nádrže	[l]	11
Rozvor	[mm]	1210
Hmotnost motocyklu	[kg]	83

Na obrázku 3 je vidět motor M32, které využívá v motocyklech třídy Moto3 rakouský závodní tým KTM.



Obr. 3 Motor M32 [5]



2.2 HUSQVARNA FR250GP

Stroj FR250GP je po technické stránce motocykl RC250GP od KTM. Tyto dva motocykly se od sebe liší jen barevným pojetím kapotáže a logem na palivové nádrži. [7]



Obr. 4 Motocykl Husqvarna FR250GP [8]

2.3 HONDA NSF250GP

Motocykl NSF250RW nahradil typ RS125R, který nevyhovoval novým pravidlům kategorie Moto3. Sání motoru vstupuje do přední části motoru, výfukové potrubí jde ze zadní části motoru, což umožňuje uložení v rámu pod úhlem 15° proti směru jízdy. Tuto koncepci uložení motoru používá nyní pouze HONDA, ostatní motocykly mají motor skloněný po směru jízdy. [9]

Vrtání motoru s označením MR03GP je 78 mm, zdvih 52,5 mm. Honda, stejně jako KTM, využívá závity pro ojnicí šrouby v ojnici, čímž šetří hmotnost matic. Klikový mechanismus je excentrický, s excentricitou 2 mm. Klikový hřídel je v motoru uložen pomocí kluzných ložisek, která zabírají méně místa oproti valivým ložiskům, díky čemuž lze vyrobit kompaktnější motor. [9]

Další parametry motocyklu Honda NSF250RW jsou uvedeny v tabulce 2.



Tab. 2 Vybrané parametry motocyklu Honda NSF250GP [9]

Zdvihový objem	[cm ³]	249,3
Vrtání	[mm]	78
Zdvih	[mm]	52,5
Počet válců	[-]	1
Počet ventilů	[-]	4
Stupeň komprese	[-]	14,5
Výkon	[kW / min ⁻¹]	35,5 / 13 000
Točivý moment	[Nm / min ⁻¹]	28 / 10 500
Rozvody		DOHC
Kliková skříň		Polosuchá
Počet převodových stupňů	[-]	6
Objem palivové nádrže	[l]	11
Rozvor	[mm]	1219
Hmotnost motocyklu	[kg]	84



Obr. 5 Motocykl Honda NSF250GP [9]



Obr. 6 Motor MR03GP [16]

2.4 MAHINDRA MGP30

MGP30 je označení motocyklu indického výrobce a závodního týmu Mahindra, na jehož vývoji se podílel i švýcarský tým Suter Racing Technology. Motocykl, jehož vývoj trval pouze šest měsíců, je poháněn motorem o objemu 249 cm³. [10,11]

Vrtání a zdvih válce je, stejně jako u motocyklu Hondy, 78 x 52,5 mm. Výkon motoru je přes 52 koní. Váha motocyklu, jehož šasi tvoří hliníkový rám, je 78 kg. [12,13]

Další parametry motocyklu Mahindra MGP30 jsou uvedeny v tabulce 3.

Tab. 3 Vybrané parametry motocyklu Mahindra MGP30 [11]

Zdvihový objem	[cm ³]	249
Vrtání	[mm]	78
Zdvih	[mm]	52,5
Počet válců	[-]	1
Počet ventilů	[-]	4
Výkon	[kW]	39
Rozvody		DOHC



Kliková skříň		Polosuchá
Počet převodových stupňů	[-]	6
Objem palivové nádrže	[l]	10
Hmotnost motocyklu	[kg]	78



Obr. 7 Motocykl Mahindra MGP30 [14]

Na obrázku 8 je zobrazeno uložení motoru v rámu motocyklu Mahindra MGP30. Osa válce tohoto motoru je podobně jako u motocyklu Honda téměř vodorovná.



Obr. 8 Umístění motoru v rámu motocyklu Mahindra MGP30 [15]

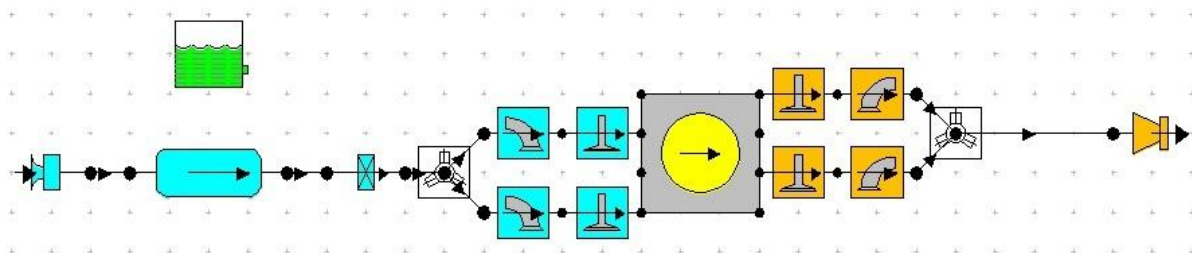


3 PARAMETRY NAVRHOVANÉHO MOTORU

V této kapitole budou zmíněny základní parametry motoru, momentové charakteristiky a také analýza klikového mechanismu.

3.1 ZÁKLADNÍ PARAMETRY MOTORU

Nejdříve byl sestaven model motoru v programu Lotus Engine Simulation, ve kterém byly laděny části motoru tak, aby měl konstruovaný motor optimální výkon a točivý moment. Model je zobrazen na obrázku 9.



Obr. 9 Model motoru v programu Lotus Simulation

Parametry motoru pro simulaci byly voleny a optimalizovány v souladu s technickými regulami FIM a s ohledem na co nejlepší výkon a točivý moment. Parametry navrhovaného motoru jsou zobrazeny v tabulce 4.

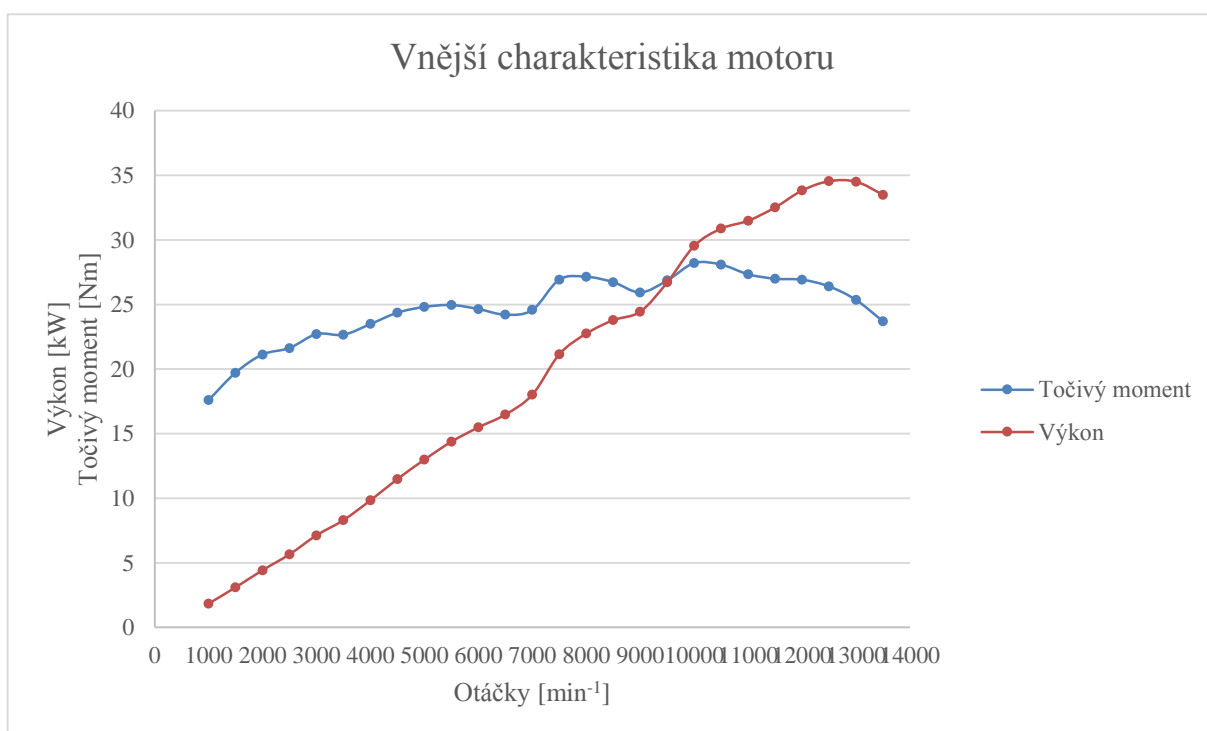
Tab. 4 Vybrané parametry navrhovaného motoru

Zdvihový objem	[cm ³]	249,92
Vrtání	[mm]	81
Zdvih	[mm]	48,5
Excentricita	[mm]	2
Počet válců	[-]	1
Počet ventilů	[-]	4
Stupeň komprese	[-]	14,5
Maximální otáčky	[min ⁻¹]	13 500
Jmenovité otáčky	[min ⁻¹]	12 500
Úhel otevření sacího ventilu	[°]	24
Úhel zavření sacího ventilu	[°]	80
Maximální zdvih sacího ventilu	[mm]	10,63
Úhel otevření sacího ventilu	[°]	90



Úhel zavření sacího ventilu	[°]	20
Maximální zdvih sacího ventilu	[mm]	9,54
Rozvody		DOHC s vloženým mezikolem
Kliková skříň		Polosuchá
Počet převodových stupňů	[-]	6

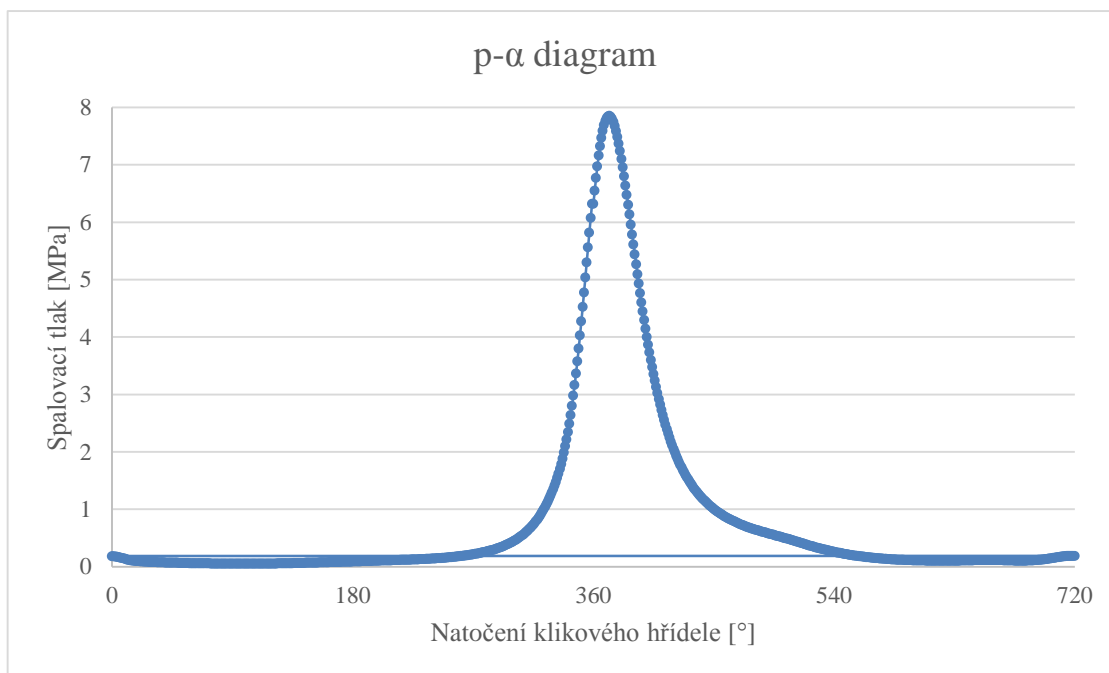
Ze simulace, do které byla vložena data z tabulky 4, vyšly hodnoty výkonu a točivého momentu uvedené v obrázku 10.



Obr. 10 Vnější charakteristika motoru

Maximální výkon motoru je 34,55 kW při 12 500 min⁻¹ a točivý moment je maximální při 10 000 min⁻¹ a jeho hodnota je 28,21 Nm.

Na dalším obrázku č. 11 je uvedený p-α diagram vykreslující průběh tlaku ve válci v závislosti na natočení klikové hřídele při jmenovitých otáčkách motoru. Maximální hodnota spalovacího tlaku je 7,854 MPa.

Obr. 11 p- α diagram

3.2 ANALÝZA KLIKOVÉHO MECHANISMU

3.2.1 KINEMATIKA KLIKOVÉHO MECHANISMU

Jednotlivé kinematické veličiny a síly byly vypočítána pomocí programu Mathcad a jsou uvedeny v příloze této práce.

Dráha pístu

Pro výpočet dráhy pístu byl použit vzorec pro výpočet dráhy pístu excentrického klikového mechanismu. [17]

$$s = \sqrt{(l+r)^2 - e^2} - r \left[\frac{1}{\lambda_o} + \cos \alpha + \lambda_e \sin \alpha - \frac{\lambda_o}{4} (1 - \cos 2\alpha) \right], \quad (1)$$

kde s je dráha pístu, l je délka ojnice, r je rameno kliky, e je excentricita klikového mechanismu, λ_o je ojniční poměr, λ_e je excentrický poměr a α je úhel natočení klikového hřídele.

Rychlost pístu

Pro výpočet dráhy pístu byl použit vzorec pro výpočet rychlosti pístu excentrického klikového mechanismu. [17]



$$v = \omega r \left(\sin \alpha - \lambda_e \cos \alpha + \frac{\lambda_o}{2} \sin 2\alpha \right) \quad (2)$$

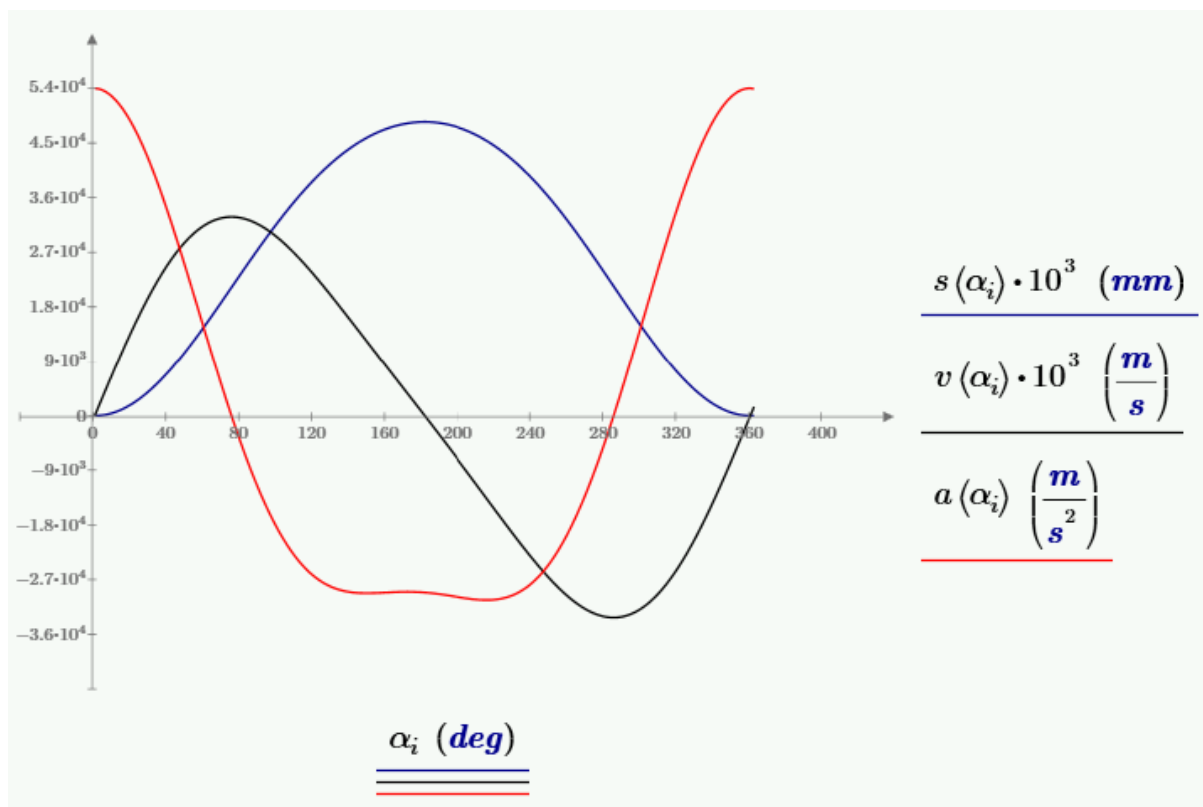
kde v je rychlost pístu, kliky a ω je úhlová rychlost otáčení klikového hřídele.

