

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

PÍST ČTYŘDOBÉHO ZÁŽEHOVÉHO MOTORU O VÝKONU 373 KW

PISTON FOR 373 KW 4 - STROKE SI-ENGINE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

PAVEL KOVÁŘ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

ING. RADIM DUNDÁLEK, PH.D.

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem pístu čtyřdobého zážehového motoru o výkonu 373 kW. Zaměřuje se na hlavní rozměry pístu tak, aby byl schopen pracovat v těžkých podmínkách, kterým je ve válci vystaven. Další důležitou částí návrhu pístu je pevnostní výpočet, který je v postupu nejdůležitější.

Abstract

This bachelor work deals with the design of a piston for 373 kW 4-stroke SI-engine. The work is focused to main dimensions of the piston, to make it able to work in difficult conditions, which is exposed at cylinder. One of the most important part of design piston is strength calculation.

Klíčová slova

mechanismus
motor
namáhání
píst
pístní kroužek
pístní čep

Key words

mechanism
engine
stress
piston
piston ring
wrist-pin

Bibliografická citace

KOVÁŘ, P. *Píst čtyřdobého zážehového motoru o výkonu 373kW*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 40 s. Vedoucí bakalářské práce
Ing. Radim Dundálek, Ph.D.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že předložená bakalářská práce je původní a zpracoval jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem v práci neporušil autorská práva (ve smyslu zákona č. 121/2000 Sb. o právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

V Brně dne 20. 5. 2008

.....
podpis

Poděkování

Rád bych tímto poděkoval Ing. Davidu Svídovi za odborné vedení a poskytnutí mnoha užitečných rad a poznatků, bez kterých by tato bakalářská práce jen těžce vznikala.

Obsah

1	Úvod.....	3
2	Pístní skupina	4
2.1	Píst.....	4
2.1.1	Materiál pístů	5
2.1.2	Kmity ve spalovacím prostoru.....	7
2.1.3	Chlazení pístů	8
2.1.4	Plášť pístu	9
2.1.5	Tření pístu.....	10
2.2	Pístní kroužky	10
2.2.1	Jak pístní kroužek v motoru funguje	11
2.2.2	Těsnící pístní kroužky	11
2.2.3	Stírací pístní kroužky	13
2.3	Pístní čep.....	15
2.3.1	Druhy pístních čepů	15
2.3.2	Plovoucí pístní čep	16
2.3.3	Pevně uložený čep.....	16
2.3.4	Materiál pístního čepu	17
2.3.5	Pojištění čepu proti axiálnímu posuvu	17
3	Stanovení hlavních rozměrů motoru [3].....	18
3.1	Zadání úlohy	18
3.2	Stanovení hlavních rozměrů pístového spalovacího motoru.....	18
3.2.1	Zdvihový objem válce	18
3.2.2	Objemový (litrový) výkon	18
3.2.3	Stanovení průměru pístu D	19
3.2.4	Zdvih pístu	19
3.2.5	Střední pístová rychlost	19
3.3	Návrh hlavních rozměrů pístu.....	20
3.4	Drážky pro pístní kroužky	21
3.4.1	Radiální vůle pístních kroužků	21
3.4.2	Axiální vůle pístních kroužků.....	22
3.4.3	Drážka pro stírací kroužek.....	23
3.5	Pevnostní výpočet pístu.....	24
3.5.1	Pevnostní výpočet dna pístu	24
3.5.2	Nejslabší místo pláště pístu	26

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
Ústav automobilního a dopravního inženýrství

3.5.3	Měrný tlak na plášti pístu	29
3.5.4	Mústek mezi prvním a druhým těsnícím kroužkem.....	32
4	Závěr.....	36
5	Literatura	37
6	Použité symboly	38
7	Seznam příloh.....	40

1 Úvod

Píst vytváří, ještě s pístními kroužky těsnícími, pístními kroužky stíracími, pístním čepem a pojistnými kroužky takzvanou pístní skupinu. Tato skupina, spolu s ojnicí a klikovou hřídelí umožňuje, přetvářet energii tepelnou, vzniklou v prostoru nad hlavou pístu vznícením směsi paliva s kyslíkem na energii mechanickou. Za tímto účelem byl po parním stroji vynalezen spalovací motor, který nám především dnes výrazně ulehčuje práci.

Po 19. století “STOLETÍ PÁRY” přichází nová doba v podobě spalovacího motoru. První vynález spalovacího motoru se datuje do roku 1860, kdy belgický vynálezce Jean Lenoir vyvinul první dvoutaktní spalovací motor na svítiplyn. Po několika pokusech s jinými druhy paliv obdržel německý mechanik Gottlieb Daimler v roce 1885 patent na "vozidlo na kolech poháněné plynovým nebo petrolejovým motorem, umístěným pod sedadlem a mezi zadními nápravami". Gottlieb Daimler, Karl Benz a jejich vozy byly základem pro dnes vznikající vozidla.

S vývojem motorů se současně vyvíjela i paliva. Nejvíce používaná paliva dneška jsou benzín a nafta. Především zážehové motory na benzín byli zejména u osobních automobilů dominantní, vznětové motory na naftu nacházely svoje uplatnění v nákladních vozech a těžké technice. S postupem času a velkým pokrokem ve vývoji vznětových motorů se poměr mezi používáním zážehového a vznětového motoru snížil. Dnes už se setkáváme s prvními návrhy na sportovní automobily s pohonnou jednotkou na naftu. Byl to zejména problém spotřeby, která je u vznětového motoru nižší než u zážehového.

Spotřeba jde ruku v ruce s emisemi. Kvůli snížení emisí bylo provedeno mnoho úprav a vylepšení samotného motoru. V dnešní době je nezbytné dbát na životní prostředí. Jednou z možností jsou hybridní pohonné jednotky. Zejména automobilky TOYOTA a LEXUS se v tomto odvětví prezentovali již několika modely, které využívají tuto technologii. Technologii, která spojuje motor spalovací s elektromotorem.

Tato bakalářská práce je zaměřena na pevnostní výpočet pístu dle zadání. V práci je dále nastíněna metodika výroby pístu a celé pístní skupiny včetně materiálů.

2 Pístní skupina

Pístní skupina se skládá z pístu, pístních kroužků (těsnící, stírací), pístního čepu a závlaček pro zajištění pístního čepu proti axiálnímu pohybu. Píst tvoří ve spalovacím prostoru prvek, který přenáší pomocí pístního čepu tlak na ojnici a dále na klikovou hřídel. Píst dále utěšňuje spalovací prostor a zabráňuje unikání spalín do prostoru klikového hřídele, této funkci napomáhají pístní kroužky.[1]



Obrázek 1 Pístní skupina [6]

2.1 Píst

Píst přenáší tlaky splavání a těsní spalovací prostor motor proti průtoku plynů i proti vnikání oleje při všech provozních podmínkách. Musí odolávat vysokým teplotám a značným setrvačným silám při nejnepríznivějších podmínkách mazání. Konstrukce a volba materiálu pístů pro dnešní motory s vysokými výkonovými parametry může splnit tyto požadavky, jen když správně využije všech zkušeností z vývoje a výzkumu, avšak s tím vědomím, že i nové motory budou mít písty s neodstranitelnými vrozenými nedostatky. Současný vývoj ukazuje, že nelze očekávat podstatné usnadnění výroby pístů, i když směřuje ke konstrukci technicky a ekonomicky optimálních pístů.[2]

Píst musí být lehký a bezpečně přenášet síly od tlaku plynů, síly setrvačné a tepla. Přestup tepla ze spalín do dna pístu má být malý a píst musí rychle odvádět teplo, které přijme. Proto povrch dna pístu má mít jen nezbytně velkou plochu. Rychlý odvod tepla nastává u pístů z hliníkových slitin. Průřezy, kterými teplo proudí, mají být dostatečně velké. Chladicí prostor válce se má vždy vyvést co nejbližší k dosedací ploše hlavy, aby pístní kroužky pístu zasahovaly v obou úvratích do chlazené oblasti povrchu válce (omývané chladicí tekutinou). Teplo se odvádí z pístu zejména pístními kroužky. Plášť pístu odvádí podstatně méně tepla (jen asi 20 – 30%). Olejový film na stěně válce ztěžuje přestup tepla z pístu do stěn válce. Pístní kroužky musí přenést i teplo, které vzniká z tření pístu ve válci. Mechanické vlastnosti materiálu pístu se zhoršují, zvětšuje-li se teplota. Tepelné napětí v pístu zvětšuje namáhání od tlaku plynů a setrvačných sil. Toto tepelné napětí vzniká z nerovnoměrného ohřevu pístu, nerovnoměrného rozložení spalování ve spalovacím prostoru i z nedostatků konstrukce.[2]



Obrázek 2 Píst spalovacího motoru [6]

