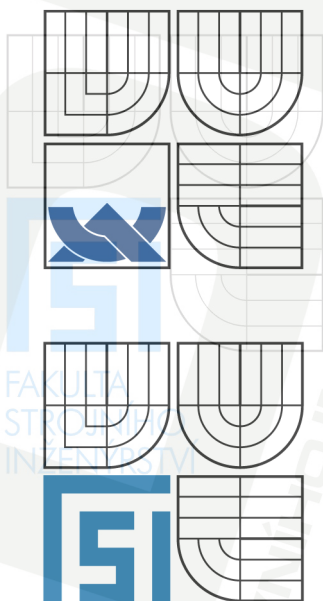




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

TECHNICKÉ
V BRNĚ

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

PÍST ČTYŘDOBÉHO ZÁŽEHOVÉHO MOTORU O VÝKONU 50kW

PISTON FOR 50kW 4-STROKE SI-ENGINE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

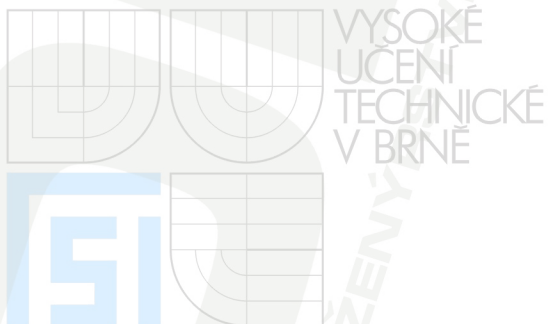
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

TOMÁŠ SPÁČIL

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

ING.DAVID SVÍDA

BRNO 2009

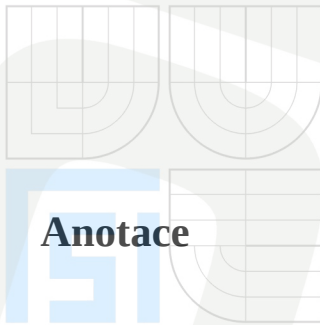


Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, pod vedením vedoucího bakalářské práce pana Ing. Davida Svídy a s použitím předepsané literatury.

Poděkování

Za účinnou podporu a obětavou pomoc, cenné připomínky a rady při zpracování bakalářské práce tímto děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Davidu Svídovi. Dále bych chtěl poděkovat svým rodičům a všem za podporu při studiu na vysoké škole.



VYSOKÉ
UCENÍ
TECHNICKÉ
V BRNĚ

Anotace

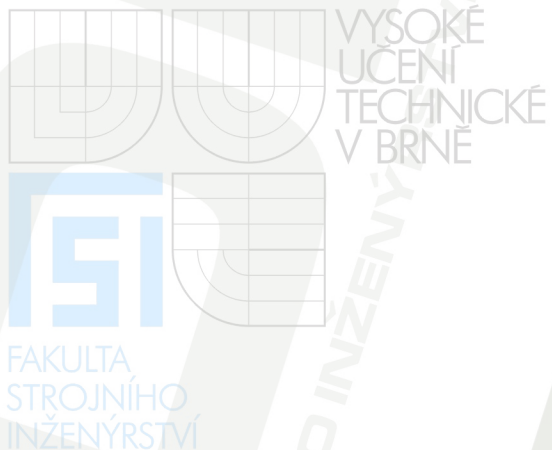
Tato bakalářská práce se zabývá výpočtovým návrhem základních rozměrů motoru a konstrukčním řešením pístu pro čtyřdobý zážehový motor. Dále pak navrhnutím základních rozměrů klikového mechanismu a motoru. Na základě empirických údajů budou navrženy základní rozměry pístu. Práce se také zabývá pevnostní kontrolou kritických průřezů pístu dle kinematiky klikového mechanismu.

Klíčová slova: píst, pístní skupina, klikový mechanismus, motor, stírací kroužek, těsnící kroužek, rozměry pístu, pevnostní kontrola pístu

Annotation

This bachelor thesis deals with a primary proportions calculation design of the engine and a constructional piston design for four-stroke spark-ignition engine. It is also contains a design of crank mechanism and engine primary proportions. On the basis of empirical data I projected the piston primary proportions. Furthermore, this thesis deals with the solidity check of critical piston crosscuts according to the crank mechanism.

Key words: piston, piston group, cran mechanism, engine, scraper ring, gasket, dimensios of piston, fort control piston



Bibliografická citace mé práce:

SPAČIL, T. *Píst čtyřdobého zážehového motoru o výkonu 50kW*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 40 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. David Svída.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
Píst čtyřdobého zážehového motoru

Obsah

Seznam použitých symbolů	8
1. Úvod	10
2. Klikový ústrojí	11
2.1. Pístní skupina	11
2.1.1. Píst	12
2.1.1.1. Namáhání pístu	14
2.1.1.2. Materiál pístu	15
2.1.1.3. Povrch pláště pístu	15
2.1.1.4. Tepelné zatížení pístu	16
2.1.1.5. Chlazení pístu	17
2.1.2. Pístní kroužky	17
2.1.2.1. Těsnící pístní kroužky	19
2.1.2.2. Stírací pístní kroužky	19
2.1.2.3. Materiál pístních kroužků	19
2.1.3. Pístní čepy.....	20
2.1.3.1. Materiál pístních čepů	21
2.1.3.2. Uložení pístního čepu.....	21
3. Výpočtový návrh	22
3.1. Stanovení hlavních rozměrů pístového spalovacího motoru.....	22
3.1.1. Zdvihový objem jednoho válce motoru	23
3.1.2. Kontrola objemového (litrového) výkonu motoru.....	23
3.1.3. Velikost vrtání válce	24
3.1.3.1. Zdvihový objem válce	24
3.1.3.2. Zavádíme veličinu k – zdvihový poměr	24
3.1.3.3. Vztah pro vrtání válce D	24
3.1.4. Zdvih pístu	24
3.1.5. Velikost střední pístové rychlosti	24
3.2. Návrh základních rozměrů klikového mechanismu	25
3.3. Návrh hlavních rozměrů pístu	25
3.3.1. Volba rozměrů konstrukčních prvků pístu.....	26
3.3.1.1. Výška pístu	26
3.3.1.2. Kompresní výška pístu	27
3.3.1.3. Vzdálenost mezi nálitky pro pístní čep.....	27
3.3.1.4. Délka pístního čepu	27
3.3.1.5. Výška prvního můstku	27

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
Píst čtyřdobého zážehového motoru

3.3.1.6. Výška druhého můstku.....	27
3.3.1.7. Průměr pístního čepu	27
3.3.1.8. Šířka dna pístu	28
3.3.2. Drážky pro pístní kroužky.....	28
3.3.2.1. Radiální vůle pístního kroužku.....	28
3.3.2.2. Axiální vůle pístního kroužku	29
3.3.2.3. Drážka pro stírací pístní kroužek.....	30
3.4. Pevnostní výpočet pístu	30
3.4.1. Pevnostní výpočet dna pístu.....	30
3.4.1.1. Maximální síla tlaku plynů.....	32
3.4.1.2. Maximální ohybový moment.....	32
3.4.1.3. Moment odporu v ohybu.....	32
3.4.1.4. Maximální ohybové napětí.....	32
3.4.1.5. Maximální ohybové napětí pro desku vetknutou.....	32
3.4.2. Nejslabší místo pláště pístu.....	33
3.4.2.1. Maximální síla od tlaků plynů.....	33
3.4.2.2. Pro maximální spalovací tlak výsledná hodnota napětí.....	33
3.4.2.3. Maximální úhlová rychlost otáček klikového hřídele motoru.....	34
3.4.2.4. Setrvačná síla.....	34
3.4.2.5. Tahové napětí.....	34
3.4.3. Měrný tlak na plášti pístu.....	35
3.4.3.1. Maximální normálová síla.....	36
3.4.3.2. Výsledná hodnota měrného tlaku na plášti pístu.....	36
3.4.4. Můstek mezi prvním a druhým těsnícím kroužkem.....	36
3.4.4.1. Výsledný silový účinek na můstek.....	37
3.4.4.2. Ohybový moment.....	37
3.4.4.3. Modul odporu v ohybu.....	37
3.4.4.4. Ohybové napětí.....	38
3.4.4.5. Průřez v místě vetknutí.....	38
3.4.4.6. Smykové napětí.....	38
3.4.4.7. Výsledné redukované napětí.....	38
4. Závěr.....	39
5. Seznam použité literatury.....	40
6. Seznam příloh.....	40

Seznam použitých symbolů

cs	[$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]	kontrola střední pístové rychlosti
D	[mm]	velikost vrtání válce
Dč	[mm]	průměr pístního čepu
Dr	[mm]	vnější průměr kroužku v zamontovaném stavu
dN	[mm]	průměr drážky pro pístní kroužky
dR	[mm]	vnitřní průměr kroužku v zamontovaném
Fc	[N]	výsledná síla působící na píst ve vertikálním směru
Fm	[N]	síla namáhající můstek jako vetknutý nosník
F _{n,max}	[N]	maximální normálová síla
FP	[N]	síla od tlaků plynů působící na píst ve vertikálním směru
F _{p,max}	[N]	maximální síla od tlaků plynů
FS	[N]	síla setrvačná působící na píst ve vertikálním směru
F _{sp,x}	[N]	setrvačná síla
Hč	[mm]	délka pístního čepu
Hk	[mm]	kompresní výška pístu
Hm1	[mm]	výška prvního můstku
Hm2	[mm]	výška druhého můstku
Ho	[mm]	vzdálenost mezi nálitky pro pístní čep
HP	[mm]	výška pístu
i	[-]	počet válců motoru
k	[-]	zdvihový poměr
Loj	[mm]	délka ojnice
Mo	[Pa]	ohybový moment
Mo,max	[Nm]	maximální ohybový moment
mp	[kg]	hmotnost pístu
mx	[mx]	hmotnost koruny pístu nad řezem vyšetřovaného průřezu
n	[min^{-1}]	jmenovité otáčky motoru
Pe	[W]	výkon motoru
Pl	[$\text{kW} \cdot \text{l}^{-1}$]	objemový „litrový“ výkon motoru
patm	[Pa]	atmosférický tlak
pmax	[Pa]	maximální tlak plynů ve válci motoru
ppl	[Pa]	měrný tlak na plášti pístu
r	[mm]	poloměr vetknutí desky
rk	[mm]	poloměr klikového hřídel
S	[mm^2]	průřez v místě vetknutí

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Píst čtyřdobého zážehového motoru

S_p	[mm]	radiální vůle pístního kroužku
S_x	[mm ²]	minimální příčný průřez pístu v drážce pro stírací kroužek
V_Z	[m ³]	zdvihový objem jednoho válce motoru
W_o	[m ³]	moment odporu v ohybu
Z	[mm]	zdvih pístu
α	[°]	úhel natočení klikového hřídele
β	[°]	úhel mezi osou pístu a ojnice
δ	[mm]	šířka dna pístu
λ_o	[-]	ojniční poměr
π	[-]	Ludolfovo číslo
σ_o	[Pa]	ohybové napětí
$\sigma_{o,max}$	[Pa]	maximální ohybové napětí
σ_{red}	[Pa]	redukované napětí
σ_t	[Pa]	tahové napětí ve vyšetřovaném průřezu
$\sigma_{t,max}$	[Pa]	namáhání vyvolané tlakem plynů
τ	[-]	taktnost motoru
τ	[Pa]	smykové napětí
ω_{max}	[s ⁻¹]	maximální úhlová rychlost otáček motoru

1 Úvod

Spalovací motory jsou tepelné hnací stroje, ve kterých se tepelná energie získaná spalováním vhodných kapalných nebo plyných paliv mění s poměrně vysokou účinností na mechanickou práci. Spalování probíhá přímo v pracovním prostoru motoru při tlaku vyšším než atmosférickém a má být pokud možno ovládané. Pracovní látkou jsou samotné zplodiny hoření.