Zrychlení pístu

Pro výpočet dráhy pístu byl použit vzorec pro výpočet zrychlení pístu excentrického klikového mechanismu. [17]

$$a = \omega^2 r (\cos \alpha + \lambda_e \sin \alpha + \lambda_o \cos 2\alpha) \quad (3)$$

kde a je zrychlení pístu.

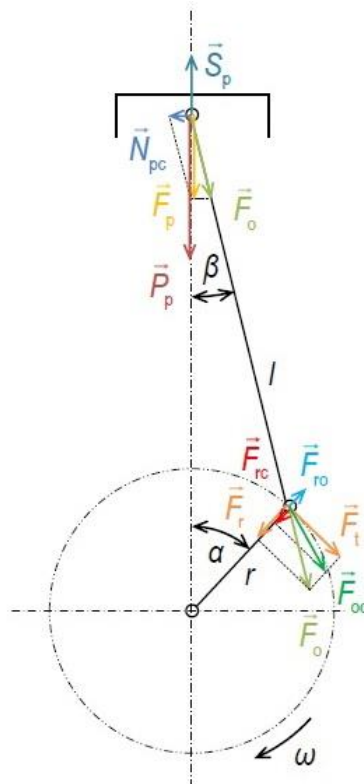


Obr. 12 Kinematické veličiny klikového mechanismu



3.2.2 SÍLY PŮSOBÍCÍ V KLIKOVÉM MECHANISMU

Síly působící v klikovém mechanismu se dají rozdělit na síly od tlaku plynů (primární síly) a setrvačné síly (sekundární síly).



Obr. 13 Síly působící v klikovém mechanismu [18]

Celková síla působící na píst F_p se skládá ze síly od tlaku plynů působící píst P_p a setrvačné síly posuvných částí klikového mechanismu S_p . Tato síla se rozkládá v místě uložení pístního čepu na normálovou sílu od tlaku plynů N_{pc} a na sílu od tlaku plynů působící v ojnici F_o .

Síla od tlaku plynů působící v ojnici F_o je také síla, kterou působí ojnice na ojniční čep F_o , neboť sílu je možno po její nositelce posouvat. V ojničním čepu se tato síla rozkládá na radiální složku F_r a tečnou složku F_t . Radiální složka síly F_r se přes rameno kliky přenáší na hlavní ložiska klikové hřídele. Tečná složka síly od tlaku plynů působící v ojnici F_t vytváří na rameni kliky točivý moment motoru. Proti radiální složce síly od tlaku plynů působící v ojnici působí setrvačná síla rotující části ojnice F_{ro} . Setrvačná síla rotující části ojnice v součtu s tečnou složkou síly od tlaku plynů působící v ojnici dává celkovou sílu zatěžující ojniční čep F_{oc} .



4 KONSTRUKCE NAVRHOVANÉHO MOTORU

V této kapitole budou popsány jednotlivé konstrukční prvky motoru. Konstrukce byla prováděna v programu Creo Parametric 2.0 s ohledem na nízkou hmotnost, ale zároveň na dostatečnou pevnost a tepelnou odolnost konstruovaných částí motoru. Dále zde bude popsán pevnostní výpočet klikového hřídele metodou LSA.

4.1 KLIKOVÝ MECHANISMUS

Klikový mechanismus převádí přímočarý vratný pohyb pístu vyvolaný silou od tlaku plynů při zažehnutí paliva na rotační pohyb klikového hřídele. Tento pohyb se přes převodovku a ozubený řetěz přenáší až k hnanému kolu a pohání motocykl. [19]

4.1.1 PÍSTNÍ SKUPINA

Pístní skupina má za úkol [19]:

- zabezpečit přenos síly od tlaku plynů na ojnici
- zachytit boční síly vyvolané klikovým mechanismem a přenést je na stěnu válce
- utěsnit spalovací prostor
- zabezpečit odvod tepla ze dna pístu do chlazených stěn spalovacího prostoru

O zabezpečení těchto úkolů se starají jednotlivé části pístní skupiny, do které patří píst, pístní kroužky, pístní čep a axiální pojištění pístního čepu.

Píst

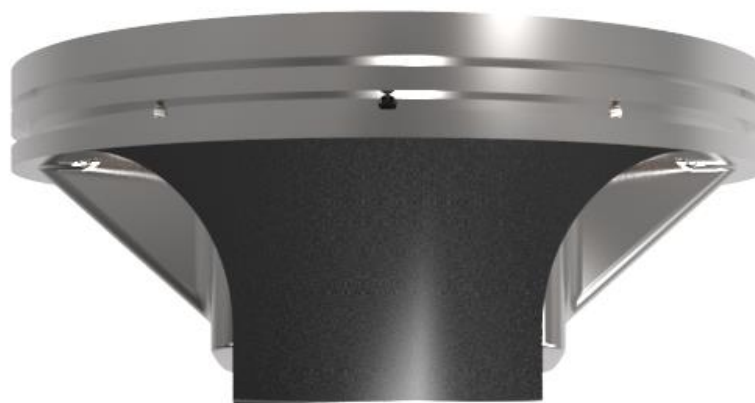
Píst spalovacího motoru je namáhán silami od tlaku plynů, setrvačnými silami a vysokou teplotou spalovacího procesu. [19]

Píst je vybaven dvěma drážkami pro pístní kroužky. V drážce pro stírací pístní kroužek jsou vyvrtány otvory pro odvod maziva do klikové skříně. Pro uložení pístního čepu byla zvolena koncepce tzv. plovoucího pístního čepu, což znamená, že čep je uložen volně v nálitcích pístu i v horním oku ojnice. Kvůli tomu je v nálitcích pro pístní čep vytvořena drážka pro drátové pojistky zamezující axiální pohyb pístního čepu. Pro zlepšení třecích vlastností je na plášti nanesen povlak grafitu.



Obr. 14 Píst navrhovaného motoru

Pro zlepšení třecích vlastností je na plášti nanesen povlak grafitu. Na obrázku 15 je znázorněn černou barvou. Na tomto obrázku je také patrné, že plášť pístu není po celém obvodu, ale pouze v místech největšího otláčení vyvolaného normálovou silou od tlaku plynů



Obr. 15 Povlak grafitu na plášti pístu

Z důvodu zvýšení pevnosti pístu při zachování nízké hmotnosti je dno pístu vyztuženo žebry. Jedny žebra se nacházejí mezi nálitky pro pístní čep, další vedou od nálitků k obvodu pístu a vyztužují jej v místě, kde je odebrán plášť.



Obr. 16 Žebra pístu

Na dnu pístu jsou vybrání pro ventily, aby nedošlo ke kontaktu ventilů s pístem v horní úvratí. Dalším konstrukčním prvkem na dnu pístu je hrana sloužící pro dosažení požadovaného stupně komprese 14,5. Vybrání pro ventily a hrana pro zvýšení kompresního poměru jsou vidět na obrázku 17.



Obr. 17 Upravené dno pístu



Základní parametry pístu jsou uvedeny v tabulce 5.

Tab. 5 Parametry pístu

Průměr pístu	[mm]	81
Výška pístu	[mm]	35,68
Výška pláště	[mm]	23,7
Výška prvního můstku	[mm]	3,5
Výška drážky pro těsnící kroužek	[mm]	0,8
Výška druhého můstku	[mm]	2
Výška drážky pro stírací kroužek	[mm]	1,5
Průměr otvorů pro odvod oleje	[mm]	1,5
Šířka nálitku pro pístní čep	[mm]	35
Průměr otvoru pro pístní čep	[mm]	16
Materiál		Hliníková slitina AlSi12Cu4Ni2Mg
Hmotnost	[g]	204,5

PÍSTNÍ KROUŽKY

Pístní kroužky se dělí na dvě kategorie, těsnící pístní kroužky a stírací pístní kroužky. Hlavním úkolem obou druhů pístních kroužků je odvod tepla z pístu do válce motoru. Těsnící pístní kroužek navíc zabezpečuje utěsnění spalovacího prostoru. Stírací pístní kroužek řídí výšku mazací vrstvy oleje a brání průniku oleje nad píst.

Konstruovaný motor bude využívat dva pístní kroužky, jeden těsnící a jeden stírací kroužek, což je standardní uspořádání u závodních motorů třídy Moto3.

Jako těsnící pístní kroužek byl zvolen jednostranný trapézový kroužek o rozměrech 81x0,9x2,3 mm. Tento typ těsnícího kroužku se vyznačuje vysokou odolností proti rozkmitání, díky kterému je vhodné jeho použití pro vysokootáčkové motory.



Obr. 18 Těsnící pístní kroužek

Stírací kroužek je použit skládaný třídílný tvořený dvěma ocelovými lamelami a pružinou a je zobrazen na obrázku 19. Tento typ kroužku zajišťuje díky vysokému měrnému přitlaku dobré řízení oleje. Rozměry stíracího kroužku jsou 81x1,5x1,95 mm.



Obr. 19 Stírací pístní kroužek

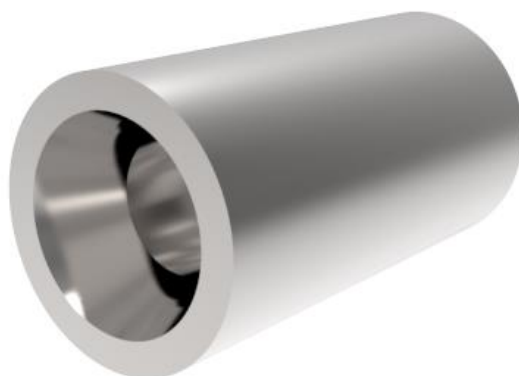
Materiál obou kroužků je shodný, jedná se o chromovou ocel X90CrMoV18 vyznačující se modulem pružnosti 230 GPa, což zaručuje vysokou únavovou pevnost pístních kroužků. Pro zlepšení vlastností jsou pístní kroužky povrchově upraveny galvanicky nanesenou vrstvou chromu. Hmotnost těsnícího pístního kroužku je 2,9 g stírací pístní kroužek váží 3,3 g.

PÍSTNÍ ČEP

Pístní čep přenáší silové účinky mezi pístem a ojnicí. Jelikož tyto silové účinky mění svou velikost i směr během pracovního cyklu motoru, namáhají pístní čep únavově. Pro uvažovaný pístní čep byla zvolena slitina železa XMP-21 vyznačující se menší hustotou a vyšším modulem pružnosti oproti běžným slitinám železa, což zajišťuje pístnímu čepu vysokou odolnost proti únavě při zachování nízké hmotnosti. Vnější průměr pístního čepu je 16 mm,



délka 30 mm. Pro snížení hmotnosti není čep plný, ale je v něm vyvrtaný otvor o průměru 8 mm. Výsledná hmotnost pístního čepu činí 29 g.



Obr. 20 Pístní čep

AXIÁLNÍ POJIŠTĚNÍ PÍSTNÍHO ČEPU

Jak již bylo zmíněno, musí být pístní čep pojištěn proti axiálnímu posuvu, který by mohl mít za následek destrukci motoru. Jako pojistky slouží dva drátové kroužky, zapadající do drážek v nálitcích pístu. Střední průměr pojistky je 16 mm a tomu odpovídá podle normy ČSN 02 2925 průměr drátu 1,6 mm. Materiálem, ze kterého budou tyto pojistky vyrobeny, byla zvolena uhlíková ocel C85S, hmotnost obou pojistek činí 1,6 g.



Obr. 21 Axiální pojistka pístního čepu



4.1.2 OJNICE

Další částí klikového mechanismu je ojnice. Ojnice zabezpečuje přenos sil mezi pístem a klikovým hřídelem motoru. Motory používané v kategorii Moto3 využívají ojnici dělenou. Dělení je provedeno v rovině spodního oka, aby bylo možné spojit ojnici s klikovým hřídelem. V oku pro pístní čep je vyvrtán otvor sloužící k přívodu oleje k pístnímu čepu. Příčný profil dřívku ojnice je tvaru „I“. V oku ojnice pro ojniční čep jsou vytvořeny polohovací drážky zabezpečující polohování tenkostěnných ocelových pánví. Axiální vedení ojnice je zajištěno klikovým hřídelem. Parametry ojnice jsou uvedeny v tabulce 6.

Tab. 6 Parametry ojnice

Délka ojnice	[mm]	100
Vnější průměr oka pro pístní čep	[mm]	20
Vnitřní průměr oka pro pístní čep	[mm]	16
Šířka oka pro pístní čep	[mm]	14
Průměr mazacího otvoru pístního čepu	[mm]	3
Vnější průměr oka pro ojniční čep	[mm]	46
Vnitřní průměr oka pro ojniční čep	[mm]	38
Šířka oka pro ojniční čep	[mm]	20
Tloušťka dřívku ojnice	[mm]	12
Tloušťka vybraní dřívku ojnice	[mm]	4
Rozteč šroubů	[mm]	48
Materiál		Titanová slitina Ti-SB62
Hmotnost	[mm]	149,4



Obr. 22 Ojnice

OJNIČNÍ ŠROUBY

Ojniční šrouby slouží ke spojení ojnice a víka ojnice. Z důvodu velmi vysokého cyklického namáhání jsou použity šrouby z vysokolegované oceli 50CrV4. U daných šroubů byl zvolen závit s jemným stoupáním M8x1. Z důvodu zvýšení pevnosti a snížení vrubové citlivosti jsou závity vyrobeny válcováním. Délka šroubů je 35 mm. Šrouby jsou zašroubovány do závitu v ojnici, odpadá tedy potřeba matic, což vede ke snížení hmotnosti rotačních částí ojnice. Hmotnost obou šroubů činí 34,7 g



Obr. 23 Ojniční šroub

POLOHOVACÍ KOLÍKY

Vzhledem k použitému materiálu ojnice nelze pro její dělení použít metodu řízeného lomu. K polohování ojnice a víka ojnice byla zvolena dvojice ocelových válcovaných kolíků o průměru 1,5 mm a délce 7,9 mm. Na obrázku 24 jsou vidět otvory v ojnici pro polohovací kolíky.

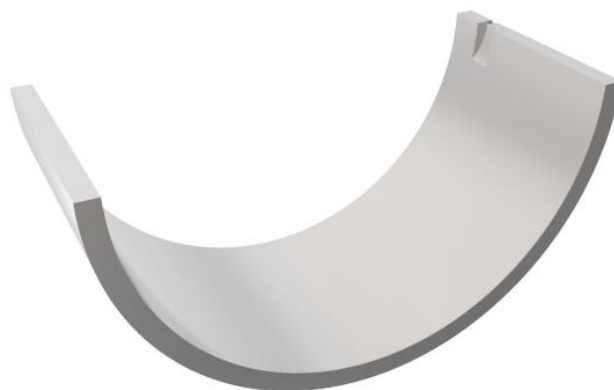


Obr. 24 Otvory pro polohovací kolíky



OJNIČNÍ LOŽISKO

Jako ojniční ložisko jsou použity tenkostěnné třívrstvá ocelové pánve. Základem pánve je ocelový nosič, na kterém je nanášena vrstva slitiny Cu21Pb4.5Sn . Poslední vrstvou je povlak z Pb10Sn5Cu sloužící ke zvýšení povrchové tvrdosti. Ložiskové pánve z těchto materiálů jsou vhodné pro závodní aplikace. Vnější průměr pánve je 38 mm, vnitřní průměr 35 mm, délka 18 mm. Hmotnost obou pánví je 24,5 g. Ojniční ložiskové pánve jsou vybaveny polohovacími drážkami.



