



**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**

# **NÁVRH JEDNOVÁLCOVÉHO VZNĚTOVÉHO MOTORU**

**DESIGN OF SINGLE-CYLINDER DIESEL ENGINE**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**JAN NĚMEC**

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

**prof. Ing. VÁCLAV PÍŠTĚK, DrSc.**

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního inženýrství  
Akademický rok :2010/2011

## **ZADANÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student: Jan Němec

který studuje v bakalářském studijním programu

Obor Stavba strojů a zařízení (2302R016)

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

Návrh jednoválcového vznětového motoru

v anglickém jazyce:

Design of-cylinder diesel engine

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Pro dané základní parametry navrhnout jednoválcový vznětový motor.

Cíle bakalářské práce:

Pro dané základní parametry motoru navrhnout jeho hlavní rozměry.

Provést výpočtovou kontrolu součástí pístní skupiny.

Provést celkové zhodnocení a formulaci případná doporučení pro další postup prací

Seznam odborné literatury:

STONE , Richard. Introduction to Internal Combustion Engines. 3rd edition. Hampshire: Palgrave, 1999. 641 s. ISBN 0-333-74013-0.

Kraftfahrzeug - Kurbelwellen :Konstruktion, Berechnung. Herstellung. 2001. Auflage. Landsberg/Lech Verlag Moderne Industrie 2001.70 s. ISBN 3-478-93242-2.

Hafner, K.E., Maass, H.: Kräfte, Momente und deren Ausgleich in der Verbrennungskraftmaschine, Springer-Verlag Wien -New York 1995

HEISLER, Heinz. Advanced Engine Technology. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2002. 794 s. ISBN 1-56091-734-2

vedoucí bakalářské práce: prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/2011

v Brně, dne 8.11.2010

L.S.



## ABSTRAKT

Zabývá se konstrukcí celého spalovacího motoru, provedení klikové hřídele, pístu, ojnice, lehce nastiňuje centrální mazání, chlazení, vstřikovací čerpadlo, dopravní čerpadlo a zubového čerpadlo, filtrování paliva, vstřikování paliva, řešení uspořádání rozvodu. Čtyřdobý vznětový motor pracuje na 4 doby, kde v první době dochází k sání "čistého" vzduchu a píst se pohybuje z dolní úvrati do horní a dochází ke kompresi ve válci díky nastavení předstihu, který je nastaven pomocí rozvodů dojde ke vstříknutí paliva do válce ještě před dosažením horní úvrati. Při prudkém pohybu pístu do horní úvrati dojde ke zvýšení tlaku a teploty na tolik, že dojde ke vznícení paliva, tento tlak bývá okolo 26 atm což odpovídá 2,634Mpa a teplotě okolo 600 °C. Palivo prohořívá ideálně v kulových vlnoplochách. Palivo je vstříknuto pod vysokým tlakem z důvodu vzniku aerosolu. Expanzí paliva dochází ke zvětšení objemu a píst jde do dolní úvrati. A to je jeho jediná pracovní doba. Píst jde z dolní úvrati do horní a zároveň se otevírá výfukový ventil, kterým odchází horké spaliny a vše se znovu opakuje. Provedení jednotlivých dílů shlédnete v animaci. Modelování a simulace byly provedeny pomocí CAD systému. Vše je podloženo výpočty.

## KLÍČOVÁ SLOVA

Čtyřdobý vznětový motor, Píst, Kliková hřídel, Ojnice, Blok motoru, Rozvod DOHC



## ABSTRACT

This thesis deals with the construction of the whole combustion engine, the crankshaft design, the piston and the piston rod. It also outlines the central lubrication, the cooling, the injection pump, the movable pump and the gear pump as well as fuel filtering, injection, engine timing, etc. The four-cycle engine has four working cycles. During the first cycle the "clean" air is drawn and the piston moves from the bottom centre to the top centre and it comes to compression in the cylinder thanks to the adjusting of the advance and the fuel is injected into the cylinder. As the piston moves rapidly to the top centre, the pressure and the temperature increase so much that the fuel ignites. The pressure is about 26 atm (2.634Mpa) and the temperature is about 600°C. The fuel burns ideally in spherical wave fronts. The fuel is injected under high pressure as aerosol generates. As the fuel expands, the volume increases and the piston moves to the bottom centre. And it is its only working cycle. The piston moves from the bottom centre to the top centre and the exhaust valve opens through which the hot gases of combustion leave - and everything repeats. The design of the particular components is shown in the animations. Modelling and simulations were produced using CAD system. Everything is supported with calculations.

## KEYWORDS

four cycle compression ignition oil engine, injection piston pump, piston, crankshaft, piston rod, engine block, DOHC



## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

Němec Jan. Návrh jednoválcového vznětového motoru. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 42 s. Vedoucí diplomové práce prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.



## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 26. května 2011

.....

Jméno a přímení



## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji za odbornou pomoc: prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.  
Děkuji svojí rodině za podporu.