Při přeměně tepelné energie v mechanickou práci probíhají ve spalovacích motorech termodynamické děje, při nichž se mění stav a při spalování i chemické složení pracovní látky. Soubor těchto dějů tvoří pracovní oběhy čili cykly spalovacích motorů. Změny stavu pracovní látky v tepelných obězích se znázorňují různými diagramy.

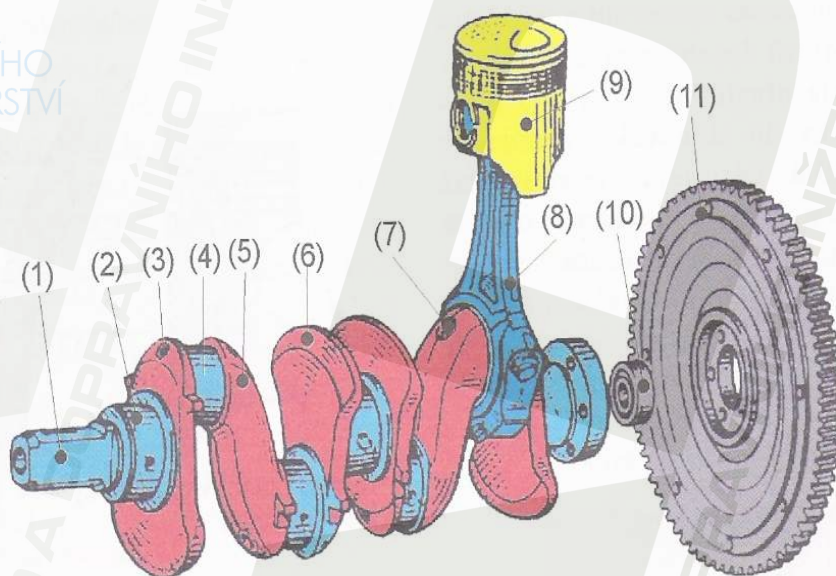
V současné době je pístový spalovací motor nejrozšířenějším pohonem automobilů, motocyklů, lodí a malých letadel. V automobilovém průmyslu se používá převážně pístový spalovací motor zážehový nebo vznětový. Základní pohybovou součástí těchto strojů je píst. Výhodou pístových spalovacích motorů je jejich vysoká celková účinnost a jednoduchost konstrukce. Nevýhodou je nutnost spouštět motor cizím zdrojem.

Píst u spalovacích motorů plní účel zachycení tlaků plynů vznikajících při hoření, převést jejich sílu na ojnici a dále na klikový hřídel. Utěsnit spalovací prostor od prostoru klikové skříně a odvést co nejrychleji teplo ze dna pístu do stěn válce.

V bakalářské práci je zpracován výpočtový návrh základních rozměrů pístu čtyřdobého zážehového motoru a následně provedena pevnostní kontrola kritických průřezů pístu. Součástí práce je i výrobní výkres pístu.

2 Klikové ústrojí

Klikové ústrojí je sestava klikového hřídele, ojnice a pístu. Jde o ústrojí, které převádí posuvný pohyb pístu na otáčivý pohyb klikového hřídele a je tak nezbytnou součástí spalovacího motoru [4].

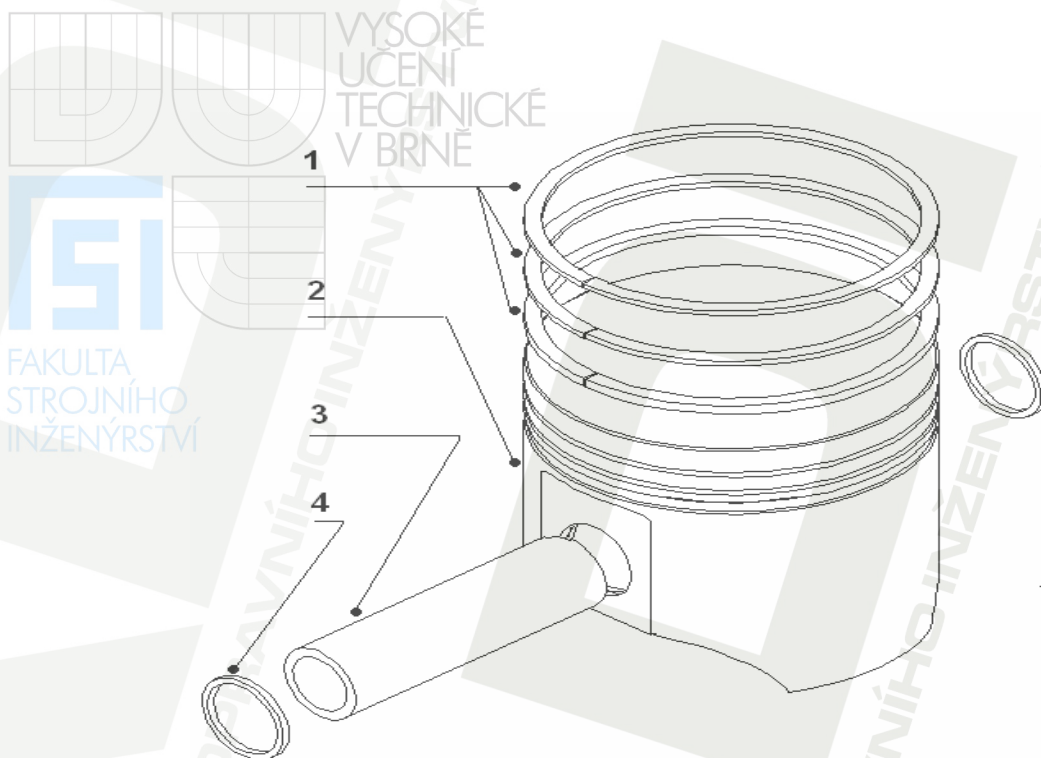


Obr.1 Klikové ústrojí [4]

- | | |
|------------------------------------|--------------------------------|
| 1 – přední konec klikového hřídele | 6 - protizávaží |
| 2 – hlavní čep klikového hřídele | 7 – olejový kanál |
| 3 – zátky olejového kanálu | 8 - ojnice |
| 4 – klikový čep | 9 - píst |
| 5 – rameno klinky | 10 – ložisko spojového hřídele |
| | 11 – setrvačník |

2.1. Pístní skupina

Pístní skupina je součástí klikového mechanismu. Tuto skupinu tvoří píst, pístní kroužky, pístní čep a pojistné kroužky.



Obr. 2 Pístní skupina

- 1 – pístní kroužky
- 2 – píst
- 3 – pístní čep
- 4 – pojistné kroužky

Požadavky kladené na pístní skupinu:

- zabezpečení přenosu síly od tlaků plynů na ojnici,
- zachycení boční síly vyvolané klikovým mechanismem a její přenos na stěnu válce,
- zabezpečení odvodu tepla ze dna pístu do chlazených stěn spalovacího prostoru,
- utěsnění spalovacího prostoru tak, aby byl omezen únik spalin do klikové skříně motoru a průnik motorového oleje do spalovacího prostoru [2, 4].

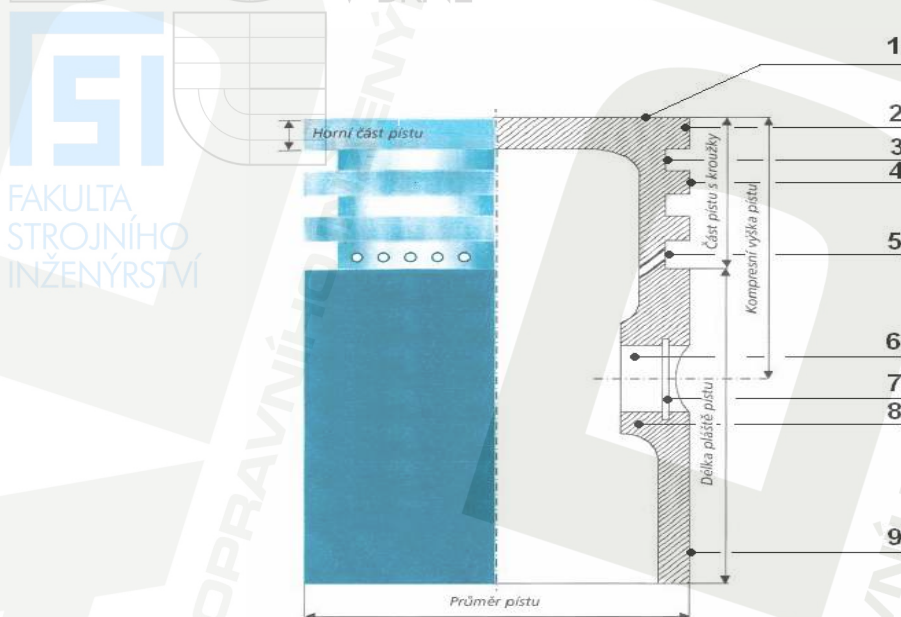
2.1.1 Píst

Při práci motoru je píst zatěžován mechanicky, silami od tlaku plynů a setrvačnými silami vyvolanými vratným pohybem pístu a tepelně, vysokými teplotami spalin ve spalovacím prostoru motoru. Důsledkem přímého kontaktu se

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Píst čtyřdobého zážehového motoru

spalinami je nejvíce namáháno dno pístu, horní můstek. Na obr.3 je znázorněno základní konstrukční schéma pístu.