2.1.1 Materiál pístů

Písty se přednostně zhotovují z hliníkových slitin Al-Si. Tyto slitiny se vyznačují velmi dobrými lícími vlastnostmi. Mají poměrně malou teplotní roztažnost, takže rozdíl vůlí pístu ve válci při studeném a ohřátém motoru není nadměrný. Písty se nejčastěji zhotovují z eutektické slitiny obsahující okolo 11% Si. Tato slitina dává stejnoměrnou, jemně rozptýlenou směs obou složek. Nadeutektická slitina s obsahem asi 18% Si se často používá pro písty naftových motorů. Tato slitina vytváří primární krystaly Si uložené v základní eutektické hmotě. Velmi jemné krystaly Si se přitom dosahují přísadou fosforu nebo látek, které jej obsahují. Obě tyto slitiny se vyznačují nízkou hustotou, vysokou pevností po tepelném zpracování, značnou odolností proti opotřebení, teplotní stálostí,

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

uspokojivou tepelnou vodivostí a příznivými vlastnostmi pro chod pístu ve válci. Kluzné vlastnosti těchto slitin se zlepšují, zvětšuje-li se obsah křemíku. Odolnost proti korozi se zvyšuje přísadou Mg. Slévatelnost i mechanické vlastnosti se zlepšují přísadou Mn. Odlévání pístů z těchto materiálů se nekomplikuje tvarem spalovacího prostoru. Písty se nejčastěji odlévají a jen zřídka kovou.[2]

Kované (lisované) písty jsou vhodné pro mechanicky a tepelně značně namáhané motory. Jejich výhoda se projeví zejména v těch částech pístu, kde vysoké mechanické namáhání převládá nad namáháním tepelným. Lisované písty jsou výrobně náročnější než lité písty, avšak lisované písty vyvolávají menší destrukci při havárii motoru.[2]

Tabulka 1 Složení Al slitin pro písty[2]

Slitina	Si (%)	Fe (%)	Cu (%)	Mn (%)	Mg (%)
1	2,0	1,5	9,2 – 10,8	0,50	0,15 – 0,35
2	7,0	1,0	3,5 – 4,5	0,35	1,2 – 1,8
3	11 – 12,5	1,3	0,5 – 1,5	0,35	0,7 – 1,3
4	11 – 13	1,0	1,8 – 2,8	0,5	0,7 – 1,3
5			4,0		0,7
6	12,2		0,9		1,1

Slitina	Cr (%)	Ni (%)	Zn (%)	Ti (%)	Ostatní(%)	
					jedn.	celkem
1	-	0,50	0,8	0,25		0,35
2	0,25	1,7 – 2,3	0,35	0,25	0,05	0,15
3	-	2,0 – 3,0	0,35	0,25	0,05	
4	-	1,0	1,0	0,25		0,5
5		2,0				
6		0,9				

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Slitina	Výroba	Pevnost (MPa)	Tvrdost (HB)	Hustota (kg .m ⁻³)	Měrná tep. vodivost (W m ⁻¹ K ⁻¹)	Teplotní roztlačnost (K ⁻¹ .10 ⁻⁶)	Mez únavy (MPa)
1	P	158,6	115	2 962	130	23,2	58,6
	K	206,8	140	2 962	130	23,2	62,1
2	P	158,6		2 823	134	23,6	
	K	275,8	110	2 823	134	23,6	72,4
3	K	275,8	125	2 713	117	20,7	93,1
4	K	213,7		2768	117	23,4	
5	V	421	120	2800	155	22,3	117
6	V	379	110	2690	138	19,4	110

Tabulka 2 Vlastnosti slitin Al pro písty [2]

P – odlévané do pístu

K – odlévané do kokily

V – kované

2.1.2 Kmity ve spalovacím prostoru

Kmity ve spalovacím prostoru, které vznikají při hoření, mohou rozkmitat pístní kroužky a narušit tak přestup tepla do stěn válce. Přitom se píst může porušit erozí.[2]

Klopení pístu od jedné ke druhé stěně válce posouvá pístní kroužky v radiálním směru, a to třikrát za jednu otáčku. Tím se zvyšuje tření pístu ve válci, opotřebení roste a má-li píst větší vůli, dochází ke zvýšenému namáhání přepážek pístních kroužků. Nepříznivý účinek klopení pístu na hluk motoru se u benzínových motorů omezuje vyosováváním pístního čepu o 0,5 – 1 mm z osy pístu ve směru působení normální síly. Písty naftových motorů se vyosovávají o 0,5 až 2,5 mm (výjimečně 3mm) na protilehlou, nezátíženou stranu. Vůle pístu na zatížené straně se tím při klopení rychle zmenší, takže tepelné namáhání zatížené strany pístu se sníží a omezí se množství zplodin ze spalování oleje. Vyosování mění dobu výkyvu pístu při pohybu ke stranám válce, takže se od sebe liší.[2]

Vůle pístu ve válci má být co nejmenší (asi 2×10^{-4} D) při všech provozních stavech motoru. Píst a válec se mají co nejméně deformovat z působení mechanického a tepelného zatížení. Vnější obrys pístu se přizpůsobuje teplotní roztažnosti válce a pístu (ovalitou, kuželovitostí) i způsobu chlazení pístu jako např. ostříku pístu olejem, účinku chladícího okruhu v pístu. Malá vůle pístu se dosahuje písty s řízenou dilatací pomocí zalitých vyrovnávacích vložek. Větší vůle při studeném stavu motoru vede ke klepání pístu po spuštění studeného motoru. Nahradí-li se píst s hladkým pláštěm pístem s řízenou dilatací, intenzitu hlasitosti vzduchem chlazeného motoru se sníží až o 8 dB a kapalinou chlazeného motoru až o 3 dB. Píst má však poměrně malý vliv na hladinu hlasitosti, je-li motor v dobrém stavu.[2]

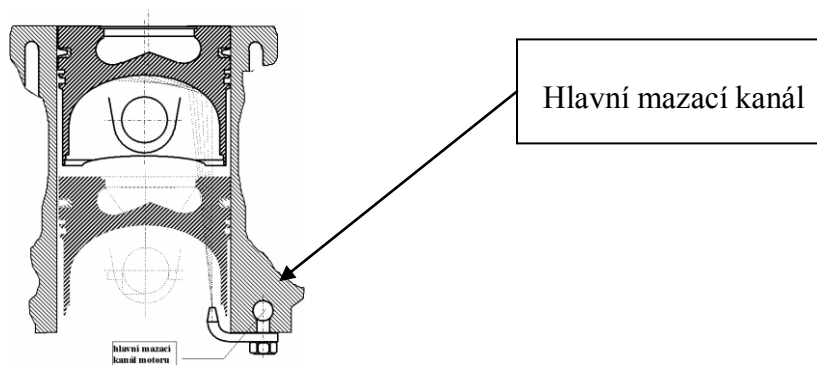
2.1.3 Chlazení pístů

Teplota pístu v první drážce pro pístní kroužek může dosahovat až 240°C . Při překročení této hodnoty je třeba píst zchladit.[1]

V praxi se využívají 2 způsoby chlazení:

1. Nástřik dna pístu [1]

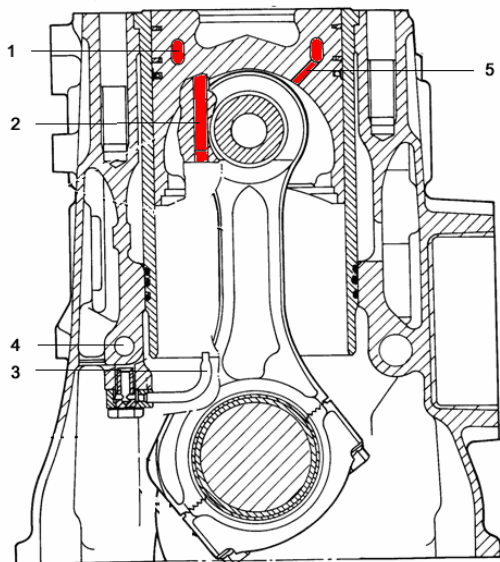
- Pro méně zatížené motory
- Nástřik dna pístu olejem snižuje teplotu v drážce prvního pístního kroužku asi o 20°C .