Obr. 25 Ojniční ložisková pánev

4.1.3 KLIKOVÝ HŘÍDEL

Klikový hřídel zabezpečuje společně s ojnicí převod přímočarého vratného pohybu na rotační pohyb. Současně zabezpečuje vyvážení setrvačných sil rotačních částí a společně s vyvažovacím hřídelem vyvážení prvního řádu setrvačných sil posuvných částí pomocí vývažků umístěných na ramenech klikového hřídele. Výpočet vyvážení je uveden v příloze. Dále také klikový hřídel pomocí ozubených kol pohání vyvažovací hřídel, rozvodový mechanismus, olejové čerpadlo a převodovku. U daného motocyklu je klikový hřídel konstruován s ohledem na elektrické zapalování, které bude uloženo na kuželové části klikového hřídele. Díky dělenému spodnímu oku ojnice může být klikový hřídel kovaný z jednoho kusu.



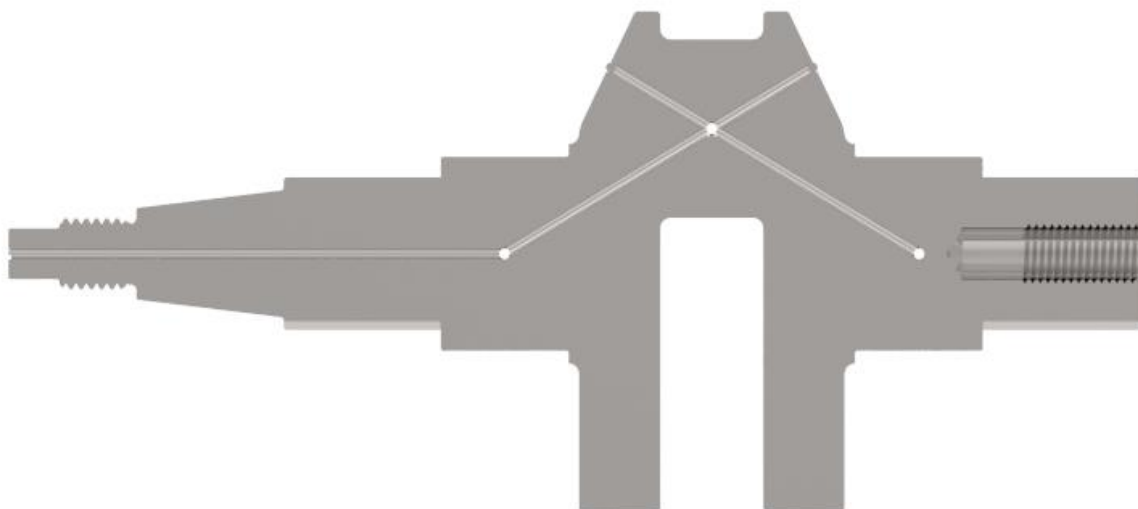
Obr. 26 Klikový hřídel

V souladu s pravidly byla jako materiál klikového hřídele zvolena ocelová slitina s označením WTEC-6, vyznačující se vysokou houževnatostí, odolností proti opotřebení a únavou odolností.

Tab. 7 Parametry klikového hřídele

Délka klikového hřídele	[mm]	222,5
Poloměr zalomení klikového hřídele	[mm]	24,24
Průměr hlavního čepu	[mm]	38
Délka hlavního čepu	[mm]	25
Průměr ojničního čepu	[mm]	35
Délka ojničního čepu	[mm]	20
Šířka ramene	[mm]	16
Poloměr vývažků	[mm]	26
Hmotnost vývažků	[g]	672,38
Průměr mazacích kanálů	[mm]	2
Materiál		Ocelová slitina WTEC-6
Hmotnost	[g]	2,506

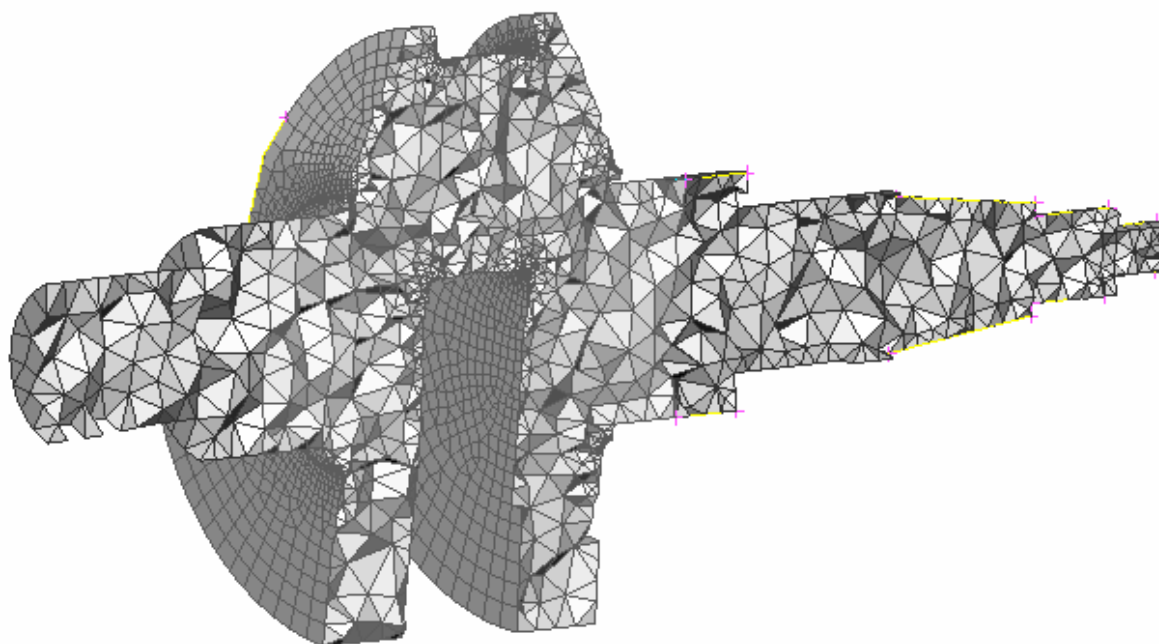
Klikový hřídel slouží také k rozvodu oleje. V hřídeli jsou vyvrtány otvory o průměru 2 mm, kterými je olej dopravován k hlavním a ojničnímu ložisku. Aby olej neunikal vývrtem v rameni klikového hřídele, je zde otvor utěsněn kuličkou.



Obr. 27 Řez klikovým hřídelem

PEVNOSTNÍ ANALÝZA KLIKOVÉHO HŘÍDELE

Klikový hřídelel byl vybrán jako konstrukční prvek, na kterém byla provedena pevnostní analýza pomocí MKP výpočtového softwaru ANSYS metodou LSA. MKP model klikového hřídele vychází ze zjednodušeného CAD modelu. Zjednodušení bylo provedeno odstraněním zaoblení, které se nacházejí mimo kritická místa. Za kritická místa se u klikového hřídele považují přechodová zaoblení mezi ramenem a ojnicím čepem a přechodové zaoblení mezi ramenem a pístním čepem. Také byly odstraněny mazacích kanály, drážkování a závity. Z důvodu urychlení výpočtového času nutného pro vytvoření sítě a hlavně k následným výpočtům byla vytvořena hrubší síť z prvků Quad, která byla v místech přechodových zaoblení zjemněna. Následně byla vytvořena objemová síť modelu pomocí prvků Tetra Rapid, které se s rostoucí hloubkou zvětšují, neboť jemná síť je nutná pouze v blízkosti povrchu.



Obr. 28 Vysíťovaný model klikového hřídele

Následně byly na rovině kolmé k ose hřídele procházející středy hlavních a ojničního čepu vytvořeny uzly rozhraní nutné k provedení analýzy. Tyto uzly byly spojeny s uzly nacházejícími se na stejné rovině ve vzdálenosti přibližně do 2/3 průměru čepů pomocí prvků MPC184. Poté byly vytvořeny prvky Spring-damper14 s tuhostí k_p odpovídající tuhosti hydrodynamické vrstvy kluzného ložiska. Tuhost k byla počítána podle vzorce [20]:

$$k_p = \frac{0,5F_{p,max}}{0,8c}, \quad (4)$$

kde k_p je tuhost prvku Spring-damper14, $F_{p,max}$ je maximální síla od tlaku plynů a c je ložisková vůle, jejíž hodnota byla zvolena 0,00095.

Poté byl klikový hřídel zatížen dvěma stavy v rozsahu otáček 7 500-13 500 min⁻¹ s krokem 1 000 min⁻¹. V prvním stavu byl uzel rozhraní ojničního čepu zatížen maximální silou působící na ojniční čep, ve druhém zátěžném stavu byl ojniční čep zatížen minimální silou působící na ojniční čep. Z analýz bylo zjištěno, že nejvíce namáhaným místem klikového hřídele je přechod mezi ojničním čepem a ramenem klikového hřídele. Hodnoty z analýz potřebné pro další výpočty jsou uvedené v příloze.

Ke stanovení koeficientu bezpečnosti je potřeba znát materiálové charakteristiky ocelové slitiny WTEC-6, které jsou uvedeny v tabulce 8.



Tab. 8 Materiálové charakteristiky ocelové slitiny WTEC-6 [22]

Mez pevnosti v tahu	[MPa]	1 760
Mez kluzu	[MPa]	1 540
Mez únavy v tahu	[MPa]	1 120
Mez únavy v ohybu	[MPa]	1 210

Výpočty pevnostní analýzy klikového hřídele jsou uvedeny v příloze této práce. Pro výpočty byl použit vzorec pro poměrný gradient [20]

$$\chi_r = \frac{1}{\sigma_{eX}} \left(\frac{\sigma_{eX} - \sigma_{eX1}}{xx_1} \right), \quad (5)$$

kde σ_{eX} je maximální napětí v prvním zátěžném stavu, σ_{eX1} je minimální napětí v prvním zátěžném stavu a xx_1 je vzdálenost mezi uzly s maximálním a minimálním napětím.

Následně byl vypočítán korekční součinitel podle vzorce [20]

$$f_G = 1 + \frac{\frac{\sigma_{cOHYB}}{\sigma_{cTAH/TLAK}} - 1}{\frac{2}{d_{vzorek}}} \chi_r, \quad (6)$$

kde σ_{cOHYB} je mez únavy v ohybu pro střídavý symetrický cyklus, $\sigma_{cTAH/TLAK}$ je mez únavy v tahu/tlaku pro střídavý symetrický cyklus a d_{vzorek} je průměr zkušební vzorku,

a také poměr součinitelů vrubu a koncentrace napětí [20]

$$\frac{\beta}{\alpha} = 1 + \sqrt{\chi_r} \cdot 10^{-\left(0,35 + \frac{R_e}{810}\right)}, \quad (7)$$

kde R_e je mez kluzu.

Poté se stanoví amplituda napětí [20]

$$\sigma_{ea} = \frac{\sigma_{eX} - \sigma_{eXB}}{2}, \quad (8)$$

kde σ_{eXB} je maximální napětí ve druhém zátěžném stavu,

a střední hodnota ekvivalentního napětí [20]

$$\sigma_{ea} = \frac{\sigma_{eX} + \sigma_{eXB}}{2} \quad (9)$$

Nakonec se podle vzorce pro výpočet bezpečnosti určí součinitel bezpečnosti [20]

$$\frac{1}{k} = \frac{\beta}{\alpha} \frac{\sigma_{ea}}{\sigma_c \eta \sigma \nu \sigma f_G} + \frac{\sigma_{em}}{R_m}, \quad (10)$$

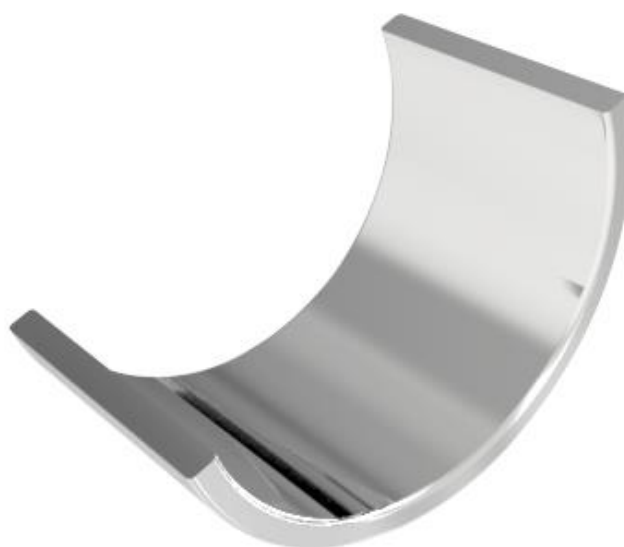


kde η_{σ} je součinitel velikosti, v_{σ} je součinitel pravděpodobnosti přetížení a R_m je mez pevnosti v tahu.

Analýzou a následnými výpočty bylo zjištěno, že nejvíce je klikový hřídel zatížen při otáčkách 11 500 min⁻¹. Koeficient bezpečnosti je roven hodnotě 10,217. Tato hodnota je poměrně vysoká, což může být způsobeno volbou materiálu vyznačujícím se vysokou únavovou odolností.

LOŽISKA HLAVNÍCH ČEPŮ

Klikový hřídel je uložený na kluzných ocelových pánvích, které jsou ze stejného materiálu jako ojnicní pánve. Průměry těchto ložisek jsou 43 mm vnější a 38 mm vnitřní. Délka pánve je 25 mm. Ložiskové pánve jsou schopné zachytit síly pouze v radiálním směru. Proti axiálnímu posuvu klikového hřídele je v klikové skříní vybroušen povrch, o který je klikový hřídel opřen. Hmotnost obou hlavních ložisek je 125,2 g.



Obr. 29 Ložisková pánev klikového hřídele

OZUBENÁ KOLA NA KLIKOVÉM HŘÍDELI

Na klikovém hřídeli jsou umístěny dvě ozubená kola a dva ozubené pastorky. Na jedné straně hřídele jsou umístěna ozubený pastorek, sloužící pro pohon rozvodového ústrojí, a ozubené kolo pohánějící olejová čerpadla. Tato ozubení jsou společně s magnetem, umístěným na kuželové části klikového hřídele, pojištěna proti axiálnímu posuvu maticí M14. Na druhé straně klikového hřídele jsou umístěna ozubené kolo pohánějící vyvažovací hřídel a pastorek primárního převodu. Zde je axiálnímu posuvu zabráněno šroubem M12x27 s podložkou. K zajištění přenosu točivého momentu z klikového hřídele na ozubení je využito drážkování. Parametry jednotlivých kol jsou uvedeny v tabulkách 9-12.



Tab. 9 Parametry ozubeného kola pohánějícího vyvažovací hřídel

Modul	[mm]	2,5
Počet zubů	[-]	29
Průměr roztečné kružnice	[mm]	72,5
Šířka ozubeného kola	[mm]	10
Materiál		Ocelová slitina WTEC-6
Hmotnost	[g]	210,37



Obr. 30 Ozubené kolo pohánějící vyvažovací hřídel

Kvůli snížení hmotnosti je ozubené kolo odlehčeno. Díky tomuto odlehčení se podařilo dosáhnout hmotnosti 210,37 g.

Tab. 10 Parametry ozubeného pastorku primárního převodu

Modul	[mm]	2,5
Počet zubů	[-]	22
Průměr roztečné kružnice	[mm]	55
Šířka ozubeného kola	[mm]	12
Materiál		Ocelová slitina WTEC-6
Hmotnost	[g]	161,26



Obr. 31 Pastorek primárního převodu

Tab. 11 Parametry ozubeného kola pohánějícího olejová čerpadla

Modul	[mm]	2
Počet zubů	[-]	27
Průměr roztečné kružnice	[mm]	54
Šířka ozubeného kola	[mm]	9
Materiál		Ocelová slitina WTEC-6
Hmotnost	[g]	169,57



Obr. 32 Ozubené kolo pohánějící čerpadlo chladicí kapaliny

Pastorek pohánějící rozvodový nemá evolventní ozubení, jako ostatní ozubená kola na klikovém hřídeli, ale má speciální tvar zubů zapadající do článků rozvodového řetězu.