Obr.3 Konstrukční schéma pístu

- | | |
|--|------------------------------------|
| 1 - dno pístu, | 6 - uložení pístního čepu, |
| 2 - horní můstek | 7 - drážka pojistky pístního čepu, |
| 3 - drážky pro těsnící pístní kroužky, | 8 - nálitek pro pístní čep, |
| 4 - můstky mezi drážkami pro kroužky, | 9 - plášť pístu |
| 5 - drážka pro stírací pístní kroužek, | |

Hlavní účel pístů:

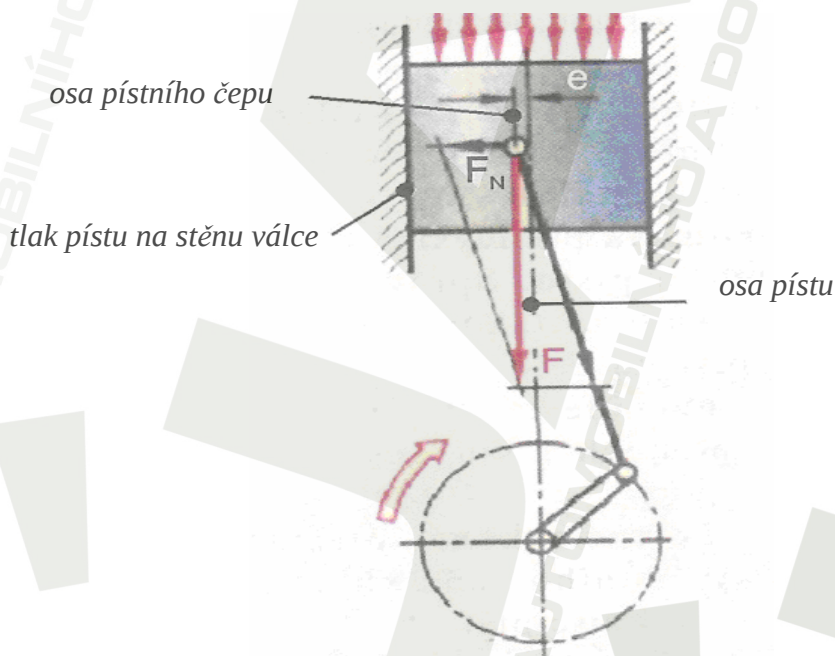
- zachytit tlak plynů vznikající při hoření,
- převést jeho sílu na ojnici a dále na klikový hřídel,
- utěsnit spalovací prostor od prostoru klikové skříně,
- odvést co nejrychleji teplo ze dna pístu do stěn válce [4].

2.1.1.1 Namáhání pístu

U zážehových motorů obsahuje maximální tlak plynů ve spalovacím prostoru hodnoty až 6 MPa, při kterém působí např. na píst o průměru 80 mm a síla 30 kN. Na plášť pístu přitom působí boční tlak asi 0,8 MPa, oko pístu je pak namáháno tlakem až 60 MPa. Píst tlačí střídavě na obě strany stěny válce.

Mechanické rázy při překlápění pístu v dolní úvratí (DÚ) a zejména pak v horní úvratí (HÚ) zvyšují hlučnost motoru (tzn. klepání pístu). Klepání pístu je možno omezit zmenšením vůle pístu ve válci, prodloužením pláště pístu a vyosením pístního čepu. Pístní čep je posunut o určitou hodnotu ($e = 0,5 \text{ mm}$ až $1,5 \text{ mm}$) mimo osu pístu proti směru otáčení klikového hřídele obr. 4. V tomto případě dochází k překlopení pístu při kompresním tlaku před horní úvratí a ne až krátce za ní, tzn. při tlaku expanzním.

Plášť pístu, drážky pro pístní kroužky a pístní oko jsou namáhány také třením. Tření a tím také opotřebení se může snížit použitím vhodných materiálů, pečlivou výrobou a vhodným mazáním třecích ploch. Píst se součástí spalovacího prostoru a bezprostředně a něj působí zapálená směs. V provozu je tedy vystaven nejen vysokému tlakovému, ale i tepelnému namáhání [4].



Obr.4 Působení síly na píst s vyoseným pístním čepem [4]

2.1.1.2 Materiál pístů

Vzhledem k různým druhům namáhání jsou na materiál pístu kladeny následující požadavky:

- nízká měrná hmotnost (malé setrvačné síly),
- vysoká pevnost i za vyšších teplot,
- dobrá tepelná vodivost,
- tepelná roztažnost co nejbližší tepelné roztažnosti válce,
- dobré třecí vlastnosti,
- odolnost proti opotřebení.

Nejčastěji se používají písty ze slitiny hliníku a křemíku. Výhodou těchto pístů je nízká měrná hmotnost (asi $2700 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$) a velmi dobrá tepelná vodivost. Čím je větší obsah křemíku, tím je nižší tepelná roztažnost a opotřebení, zhoršuje se však obrobitelnost, což přináší určité problémy při výrobě pístů. Pro výrobu pístů čtyřdobých zážehových motorů se používá nejčastěji slitina AlSi12. Písty dvoudobých, vznětových a přeplňovaných motorů jsou více tepelně namáhány, a proto se u nich používají slitiny s větším obsahem křemíku (např. AlSi18, AlSi25). Písty se vyrábějí odléváním do kokil, vysoce namáhané písty kovááním [4].

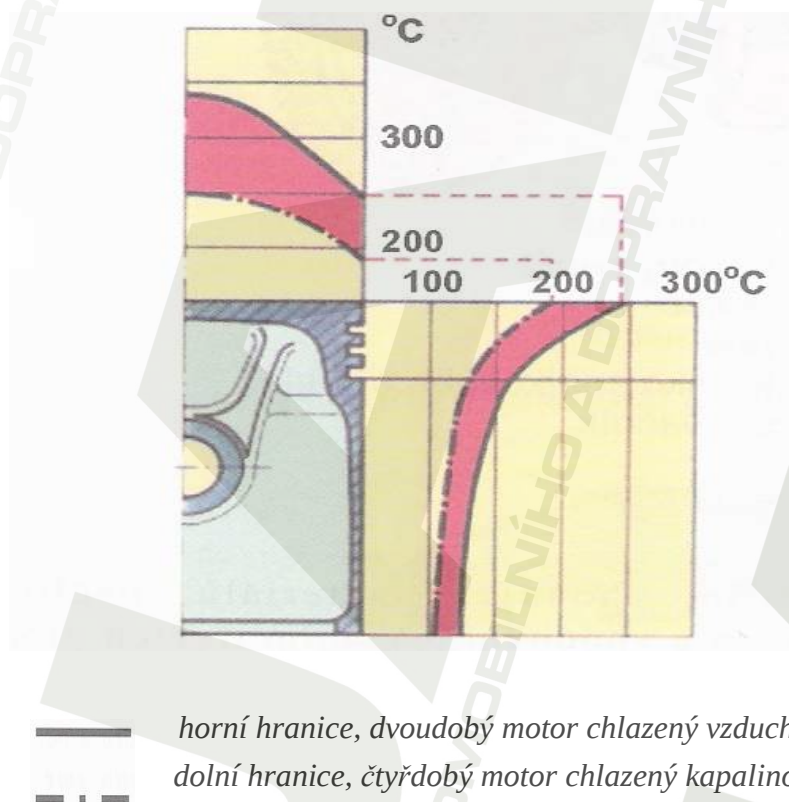
2.1.1.3 Povrch pláště pístu

Na vytvoření optimálního mazacího olejového filmu mezi pístem a stěnou válce působí nepříznivě především nedokonalé spalování, palivo v mazacím oleji, příliš vysoká teplota, nevhodná vůle pístu ve válci a spouštění studeného motoru. Při pohybu dochází neustále ke styku pístu s válcem. Tření mezi pístem a stěnou válce a opotřebení pístu snížit volbou vhodných materiálů a úpravou povrchu pláště pístu. Často bývá povrch pláště pístu opatřen grafitovou nebo olověnou vrstvičkou, která podstatně snižuje tření mezi pístem a válcem a usnadňuje „záběh“ pístu ve válci. „Ferrocoat“ písty jsou na povrchu pláště opatřeny měděnou vrstvičkou, na kterou navazuje 0,03 mm silná vrstvička železa, jejíž tvrdost je srovnatelná s porézně pochromovaným válcem, Tenká vrstvička cínu na povrchu slouží jako ochrana proti korozi. Tyto písty se používají u válců z legovaného hliníku (válce „Alusil“) [2, 4].

2.1.1.4 Tepelné zatížení pístu

Maximální teplota ve spalovacím prostoru zážehových motorů dosahuje až 2500°C. Velká část tepla přestupuje přes dno pístu a pístní kroužky do stěn válce a dále do chladicího média, část tepla je odvedena mazacím olejem. Přesto dosahuje teplota dna pístu zhotoveného z hliníkové slitiny 200°C až 350°C, teplota pláště pístu až 180°C obr. 5. Zvýšení teploty má za následek roztahování materiálu, které může být příčinou zadření pístu ve válci.

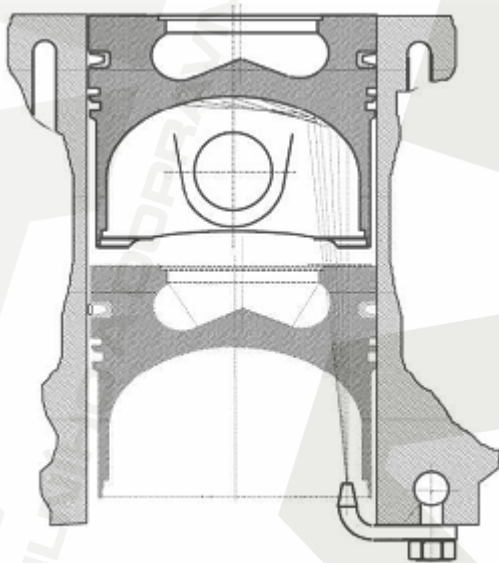
Na tvar pístu má především vliv rozdělení teplot povrchu pístu. Správný profil pístu má být za studena takový, aby v ohřátém stavu byl píst po celé délce válcový. Proto se za studena vůle mezi pístem a válcem v různých místech pístu dost výrazně liší [4, 2].



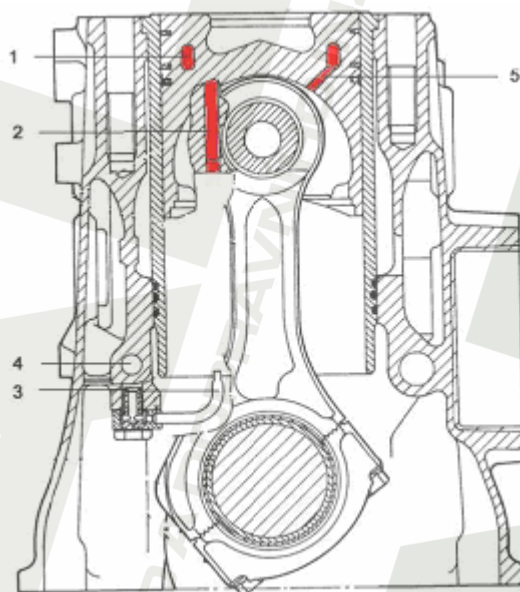
Obr.5 Provozní teplota pístu z hliníkové slitiny [4]

2.1.1.5 Chlazení pístu

Překročí-li teplota v drážce prvního pístního kroužku 240°C je nutno zabezpečit její snížení. Zvětšování výšky horního můstku je nepříjemné, protože se zvětšuje škodlivý objem nad pístem v horní úvratí a to vede ke snížení ekonomičnosti provozu a nárůstu obsahu zbytkového uhlovodíku ve výfukových plynech motoru. Další možností je chlazení pístu. V současnosti je používáno u všech přeplňovaných motorů jak zážehových, tak i vznětových. U méně zatížených motorů se používá nástřik dna pístu obr. 6 u více zatěžovaných motorů jsou vytvořeny kanály v hlavě pístu obr. 7 [2].