Obrázek 2 Nástřik dna pístu[1]

2. Chladicí kanál v hlavě pístu [1]

- Pro více zatížené motory
- Snižuje teplotu cca o 40 °C



- 1** Toroidní chladicí kanál
- 2** Přívodní kanálek
- 3** Tryska
- 4** Přívodní kanál
- 5** Odpadní kanál

Obrázek 3 Chladicí kanál v hlavě pístu [1]

2.1.4 Plášť pístu

Délka pláště pístu zajišťuje vedení pístu ve válci. Plášť přenáší normální síly a udržuje klopení pístu v přijatelných mezích. Optimální vedení pístu se dosahuje vhodným uložením pístního čepu v plášti. Umístí-li se čep v těžišti pístu, eliminují se klopné momenty z působení setrvačných sil. Motor má menší výšku, uloží-li se čep blízko dna pístu. Normální síla se rozdělí po povrchu kluzné plochy rovnoměrněji, je-li čep uprostřed pláště. Tento požadavek je často rozhodující. Pístní oka se musí dobře zakotvit jak k plášti, tak ke dnu pístu. Vzdálenost pístních ok závisí na šířce ojnicního oka, při němž píst a pístní čep se musí co nejméně deformovat. [2]

2.1.5 Tření pístu

Ztráty třením pístu mají být co nejmenší. Závisí především na deformaci válce a přtlaku stíracího kroužku na válec. Těsnící kroužky a plášť pístu mají na třecí ztráty malý vliv, jsou-li správně konstruovány a zamontovány. Povrchová úprava pístu (např. poolování, grafitování apod.) zlepšuje záběh motoru, přispívá k udržení oleje na kluzné ploše a snižuje tlak třecí ztráty. Osový pohyb kroužků při zdvizích pístu mezi úvratěmi má čerpací účinek, který vytlačuje olej ve směru ke spalovacímu prostoru. Čerpací účinek je tím větší, čím větší je osová vůle kroužku v drážce. Píst musí mít vyhovující pevnost a tuhost, odolnost proti opotřebení a vzniku poruch na povrchu (např. rýh), musí se dobře chladit a ve válci správně vést, a to při všech provozních podmínkách chodu motoru.[2]

2.2 Pístní kroužky

V několika minulých desetiletích stále rostly požadavky kladené na moderní motory. V lehkých benzínových a dieselových motorech došlo k významnému zvýšení měrného výkonu díky lepší přípravě směsi, ale také ke zvýšení objemové účinnosti díky vyššímu počtu ventilů a přeplňování. Spolu s vývojem těchto výkonných motorů stoupají také nároky kladené na pístní kroužky. Byly vyvinuty a zavedeny některé speciální konstrukce, zejména povrchové úpravy kluzné plochy kroužku, např. plazmový nástřik. Pro benzínové i dieselové motory nejmodernější konstrukce je předepsána povrchová vrstva keramického materiálu s obsahem chromu (CKS), vyvinutá před několika málo roky. Kromě zvýšení měrného výkonu motorů je požadována také delší životnost a splnění stále přísnějších emisních limitů. Splnění těchto požadavků by měly pomoci zajistit právě pístní kroužky.[5]



Obrázek 4 Těsnící a stírací pístní kroužky

2.2.1 Jak pístní kroužek v motoru funguje

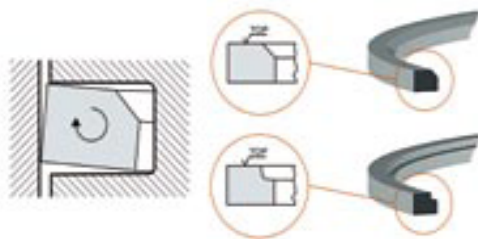
Pro splnění různých funkcí jsou v motoru zapotřebí různé typy pístních kroužků. Rozeznáváme těsnicí a stírací pístní kroužky. Těsnicí kroužek izoluje spalovací komoru od prostoru olejové vany. Musí zajistit těsnění mezi pístem a stěnou válce. Při 100 zdvizích pístu za každou sekundu jsou pístní kroužky vystaveny extrémně vysokému tepelnému a mechanickému zatížení. Proto je důležité správné množství mazacího oleje. To zajišťuje dolní, stírací pístní kroužek, který přivádí potřebné množství oleje z olejové vany a společně se dvěma těsnicími kroužky je v tenké vrstvě rovnoměrně rozděluje po celé stěně válce.[5]

Další důležitou funkcí pístního kroužku je přenos velké části tepla pohlcovaného pístem do ochlazované stěny válce.[5]

2.2.2 Těsnicí pístní kroužky

Nejčastější konstrukční řešení těsnícího pístního kroužku:

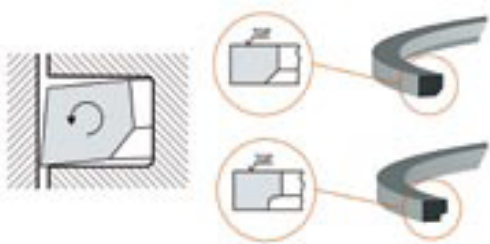
1) Kroužky se zkosením nebo ústupkem na vnitřní horní hraně:



Obrázek 5 Kroužek se zkosením nebo ústupkem na horní hraně [5]

Kroužky se zkosením nebo ústupkem na vnitřní horní hraně se používají hlavně ve druhé, ale někdy také v první drážce benzínových motorů. Funkční výhodou tohoto kroužku je jeho zkroucení, ke kterému dochází při zatlačení pístu do válce, takže spodní vnější hrana kroužku se dotýká stěny válce. Tento lineární kontakt, podobně jako u pístního kroužku s úkosem, řídí a zlepšuje stírání oleje a umožňuje rychlejší usazení kroužku v drážce.[5]

2) Kroužky s úkosem a zkosením nebo ústupkem na dolní vnitřní hraně:

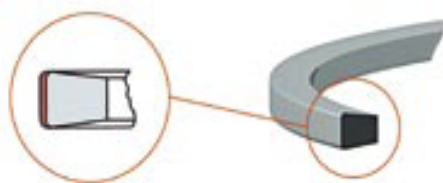


Obrázek 6 Kroužek s úkosem nebo ústupkem na dolní vnitřní hraně [5]

Tyto kroužky, známé také jako kroužky s negativním zkroucením, se většinou používají ve druhé drážce pístu spalovacího motoru. Mají velký úkos na straně směřující ke stěně válce (ca. 2° až $2^\circ 30'$). Ústupek na dolní vnitřní straně způsobuje, že se kroužek při zatlačení pístu do válce

zkroutí v opačném směru, než kroužek se zkosením nebo ústupkem na horní vnitřní straně. Zkosení způsobuje, že se dolní vnější hrana dotýká stěny válce.[5]

3) Kroužky s lichoběžníkovým průřezem:



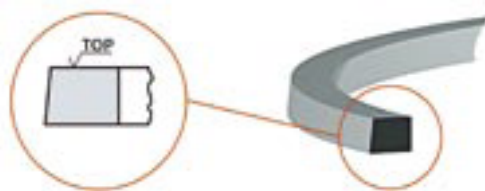
Obrázek 7 Kroužek s lichoběžníkovým průřezem [5]

Kroužek s lichoběžníkovým (nebo také klínovým) průřezem může mít lichoběžníkový úhel 6° nebo 15° a v současné době je považován za standardní tvar pro první drážku pístu v dieslových motorech. V omezeném

rozsahu se tyto kroužky také používají ve vysokootáčkových dieslových motorech lehkých vozidel. Výhodou tohoto kroužku ve srovnání s rovným kroužkem je to, že se na jeho stranách a v drážce pístu neusazují pevné zplodiny hoření, což zabraňuje jeho zapečení v drážce.[5]

4) Kroužky s úkosem

Kroužky s úkosem mají zkosení na pracovní straně, jejíž dolní hrana se lineárně dotýká stěny válce. To zajišťuje dobré stírání oleje a rychlé usazení kroužku v drážce. Úkos pracovní strany je proveden v úhlu od 45°



Obrázek 8 Kroužek s úkosem [5]

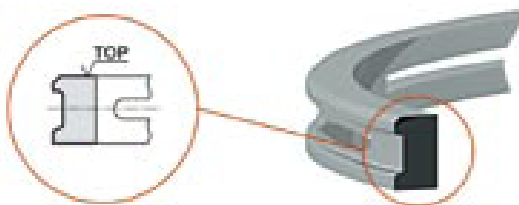
(DIN 70911) a 90° a u kroužků se zkosením nebo ústupkem na dolní vnitřní hraně v úhlu až 2° 30'. Kroužky s úkosem se používají hlavně ve druhé pístní drážce dieslových motorů, ale někdy

také ve druhé pístní drážce a v ojedinělých případech i v první pístní drážce benzínových motorů. V těchto případech je pracovní strana částečně lapována. Kroužky s úkosem mohou mít stejnou povrchovou úpravu jako kroužky s rovnými stranami.[5]

2.2.3 Stírací pístní kroužky

Nejčastější konstrukční řešení stíracího pístního kroužku:

1) Kroužek s drážkou bez pružiny



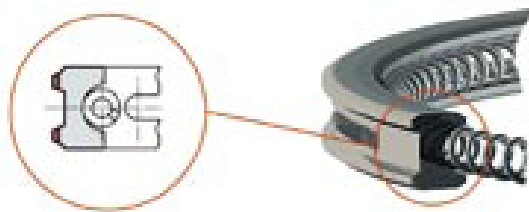
Obrázek 9 Kroužek s drážkou bez pružiny [5]

Může mít fasetky válcového tvaru na vnější straně, zkosené hrany nebo dvojitě zkosené hrany. Vzhledem k nízkému tangenciálnímu namáhání, a tím i slabšímu kontaktnímu přitlaku

fasetek ke stěně válce (měrný povrchový přitlak $P_o = 0,3$ až $0,7 \text{ N/mm}^2$) spolu s nižší přizpůsobivostí (schopností přizpůsobit se tvaru válce) se tento kroužek v moderních motorech používá už jen zřídka.[5]