Tab. 12 Parametry ozubeného pastorku pohánějícího rozvodové ústrojí

Počet zubů	[-]	17
Průměr roztečné kružnice	[mm]	51
Šířka ozubeného kola	[mm]	7
Materiál		Ocelová slitina WTEC-6
Hmotnost	[g]	103,07



Obr. 33 Ozubený pastorek pohánějící rozvodové ústrojí

4.2 VYVAŽOVACÍ HŘÍDEL

Pro daný motor bylo zvoleno použití jednoho vyvažovacího hřídele otáčejícího se stejnými otáčkami jako klikový hřídel. Tato koncepce umožňuje společně s vývažky na klikovém hřídeli vyvážení prvního řádu setrvačných sil posuvných.

Vyvažovací hřídel je uložený v klikové skříni motoru pomocí dvou jednořadých kuličkových ložisek 6302 ČSN 02 4630. Rozměry těchto ložisek jsou 42x15x13 mm. Na vyvažovacím hřídeli jsou uložena dvě ozubená kola. Pro zajištění přenosu točivého momentu jsou hřídel i ozubená kola drážkovaná a axiálnímu posuvu brání matice M10. Jedno kolo slouží ke spojení vyvažovacího hřídele s klikovým hřídelem, druhé ozubené kolo pohání čerpadlo chladicí kapaliny. Rozměry ozubeného kola spojovacího vyvažovací a klikový hřídel jsou shodné jako u ozubeného kola umístěného na klikovém hřídeli. Rozměry ozubeného kola pohánějícího čerpadlo chladicí kapaliny jsou uvedeny v tabulce 14. Materiálem pro vyvažovací hřídel i obě ozubená kola je opět ocelová slitina WTEC-6.



Tab. 13 Parametry vyvažovacího hřídele

Průměr hřídele	[mm]	2,5
Délka hřídele	[mm]	25
Poloměr vývažku	[mm]	26
Hmotnost vývažku	[g]	127,02
Materiál		Ocelová slitina WTEC-6
Hmotnost hřídele	[g]	318,77

Tab. 14 Parametry ozubeného kola pohánějícího čerpadlo chladicí kapaliny

Modul	[mm]	2,5
Počet zubů	[mm]	25
Průměr roztečné kružnice	[mm]	62,5
Šířka ozubeného kola	[mm]	10
Materiál		Ocelová slitina WTEC-6
Hmotnost	[g]	170,17



Obr. 34 Vyvažovací hřídel



4.3 ROZVODOVÉ ÚSTROJÍ

Rozvodové ústrojí zajišťuje proces výměny náplně válce. V souladu s pravidly je využit ventilový rozvod DOHC se čtyřmi ventily. Pro tento typ rozvodu je charakteristické použití dvou vačkových hřídelí umístěných v hlavě motoru. Jeden vačkový hřídel ovládá pouze sací ventily, druhý hřídel ovládá pouze výfukové ventily. Vačkové hřídele jsou poháněny od klikového hřídele pomocí ozubeného řetězu. U tohoto motoru je použito rozvodové ústrojí s vloženým ozubeným kolem, kdy řetěz nepohání vačkové hřídele přímo. Výhoda této koncepce spočívá v menším zástavbovém prostoru hlavy motoru. K návrhu parametrů rozvodového ústrojí byl využit program Lotus Valvetrain.

4.3.1 VENTILY

Jak již bylo zmíněno, u navrhovaného motoru jsou použity čtyři ventily, dva sací a dva výfukové.

Ventily se skládají ze dvou částí, dřívku a talířku. Pomocí dřívku je ventil veden ve vodítku ventilu. Na horním konci dřívku jsou vytvarované zápichy, do kterých zapadá zámek ventilu. Talířek ventilu slouží k uzavírání kanálu a utěšňování spalovacího prostoru. [19]

Vzhledem k vysokým otáčkám motoru byly zvoleny titanové ventily, které se vyznačují nízkou hmotností, čímž se snižují setrvačné hmoty a tím také dynamické namáhání rozvodového ústrojí.

Tab. 15 Parametry sacího ventilu

Délka ventilu	[mm]	92,88
Průměr dřívku	[mm]	5,5
Průměr talířku	[mm]	33
Odklon od osy válce	[°]	9,84
Maximální zdvih	[mm]	10,63
Délka otevření ventilu	[°]	284
Materiál		Titanová slitina Ti-SB62
Hmotnost	[g]	24,23



Tab. 16 Parametry výfukového ventilu

Délka ventilu	[mm]	97,25
Průměr dříku	[mm]	5,5
Průměr talířku	[mm]	29
Odklon od osy válce	[°]	11,66
Maximální zdvih	[mm]	9,54
Délka otevření ventilu	[°]	290
Materiál		Titanová slitina Ti-SB62
Hmotnost	[g]	20,43

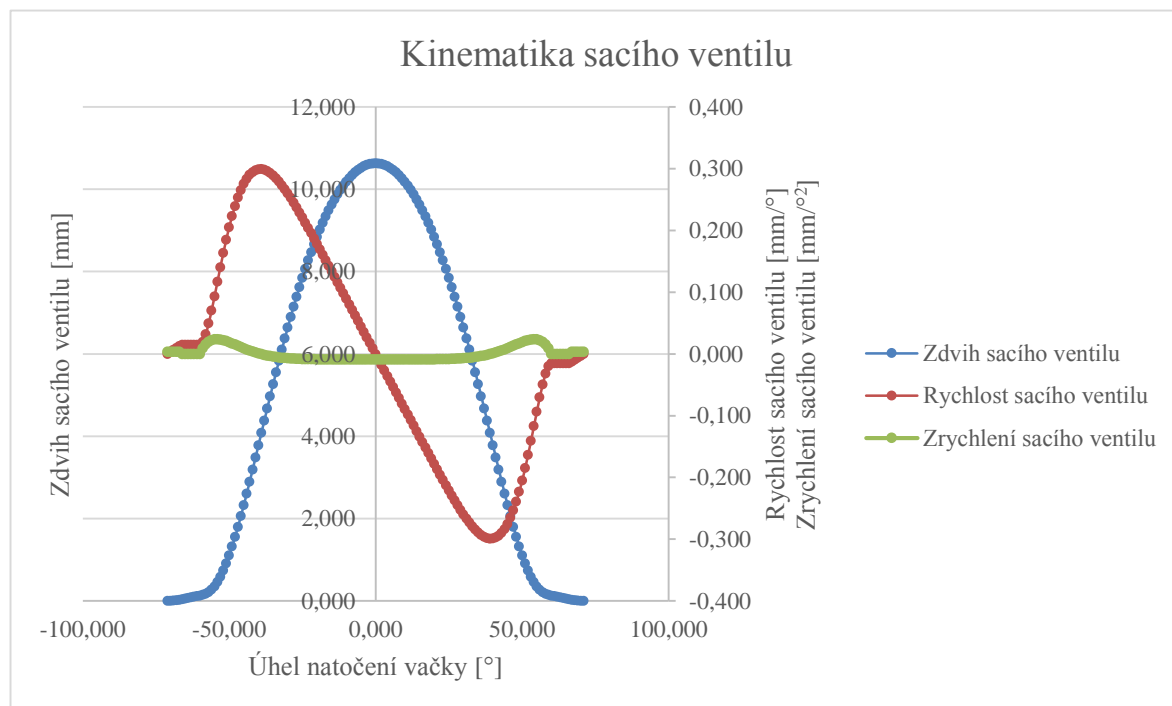


Obr. 35 Sací ventil

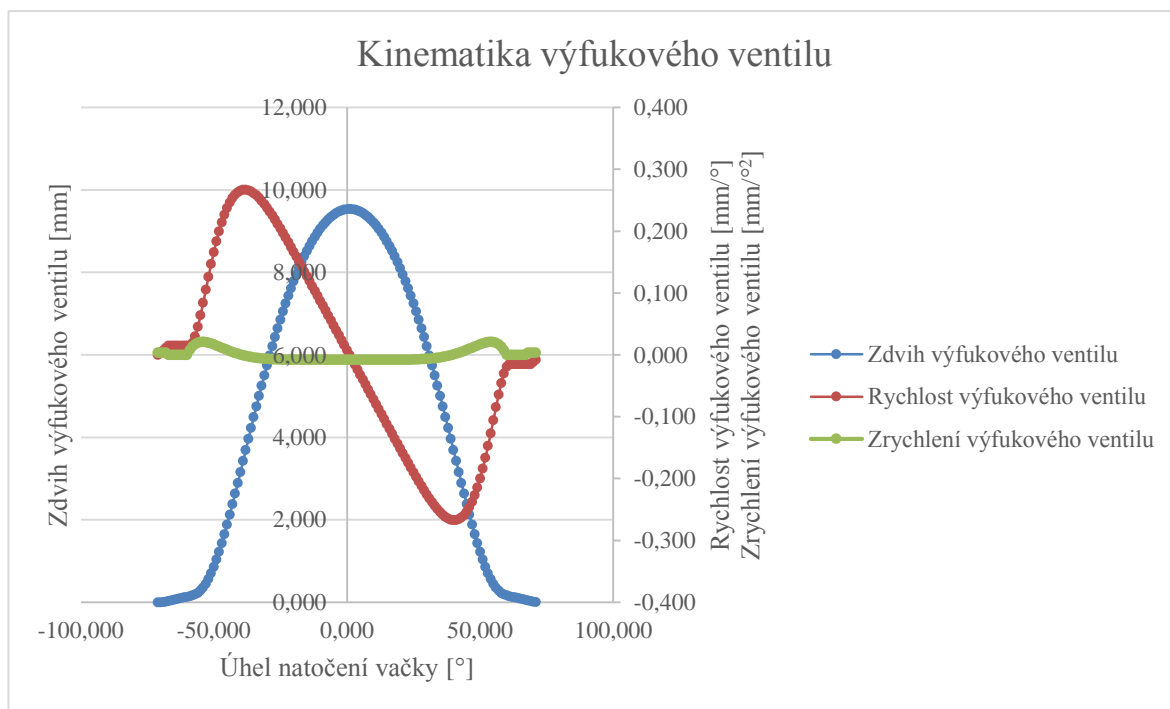


Obr. 36 Výfukový ventil

Na obrázcích 37 a 38 jsou vykresleny kinematické veličiny sacích a výfukových ventilů poměrných jednotkách.



Obr. 37 Kinematika sacího ventilu



Obr. 38 Kinematika sacího ventilu

4.3.2 VODÍTKA VENTILŮ

Vodítka ventilů slouží k vedení ventilu v hlavě ventilů. Součástí použitých vodítek je také středící podložka, na kterou dosedá krajní závit ventilové pružiny.



Obr. 39 Vodítka ventilu



4.3.3 MISKY VENTILŮ

Miska ventilů přenáší společně se zámkem ventilu sílu od pružiny na dřík ventilu. [19]

Vnitřní část misky je kuželová, stejně jako vnější část zámku ventilu. Tato kuželovitost zajišťuje přenos síly z pružiny na zámek ventilu a následně přes zápich na ventil. Vnější tvar misky slouží stejně jako středící podložka u vodítka ventilu k dosednutí a vystředění ventilové pružiny.



Obr. 40 Miska ventilu

4.3.4 ZÁMKY VENTILŮ

Jedná se o dva prvky tvarované tak, aby přenášeli sílu pružiny z misky ventilu na dřík ventilu. Zámek ventilu zapadá do vybrání v dříku ventilu a vnější kuželová plocha zajišťuje spojení s ventilovou miskou.



Obr. 41 Zámek ventilu

4.3.5 VENTILOVÉ PRUŽINY

Ventilové pružiny zabezpečují zavírání ventilů. Na základě simulace v programu Lotus Valvetrain byly zvoleny parametry uvedené v tabulce 19.



Tab. 17 Parametry ventilové pružiny

Délka pružiny v zamontovaném stavu	[mm]	33,162
Střední průměr pružiny	[mm]	23,5
Počet závitů	[-]	4,16
Průměr drátu	[mm]	3,5
Materiál		Ocel C85S
Hmotnost	[g]	36,17



Obr. 42 Ventilová pružina

4.3.6 JEDNOSTRANNĚ VETKNUTÁ PÁKA

Jednostranně vetknutá páka přenáší sílu od vačky na ventil a zároveň slouží k zachycení tangenciální síly vznikající ve stykové ploše s vačkou. Upřednostnění vetknuté páky před hrníčkovými zdvihátky bylo hlavně z důvodu snížení setrvačných hmot rozvodového mechanismu. Hlavní rozměry páky byly stejně jako u ventilových pružin voleny s využitím programu Lotus Valvetrain.



Obr. 43 Jednostranně vetknuté páky uložené na hřídelích

4.3.7 VYMEZENÍ VENTILOVÉ VŮLE

Vymezení ventilové vůle je řešeno pomocí podložky pro vymezení ventilové vůle umístěné na dřívku ventilu. Podle skutečných rozměrů jednotlivých prvků rozvodového ústrojí se použije podložka s příslušnou tloušťkou.



Obr. 44 Řez podložkou pro vymezení ventilové vůle

4.3.8 VAČKOVÉ HŘÍDELE

Vačkové hřídele tvoří soustava vaček a čepů pro uložení hřídele. Základní funkcí vaček je řízení otevírání a zavírání sacích a výfukových ventilů. [19]

U daného motoru jsou použity dva vačkové hřídele umístěné v hlavě motoru. Oba hřídele jsou kované z oceli WTEC-6. Konstrukční provedení i rozměry vačkových hřídelů ovládající sací a výfukové ventily jsou podobné a uvedené v tabulkách 20 a 21.



Tab. 18 Parametry vačkového hřídele ovládajícího sací ventily

Průměr základní kružnice	[mm]	32
Zdvih vačky	[mm]	9,60
Šířka vačky	[mm]	6
Délka vačkového hřídele	[mm]	93,71
Vzdálenost středních rovin vaček	[mm]	39
Materiál		Ocelová slitina WTEC-6
Hmotnost	[g]	248,55

Tab. 19 Parametry vačkového hřídele ovládajícího výfukové ventily

Průměr základní kružnice	[mm]	32
Zdvih vačky	[mm]	9,10
Šířka vačky	[mm]	6
Délka vačkového hřídele	[mm]	92,71
Vzdálenost středních rovin vaček	[mm]	37
Materiál		Ocelová slitina WTEC-6
Hmotnost	[g]	245,47

Na vačkové hřídele jsou nalisována ozubená kola, která jsou poháněna přes vložené ozubené kolo.

Tab. 20 Parametry ozubených kol vačkových hřídelů

Modul	[mm]	2
Počet zubů	[mm]	31
Průměr roztečné kružnice	[mm]	62
Šířka ozubeného kola	[mm]	10
Materiál		Ocelová slitina WTEC-6
Hmotnost	[g]	208,98



Obr. 45 Vačkový hřídel

4.3.9 HŘÍDEL S VLOŽENÝM OZUBENÝM KOLEM

Z důvodu zmenšení rozměrů hlavy motoru není použita klasická koncepce, kdy rozvodový řetěz pohání přímo vačkové hřídele, ale je zde vložena hřídel s dvěma ozubenými koly. Jedno ozubené kolo je poháněno od klikového hřídele rozvodovým řetězem, druhé ozubené kolo je spojeno s oběma ozubenými koly vačkových hřídelů. Tato varianta umožňuje použití menších ozubených kol na vačkových hřídelích při zachování převodového poměru 1:2 mezi klikovým a vačkovými hřídeli.



Obr. 46 Hřídel s vloženým ozubeným kolem

4.3.10 ROZVODOVÝ ŘETĚZ

Rozvodový řetěz je použit MorseTEC od firmy BorgWarner. Šířka řetězu je 9 mm. Tento řetěz se oproti klasickým řetězům vyznačuje nižším třením a hlučností. [21]



Obr. 47 Rozvodový řetěz

VODÍCÍ A NAPÍNACÍ LIŠTY ROZVODOVÉHO ŘETĚZU

Vodící a napínací lišty slouží k vedení volných větví rozvodového řetězu mezi ozubenými koly. Vedení řetězu omezuje vibrace, které by mohly vést k destrukci, a zároveň snižuje hluk. Navrhovaný motor využívá dvě vodící a jednu napínací lištu. Jedna vodící lišta slouží k vedení volného konce řetězu mezi ozubeným pastorkem a ozubeným mezikolem a je zobrazena na obrázku 48.