Obr. 6 Nástřik dna pístu [2]



Obr. 7 Chlazení pístu chladícím kanálem [3]

- 1 – Toroidní chladící kanál
- 2 – Přívodní kanál
- 3 – Tryska
- 4 – Přívodní kanál
- 5 – Odpadní kanál

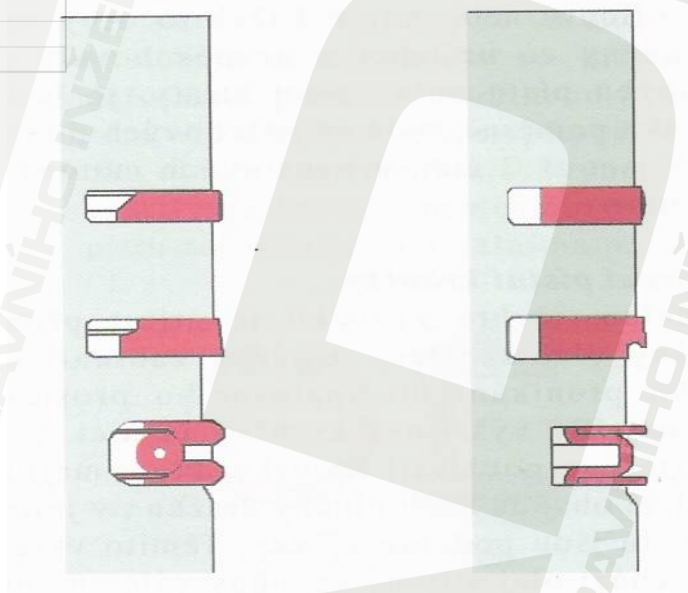
2.1.2 Pístní kroužky

Pístní kroužky jsou pružné prstence v jednom místě rozříznuté. Místo, kde je kroužek rozříznut, se nazývá zámek. Vůle v zámku ovlivňuje spotřebu oleje a utěsnění spalovacího prostoru a je po vložení kroužku do válce velmi malá (0,05mm až

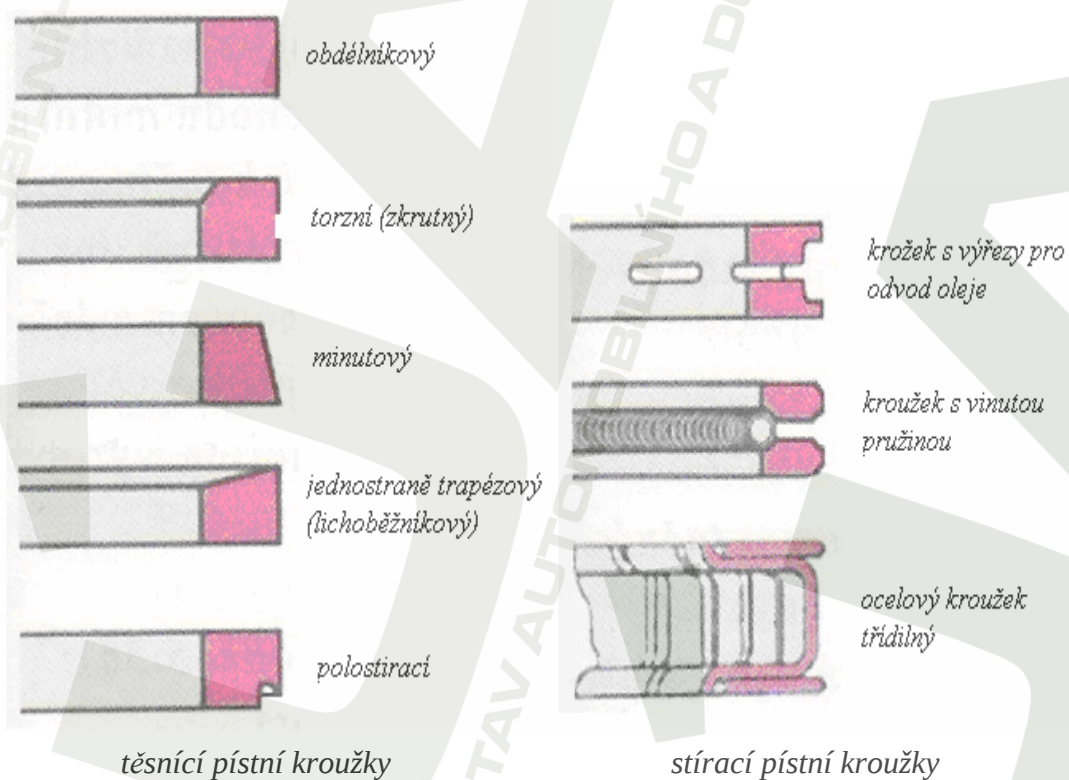
BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Píst čtyřdobého zážehového motoru

0,30mm). U běžných motorů jsou dnes používány dva těsnící a jeden stírací kroužek obr. 8. Jednotlivé druhy těsnících a stíracích pístních kroužků jsou na obr. 9. Některé kroužky jsou opatřeny značkou směrem k hlavě motoru (dnu pístu) [4].



Obr. 8 Typické uspořádání pístních kroužků čtyřdobého zážehového motoru [4]



Obr. 9 Pístní kroužky [4]

2.1.2.1 Těsnící pístní kroužky

Tyto kroužky utěsňují píst ve válci a odvádějí největší část tepla z pístu do stěn válce. Vkládají se do horních drážek v pístu s velmi malou axiální vůlí, která však musí umožňovat jejich volný radiální pohyb v drážce. Vnější třecí plocha kroužků je válcová nebo mírně kuželová. Aby byly kroužky co nejhezčí a nezpůsobovaly při pohybu pístu velké třecí ztráty, je jejich výška poměrně malá (u zážehových motorů 1,5mm až 2mm, u vznětových motorů až 3mm) [4].

2.1.2.2 Stírací pístní kroužky

Účelem těchto kroužků je stírat přebytečný olej ze stěny válce a zabránit tak jeho pronikání do spalovacího prostoru. Jsou vždy vyšší než kroužky těsnící. Nejčastěji se používají kroužky, které mají po celém obvodu třecí plochy drážku, v jejímž středu jsou podélné výřezy. Těmito výřezy prochází olej stíraný ze stěny válce na dno drážky v pístu. Olejovými kanálky v drážce olej odtéká dovnitř pístu a pístní čep. Ocelové skládané lamelové kroužky mají vyšší stírací účinek, ale hůře odvádí teplo do stěn válce [4].

2.1.2.3 Materiál pístních kroužků

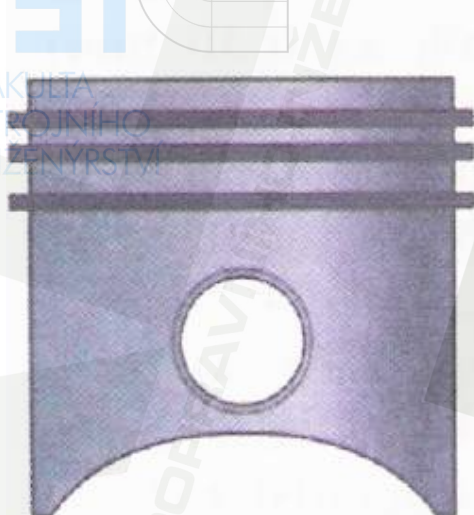
Běžné pístní kroužky se vyrábí z obvyklé nebo zušlechtnuté litiny obráběním z odstředivě odlitých pouzder nebo jednotlivým odléváním. Značně namáhané kroužky jsou vyrobeny z tvárné litiny nebo vysoce legované oceli.

Fosfátováním nebo pokovením (oxidem železa) třecí plochy se sníží ztráty třením a zlepší záběh motoru. Přidáním molybdenu do základního materiálu nebo jeho nanesením na třecí plochu kroužku se zlepší jeho tepelná vodivost a odolnost proti korozi.

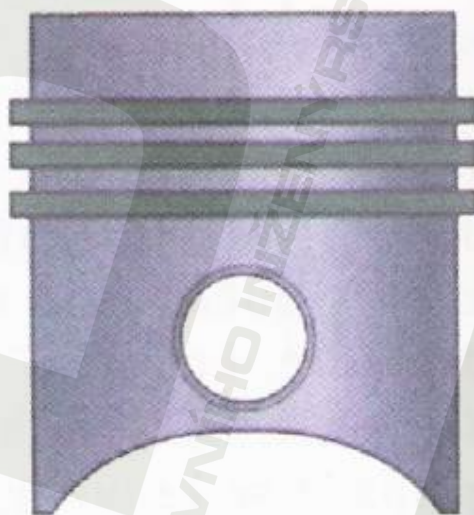
První těsnící kroužek, která je nejvíce namáhán a nejhůře mazán, je často tvrdě chromován. Vrstvička chromu podstatně snižuje opotřebení kroužku a zvyšuje jeho odolnost proti korozi.

V poslední době se i u motorů pro osobní automobily začínají prosazovat ocelové pístní kroužky vyrobené práškovou technologií. Oproti klasickým materiálům (šedá litina, ocelové slitiny) ocelové pístní kroužky s nižší axiální výškou u novějších motorů dovolují snížit celkovou výšku pístu a minimalizovat vzdálenost mezi prvním těsnícím kroužkem a dnem pístu obr 10.