2) Stírací kroužek s pružinou

Stírací kroužky s pružinou mohou mít vyšší měrný přitlak a vysokou přizpůsobivost. Stírací kroužky s prstencovou pružinou bez povrchové úpravy vnější strany mohou mít fasetku válcového tvaru, zkosenou hranu nebo dvojitě zkosenou hranu. Střední měrný přitlak se u těchto kroužků pohybuje

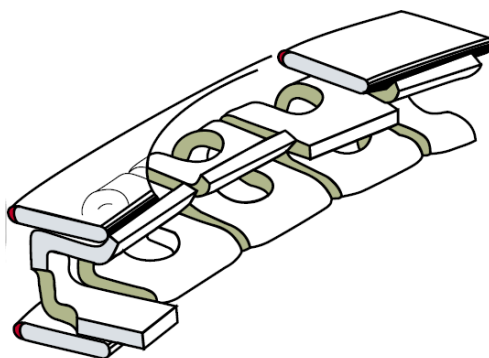


v rozmezí ca. 0,9 až 1,5 N/mm².
Vynikající řízení oleje a vyznačují
se nízkým opotřebením.[5]

Obrázek 10 Kroužek s úkosem [5]

3) Skládané

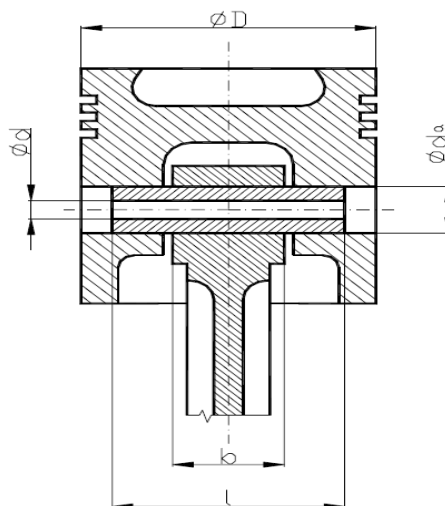
V moderních benzínových motorech se nyní stále více používají ocelové stírací kroužky skládající se ze tří komponentů. Díky své vysoké přizpůsobivosti a měrnému přitlaku v rozmezí 0,8 a 1,2 N/mm² zajišťují tyto kroužky dobré řízení oleje. Kroužek je záměrně navržen tak, aby zajistil těsnění v drážce mezi ocelovými výstupky a drážkou.[5]



*Obrázek 11 Řez skládaným pístním
kroužkem [5]*

2.3 Pístní čep

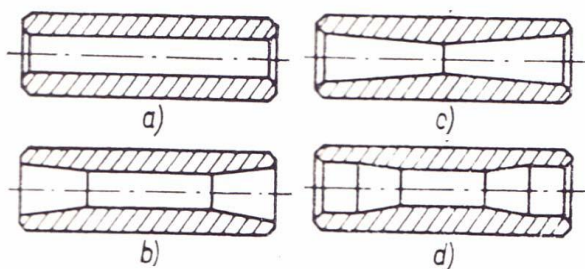
Pístní čep je spojovacím členem přenášejícím síly mezi pístem a ojnicí. Tyto síly, vznikající působením tlaků ve válci a účinků setrvačných hmot pístu, čep namáhají a deformují. Pevnostní výpočet pístního čepu má obvykle jen druhořadý význam, neboť při správné volbě rozměru zpravidla vede k vysokým násobkům bezpečnosti. Rozhodující význam pro správnou funkci má výpočet deformací pístního čepu v závislosti na jeho uložení v pístu.[4]



Obrázek 12 Uložení pístního čepu [4]

2.3.1 Druhy pístních čepů

Nejpoužívanějším druhem pístních čepů je s průběžným válcovým otvorem obr. a). Další

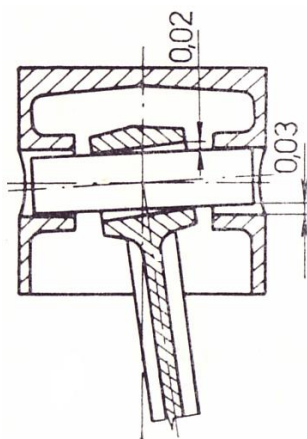


Obrázek 13 Druhy pístních čepů[3]

úpravy čepů slouží ke snížení hmotnosti jako například čep s kuželovým zúžením konců obr. b). Čep může být také uzavřený z jedné strany nebo uprostřed. Tato úprava se provádí zejména pro dvoudobé motory.

2.3.2 Plovoucí pístní čep

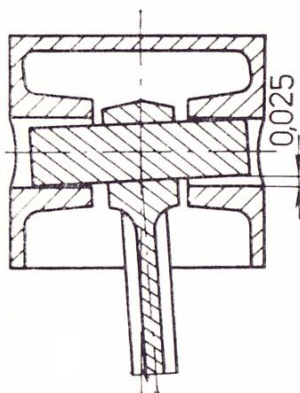
V motorech pro vozidla se převážně používají tzv. plovoucí čepy. Plovoucí čep se poměrně lehko montuje a rovnoměrně se opotřebovává po celé délce a po obvodě. [2]



Obrázek 14 Plovoucí uložení pístního čepu [2]

2.3.3 Pevně uložený čep

Jeho ohybové napětí může být nižší než u plovoucího čepu, protože vzdálenost pístních ok se od sebe může zkrátit a jejich délka prodloužit. Pevný čep zlepšuje stabilitu pístu ve válci. [2]



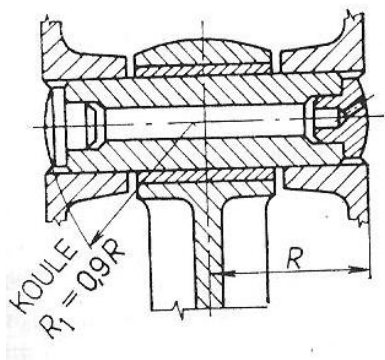
Obrázek 15 Pevně uložení pístního čepu [2]

2.3.4 Materiál pístního čepu

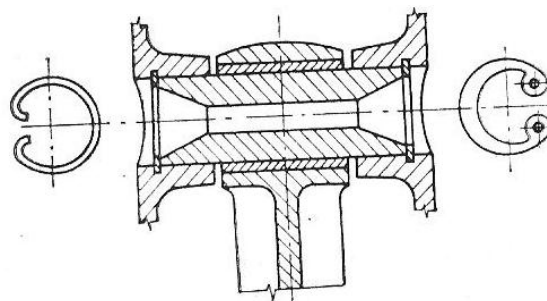
Pístní čepy se zhotovují z ocelí tříd 12, 14, 15, 16. Oceli třídy 16 vynikají pevností a odolností proti opotřebení, proto se používají u vysoce zatížených motorů. Běžně zatížené motory používají oceli třídy 12, 14 a 15. Čepy se po základním opracování cementují do hloubky 0,5 až 1,5 mm. Životnost čepu závisí na jeho odolnosti proti rázům, opotřebení a na jeho tuhosti a pevnosti. Oboustranné tepelné zpracování a leštění povrchů značně zvyšuje odolnost proti otěru. Únavová pevnost čepu se po cementaci obou povrchů zvýšila o 12 až 20 % a po nitridaci o 35 až 45 %. Drsnost povrchu pístního čepu by neměla překročit $R_a = 1,5$. [2]

2.3.5 Pojištění čepu proti axiálnímu posuvu

Způsobů jak zabránit axiálnímu posuvu pístního čepu je mnoho. Pístní čep můžeme do ok pístu zalisovat tak, že je volná jen hlava ojnice. Nejčastěji používané zajištění čepu je segerovým kroužkem nebo víčkem. Víčka se nejčastěji zhotovují z Al slitiny. Vůle mezi válcem a víčkem bývá 0,5 mm. Víčko je kulovitě zaobleno poloměrem asi $0,45 D$. Pojištění kroužkem kruhovitěho průřezu není dost spolehlivé. Kroužky obdélníkového průřezu se dobře vsazují a licují s čepem, ale v drážkách pro kroužky vznikají nežádoucí napětí. [2]



Obrázek 16 Jištění víčkem [2]



Obrázek 17 Jištění kroužky [2]

3 Stanovení hlavních rozměrů motoru [3]

Mezi hlavní rozměry pístového spalovacího motoru patří:

- Vrtání (průměr) válce - D
- Zdvih pístu - Z
- počet pístů motoru – i

Vycházíme ze zadaného výkonu a otáček motoru. Motor, podle kterého jsou zadané parametry zvoleny je čtyřdobý nepřepřlňovaný deseti válec o obsahu 4999 cm^3 z BMW M6.

3.1 Zadání úlohy

Zpracujte výpočtový návrh a konstrukční řešení pístu pro čtyřdobý zážehový motor o výkonu 373 kW při otáčkách $n = 7750 \text{ 1/min}$.