Obr. 48 Vodící lišta řetězu

Druhá vodící lišta zamezuje přeskočení zubů pastorku. Tato lišta je zobrazena na obrázku 49.



Obr. 49 Vodící lišta řetězu u pastorku

Napínací lišta je slouží k vedení a napínání řetězu mezi ozubeným mezikolem a ozubeným pastorkem.



Obr. 50 Napínací lišta řetězu

Materiál lišt byl zvolen syntetický polymer Nylon 6.6, který se využívá pro výrobu vodících a napínacích lišt rozvodových řetězů. Lišty jsou uloženy na dutých čepích a ke klikové skříni jsou přišroubovány šroubů M6x25.



Obr. 51 Dutý čep

K napínání řetězu je použit mechanický napínák připevněný k hlavě motoru dvěma šrouby M6x10. Napínací šroub byl zvolen M8x45.



Obr. 52 Napínák řetězu

Na dalším obrázku je zobrazeno celé rozvodové ústrojí navrhovaného motoru.



Obr. 53 Rozvodové ústrojí



4.4 HLAVA MOTORU

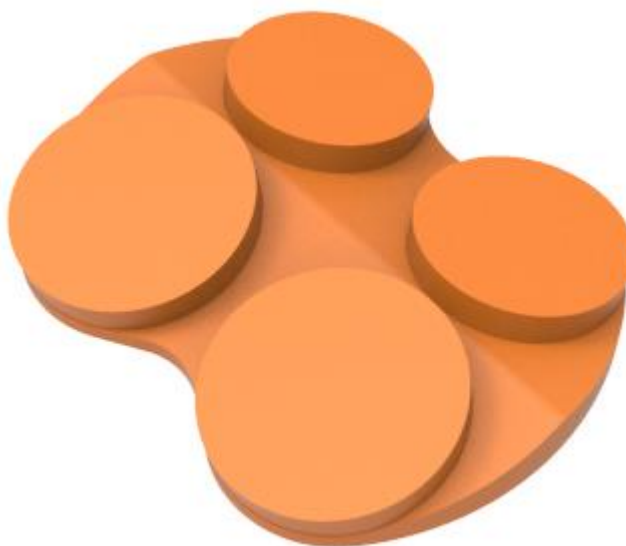
Hlava motoru plní následující požadavky [19]:

- společně se dnem pístu vytváří vhodně tvarovaný spalovací prostor
- utěšňuje spalovací prostor
- zabezpečuje umístění zapalovací svíčky
- zajišťuje chlazení spalovacího prostoru, zapalovací svíčky, ventilů a sacích a výfukových kanálů

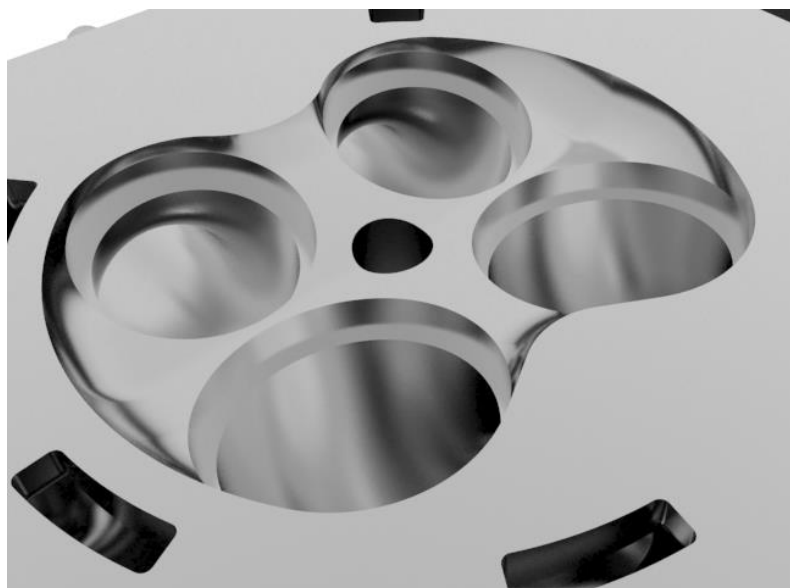
Hlava válce je namáhána silami od tlaku plynů, dynamickými účinky rozvodového ústrojí a změnou tepelného toku. Jelikož nesmí dojít k žádným deformacím hlavy motoru, bude vyrobena z hliníkové slitiny Al-TiB-55. Minimální tloušťka stěny hlavy motoru je 3,5 mm.

4.4.1 SPALOVACÍ PROSTOR

Pro navrhovaný motor byl zvolen střešovitý tvar spalovacího prostoru, který je velmi vhodný při použití čtyř ventilů na válec. Úhly sklonu spalovacího prostoru odpovídají úhlům odklonu os ventilů od osy válce. Spalovací prostor není v půdorysu kruhový, ale je zmenšený z důvodu dosažení požadovaného stupně komprese. Tomu pomáhá i hrana na dně pístu zmíněna v kapitole Píst. Jádru spalovacího prostoru zobrazené na obrázku 54 bylo při dalším postupu práce na hlavě motoru zaobleno a výsledný spalovací prostor je zobrazen na obrázku 55.



Obr. 54 Jádru spalovacího prostoru



Obr. 55 Výsledný tvar spalovacího prostoru

4.4.2 VENTILOVÁ SEDLA

Jelikož je hlava vyrobena z hliníkové slitiny, je nutné do ní nalisovat sedla ventilů, aby při uzavírání ventilů nedošlo k otláčování měkké hliníkové slitiny. Vnitřní průměry sedel jsou shodné s vnitřními průměry kanálů. U sacího jde o průměr 30 mm, sedlo výfukového ventilu má vnitřní průměr 25 mm. Délka obou sedel je 5 mm.



Obr. 56 Sedlo sacího ventilu



Obr. 57 Sedlo výfukového ventilu



4.4.3 SACÍ A VÝFUKOVÉ KANÁLY

Rozměry sacích a výfukových kanálů vychází ze simulace termodynamiky provedené v programu Lotus Simulation.

SACÍ KANÁL

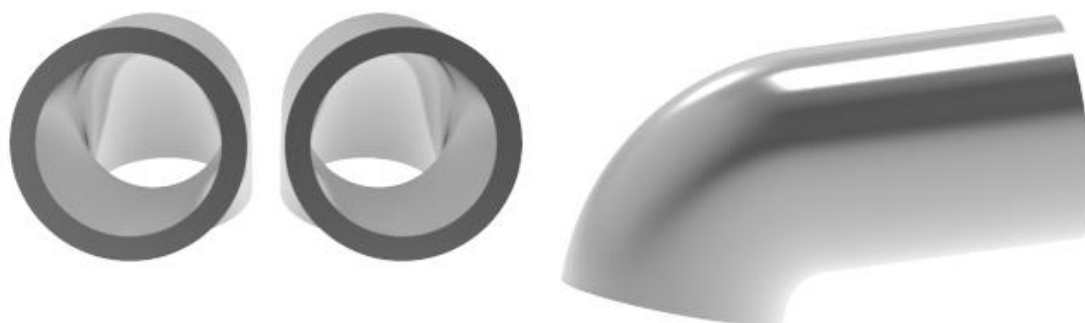
Sací kanál by měl být co nejpřímější a co největší, aby došlo k co nejlepšímu naplnění válce směsí. Od škrticí klapky vede jedna větev sacího kanálu o vnitřním průměru 50 mm, která se po 45 mm rozděljuje a přivádí směs k oběma sacím ventilům. Rozdělení sacího kanálu má vnitřní průměr 30 mm a jeho délka činí také 30 mm. Celková délka sacího kanálu je tedy 75 mm. Na začátku sacího kanálu ve směru proudění směsi je umístěna příruba, na kterou bude umístěna škrticí klapka. Upevnění škrticí klapky budou zajišťovat tři 15 mm dlouhé svorníky se závitem M8.



Obr. 58 Sací kanál

VÝFUKOVÝ KANÁL

Část výfukového kanálu v hlavě musí být kvůli přenosu tepla do hlavy motoru co nejkratší. Výfukový kanál navrhovaného motoru má dvě samostatné větve pro každý ventil. Vnitřní průměr kanálů je 25 mm, délka je 70 mm. Tloušťka stěny je stejně jako v případě sacího kanálu 3,5 mm. Na konci výfukových kanálů je příruba se šesti svorníky M8x15 sloužící pro připojení výfukového potrubí.



Obr. 59 Výfukový kanál

4.4.4 CHLADICÍ JÁDRO HLAVY MOTORU

U motocyklových motorů je trendem zmenšování vodních prostorů a zvyšování rychlosti proudění chladicí kapaliny. Z tohoto důvodu bylo navrženo kompaktní chladicí jádro, které zaujímá největší prostor u zapalovací svíčky a výfukových kanálů. Tloušťka chladicího jádra je 5 mm. Vstup chladicí kapaliny z chladicího jádra válce je zajištěn pěti otvory spojujícími obě chladicí jádra. Z hlavy motoru je chladicí kapalina odváděna do chladiče.



Obr. 60 Spalovací prostor - pohled 1



Obr. 61 Spalovací prostor - pohled 2

4.4.5 ZAPALOVACÍ SVÍČKA

Zapalovací svíčka je nezbytnou součástí zážehového motoru. Elektrická jiskra mezi elektrodami zapaluje stlačenou směs paliva se vzduchem. Pro závodní motory jsou vhodnější studené svíčky, ze kterých se odvádí teplo do hlavy motoru větší plochou. Svíčka použita pro navrhovaný motor odpovídá normě ISO 28741 a je přišroubována k hlavě motoru pomocí závitu M10x1.

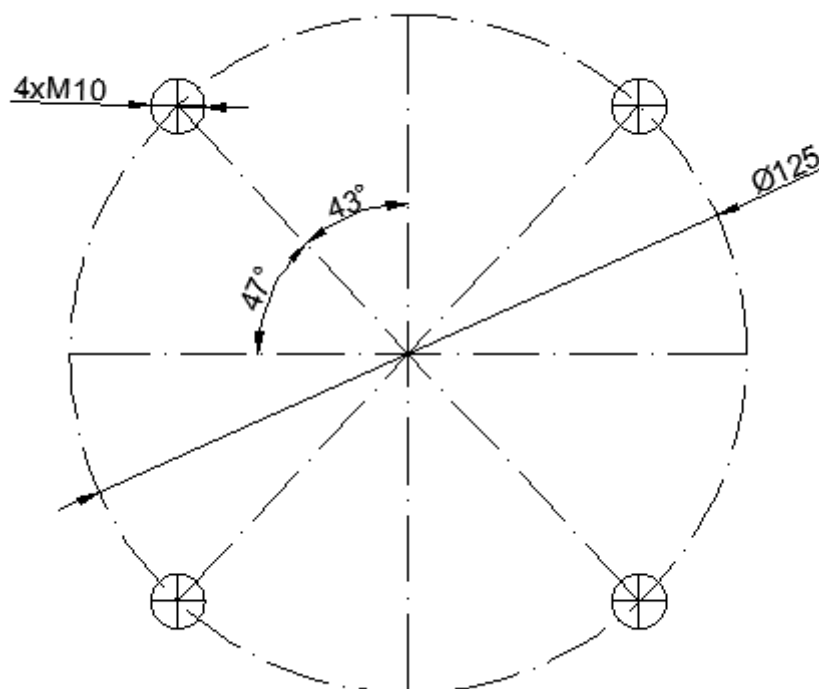


Obr. 62 Zapalovací svíčka



4.4.6 SVORNÍKY

Spojení hlavy motoru, válce a klikové skříně je zajištěno pomocí svorníků. Svorníky by měly umístěny co nejbližší spalovacímu prostoru. U navrhovaného motoru jsou použity čtyři svorníky M10 o délce 125 mm, jejichž jeden konec bude zašroubován do klikové skříně a druhý konec bude opatřen maticí. Svorníky jsou umístěny na roztečné kružnici o průměru 125 mm pod úhly 43° a 47° , jak je vidět na obrázku 63.



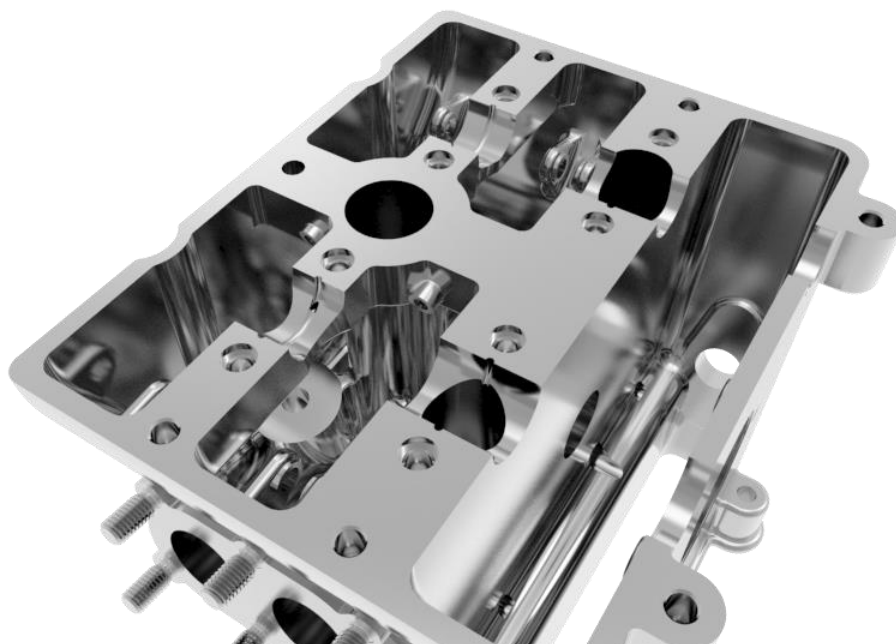
Obr. 63 Umístění svorníků



Obr. 64 Svorník s maticí

4.4.7 NÁLITKY PRO ULOŽENÍ KONSTRUKČNÍCH ČÁSTÍ ROZVODOVÉHO ÚSTROJÍ

V hlavě motoru jsou uloženy vačkové hřídele, hřídele jednostranně vetknutých pák a hřídel s vloženým ozubeným kolem rozvodového ústrojí. Z tohoto důvodu jsou v hlavě umístěny nálitky, díky kterým lze jednotlivé části uložit v hlavě motoru. Nálitky pro vačkové hřídele jsou zobrazeny na obrázku 65.



Obr. 65 Nálitky pro uložení vačkových hřídelů

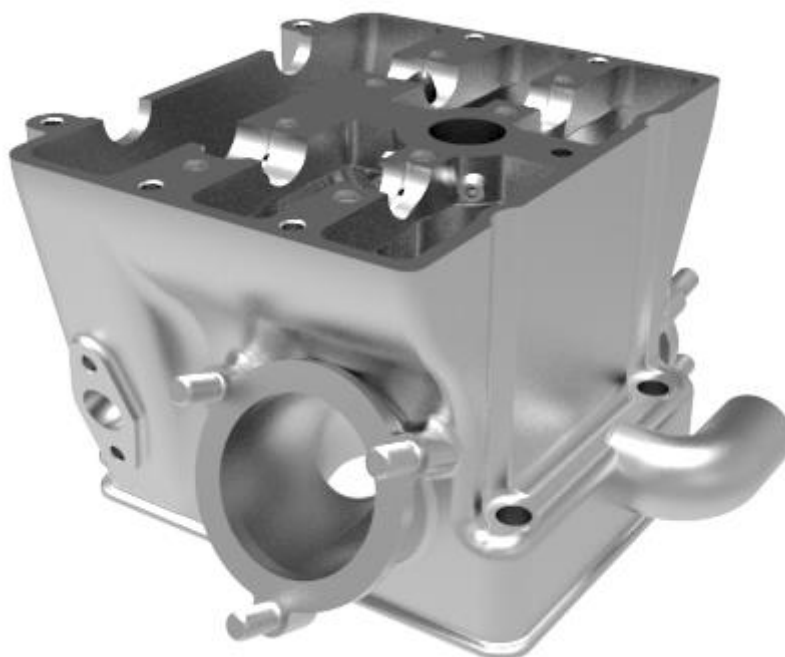
Na obrázku 66 je zobrazen detail nálitky pro uložení vetknutých pák rozvodového mechanismu.