Toto technické řešení snižuje emise ve výfukových plynech. Další výhodou je podstatně větší pružnost, zajišťující vyšší těsnicí schopnost v drážce pístu. Rovněž opotřebení ocelového kroužku je výrazně nižší než u pístních kroužků z klasických materiálů [4].



ocelový kroužek



litinový kroužek

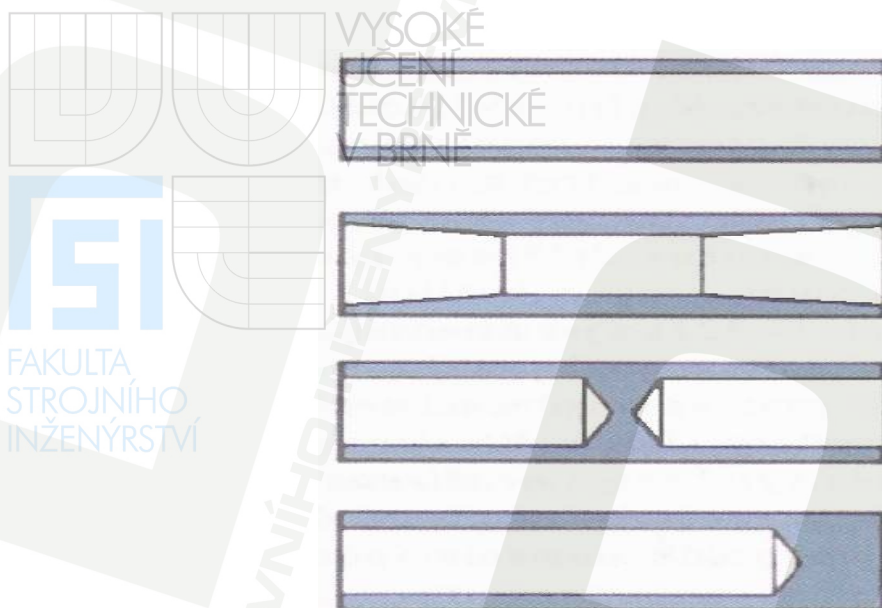
Obr. 10 Vzdálenost mezi prvním pístním kroužkem a dnem pístu [4]

2.1.3 Pístní čepy

Pístní čep přenáší síly mezi pístem a ojnicí. Aby se zbytečně nezvětšovaly setrvačné síly, musí mít co nejmenší hmotnost. Vzhledem k rázovému namáhání při chodu motoru musí být čep zhotoven z velmi houževnaté oceli, jeho povrch zpevněn a kvalitně obroben (např. povrchově kalen, broušen a leštěn). Pístní čepy se nesmí ani při největším zatížení deformovat a přitom jejich výroba musí být jednoduchá.

Základní tvary pístních čepů obr. 11:

- dutý válcový čep (běžný tvar),
- čep s kuželovými konci vnitřní dutiny,
- čep s dutinou uzavřenou uprostřed nebo na konci (používá se u dvoudobých motorů [4]).



Obr. 11 Základní tvary pístních čepů [4]

2.1.3.1 Materiál pístních čepů

Pístní čepy jsou vyrobeny z cementačních nebo nitridačních ocelí.

Pro vznětové motory se používá oceli s přísadou Cr, Mn nebo Ni (např. 16Mn5, 15CrNi6). U vznětových motorů s velkým namáháním se používají čepy z nitridačních ocelí (např. 34CrA16, 32AlCrMo4) s velmi tvrdým povrchem [4].

2.1.3.2 Uložení pístního čepu

Uložení v pístu

V pístu je pístní čep uložen většinou s velmi malou provozní vůlí, což v praxi znamená, že čep má takový průměr, aby se dal poměrně volně zasunovat do pístu ohřátého na teplotu 60°C až 120 °C. Tento druh uložení pístního čepu v pístu se nazývá „plovoucí“.

Uložení v oku ojnice

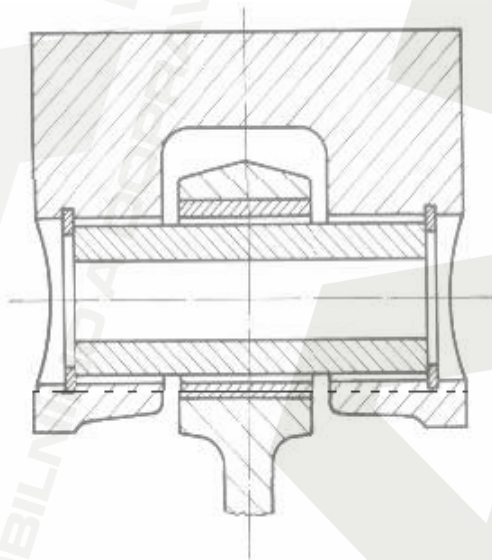
Uložení s vůlí

Pokud je čep uložen v ojnici s vůlí plovoucí čep obr. 12, který se při provozu otáčí v ojnici i v pístu), opotřebovává se rovnoměrně a nedochází ke změně jeho tvaru (tj. ke vzniku ovality). Plovoucí pístní čep je proti axiálnímu posunutí a následnému poškození

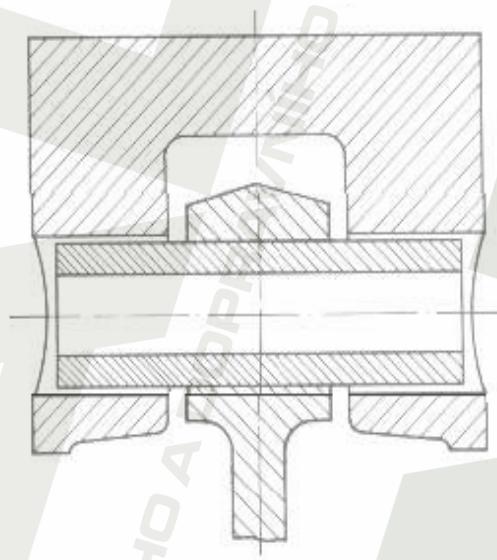
stěny válce pojištěn většinou pružnými (Serverovými) kroužky. Pojistné kroužky jsou vloženy do drážek v otvoru pro pístní čep.

Pevné uložení

Čep je v oku ojnice uložen s určitým přesahem (uložení nalisované). Při lisování se ojnice někdy nahřívá (200°C až 250°C), aby se snížila lisovací síla a zabránilo se případné deformaci pístního čepu nebo poškození oka ojnice. V tomto případě není oko ojnice opatřeno ložiskovým pouzdrem a pístní čep nemusí být v oku pístu zajištěn proti axiálnímu posuvu obr. 13 [4].



Obr. 12 Plovoucí pístní čep



Obr. 13 Pevný pístní čep

3 Výpočtový návrh

3.1. Stanovení hlavních rozměrů pístového spalovacího motoru

Hlavními rozměry pístového spalovacího motoru jsou průměr (vrtání válce) D , zdvih pístu Z a počet válců motoru i . Tyto parametry určují základní zástavbové rozměry motoru. Při výpočtu vycházíme z požadavku na zadaný jmenovitý výkon motoru. Ostatní parametry potřebné pro výpočet jsou voleny z Tab. 1.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Píst čtyřdobého zážehového motoru

Tab. 1 – Charakteristické parametry zážehových motorů [1]

Motory zážehové	Rok	jmenovité otáčky [min ⁻¹]		stř. píst. rychlost [m.s ⁻¹]		stř. efekt. tlak [MPa]	
		min.	max.	min.	max.	min.	max.
sací	2003	4500	8800	11,5	24	0,8	1,3
		kompresní poměr [-]		zdvihový poměr [-]		objemový výkon [kW.l ⁻¹]	
		min.	max.	min.	max.	min.	max.
		9	12,5	0,7	1,3	31	88

Zadané hodnoty:

Výkon motoru

$$P_e = 50 \text{ kW}$$

Jmenovité otáčky motoru

$$n = 5500 \text{ min}^{-1}$$

Volené hodnoty:

Taktnost motoru pro čtyřdobý motor $\tau = 0,5$ [-]

Počet válců motoru

$$i = 4$$
 [-]

Střední efektivní tlak

$$p_e = 0,9 \cdot 10^6 \text{ [Pa]}$$

3.1.1 Zdvihový objem jednoho válce motoru

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

$$V_z = \frac{60 \cdot 50000}{0,9 \cdot 10^6 \cdot 5500 \cdot 4 \cdot 0,5}$$

$$V_z = 3,03 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

3.1.2 Kontrola objemového (litrového) výkonu motoru

$$P_l = \frac{P_e}{V_z \cdot i} \quad (2)$$

$$P_l = \frac{50}{0,303 \cdot 4}$$

$$P_l = 41,25 \text{ kW} \cdot \text{l}^{-1}$$

Vypočtená hodnota se pohybuje v požadovaných mezích, pro doporučené hodnoty litrového výkonu uvedené v Tab. 1.

3.1.3 Velikost vrtání válce

3.1.3.1 Pro zdvihový objem válce platí:

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

3.1.3.2 Zavádíme veličinu k – zdvihový poměr:

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

Z rovnice (4) vyjádříme Z (zdvih pístu):

$$Z = k \cdot D \quad (5)$$

3.1.3.3 Po dosazení rovnice 5 do rovnice 3 dostaneme vztah pro vrtání válce D

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V_z}{\pi \cdot k}} \quad (6)$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 0,303 \cdot 10^{-3}}{\pi \cdot 1,2}}$$

$$D = 0,068m \quad \rightarrow \quad D = 68mm$$

3.1.4 Zdvih pístu

Dosazením do rovnice 5 dostáváme:

$$Z = 1,2 \cdot 68$$

$$Z = 82mm$$

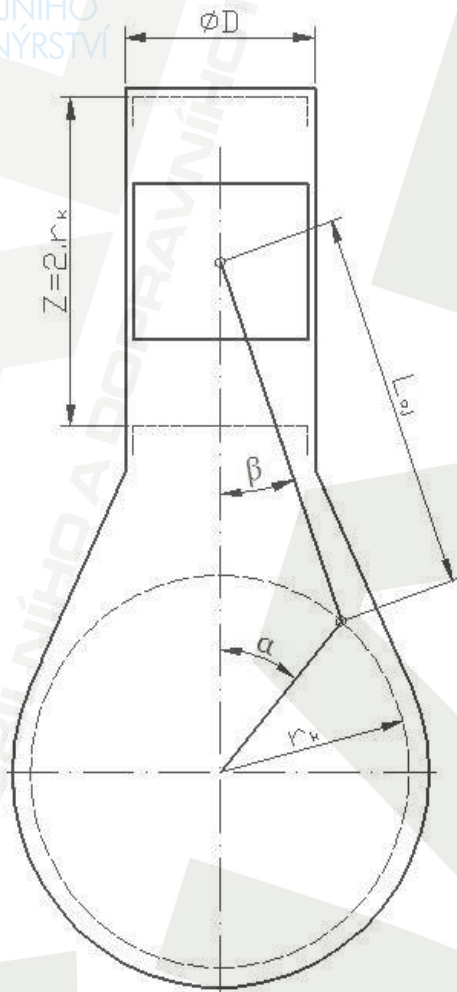
3.1.5 Velikost střední pístové rychlosti