3.2 Stanovení hlavních rozměrů pístového spalovacího motoru

3.2.1 Zdvihový objem válce

$$V_Z = \frac{60 \times P_e}{p_e \times n \times i \times \tau} \quad (1)$$

$$V_Z = \frac{60 \times 373\,000}{15000000 \times 7750 \times 10 \times 0,5} = 0,000385$$

$$V_Z = 0,000385 \text{ m}^3 = 0,39 \text{ l}$$

3.2.2 Objemový (litrový) výkon

$$P_l = \frac{P_e}{V_Z \times i} \times 1000 \quad (2)$$

$$P_l = \frac{373}{0,38 \times 10} = 97$$

$$P_l = 97 \text{ kW}$$

3.2.3 Stanovení průměru pístu D

Pro stanovení průměru pístu použijeme vztah pro zdvihový objem válce.

$$V_z = \frac{\pi \times D^2}{4} \times Z \quad (3)$$

- zavedeme veličinu **Zdvihový poměr – k**

$$k = \frac{Z}{D} \quad (4)$$

- volím $k = 0,8$ dle tab. 3

Tab. 3 Charakteristické parametry zážehových motorů[3]

MOTORY zážehové	ROK	jmenovité otáčky [min ⁻¹]		stř. píst. rychlost [m.s ⁻¹]		stř. efekt. tak [MPa]		kompresní poměr [-]		zdvihový poměr [-]		objemový výkon [kW, dm ³]	
		minimum	maximum	minimum	maximum	minimum	maximum	minimum	maximum	minimum	maximum	minimum	maximum
přepřítovaně	2003	5000	7000	11	19.1	1.1	2	8	10.5	0.8	1.2	50	103

- po dosazení do rovnice (5) dostaneme:

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 \times V_z}{\pi \times k}} \quad (5)$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 \times 0,000385}{\pi \times 0,8}} = 0,088$$

$$D = 0,088 \text{ m}$$

3.2.4 Zdvih pístu

$$Z = k \times D \quad (6)$$

$$Z = 0,7 \times 0,088 = 0,0616$$

$$Z = 0,0616 \text{ m}$$

3.2.5 Střední pístová rychlost

$$C_s = 2 \times Z \times \frac{n}{60} \quad (7)$$

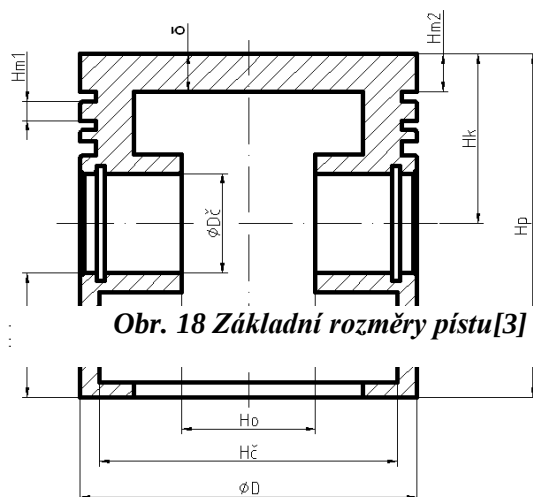
$$C_S = 2 \times 0,0616 \times \frac{7750}{60} = 15,913$$

$$C_S = 15,913 \text{ m/s}$$

3.3 Návrh hlavních rozměrů pístu

ØD - Průměr vrtání válce
H_p - Výška pístu
H_k - Kompresní výška pístu

H_o - Vzdálenost mezi nálitky
H_č - Délka pístního čepu
H_{m1} - Výška prvního můstku
H_{m2} - Výška druhého můstku
ØD_č - Průměr pístního čepu
δ - Šířka dna pístu



Obr. 18 Základní rozměry pístu[3]

Tab. 4 Doporučené meze rozměrů pístu[3]

Určení jednotlivých rozměrů pístu vychází z vrtání válce. Pro návrh pístu jsou rozměry

veličina	ØD	H _p	H _k	H _o	H _č	H _{m1}	H _{m2}	ØD _č	δ
% D	100	90-140	50-70	40	85	6-10	3-6	25-28	5-7

vyjádřeny v procentuální závislosti na vrtání válce.

ØD = 88 mm	H _o = 35 mm	H _{m2} = 5 mm
H _p = 90 mm	H _č = 75 mm	ØD _č = 25 mm
H _k = 55 mm	H _{m1} = 10 mm	δ = 10 mm

Tab. 5 Tabulka rozměrů pístu

3.4 Drážky pro pístní kroužky

Nejčastěji používaná koncepce rozložení pístních kroužků na pístu, využívá dvou pístních kroužků těsnících a jednoho stíracího.

3.4.1 Radiální vůle pístních kroužků

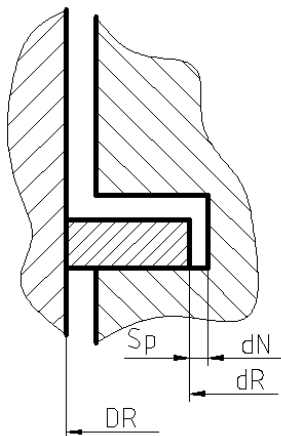
Mezi pístním kroužkem a pístem musí zůstat vůle. Tato vůle musí být zvolena tak, aby nevznikl příliš velký prostor, do kterého v průběhu hoření a expanze vnikají spaliny a nespálené palivo, které zvyšují množství škodlivin ve spalinách motoru.

$D_R = D$... Vnější průměr kroužku v zamontovaném stavu

d_R ... Vnitřní průměr kroužku v zamontovaném stavu

d_N ... Průměr drážky pro pístový kroužek

S_p ... Radiální vůle pístového kroužku



Obr. 19 Radiální vůle pístního kroužku[3]

1. Radiální vůle 1. pístního kroužku

S_p – dle doporučení $S_p = 0,6 \div 0,8 \rightarrow$ volím $S_p = 0,7$ mm

a – dle normy DIN 70 910 volím $a = 3,7$ mm

$$d_N = D - 2 \times (a + S_p) \quad (8)$$

$$d_N = 88 - 2 \times (3,7 + 0,7) = 80$$

$$d_N = 80 \text{ mm}$$

2. Radiální vůle 2. pístního kroužku

$$d_N = D - 2 \times (a + S_p) \quad (8)$$

$$d_N = 88 - 2 \times (3,7 + 0,7) = 80$$

$$d_N = 80 \text{ mm}$$

3. Radiální vůle stíracího pístního kroužku

$$d_N = D - 2 \times (a + S_p) \quad (8)$$

$$d_N = 88 - 2 \times (3,7 + 0,7) = 80$$

$$d_N = 80 \text{ mm}$$

3.4.2 Axiální vůle pístních kroužků

Rozhodujícím faktorem při volbě axiální vůle je možnost vzniku karbonových usazenin v drážce pro pístní kroužek. V důsledku větší pravděpodobnosti tvorby těchto usazenin u prvního pístního kroužku se volí vůle větší než u druhého.

Volba rozměrů dle normy DIN 70 910:

1. Axiální vůle 1. pístního kroužku

Drážka pro kroužek: $2,5^{+0,050}_{+0,035} \text{ mm}$

Pístní kroužek: $2,5^{-0,010}_{-0,022} \text{ mm}$

maximální vůle kroužku v drážce - $0,072 \text{ mm}$

minimální vůle kroužku v drážce - $0,045 \text{ mm}$

2. Axiální vůle 2. pístního kroužku

Drážka pro kroužek: $2,5^{+0,040}_{+0,025} \text{ mm}$

Pístní kroužek: $2,5^{-0,010}_{-0,022} \text{ mm}$

maximální vůle kroužku v drážce - $0,062 \text{ mm}$

minimální vůle kroužku v drážce - 0,035 mm

3. Axiální vůle stíracího pístního kroužku

Drážka pro kroužek: $4^{+0,040}_{+0,025} \text{ mm}$

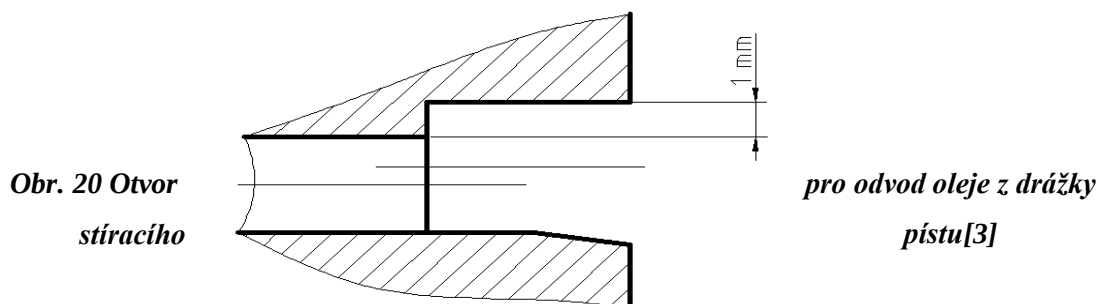
Pístní kroužek: $4^{-0,010}_{-0,022} \text{ mm}$