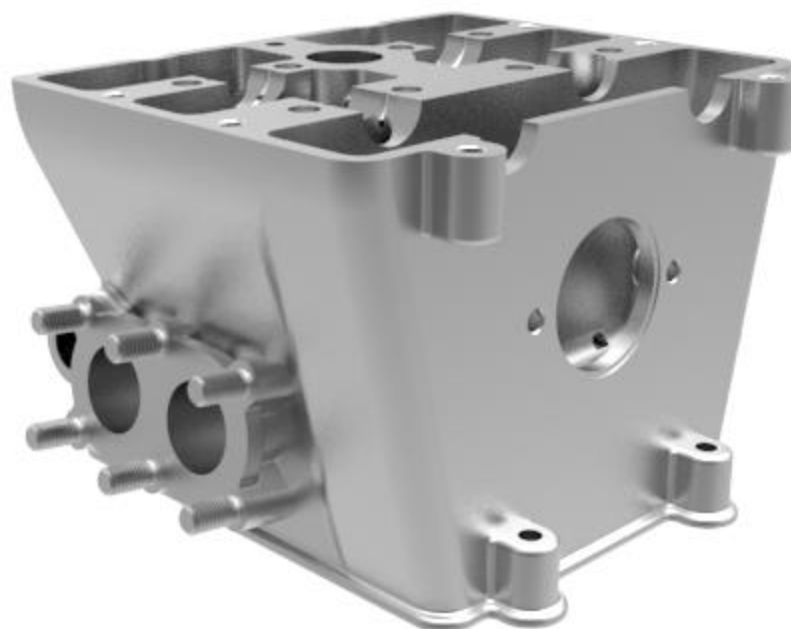
Obr. 66 Nálitky pro uložení jednostranně vetknutých pák



Na dalších dvou obrázcích je zobrazen celý odlitek hlavy motoru.



Obr. 67 Hlava motoru - pohled 1



Obr. 68 Hlava motoru - pohled 2



4.4.8 Víka vačkových hřídelů

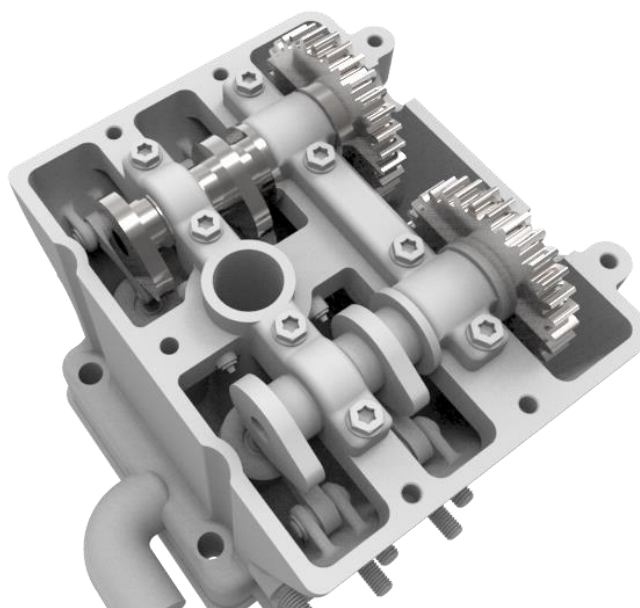
Pro uložení vačkových hřídelů jsou nutná víka vačkových hřídelů, která jsou přišroubována k hlavě motoru. Středění vík je zajištěno pomocí trubkových vložek. K nálitkům v hlavě motoru jsou přišroubovány osmi šrouby se závitem M6.



Obr. 69 Víka vačkových hřídelů - horní pohled



Obr. 70 Víka vačkových hřídelů - spodní pohled



Obr. 71 Uložení vačkových hřídelů v nálitcích

4.4.9 KRYT HLAVY MOTORU

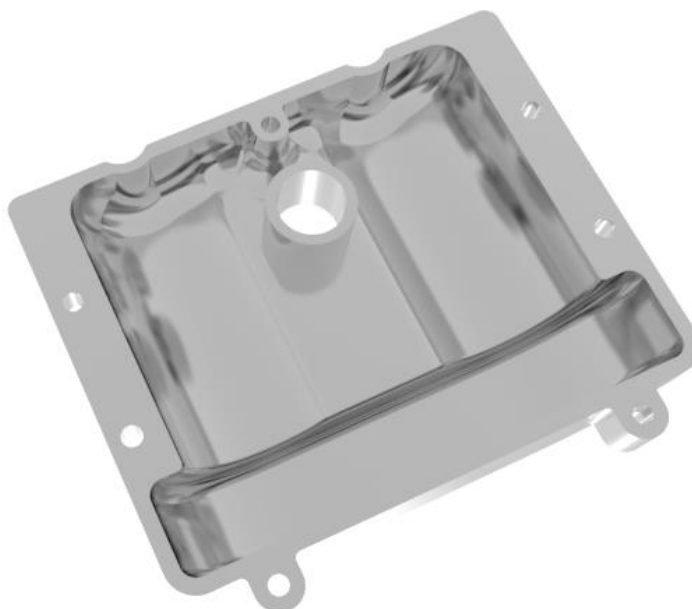
Kryt hlavy motoru je vyroben ze stejného materiálu jako samotná hlava. Kryt uzavírá motor z jeho horní části. Mezi hlavou motoru a krytem je vloženo těsnění o tloušťce 0,4 mm. Těsnění slouží také k zamezení vniknutí mazacího oleje do tunelu zapalovací svíčky.



Obr. 72 Kryt hlavy motoru - horní pohled 1



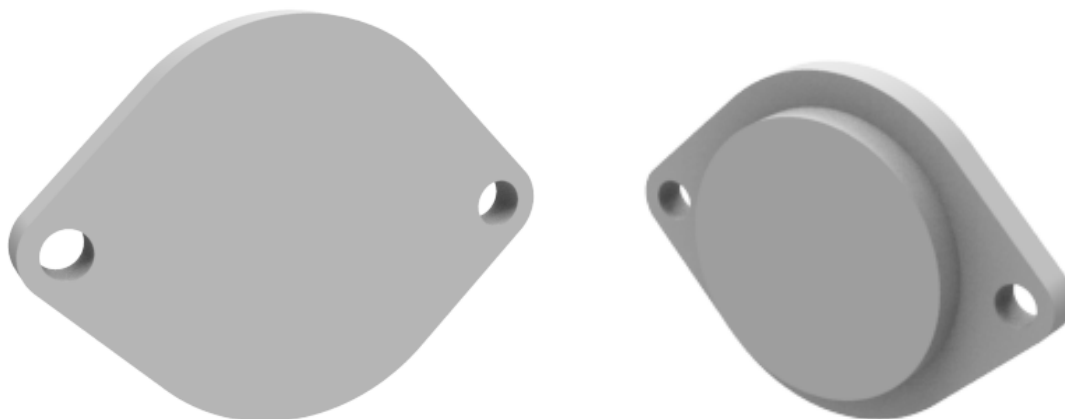
Obr. 73 Kryt hlavy motoru – horní pohled 2



Obr. 74 Kryt hlavy motoru - spodní pohled

4.4.10 KRYT OTVORU PRO MEZIKOLO

Z výrobních důvodů nálitku pro hřídel mezikola rozvodového ústrojí je potřeba vyvrtat do hlavy motoru otvor. Tento otvor je poté uzavřen krytem a utěsněn těsněním o tloušťce 0,4 mm. Kryt je k hlavě přichycen pomocí dvou šroubů M6.



Obr. 75 Kryt otvoru pro mezikolo

4.5 VÁLEC MOTORU

Mezi hlavní požadavky kladené na stěny válce spalovacího motoru se řadí ohraničení spalovacího prostoru, zabezpečení vedení pístu a odvádění tepla z pístu. [19]

Válec motoru tvoří samostatný konstrukční prvek připevněný ke klikové skříni pomocí svorníků. Délka válce musí být dostatečná, aby stěny vedly píst po celé délce zdvihu. Zároveň ale nesmí dojít ke kontaktu vývažků na rameni klikového hřídele se stěnou válce. Jelikož se jedná o kapalinou chlazený motor, je ve stěně válce prostor pro chladicí kapalinu. Chladicí kapalina je přiváděna do válce hadicí od čerpadla chladicí kapaliny. V chladicím jádru válce je vytvořeno vybrání sloužící pro zvýšení rychlosti proudění chladicí kapaliny a zamezení tvorby parních polštářů. Z chladicího jádra válce je kapalina odváděna pěti otvory do chladicího jádra hlavy motoru. Skutečný průtok chladicí kapaliny bude laděn velikostí otvorů v těsnění mezi válcem a hlavou motoru. Tvar chladicího jádra je uveden na obrázku 76.



Obr. 76 Chladicí jádro válce



Tloušťka chladicí jádra je 5 mm. Nejmenší tloušťka stěny válce je 5 mm. Součástí válce je i šachta pro rozvodový řetěz a náliček pro upevnění motoru k rámu motocyklu. Otvor v nálitku je vytvořen pro šroub M12. Polohování válce a hlavy motoru je zajištěno pomocí trubkových vložek umístěných u svorníků. Mezi válcem a hlavou motoru je vloženo těsnění o tloušťce 0,8 mm. Těsnění je také vloženo mezi válec a klikovou skříň. Materiálem pro výrobu válce je hliníková slitina Al-TiB-55.



Obr. 77 Válec - horní pohled



Obr. 78 Válec - spodní pohled

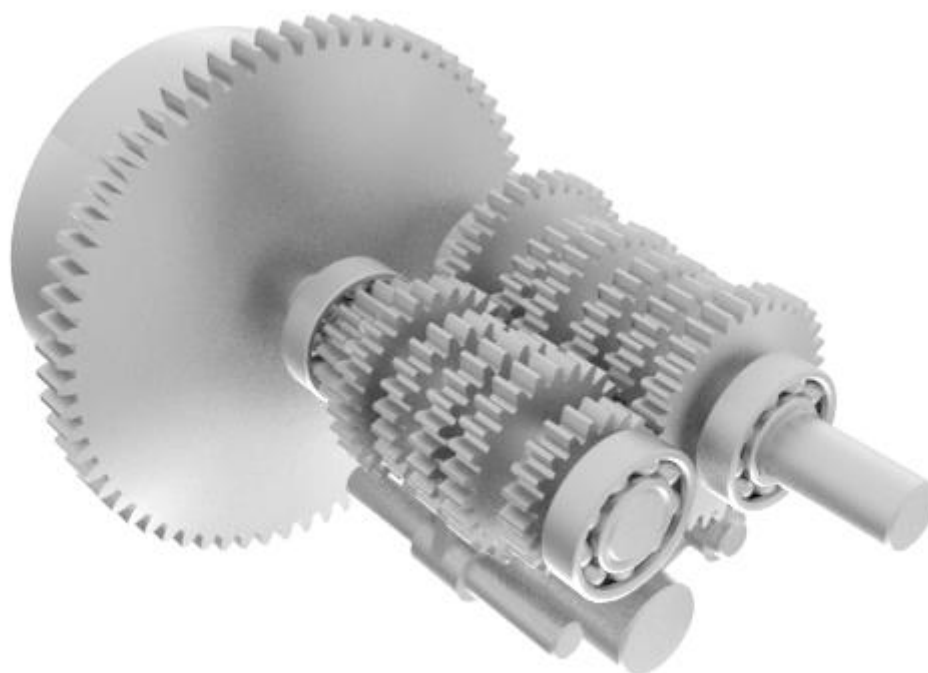


4.6 PŘEVODOVKA

U konstruovaného motoru byla zvolena šestistupňová převodovka odpovídající pravidlům. Návrh jednotlivých převodových stupňů byl volen s ohledem na převodové stupně soudobých motorů a také na konstrukční uspořádání. Osová vzdálenost primárního převodu byla zvolena 108,75 mm, aby nedošlo ke kontaktu ozubených kol převodovky s vývažky na ramenech klikového hřídele, modul ozubení primárního převodu je 2,5 mm. Osová vzdálenost spojkových hřídelů byla zvolena 54 mm, modul ozubení byl zvolen 2 mm. Převodové stupně konstruovaného motoru jsou uvedeny v tabulce 23.

Tab. 21 Převodové poměry převodovky

Primární převod	[-]	2,95
První převodový stupeň	[-]	1,84
Druhý převodový stupeň	[-]	1,57
Třetí převodový stupeň	[-]	1,35
Čtvrtý převodový stupeň	[-]	1,16
Pátý převodový stupeň	[-]	1,08
Šestý převodový stupeň	[-]	1,00
Sekundární převod	[-]	2,31



Obr. 79 Převodovka

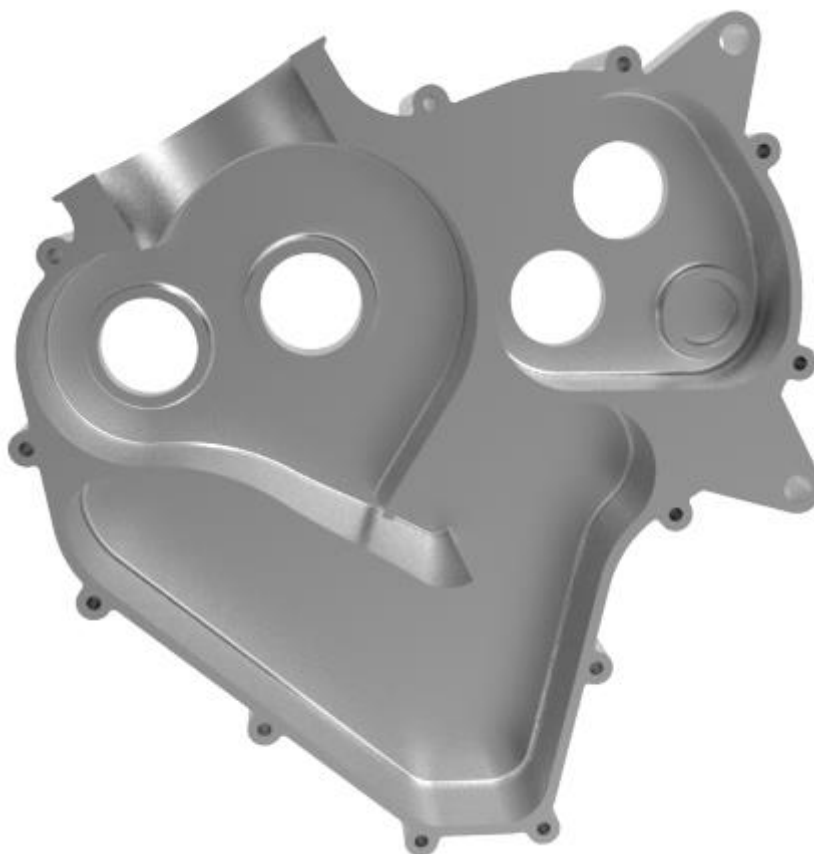


4.7 KLIKOVÁ SKŘÍŇ

Kliková skříň navrhovaného motoru a převodová skříň jsou odlity vcelku. Ke klikové skříně jsou pomocí svorníku přichyceny válec a hlava motoru. Kliková skříň je dělená, dělicí rovina je svislá a prochází osou válce. Tloušťka stěn všech částí klikové skříně je 5 mm. Jednotlivé části klikové skříně jsou spojeny šrouby M6 a utěsněny těsněním o tloušťce 0,4 mm. Všechny části klikové skříně budou odlity z materiálu Al-TiB-55.