$$c_s = 2 \cdot Z \cdot \frac{n}{60} \quad (7)$$

$$c_s = 2 \cdot 82 \cdot \frac{5500}{60}$$

$$c_s = 15,03m \cdot s^{-1}$$

3.2 Návrh základních rozměrů klikového mechanismu

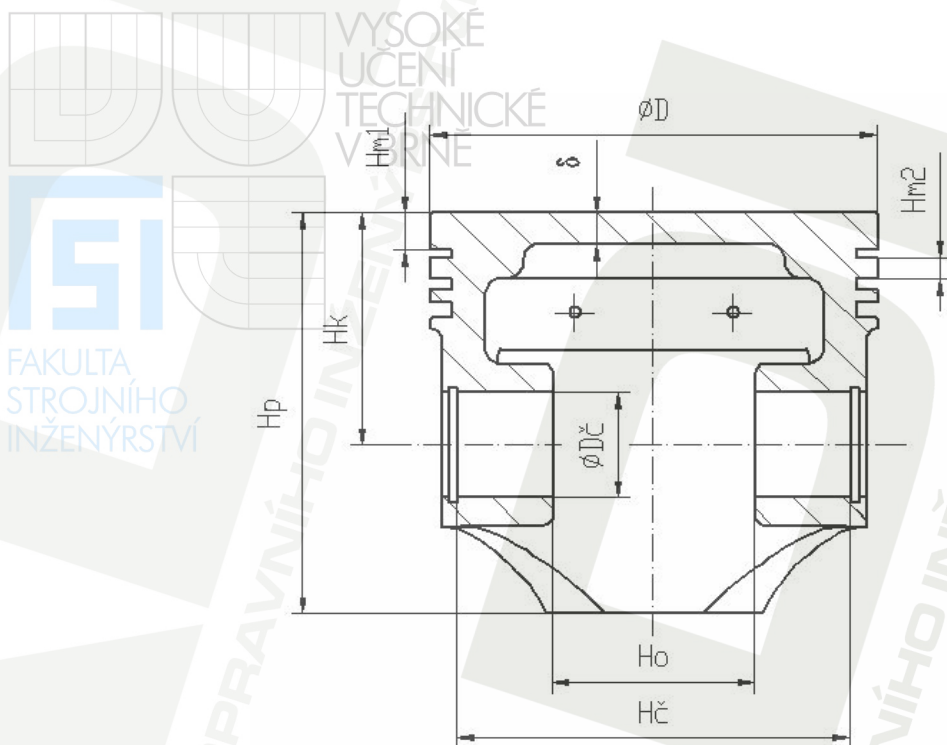
 $D = 68mm$ $Z = 82\text{mm}$
$$\begin{aligned} r_k &= \frac{Z}{2} \\ r_k &= \frac{82}{2} \\ r_k &= 41\text{mm} \end{aligned} \quad (8)$$
$$\begin{aligned} L_{oj} &= (1,7 \div 2,3) \cdot D \\ L_{oj} &= 2 \cdot D \\ L_{oj} &= 2 \cdot 68 \\ L_{oj} &= 136 \text{ mm} \end{aligned} \quad (9)$$

Obr. 14 Schéma klikového mechanismu

3.3 Návrh hlavních rozměrů pístu

Při návrhu rozměrů vycházíme z dříve provedených a osvědčených konstrukcí. Rozměry jsou vyjádřeny ve vztahu k vrtání válce D.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
Píst čtyřdobého zážehového motoru



Obr. 15 Hlavní rozměry pístu [1]

Tab. 2 Doporučené meze charakteristických rozměrů pístu pro zážehový motor [1]

veličina	zážehový [%D]
ϕD	100
H_p	90 - 140
H_K	50 - 70
H_o	40
$H_{\check{c}}$	85
H_{m1}	6 - 10
H_{m2}	3 - 6
$\phi D_{\check{c}}$	25 - 28
δ	5 - 7

3.3.1 Volba rozměrů konstrukčních prvků pístu

3.3.1.1 Výška pístu

$$H_p = 0,90 \cdot D \quad (10)$$

$$H_p = 0,90 \cdot 68$$

$$H_p = 61\text{mm}$$

3.3.1.2 Kompresní výška pístu

$$H_k = 0,50 \cdot D \quad (11)$$

$$H_k = 0,50 \cdot 68$$

$$H_k = 34\text{mm}$$

3.3.1.3 Vzdálenost mezi nálitky pro pístní čep

$$H_0 = 0,40 \cdot D \quad (12)$$

$$H_0 = 0,40 \cdot 68$$

$$H_0 = 27\text{mm}$$

3.3.1.4 Délka pístního čepu

$$H_{\check{c}} = 0,85 \cdot D \quad (13)$$

$$H_{\check{c}} = 0,85 \cdot 68$$

$$H_{\check{c}} = 58\text{mm}$$

3.3.1.5 Výška prvního můstku

$$H_{m1} = 0,08 \cdot D \quad (14)$$

$$H_{m1} = 0,08 \cdot 68$$

$$H_{m1} = 5,44\text{mm}$$

3.3.1.6 Výška druhého můstku

$$H_{m2} = 0,05 \cdot D \quad (15)$$

$$H_{m2} = 0,05 \cdot 68$$

$$H_{m2} = 3,5\text{mm}$$

3.3.1.7 Průměr pístního čepu

$$D_{\check{c}} = 0,25 \cdot D \quad (16)$$

$$D_{\check{c}} = 0,25 \cdot 68$$

$$D_{\check{c}} = 17\text{mm}$$

3.3.1.8 Šířka dna pístu

$$\delta = 0,07 \cdot D \quad (17)$$

$$\delta = 0,07 \cdot 68$$

$$\delta = 5\text{mm}$$

3.3.2 Drážky pro pístní kroužky

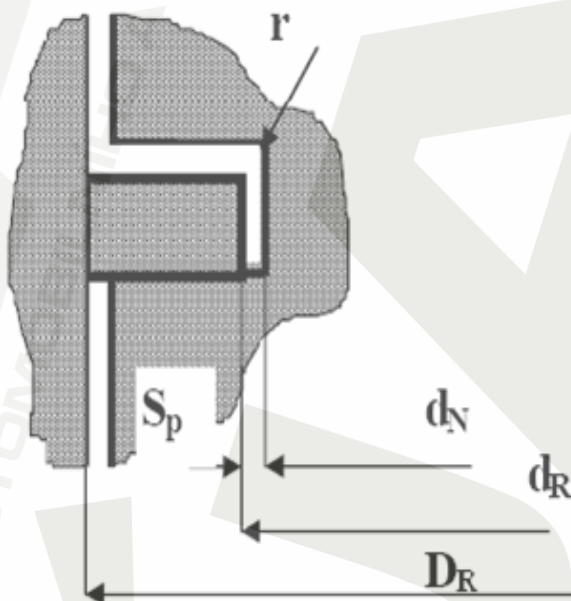
V současné době se u pístů pro zážehové motory používají výhradně tři pístní kroužky, dva těsnící a jeden stírací. Velmi důležitá je správná velikost radiální a axiální vůle kroužku v drážce z hlediska správné funkce kroužku po dobu životnosti motoru.

3.3.2.1 Radiální vůle pístního kroužku

Pístní kroužek nesmí při vymezení vůle mezi pístem a stěnou válce dosednout vnitřní stranou na dno drážky v pístu. Mezi kroužkem a zadní stěnou drážky musí být zachována určitá radiální vůle.

Průměr drážky pro pístní kroužek:

Velikost radiální vůle pístního kroužku S_p volena dle literatury [1]. Šířka pístního kroužku je volena dle normy DIN 70910.



$D_r = D$ - vnější průměr kroužku
v zamontovaném stavu

d_N - průměr drážky pro pístní kroužek
v pístu

d_R - vnitřní průměr kroužku
v zamontovaném stavu

S_p - radiální vůle pístního kroužku

Obr. 16 Radiální vůle pístního kroužku [1]

$$\begin{aligned}d_N &= D - 2 \cdot (a + S_p) \\d_N &= 68 - 2 \cdot (2,85 + 0,6) \\d_N &= 61 \text{ mm}\end{aligned} \tag{18}$$

3.3.2.2 Axiální vůle pístního kroužku

Axiální vůle kroužku je určována řadou faktorů. Rozhodujícím faktorem je pravděpodobnost vzniku karbonových úsad, proto u prvního pístního kroužku jsou axiální vůle větší než u druhého pístního kroužku. Právě z důvodu vysokých teplot dochází ke vzniku karbonových úsad.

Vůle kroužku v drážce je určena rozdílem výšky drážky a výšky kroužku. Maximální a minimální vůle jsou určeny tolerančními poli výšky kroužku a drážky. Dle normy DIN 70 910.

Axiální vůle pístního kroužku

Pístní kroužek	$1,5_{-0,022}^{-0,010} \text{ mm}$
Drážka	$1,5_{+0,030}^{+0,045} \text{ mm}$
Maximální vůle kroužku v drážce	$0,067 \text{ mm}$
Minimální vůle kroužku v drážce	$0,040 \text{ mm}$

Axiální vůle druhého těsnícího kroužku

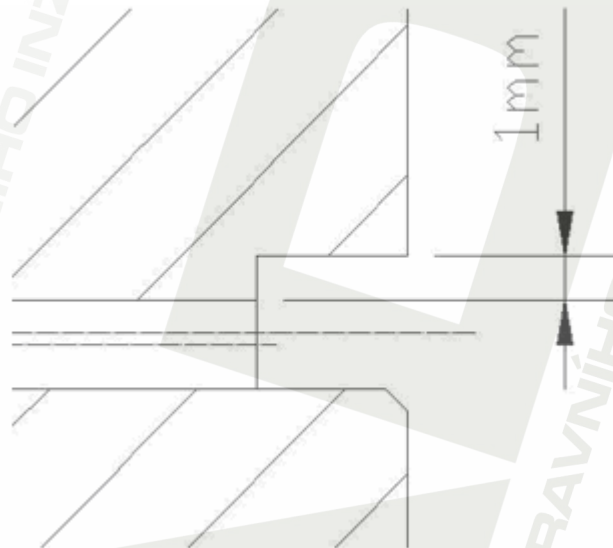
Pístní kroužek	$2_{-0,022}^{-0,010} \text{ mm}$
Drážka	$2_{+0,020}^{+0,035} \text{ mm}$
Maximální vůle kroužku v drážce	$0,057 \text{ mm}$
Minimální vůle kroužku v drážce	$0,030 \text{ mm}$

Axiální vůle stíracího kroužku

Pístní kroužek	$3_{-0,022}^{-0,010} \text{ mm}$
Drážka	$3_{+0,020}^{+0,035} \text{ mm}$
Maximální vůle kroužku v drážce	$0,057 \text{ mm}$
Minimální vůle kroužku v drážce	$0,030 \text{ mm}$

3.3.2.3 Drážka pro stírací pístní kroužek

Drážky pro stírací pístní kroužky jsou větší než drážky těsnících pístních kroužků. Součástí jejich konstrukce jsou i průřezy pro odvod setřeného oleje.