maximální vůle kroužku v drážce - 0,062 mm

minimální vůle kroužku v drážce - 0,035 mm

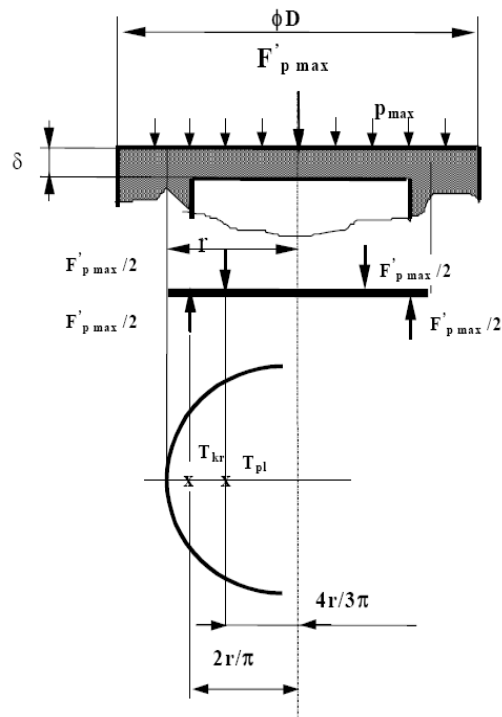
3.4.3 Drážka pro stírací kroužek

Součástí drážky pro stírací kroužek je i průřez pro odvod setřeného oleje. Rozměr otvoru pro odvod oleje je asi o 1 mm menší než šířka drážky. Nevhodné umístění otvoru může u pístu chlazeným nástřikem oleje vyvolat opačné proudění oleje a zvyšovat tak jeho spotřebu. Otvory pro odvod oleje zvyšují, v důsledku vrubového účinku, napětí a s drážkou pro stírací kroužek vytváří minimální příčný průřez pláště pístu, přenášející síly od tlaku plynů a setrvačné síly.



3.5 Pevnostní výpočet pístu

Kvůli složitosti tvaru pístu i jeho namáhání je tento výpočet spíše informativní. Výpočet zahrnuje základní namáhání vyvolané tlakem plynů při spalování a setrvačnými silami, které na píst působí. Do výpočtu nelze zahrnout další zatěžující faktory jako je například tepelná bilance v jednotlivých místech pístu nebo vlivy vrubových účinků. Kontrolní pevnostní výpočet pístu vychází z podobnosti již provedených a osvědčených konstrukcí pístu.



Obr. 21 Výpočtový model zatížení dna pístu[3]

3.5.1 Pevnostní výpočet dna pístu

Pevnostní výpočet dna je prováděn na ohyb. Model sloužící pro výpočet je kruhová deska, zatížená po obvodě rovnoměrným spojitým zatížením od tlaku plynů. Deska je podepřená nebo vetknutá. Při výpočtu je zanedbán vliv setrvačných sil. Pro přibližný výpočet maximálního ohybového napětí je možno nahradit kruhovou desku přímým nosníkem.

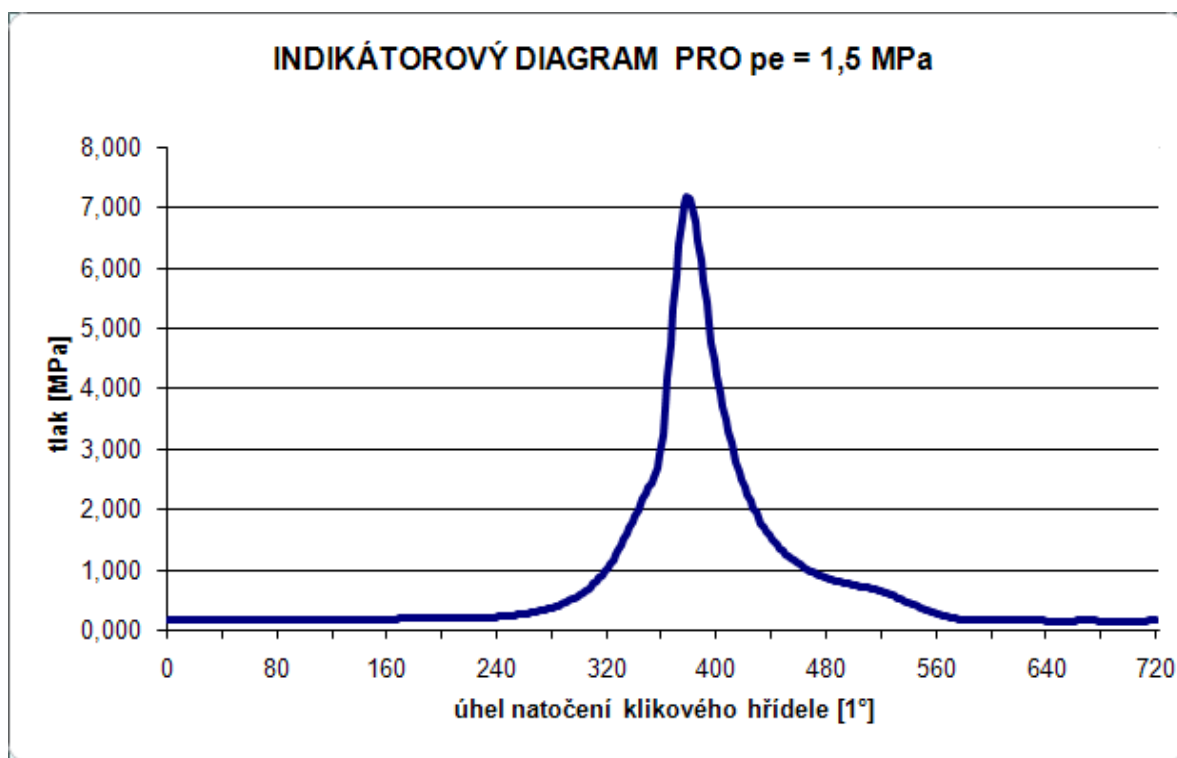
Maximální síla tlaků plynů:

$$F'_{p \max} = \pi \times r^2 \times p_{\max} \quad (9)$$

$r[\text{m}]$ - poloměr vetknutí (podepření) desky
 $p_{\max}[\text{Nm}^{-2}]$ - maximální tlak plynů ve válci motoru

$$F'_{p\max} = \pi \times 0,044^2 \times 7,179 \times 10^6 = 43663,5$$
$$F'_{p\max} = 43663,5 \text{ N}$$

Maximální tlak $p_{\max}$ se určuje z indikátorového diagramu.



Obr. 22 Indikátorový diagram

Maximální ohybový moment:

$$M_{O\max} = \frac{r^3}{3} \times p_{\max} \tag{10}$$

$$M_{O\max} = \frac{0,044^3}{3} \times 7,179 \times 10^6 = 204$$

$$M_{O\max} = 204 \text{ Nm}$$

Moment odporu v ohybu (modul průřezu):

$$W_o = \frac{1}{3} \times r \times \delta^2 \quad (11)$$

$$W_o = \frac{1}{3} \times 0,044 \times 0,01^2 = 1,4467 \times 10^{-6}$$

$$W_o = 1,4467 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$\delta[\text{m}]$ - tloušťka dna pístu

Maximální ohybové napětí:

$$\sigma_{o \max} = \frac{M_{o \max}}{W_o} = \frac{r^3}{3} \times p_{\max} \times \frac{3}{r \times \delta^2} = p_{\max} \times \left(\frac{r}{\delta}\right)^2 \quad (12)$$

$$\sigma_{o \max} = 7,179 \times 10^6 \times \left(\frac{0,044}{0,01}\right)^2 = 139$$

$$\sigma_{o \max} = 139 \text{ MPa}$$

Vypočtená hodnota maximálního ohybového napětí je ovlivněna podepřením nebo vetknutím desky na obvodě.

Pro desku vetknutou je **maximální ohybové napětí desky:**

$$\sigma_{\max} = 0,25 \times p_{\max} \times \left(\frac{r}{\delta}\right)^2 \quad (13)$$

$$\sigma_{\max} = 0,25 \times 7,179 \times 10^6 \times \left(\frac{0,044}{0,01}\right)^2 = 35$$

$$\sigma_{\max} = 35 \text{ MPa}$$

Dovolené hodnoty napětí pro písty z hliníkové slitiny pro dno s nízkými žebry:

$$\sigma_{DOV} = 40 \div 50 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\max} < \sigma_{DOV} \rightarrow \text{VUHOVUJE}$$

3.5.2 Nejslabší místo pláště pístu

Nejslabší místo pláště pístu bývá u většiny pístů v drážce pro stírací kroužek. V tomto místě je plášť zeslaben nejen drážkou, ale i otvory pro odvod setřené oleje do klikové skříně.