4.7.1 PRAVÁ ČÁST KLIKOVÉ SKŘÍNĚ

Pravá část klikové skříně se skládá z prostoru pro klikový a vyvažovací hřídel, dále prostoru pro převodovku a spodní částí skříně. Ve stěně jsou nálitky pro ložiska jednotlivých hřídelů. Vnitřní průměry nálitků odpovídají vnějším průměrům ložisek, tloušťka nálitků je 5 mm. V pravé části klikové je vytvořen otvor pro válec a dvě závitové díry pro svorníky. Součástí pravé části klikové skříně jsou dva nálitky sloužící pro připojení motoru k rámu motocyklu. Otvory v nálitcích jsou stejně jako u nálitku na válci pro šroub M12. Na vnější straně je vytvořena hrana sloužící k připojení krytu pravé části klikové skříně.





Obr. 80 Pravá část klikové skříně

4.7.2 KRYT PRAVÉ ČÁSTI KLIKOVÉ SKŘÍNĚ

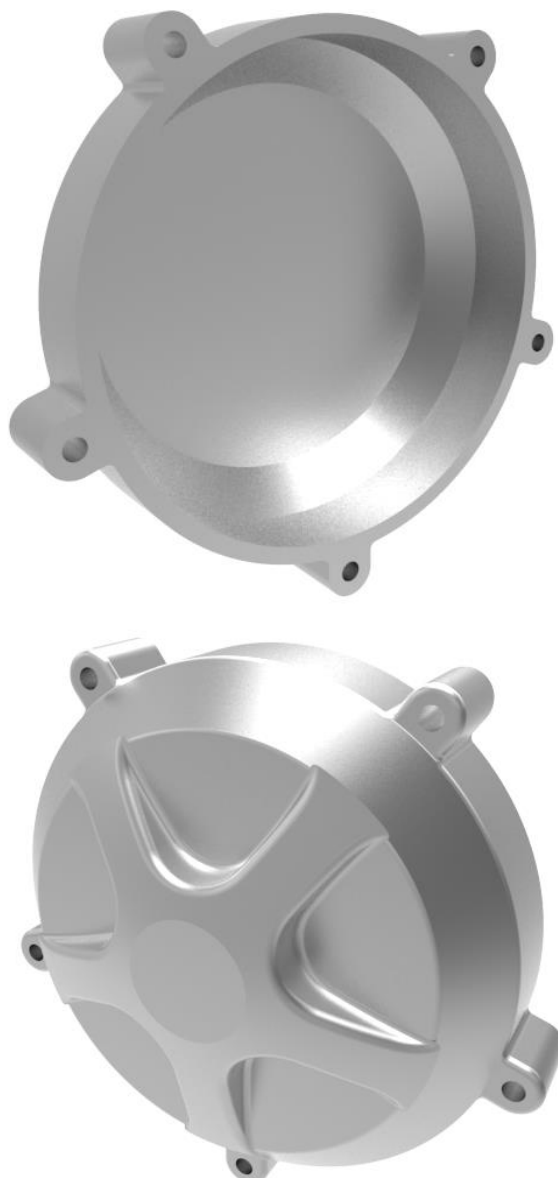
Kryt pravé části klikové skříně slouží k zakrytí ozubených kol pohánějících vyvažovací hřídel, hřídel olejového čerpadla a také ozubení primárního převodu. Kryt pravé části klikové skříně je navržen tak, aby na něj mohly být připevněny kryty spojky a čerpadla chladicí kapaliny.



Obr. 81 Kryt pravé části klikové skříně

4.7.3 KRYT SPOJKY

Kryt spojky slouží k zakrytí spojky navrhovaného motoru. Tento kryt je zobrazen na obrázku 82.



Obr. 82 Kryt spojky

4.7.4 KRYT ČERPADLA CHLADICÍ KAPALINY

Kryt čerpadla chladicí kapaliny slouží nejen k zakrytí čerpadla, ale také se na něm nachází nálitky pro připevnění hadic chladicí kapaliny. Jelikož je u daného motoru použito excentrické čerpadlo, kapalina je přiváděna středem krytu a odváděna po obvodu. Kryt čerpadla chladicí kapaliny je zobrazen na obrázku 83.



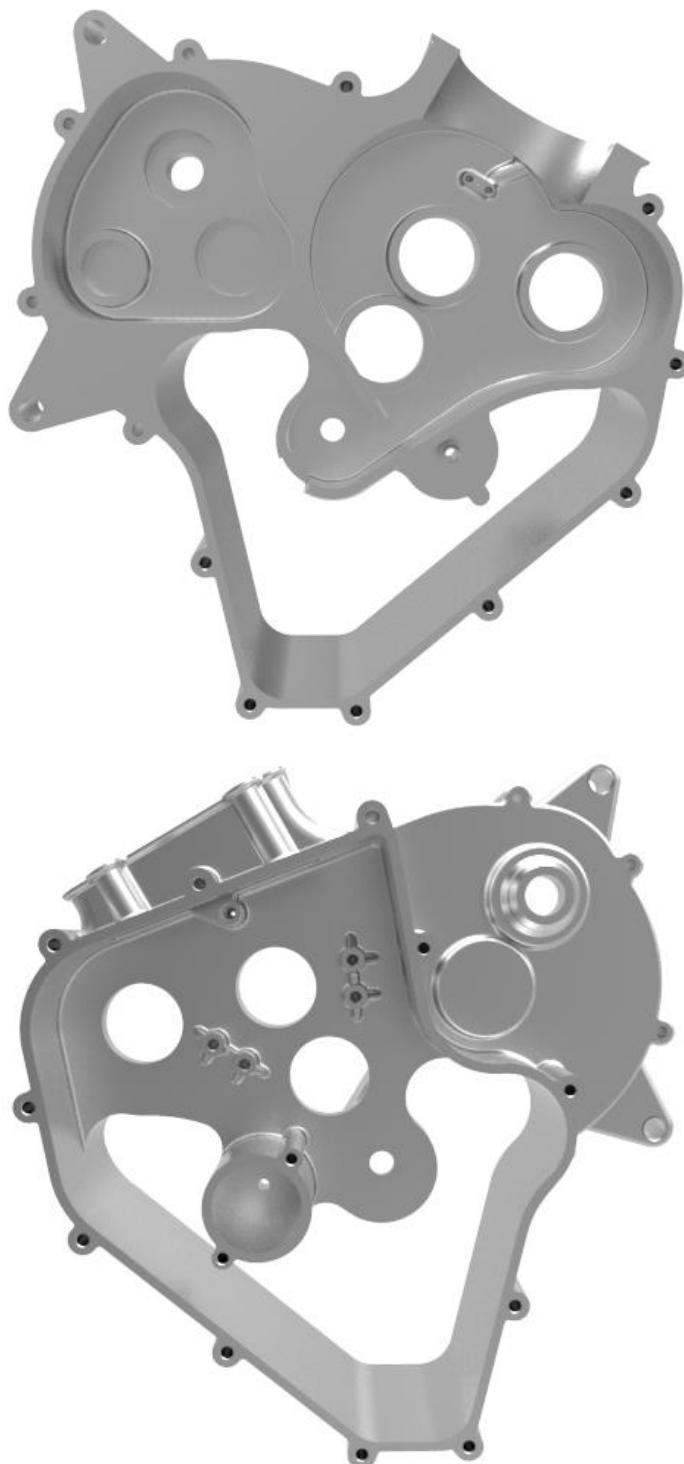
Obr. 83 Kryt čerpadla chladicí kapaliny

4.7.5 LEVÁ ČÁST KLIKOVÉ SKŘÍNĚ

Levá část klikové skříně je z vnitřní strany podobná pravé části. Také se zde nachází nálitky pro ložiska jednotlivých hřídelů, nálitky pro uložení motoru do rámu motocyklu a otvor pro umístění válce a svorníků. Na vnitřní straně levé části klikové skříně je navíc náliček pro uložení odsávacího čerpadla a také náliček pro připevnění trysky pro ostříkání dna pístu. Na



vnější straně se nachází náliček pro umístění palivového filtru a také náličky pro šrouby
vodících a napínací lišty rozvodového řetězu. Také zde začíná šachta pro rozvodový řetěz



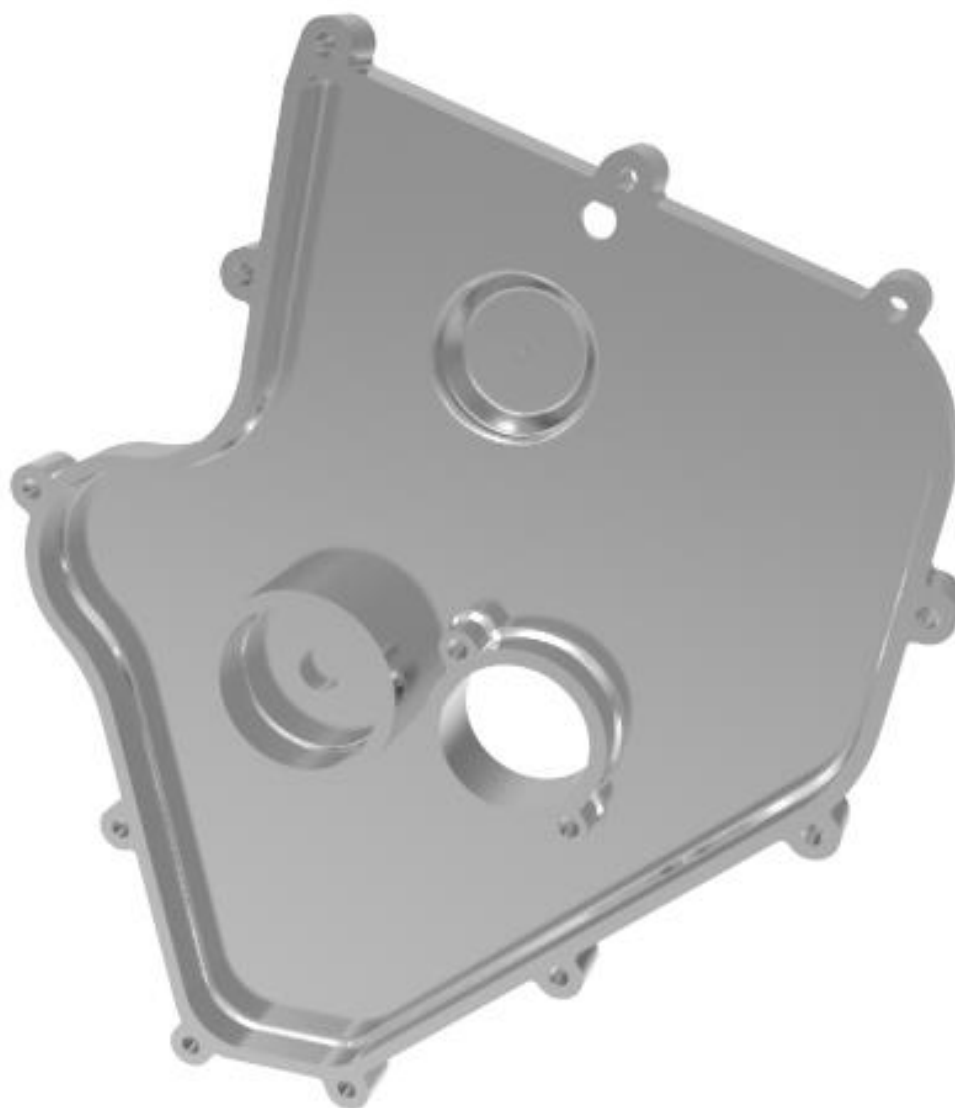
Obr. 84 Levá část klikové skříně



4.7.6 KRYT LEVÉ ČÁSTI KLIKOVÉ SKŘÍŇE A KRYT OLEJOVÉHO FILTRU

Kryt levé části klikové skříně společně s krytem olejového filtru uzavírá klikovou skříň. Na vnitřní straně krytu se nachází nálipek s vybroušenou plochou pro dosednutí klikového hřídele. Také se zde nachází nálipek pro uložení výtlačného čerpadla a hřídele olejových čerpadel. Na vnější straně nálitku pro klikový hřídel a krytu olejového filtru je vytvořen závit pro přichycení trubky olejové soustavy.





Obr. 85 Kryt levé části klikové skříně

Na dalším obrázku bude zobrazen kryt palivového filtru z vnější a vnitřní strany.



Obr. 86 Kryt palivového filtru

4.8 CHLAZENÍ MOTORU

4.8.1 ČERPADLO CHLADICÍ KAPALINY

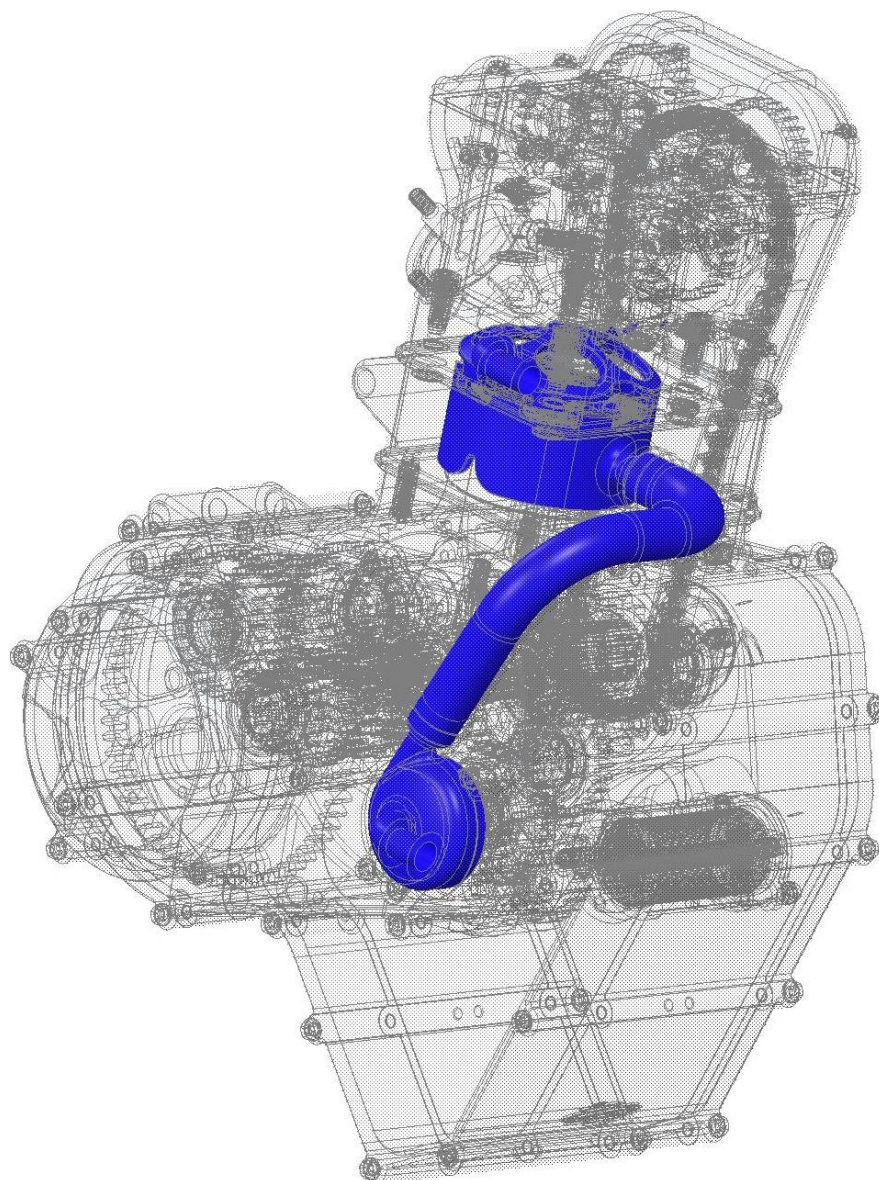
U navrhovaného motoru je zvoleno odstředivé čerpadlo. Těleso čerpadla je umístěno v pravé části klikové skříně a jeho průměr je 55 mm. Hřídel čerpadla je uložena v klikové skříně pomocí kuličkového ložiska o rozměrech 32x15x9 mm. Spojení tělesa čerpadla a hřídele je zajištěno závitem M12. Pohon čerpadla je zajištěný přes ozubená kola od vyvažovací hřídele. Utěsnění čerpadla zajišťují dvě dvoubřítá gufera o rozměrech 26x15x7 mm.