Obr. 17 Otvor pro odvod oleje z drážky stíracího kroužku [1]

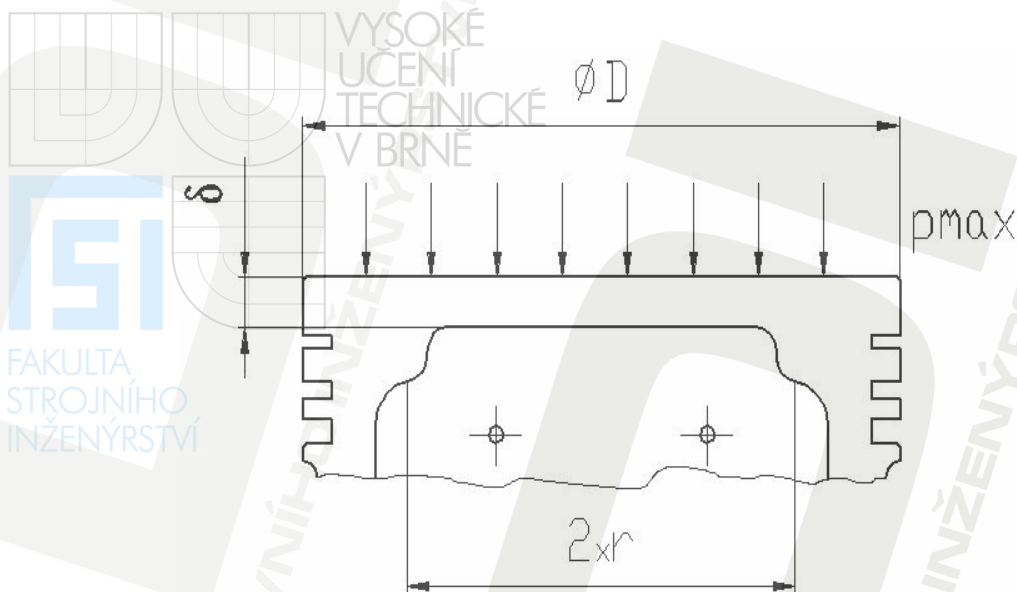
3.4 Pevnostní výpočet pístu

Tvar pístu, i jeho namáhání umožňuje pouze informativní výpočet zahrnující základní namáhání vyvolané tlakem plynů při spalování a setrvačnými silami. Další zatěžující účinky jako je tepelný tok průřezy pístu, proměnnost zatěžujících účinků i vlivy vrubových účinků vyvolávajících koncentraci napětí, není možno přímo do výpočtu zahrnout, a jsou souhrnně respektovány velikostí dovolených hodnot napětí.

3.4.1 Pevnostní výpočet dna pístu

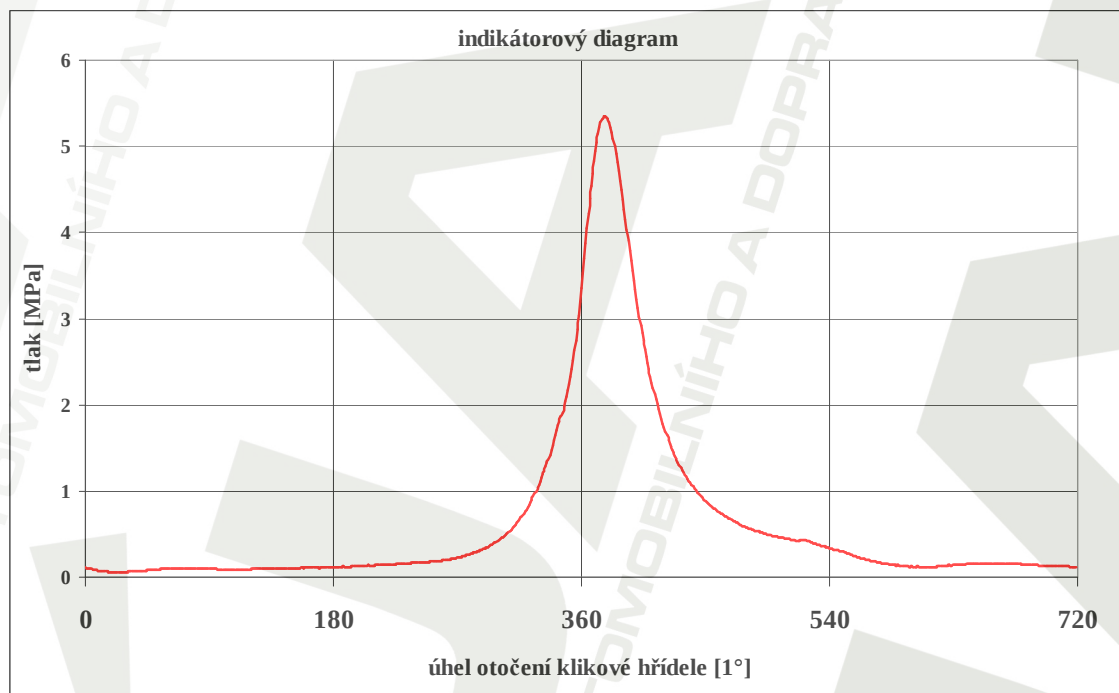
Pevnostní výpočet je prováděn na ohyb. Výpočtovým modelem je kruhová deska, vetknutá nebo podepřená na obvodě zatížená rovnoměrným zatížením od tlaků plynů. Vliv setrvačných sil zanedbáváme.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
Píst čtyřdobého zážehového motoru



Obr. 18 Zatížení dna pístu [1]

Pro výpočet je třeba určit poloměr vetknutí desky r , který je znázorněn na obr. 18.



Obr. 19 Indikátorový diagram

Hodnota maximálního tlaku plynů ve válci motoru p_{max} lze určit z indikátorového diagramu obr. 19.

3.4.1.1 Maximální síla tlaku plynů

$$F'_{p \max} = \pi \cdot r^2 \cdot p_{\max} \quad (19)$$

$$F'_{p \max} = \pi \cdot 0,022^2 \cdot 5,35 \cdot 10^6$$

$$F'_{p \max} = 8131,71 N$$

3.4.1.2 Maximální ohybový moment

$$M_{o \max} = \frac{r^3}{3} \cdot p_{\max} \quad (20)$$

$$M_{o \max} = \frac{0,022^3}{3} \cdot 5,35 \cdot 10^6$$

$$M_{o \max} = 18,98 Nm$$

3.4.1.3 Moment odporu v ohybu

$$W_o = \frac{1}{3} \cdot r \cdot \delta^2 \quad (21)$$

$$W_o = \frac{1}{3} \cdot 0,022 \cdot 0,005^2$$

$$W_o = 0,183 \cdot 10^{-6} m^3$$

3.4.1.4 Maximální ohybové napětí

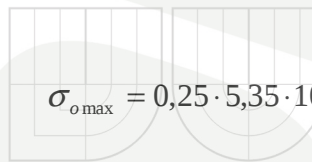
$$\sigma_{o \max} = \frac{M_{o \max}}{W_o} = \frac{r^3}{3} \cdot p_{\max} \cdot \frac{3}{r \cdot \delta^2} = p_{\max} \cdot \left(\frac{r}{\delta} \right)^2 \quad (22)$$

$$\sigma_{o \max} = 5,35 \cdot 10^6 \cdot \left(\frac{0,022}{0,005} \right)^2$$

$$\sigma_{o \max} = 103,57 MPa$$

3.4.1.5 Maximální ohybové napětí pro desku vetknutou

$$\sigma_{o \max} = 0,25 \cdot p_{\max} \cdot \left(\frac{r}{\delta} \right)^2 \quad (23)$$


$$\sigma_{o \max} = 0,25 \cdot 5,35 \cdot 10^6 \cdot \left(\frac{0,022}{0,005} \right)^2$$
$$\sigma_{o \max} = 25 \text{ MPa}$$

Dovolené hodnoty napětí pro písty z hliníkové slitiny bez žebířků se pohybují v mezích od 20 do 25 MPa. Vypočtená hodnota se pohybuje v přijatelných mezích a tudíž vyhovuje.

3.4.2 Nejslabší místo pláště pístu

Ve většině případů bývá v drážce pro stírací kroužek. Kde je stěna pístu zeslabena nejen samotnou drážkou ale i zároveň otvory pro odvod oleje do klikové skříně.

Namáhání tlakem

$$\sigma_{tl \max} = \frac{F_{p \max}}{S_x} \quad (24)$$

- kde S_x je minimální příčný průřez pístu v drážce pro stírací kroužek. Tato hodnota je vypočítána pomocí programu Autodesk Inventor 11 - $S_x = 886,68 \text{ mm}^2$.

3.4.2.1 Maximální síla od tlaků plynů

$$F_{p \max} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot p_{\max} \quad (25)$$
$$F_{p \max} = \frac{\pi \cdot 0,068^2}{4} \cdot 5,35 \cdot 10^6$$
$$F_{p \max} = 19419,6 \text{ N}$$

3.4.2.2 Pro maximální spalovací tlak výsledná hodnota napětí

Dosazením S_x a $F_{p \max}$ do rovnice 24 dostaneme výslednou hodnotu napětí.

$$\sigma_{tl \max} = \frac{19419,6}{0,00088668}$$

$$\sigma_{tl \max} = 21,90 \text{ MPa}$$

Dovolené hodnoty napětí pro hliníkové slitiny se pohybují v mezích od 30 do 40 MPa. Vypočtená hodnota se pohybuje v přijatelných mezích a tudíž vyhovuje.

Namáhání tahem

$$\sigma_t = \frac{F_{spx}}{S_x}$$

(26)

Setrvačná síla

$$F_{spx} = m_x \cdot r_k \cdot \omega_{\max}^2 \cdot (1 + \lambda_0) \quad (27)$$

- λ_0 je ojnicí poměr. U současných motorů se pohybuje v rozmezí 0,2 až 0,3. Volím $\lambda_0 = 0,25$ [-]
- m_x je hmotnost koruny pístu nad řezem x-x. Tato hodnota je vypočítána pomocí programu Autodesk Inventor 11 - $m_x = 0,074 \text{ kg}$

3.4.2.3 Maximální úhlová rychlost otáčení klikového hřídele motoru

$$\omega_{\max} = \frac{\pi \cdot n_{\max}}{30} \quad (28)$$

$$\omega_{\max} = \frac{\pi \cdot 5500}{30}$$

$$\omega_{\max} = 576 \text{ s}^{-1}$$

3.4.2.4 Setrvačná síla

Dosazením m_x a λ_0 do rovnice 27 dostaneme výslednou hodnotu setrvačné síly.

$$F_{spx} = 0,074 \cdot 0,041 \cdot 576^2 \cdot (1 + 0,25)$$

$$F_{spx} = 1258,3 \text{ N}$$

3.4.2.5 Tahové napětí ve vyšetřovaném průřezu

Dosazením F_{spx} a S_x do rovnice 26 dostaneme výslednou hodnotu tahového napětí.

$$\sigma_t = \frac{1258,3}{0,00088668}$$

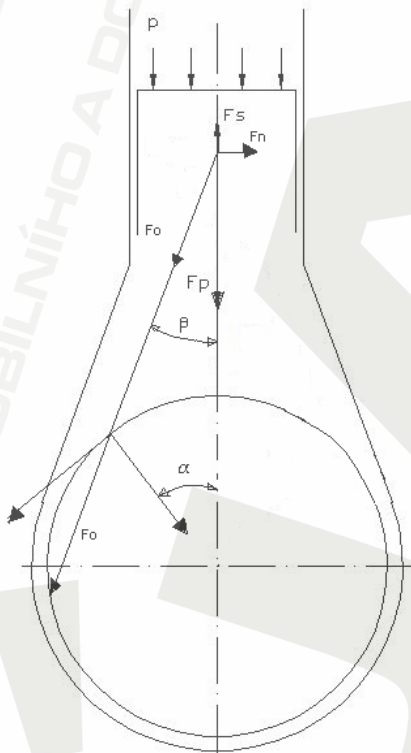
$$\sigma_t = 1,42 \text{ MPa}$$

Dovolená hodnota napětí pro hliníkové slitiny $\sigma_{tdov} = 4 \div 10 \text{ MPa}$.

$$\sigma_t < \sigma_{tdov} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

3.4.3 Měrný tlak na plášti pístu

Je vyvolán normálovou silou, kterou působí píst na stěnu válce. Její maximální velikost je dosahována poblíž horní úvratě při pohybu pístu v průběhu expanzního zdvihu.