Namáhání tlakem plynů nad pístem:

$$\sigma_{tl\ max} = \frac{F_{p\ max}}{S_X} \quad (14)$$

$F_{p\ max}[N]$ - maximální síla od tlaků plynů ve spalovacím prostoru

$S_X[m^2]$ - průřez pístu v rovině drážky pro stírací pístní kroužek

- Hodnota průřezu pístu vypočtena: $S_X = 2,2 \times 10^{-3} m^2$

$$F_{p\ max} = \frac{\pi \times D^2}{4} \times p_{max} \quad (15)$$

$$F_{p\ max} = \frac{\pi \times 0,088^2}{4} \times 7,179 \times 10^6 = 43663$$

$$F_{p\ max} = 43663 N$$

- Po dosazení $F_{p\ max}$ a S_X do rovnice (14):

$$\sigma_{tl\ max} = \frac{43663}{2,2 \times 10^{-3}} = 19,85$$

$$\sigma_{tl\ max} = 20\ MPa$$

Dovolená hodnota napětí pro současné hliníkové slitiny se pohybuje v rozmezí 30 až 40 [MPa].

Setrvačná síla:

- Při doběhu pístu do horní úvratí dochází k namáhání vyšetřovaného průřezu na tah. Toto namáhání je vyvoláno setrvačnou silou od hmotnosti koruny pístu.

$$F_{SP,X} = m_X \times r_K \times \omega_{max}^2 \times (1 + \lambda_o) \quad (16)$$

$m_X[kg]$ - hmotnost koruny pístu nad řezem x-x

$r_K[m]$ - poloměr klikového hřídele

$\lambda_o[-]$ - ojniční poměr – pro současné motory v rozmezí $0,2 \div 0,3$
 $\omega_{max}[s^{-1}]$ - maximální úhlová rychlost otáčení klikového hřídele

- Hmotnost koruny pístu byla vypočtena $m_x = 0,38 \text{ kg}$
- Ojniční poměr byl zvolen 0,2

$$\omega_{max} = \frac{\pi \times n_{max}}{30} \quad (17)$$

$$\omega_{max} = \frac{\pi \times 7750}{30} = 811$$

$$\omega_{max} = 811 \text{ s}^{-1}$$

- Po dosazení těchto hodnot do rovnice (16) :

$$F_{SP,X} = 0,38 \times 0,0308 \times 811^2 \times (1 + 0,2) = 9237$$

$$F_{SP,X} = 9237 \text{ N}$$

Tahové napětí:

$$\sigma_T = \frac{F_{SP,X}}{S_X} \quad (18)$$

$$\sigma_T = \frac{9237}{2,2 \times 10^{-3}} = 4,2$$

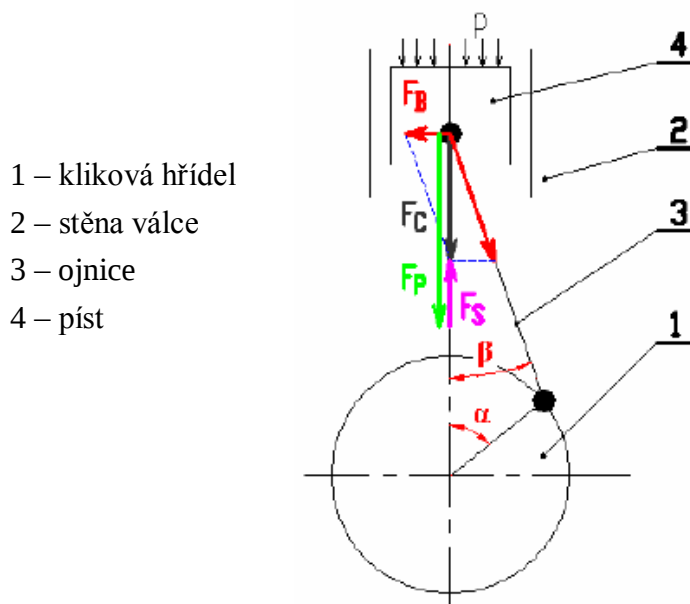
$$\sigma_T = 4,2 \text{ MPa}$$

Dovolené napětí pro hliníkové slitiny $\sigma_{T, \text{dov}} = 4 \div 10 \text{ [MPa]}$

3.5.3 Měrný tlak na plášti pístu

Měrný tlak je vyvolán normálovou silou, působící na stěnu válce. Maximální velikost dosahuje síla při expanzním zdvihu poblíž horní úvratě. Síla je určována kinematikou klikového mechanismu a průběhem tlaků plynů při hoření ve válci motoru.

Při natočení klikové hřídele o 378° dosahuje tlak ve spalovacím prostoru maximální hodnoty. Úhel natočení hřídele α je tedy 18° .



Obr. 23 Síly působící na klikový mechanismus

Měrný tlak na plášti pístu:

$$p_{pl} = \frac{F_B}{D_{pl} \times L_{pl}} \quad (19)$$

F_B [N]	- normálová síla
D_{pl} [m]	- vrtání pístu
L_{pl} [m]	- nosná délka pláště

Velikost síly F_B :

$$F_B = F_C \times \tan \beta \quad (20)$$

$$\beta = \sin^{-1}(\lambda_o \times \sin \alpha) \quad (21)$$

$$\beta = \sin^{-1}(0,2 \times \sin 18^\circ) = 3,54$$

$$\beta = 3,54^\circ$$

- Po dosazení do rovnice (20) získáme:

$$F_B = 26077 \times (\tan 3,54) = 1613$$

$$F_B = 1613 \text{ N}$$

Maximální velikost výsledné síly F_C :

$$F_C = F_S + F_P \quad (22)$$

- Výpočet síly F_S :

$$F_S = -(m_{píst}) \times r \times \omega_{max}^2 \times (\cos \alpha + \lambda_o \times \cos(2\alpha)) \quad (23)$$

$$F_S = -(0,727) \times 0,0308 \times 811^2 \times (\cos 18^\circ + 0,2 \times \cos(2 \times 18^\circ))$$

$$F_S = -16391 \text{ N}$$

- Výpočet síly F_P :

$$F_P = (p_{max} - p_{atm}) \times S_P \quad (24)$$

$$F_p = (7179000 - 101000) \times 0,006 = 42468$$

$$F_p = 42468 \text{ N}$$

- Po dosazení do rovnice (22) získáme:

$$F_c = (-16391) + 42468 = 26077$$

$$F_c = 26077 \text{ N}$$

- Po dosazení do rovnice (20) získáme:

$$F_B = 26077 \times (\tan 3,54) = 1613$$

$$F_B = 1613 \text{ N}$$

- Po dosazení do rovnice (19) získáme:

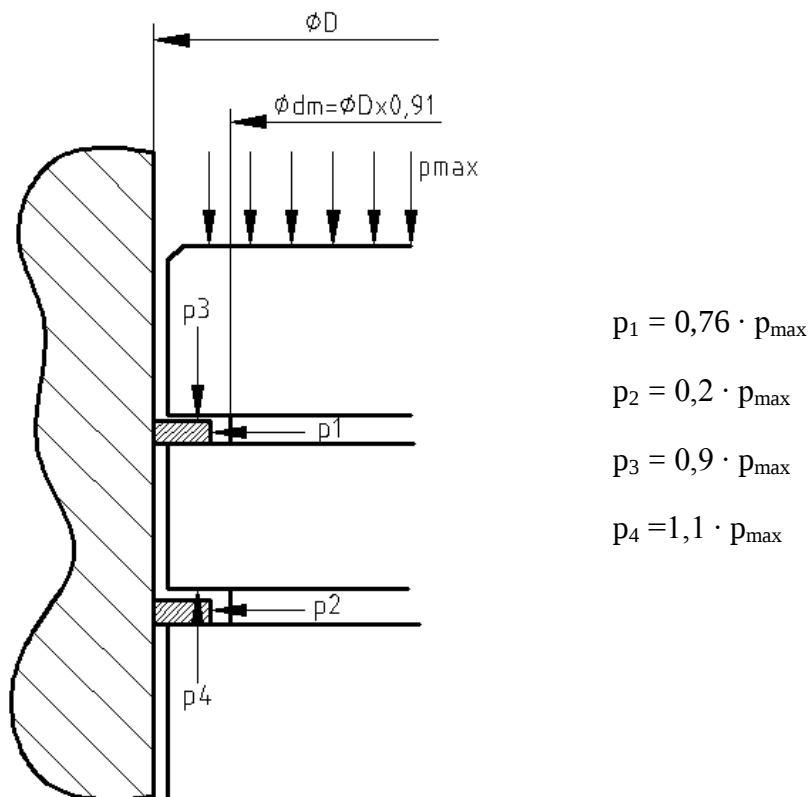
$$p_{pl} = \frac{1613}{0,088 \times 0,0635} = 0,3$$

$$p_{pl} = 0,3 \text{ MPa}$$

Vypočtená hodnota měrného tlaku spadá do intervalu hodnot $p_{dop} = 0,6 \div 1,4$ [MPa]

3.5.4 Můstek mezi prvním a druhým těsnícím kroužkem

Můstek je ve spalovacím prostoru vystaven velmi vysokému namáhání od působících tlaků plynů a působení značně vysokých teplot.