Obr. 87 Odstředivé čerpadlo chladicí kapaliny

4.8.2 CHLADICÍ SOUSTAVA

Chladicí kapalina je přiváděna z chladiče umístěného za blatníkem předního kolo motocyklu k čerpadlu chladicí kapaliny. Následně je čerpadlem vytlačena do válce, který je spojen s krytem čerpadla hadicí. Chladicí kapalina prochází chladicím jádrem válce a vstupuje do chladicího jádra hlavy motoru, kde ochlazuje především výfukové kanály a prostor okolo zapalovací svíčky. Poté chladicí kapalina proudí zpět do chladiče.

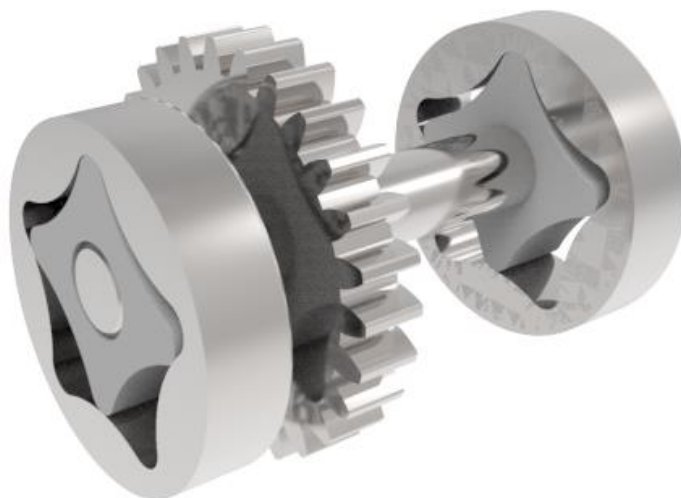


Obr. 88 Okruh chladicí kapaliny

4.9 MAZÁNÍ MOTORU

4.9.1 OLEJOVÁ ČERPADLA

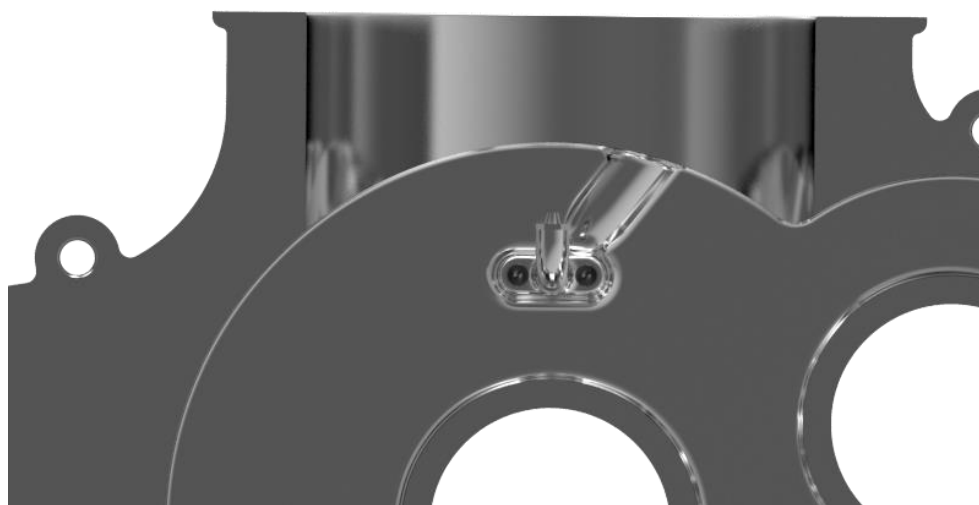
Pro navrhovaný motor jsou uvažována dvě olejová čerpadla. Jedno odsávací, které odsává olej z prostoru klikového mechanismu do spodní části klikové skříně a jedno výtlačné, které dodává mazací olej do oběhu. Obě čerpadla jsou trochoidní a jsou uložena na jednom společném hřídeli. Vnější rotor obou čerpadel má shodný průměr 50 mm, jejich šířka je 12,5 mm. Pohon čerpadla je uskutečněn z klikového hřídele přes vložené ozubené kolo.



Obr. 89 Trochoidní olejová čerpadla

4.9.2 OSTŘÍK DNA PÍSTU

Ostřík dna pístu je prováděn pomocí trysky umístěné v bloku motoru, která tryská olej kolmo nahoru na dno pístu. Tryska je zobrazena na obrázku 90.

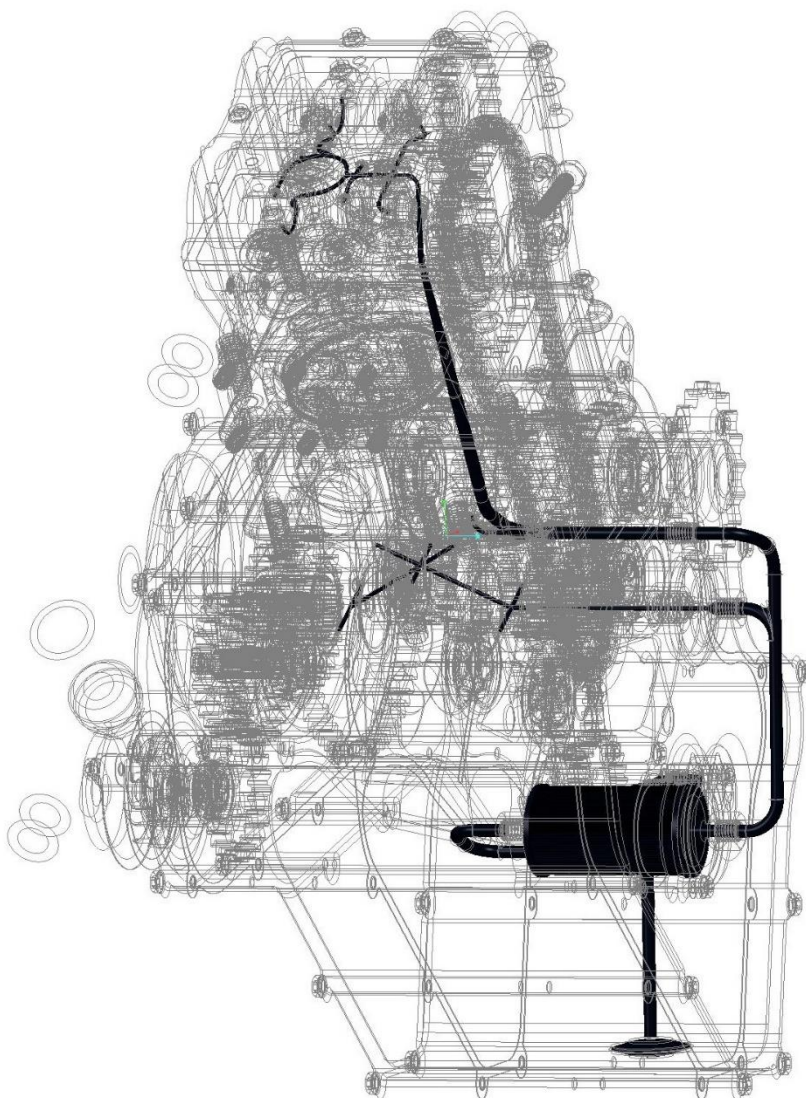


Obr. 90 Tryska ostříkující dno pístu



4.9.3 MAZACÍ SOUSTAVA

Olej shromážděný ve spodní části klikové skříně je nasáván odsávacím čerpadlem přes sací koš. Přes olejový filtr je část oleje dopravována přes mazací vývrty v klikovém hřídeli k hlavním a ojnicním ložiskům. Část oleje zajišťuje ostřík dna pístu pomocí trysky umístěné v klikové skříně motoru. Zbytek oleje putuje přes otvor ve válci až do hlavy motoru, kde je olej rozváděn a zajišťuje mazání vačkových hřídelů a ostřík styku vaček s jednostranně vetknutými pákami. Vnitřní průměr mazacích otvorů je 6 mm a v místech přechodu do klikového hřídele a mazacích trysek se zužuje na 2 mm. Vyústění mazacích trysek má průměr 1 mm. Z hlavy motoru se olej dostává vývrty do šachty pro rozvodový řetěz, kterou stéká do klikové skříně motoru.



Obr. 91 Okruh mazacího oleje



ZÁVĚR

Na začátku práce bylo nutné seznámit se s pravidly a se současným stavem v oblasti závodních motocyklů kategorie Moto3. Následně byl vytvořen termodynamický model v prostředí Lotus Simulation, ze kterého vzešly některé parametry motoru. Ostatní parametry byly voleny buď s ohledem na pravidla, nebo s ohledem na současný stav motocyklových motorů a to nejen v kategorii silničních závodních motocyklů, ale i v kategorii motokros. Poté byl model motoru v programu Creo 2.0 a byl zanalyzován klikový hřídel metodou LSA. K tomu byl využit MKP software ANSYS. Tato metoda je sice zjednodušená, ale pro tuto diplomovou práci je dostačující.

Výsledkem této práce je tedy návrh motoru pro silniční závodní motocykl třídy Moto3, který odpovídá pravidlům po stránce volby materiálů a zástavbou odpovídá rozměrům současných motocyklových rámců. Rozměry motoru jsou 535x367x364 mm.



POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] FIM. *Road racing world championship Grand Prix regulations* [online]. 2014 [cit. 2015-01-26]. Dostupné z: http://www.fimlive.com/en/library/no_cache/1/2015_Provisional_GP_Regulations
- [2] SPALDING, Neil. *Moto crossover. Race engine technology*. 2011, č. 58, s. 48-49.
- [3] Blog KTM. *Moto3 vs MX2: Just dirt bike engines in a Grand Prix chassis?* [online] 2014 [cit. 2014-10-12] Dostupné z: <http://blog.ktm.com/moto3-vs-mx2-just-dirt-bike-engines-in-a-grand-prix-chassis/>
- [4] KTM 250 GRAND PRIX REPLICA [online] 2014 [cit. 2014-11-03] Dostupné z: <http://www.ktm4u.co.uk/new-bikes-for-sale/gpr-250-2015>
- [5] KTM MOTO3 RACE BIKE [online] 2014 [cit. 2014-11-03] Dostupné z: http://www.motorcyclespecs.co.za/model/Classic%20Racers/ktm_moto3_race_bike.htm
<http://www.ktm4u.co.uk/new-bikes-for-sale/gpr-250-2015>
- [6] SILER, Wes. *Building-the-ktm-moto3-production-racer* [online] 2013 [cit. 2015-01-18] Dostupné z: <https://rideapart.com/articles/building-the-ktm-moto3-production-racer>
- [7] Husqvarna Moto3 Bike is Ready to Race [online] 2014 [cit. 2015-02-05] Dostupné z: <http://www.autoevolution.com/news/husqvarna-moto3-bike-is-ready-to-race-75520.html>
- [8] MotoGP.com [online] 2014 [cit. 2015-02-05] Dostupné z: <http://www.motogp.com/en/photos/2014/Husqvarna+Moto3+Red+Bull+Husqvarna+Factory+Racing>
- [9] NSF 250R PRESS INFORMATION [online] 2011 [cit. 2015-02-26] Dostupné z: <http://www.scribd.com/doc/56937922/NSF250R-PRESS-INFORMATION>
- [10] Introducing... The 2014 Mahindra MGP30 Moto3 [online] 2014 [cit. 2015-01-08] Dostupné z: [http://www.motorbiketimes.com/news/sport/motogp/introducing-the-2014-mahindra-mgp30-moto3-bike-\\$21383316.htm](http://www.motorbiketimes.com/news/sport/motogp/introducing-the-2014-mahindra-mgp30-moto3-bike-$21383316.htm)
- [11] Mahindra Racing [online] 2014 [cit. 2015-01-09] Dostupné z: <http://www.mahindraracing.com/our-bikes-mgp30.aspx>
- [12] Mahindra MPG30 Moto3 Motorcycle [online] 2014 [cit. 2015-01-09] Dostupné z: <https://ultimatemotorcycling.com/mahindra-mgp30-moto3-motorcycle-exposed/>
- [13] Ridden Mahindra [online] 2013 [cit. 2015-01-12] Dostupné z: <http://www.gpindia.com/content/ridden-mahindra-mgp30>
- [14] Mahindra Racing [online] 2014 [cit. 2015-01-09] Dostupné z: <http://www.mahindraracing.com/our-bikes-mgp30.aspx>
- [15] Phildystunt [online] 2014 [cit. 2015-01-12] Dostupné z: http://phildystunt.free.fr/wp-content/uploads/mahindra_mgp30.6.jpg



- [16] Moto3 Class Machinery [online] 2012 [cit 2015-02-23] Dostupné z: <http://www.sportrider.com/tech/moto3-class-machinery-art-science>
- [17] PÍŠTĚK, Václav. DRÁPAL, Lubomír. Hnací ústrojí. *Kinematika excentrického klikového mechanismu*. (Přednáška). Brno: VUT, Fakulta strojního inženýrství, 2012
- [18] PÍŠTĚK, Václav. DRÁPAL, Lubomír. Hnací ústrojí. *Zatížení částí klikového mechanismu*. (Přednáška). Brno: VUT, Fakulta strojního inženýrství, 2012
- [19] RAUSCHER, J. Spalovací motory. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2005. Studijní opory VUT v Brně.
- [20] NOVOTNÝ, Pavel. Výpočtové modely. *Aplikované metody řešení únavového poškození I*. (Přednáška). Brno: VUT, Fakulta strojního inženýrství, 2014
- [21] DRÁPAL, L. *Hnací ústrojí šestiválcového leteckého motoru*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 69 s. Vedoucí diplomové práce prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.
- [22] Steel Alloy WTEC-6 [online] 2012 [cit 2015-02-23] Dostupné z: <http://amt-advanced-materials-technology.com/materials/steel/>



SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

a	[ms^{-2}]	zrychlení pístu
c	[mm]	ložisková vůle
d_{vzorek}	[mm]	průměr zkušební vzorku
e	[mm]	excentricita
F_o	[N]	síla od tlaku plynů působící v ojnici
F_{oc}	[N]	celková síla zatěžující ojnicí čep
F_p	[N]	celková síla působící na píst
$F_{p,\text{max}}$	[N]	maximální síla od tlaku plynů
F_r	[N]	radiální složka síly od tlaku plynů působící v ojnici
F_{ro}	[N]	setrvačná síla rotujících částí ojnice
F_t	[N]	tečná složka síly od tlaku plynů působící v ojnici
k_p	[Nmm^{-1}]	tuhost prvku Spring-damper14
l	[mm]	délka ojnice
P_p	[N]	síla od tlaku plynů působící na píst
r	[mm]	poloměr kliky
R_e	[MPa]	mez kluzu
R_m	[MPa]	mez pevnosti v tahu
s	[mm]	dráha pístu
S_p	[N]	setrvačná síla posuvných částí klikového mechanismu
V	[ms^{-1}]	rychlost pístu
xx_1	[mm]	vzdálenost mezi uzly s maximálním a minimálním napětím
α	[$^\circ$]	úhel natočení klikového hřídele
η_σ	[-]	součinitel velikosti
λ_e	[-]	excentrický poměr
λ_o	[-]	klikový poměr
ν_σ	[-]	součinitel pravděpodobnosti přetížení
σ_{cOHYB}	[MPa]	mez únavy v ohybu pro střídavý symetrický cyklus
$\sigma_{cTAH/TLAK}$	[MPa]	mez únavy v tahu/tlaku pro střídavý symetrický cyklus
σ_{eX}	[MPa]	maximální napětí v prvním zátěžném stavu
σ_{eX1}	[MPa]	minimální napětí v prvním zátěžném stavu
σ_{eXB}	[MPa]	maximální napětí ve druhém zátěžném stavu
ω	[s^{-1}]	úhlová rychlost otáčení klikového hřídele



SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Celkové pohledy a řezy motorem
- Příloha 2 Výpočtová zpráva
- Příloha 3 Výkres sestavy motoru