Obr. 20 Silové působení v klikovém mechanismu

$$p_{pl} = \frac{F_{n \max}}{D_{pl} \cdot L_{pl}} \quad (29)$$

Výpočet výsledné síly F_c

$$F_c = F_{p \max} + F_{spx} \quad (30)$$

$$F_c = 19419,64 + 1258,3$$

$$F_c = 20677,94 \text{ N}$$

Úhel pootočení klikové hřídele od horní úvratě

$$\alpha = \alpha_{p \max} - 360^\circ \quad (31)$$

$$\alpha = 377^\circ - 360^\circ$$

$$\alpha = 17^\circ$$

Ojniční poměr

$$\lambda = \frac{r_k}{l_0} \quad (32)$$

Vyjádříme z rovnice (32) l_0 a dostaneme:

$$l_0 = \frac{41}{2,5}$$

$$l_0 = 205 \text{ mm}$$

Úhel mezi osou ojnice a osou válce

$$\sin \beta = r_k \cdot \frac{\sin \alpha}{l_0} \quad (33)$$

$$\sin \beta = 41 \cdot \frac{\sin 17^\circ}{164}$$

$$\sin \beta = 4,22^\circ$$

3.4.3.1 Maximální normálová síla

$$F_{n \max} = F_c \cdot \operatorname{tg} \beta \quad (34)$$

$$F_{n \max} = 20677,94 \cdot \operatorname{tg} 4,22^\circ$$

$$F_{n \max} = 1525,75 \text{ N}$$

3.4.3.2 Výsledná hodnota měrného tlaku na plášti pístu

Dosažením do rovnice 29 dostáváme:

$$p_{pl} = \frac{1525,75}{0,068 \cdot 0,061}$$

$$p_{pl} = 0,36 \cdot 10^6 \text{ Pa} \quad \rightarrow \quad p_{pl} = 0,36 \text{ MPa}$$

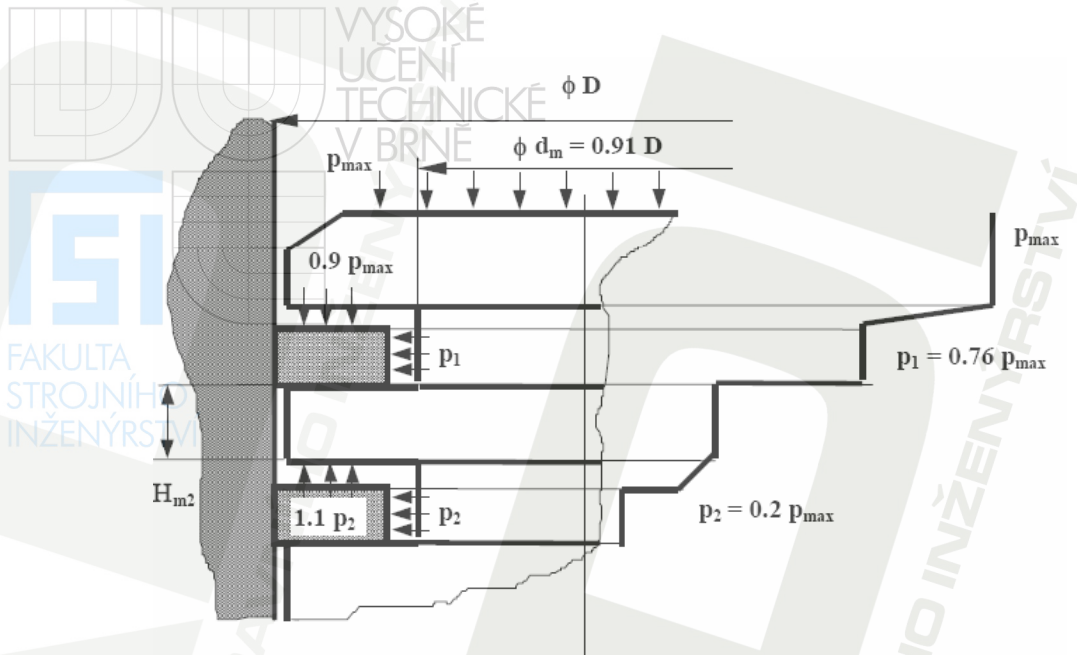
Doporučená hodnota měrného tlaku na plášti pístu je:

$$p_{pl \text{ dop}} = 0,6 \div 1,4 \text{ MPa}$$

$$p_{pl} < p_{pl \text{ dop}} \Rightarrow \text{plášť pístu vyhovuje}$$

3.4.4 Můstek mezi prvním a druhým těsnícím kroužkem

Bývá vystaven velmi vysokému namáhání od tlaku plynů ve spalovacím prostoru za současného působení značných teplot. Dosažení maximální hodnoty tlaku nad pístem, je podle výsledků měření uvedeno na obr. 20, který znázorňuje rozložení tlaků v jednotlivých mezikroužkových objemech .



Obr. 21 Rozložení tlaků v mezikroužkových objemech [1]

3.4.4.1 Výsledný silový účinek na můstek mezi prvním a druhým těsnícím kroužkem

$$F_m = \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d_m^2) \cdot (0,9 \cdot P_{\max} - 0,22 \cdot P_{\max}) \quad (35)$$

$$F_m = \frac{\pi}{4} \cdot (0,068^2 - (0,91 \cdot 0,068)^2) \cdot (0,9 \cdot 5,35 \cdot 10^6 - 0,22 \cdot 5,35 \cdot 10^6)$$

$$F_m = 2267,52 \text{ N}$$

3.4.4.2 Ohybový moment

$$M_o = F_m \cdot \frac{D - d_m}{4} \quad (36)$$

$$M_o = 2267,52 \cdot \frac{0,068 - 0,06188}{4}$$

$$M_o = 3,47 \text{ Nm}$$

3.4.4.3 Modul odporu v ohybu

$$W_o = \frac{1}{6} \cdot \pi \cdot d_m \cdot H_{m2}^2 \quad (37)$$

$$W_o = \frac{1}{6} \cdot \pi \cdot 0,06188 \cdot (3,5 \cdot 10^{-3})^2$$

$$W_o = 0,396 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

3.4.4.4 Ohybové napětí

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} \quad (38)$$
$$\sigma_o = \frac{3,47}{0,396 \cdot 10^{-6}}$$
$$\sigma_o = 8,762 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

3.4.4.5 Průřez v místě vetknutí

$$S = \pi \cdot d_m \cdot H_{m2} \quad (39)$$
$$S = \pi \cdot 0,06188 \cdot 3,5 \cdot 10^{-3}$$
$$S = 6,8 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

3.4.4.6 Smykové napětí

$$\tau = \frac{F_m}{S} \quad (40)$$
$$\tau = \frac{2267,52}{6,8 \cdot 10^{-4}}$$
$$\tau = 3,3 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

3.4.4.7 Výsledné redukované napětí

$$\sigma_{red} = \sqrt{(\sigma_o^2 + 3 \cdot \tau^2)} \quad (41)$$
$$\sigma_{red} = \sqrt{(8,762 \cdot 10^6 + 3 \cdot 3,3^2)}$$
$$\sigma_{red} = 10,4 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

Uvážíme-li pokles pevnosti hliníkových slitin s nárůstem teploty zohledněním vrubových účinků, nemá hodnota redukovaného napětí přesáhnout (60÷80)MPa.

$$\sigma_{red} < \sigma_{red,dov} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

4. Závěr

Na základě zadaného jmenovitého výkonu a otáček motoru, byl proveden návrh základních rozměrů motoru a klikového mechanismu. Tyto parametry stanoví základní rozměry motoru.

Po výpočtu základních parametrů motoru dochází k samotnému návrhu pístu čtyřdobého zážehového motoru o výkonu 50kW. Návrh provádím dle daných dispozic, tzv. dle materiálů dodaných školou. V dnešní době existuje velká spousta různých tvarů pístu, která mají různá vybrání dna pístu pro ventily a jsou různě odlehčeny. V mém případě jde o specifické zadání, z toho vyplývá, že jde o orientační návrh tvaru pístu. Většina rozměrů se volí dle vypočtených hodnot. Konstrukční řešení patří mezi jedno nejjednodušší. Dno pístu není nějak tvarované. Drážky pro těsnící kroužky jsou zpravidla dvě a pro stírací kroužek jedna. Zpravidla drážka pro stírací kroužek má větší rozměry, z důvodu řešení otvorů pro odvod oleje do klikové skříně. Uložení pístního čepu je tzv. plavoucí.

Výpočtová kontrola pístu je realizována na tzv. pevnostní kontrolu, a to namáhání dna pístu a to na ohyb. Dále pak na nejslabší místo pláště pístu, které je namáháno tahem i tlakem. Rovněž tlakem, který působí na plášť pístu. Ten to tlak je vyvolán normálovou silou, kterou působí píst na stěnu válce. Ta to síla je určena z kinematiky klikového mechanismu. Závěrečná kontrola spočívá z kontroly můstku mezi prvním a druhým těsnícím kroužkem, který je vystaven velmi vysokým teplotám a velkému namáhání od tlaků plynů. Je kontrolován jako vetknutý nosník. U všech výpočtů nebyli překročeny maximální dovolené hodnoty napětí a tlaků.

Všechny úkoly obsažené v zadání byli splněny. Návrh konstrukčního řešení je znázorněn v příloze.

5. Seznam použité literatury

- [1] Rauscher, J.: Ročníkový projekt (studijní opory), Brno, FSI VUT
- [2] Rauscher, J.: Vozidlové motory (studijní opory), Brno, FSI VUT
- [3] Rauscher, J.: Spalovací motory (studijní opory), Brno, FSI VUT
- [4] Ždánský, B.: Automobily – Motory III, Brno 2008

6. Seznam příloh

Výkresová dokumentace:

Výrobní výkres pístu

CD:

Metadata

Technická zpráva

Výkres