Obr. 24 Rozložení tlaku v mezikroužkových objemech[3]

Můstek je namáhán jako vetknutý nosník na ohyb a střih. Výsledný silový účinek na můstek mezi prvním a druhým těsnícím kroužkem je určen rozložením tlaků plynů v mezikroužkových mezerách. Tato síla namáhá můstek jako vetknutý nosník na ohyb a střih.

Výpočet síly F_m :

$$F_m = \frac{\pi}{4} \times (D^2 - d_m) \times (0,9P_{max} - 0,22p_{max}) \quad (25)$$

$$F_m = \frac{\pi}{4} \times (0,088^2 - 0,0801^2) \times (0,9 \times (7,179 \times 10^6) - 0,22 \times (7,179 \times 10^6))$$

$$F_m = 5092 \text{ N}$$

Výpočet ohybového napětí:

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} \quad (26)$$

$$M_o = F_m \times \frac{D - d_m}{4} \quad (27)$$

$$M_o = 5092 \times \frac{0,088 - 0,0801}{4} = 10,057$$

$$M_o = 10 \text{ MPa}$$

$$W_o = \frac{1}{4} \times \pi \times d_m \times H_{M2}^2 \quad (28)$$

$$W_o = \frac{1}{6} \times \pi \times 0,0801 \times 0,005^2 = 1,046 \times 10^{-6}$$

$$W_o = 1,046 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$H_{M2} \text{ [m]}$ - Výška druhého můstku

- Po dosazení do rovnice (26) získáme:

$$\sigma_o = \frac{10,057}{1,046 \times 10^{-6}} = 9,614$$

$$\sigma_o = 9,614 \text{ Nm}^{-2}$$

Výpočet smykového napětí :

$$\tau = \frac{F_m}{S} \quad (29)$$

$S \text{ [m}^2\text{]}$ - průřez v místě vetknutí

$$S = \pi \times d_m \times H_{M2} \quad (30)$$

$$S = \pi \times 0,080 \times 0,005 = 0,00125$$

$$S = 0,00125 \text{ m}^2$$

- Po dosazení do rovnice (29) získáme:

$$\tau = \frac{5092}{0,00125} = 4,07$$

$$\tau = 4,07 \text{ MPa}$$

Výpočet výsledného redukovaného napětí :

$$\sigma_{RED} = \sqrt{(\sigma_o^2 + 3 \times \tau^2)} \quad (31)$$

$$\sigma_{RED} = \sqrt{(9,164^2 + (3 \times 4,07^2))} = 10,22$$

$$\sigma_{RED} = 10,22 \text{ MPa}$$

Hodnota σ_{RED} nepřesahuje dovolenou hodnotu, která se pohybuje v rozmezí $60 \div 80$ [MPa].

4 Závěr

Úkolem této bakalářské práce bylo provést návrh základních rozměrů pístu pro čtyřdobý zážehový motor o výkonu 373 kW a následně provést pevnostní kontrolu navrženého pístu. Pro zadání parametrů byl použit motor BMW M6. Kvůli složitosti dané problematiky není možné provést návrh se všemi potřebnými náležitostmi. V práci je nastíněn postup, dle kterého lze píst navrhnout, ale nebylo by možné ho použít pro motor, na jehož parametry byl navrhnout. Při výpočtu nebylo bráno v potaz teplotní zatížení, které na píst ve spalovacím prostoru působí. Proto nelze s určitostí říci, zda by píst splnil požadavky, které by na něj byly kladeny v zadaném motoru.

V první části bakalářské práce je se zaměřena na problematiku prvků pístní skupiny, kterou tvoří píst, pístní kroužky, pístní čep a pojistné kroužky. U každého z prvků pístní skupiny jsou zaznamenány a popsány funkce, které v motoru respektive ve spalovacím motoru plní, a také konstrukční provedení s použitými materiály.

Druhá část práce je zaměřena na samotný výpočet pístu. Výpočet zahrnuje kontrolu namáhání dna pístu, kontrolu nejslabšího místa pláště pístu tj. prostor drážky pro stírací kroužek. Dalšími kroky v postupu výpočtu jsou, kontrola pro tlakové namáhání pláště pístu a namáhání můstku mezi prvním a druhým těsnícím kroužkem. Kontroly, provedené na navrženém pístu, vyšli v intervalech dovolených hodnot, které byli součástí literatury.

Byly splněny všechny požadované úkoly dle zadání.

5 Literatura

- [1] Rauscher, J.: Spalovací motory (studijní opory), Brno, Učební texty vysokých škol

- [2] Kožoušek, J.: Výpočet a konstrukce spalovacích motorů II, Praha, SNTL 1983

- [3] Rauscher, J.: Ročníkový projekt (studijní opory), Brno, Učební texty vysokých škol

- [4] Ing. Pavel Brabec: Vliv tuhosti pístního čepu na deformaci pláště. Dostupné na WWW:
http://www3.fs.cvut.cz/web/fileadmin/documents/12241.BOZEK/publikace/2003/Pistni_cep.pdf

- [5] GOETZE Praktický průvodce: Pístní kroužky. Dostupné na WWW: http://cesomot.cz/doc_cz/GOETZE-pistni-krouzky.pdf

6 Použité symboly

c_s	[m.s-1]	střední pístová rychlost
d_N	[mm]	průměr drážky pro pístový kroužek v pístu
d_R	[mm]	vnitřní průměr pístového kroužku v zamontovaném stavu
D	[mm]	vrtání válce motoru
D_a	[mm]	vnější průměr pístového čepu
D_i	[mm]	vnitřní průměr pístového čepu
D_R	[mm]	vnější průměr pístového kroužku v zamontovaném stavu
F_B	[N]	normálová síla, kterou působí píst na stěnu válce
F_C	[N]	výsledná síla působící na píst ve vertikálním směru
F_m	[N]	výsledný silový účinek působící na můstek
F_P	[N]	síla od tlaku plynů působící na píst ve vertikálním směru
$F_{P\ max}$	[N]	maximální síla od tlaku plynů
F_s	[N]	sekundární síla působící na píst ve vertikálním směru
$F_{SP,X}$	[N]	setrvačná síla pístu
$H_{\check{C}}$	[mm]	vzdálenost segerových kroužků
H_K	[mm]	kompresní výška pístu
H_{m1}	[mm]	výška prvního můstku pístu
H_{m2}	[mm]	výška druhého můstku pístu
H_O	[mm]	vzdálenost mezi nálitky pro pístní čap
H_{pl}	[mm]	výška pláště pístu
H_P	[mm]	výška pístu
i	[-]	počet válců motoru
k	[-]	zdvihový poměr
m	[mm]	minimální hloubka pláště za stíracím pístovým kroužkem
m_{pistu}	[kg]	hmotnost pístu
m_x	[kg]	hmotnost koruny nad řezem vyšetřovaného průřezu
M_O	[N.m]	ohybový moment
M_{Omax}	[N.m]	maximální ohybový moment

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
Ústav automobilního a dopravního inženýrství

n	[min-1]	jmenovité otáčky motoru
$n_{\max}$	[min-1]	maximální otáčky motoru
p_e	[Pa]	střední efektivní tlak
$p_{\max}$	[Pa]	maximální tlak plynů ve válci motoru
p_{pl}	[MPa]	měrný tlak na plášť pístu
P_e	[W]	výkon motoru
r	[m]	poloměr podepření desky
r_k	[m]	poloměr klikového hřídele
S	[m ²]	průřez v místě vetknutí
S_p	[mm]	radiální vůle pístového kroužku
S_x	[m ²]	minimální příčný průřez pístu v drážce pro stírací kroužek
V_z	[m ³]	zdvihový objem jednoho válce motoru
W_O	[m ³]	modul odporu v ohybu
W_O	[m ³]	moment odporu v ohybu (průřezový modul)
Z	[m]	zdvih pístu
α	[°]	úhel natočení klikového hřídele
β	[°]	úhel mezi osou pístu a ojnicí
δ	[mm]	hloubka dna pístu
λ_O	[-]	ojniční poměr
π	[-]	Ludolfovo číslo
ρ	[kg/m ³]	hustota materiálu
σ_O	[Pa]	ohybové napětí
$\sigma_{O\max}$	[Pa]	maximální ohybové napětí pro desku vetknutou
$\sigma_{O\max}'$	[Pa]	maximální ohybové napětí
σ_t	[Pa]	tahové napětí ve vyšetřovaném průřezu
$\sigma_{tl\max}$	[Pa]	napětí vyvolané tlakem plynů
τ	[Pa]	smykové napětí
τ	[-]	taktnost motoru
$\omega_{\max}$	[s-1]	maximální uhlová rychlost

7 Seznam příloh

[1] 1 – 3P22 – BP – P, PÍST