## OBSAH

Úvod.....	10
1 Výpočet hlavních rozměrů.....	11
1.1 Hlavní rozměry v oblasti spalovacího prostoru .....	11
1.2 Hlavní parametry chlazení.....	13
1.3 Výpočet hlavních rozměrů vstřikovacího čerpadla: .....	13
2 Klikový mechanismus.....	15
2.1 Konstrukční návrh pístu.....	15
2.2 Pevnostní výpočet pístu.....	16
2.3 Pístní kroužky:.....	19
2.4 Konstrukční návrh pístního čepu: .....	20
2.5 Pevnostní výpočet pístního čepu .....	20
2.6 Konstrukční návrh ojnice:.....	22
2.7 Pevnostní výpočet ojnice: .....	23
2.7.1 Kontrola ojnice na vzpěr podle tetmajera: .....	23
2.8 Konstrukční návrh klikového hřídele: .....	27
2.9 Kontrolní pevnostní výpočet klikového hřídele:.....	28
2.9.1 Namáhá klikového hřídele , je-li píst v horní mrtvé poloze (maximální ohyb): 29	
2.9.2 Namáhání klikového hřídele, je-li píst v poloze maximální tangenciální síly (maximální krouticí moment):.....	31
3 Návrh hmotnosti setrvačníku a vyvážení klikového mechanismu: .....	34
4 Ventil.....	35
4.1 Konstrukční návrh ventilu .....	35
4.2 Kontrola průtoku vzduchu kolem ventilu: .....	35
5 Vačka:.....	36
5.1 Postavení vačky: .....	36
Závěr .....	37
Seznam použitých zkratk a symbolů.....	39
Seznam příloh.....	42



## ÚVOD

Cílem této práce je navrhnout hlavní rozměry spalovacího vznětového motoru. Hovoříme o rozměrech pístu, pístních kroužků, pístního čepu, ojnice, klikové hřídele a samozřejmě dalších věcí s tím související jako je například i samotný blok motoru, vana motoru a hlava motoru. V převážné míře to jsou vztahy dané dlouholetou zkušeností jako například že tloušťka dna pístu je  $0,14 D$ , kde  $D$  je průměr pístu. Dále jsou tam lehce naznačené výpočty chlazení a vstřikování. Vstřikování je použité ještě po starším způsobu pomocí řadového pístového čerpadla.



# 1 VÝPOČET HLAVNÍCH ROZMĚRŮ

## 1.1 HLAVNÍ ROZMĚRY V OBLASTI SPALOVACÍHO PROSTORU

### VÝPOČET PRŮMĚRU VRTÁNÍ:

$$D = \sqrt[3]{\frac{2 \cdot x \cdot P_e}{i \cdot \pi \cdot \lambda \cdot n \cdot p_e}} = \sqrt[3]{\frac{2 \cdot 4 \cdot 11 \cdot 10^3}{1 \cdot \pi \cdot 1,2 \cdot 25 \cdot 0,7 \cdot 10^6}} = 0,11 \text{ m} = 110 \text{ mm} \quad (1)$$

Kde:

$x$  pro dvoudobé  $x=2$ , čtyřdobé  $x=4$

### VÝPOČET ZDVIHU PÍSTU:

$$L = \lambda \cdot D = 1,2 \cdot 0,11 = 0,132 = 132 \text{ mm} \quad (2)$$

### STŘEDNÍ PÍSTOVÁ RYCHLOST:

$$c_s = 2 \cdot L \cdot n = 2 \cdot 0,132 \cdot 25 = 6,6 \text{ m/s} \quad (3)$$

Pro traktorové motory je  $c_s = 5 - 7,5 \text{ m/s}$

Vzhledem k tomu že střední pístová rychlost je v daném rozmezí lze usoudit že návrh hlavních rozměrů spalovacího motoru je správný.

### KONTROLA NA LITROVÝ VÝKON:

$$\frac{P_e}{V_z} = \frac{11}{1,25} = 8,8 \text{ kW/litr} \quad \text{u traktorových motorů 8 až 12 kW/litr} \quad (4)$$

Také tato kontrola na litrový výkon vyšla v daných mezích z čehož vyplývá že volené a vypočtené základní rozměry spalovacího motoru jsou správné.

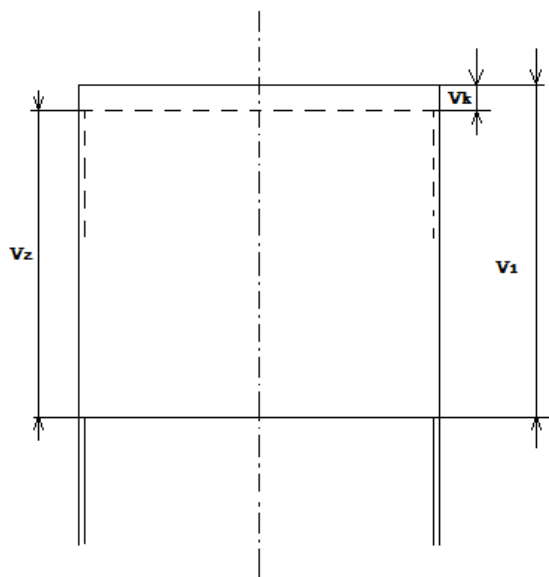
### ZDVIHOVÝ OBJEM:

$$V_z = i \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot L = 1 \cdot \frac{\pi \cdot 0,11^2}{4} \cdot 0,132 = 0,00125 \text{ m}^3 = 1,25 \text{ litrů} \quad (5)$$

### VÝPOČET KOMPRESNÍHO PROSTORU:

Volíme  $\varepsilon=18$

$$V_k = \frac{V_z}{\varepsilon - 1} = \frac{0,00125}{18 - 1} = 0,0000735 \text{ m}^3 = 0,0735 \text{ dm}^3 \quad (6)$$



Obrázek 1: označení objemů ve spalovacím prostoru

**CELKOVÝ TLAK NA TĚSNÍCÍ PLOCHU MEZI HLAVOU VÁLCE A BLOKEM MOTORU:**

$$D_{\xi} = \sqrt{\frac{4 \cdot P}{\pi \cdot i \cdot \delta}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 936,89}{\pi \cdot 4 \cdot 50}} = 9,5 \text{ mm} \quad \delta = 50 \text{ MPa} \quad (7)$$

Z konstrukčních důvodů volíme M 14

Materiál šroubů 11 420

**TLOUŠŤKA STĚNY HLAVY UZAVÍRAJÍCÍ SPALOVACÍ PROSTOR:**

$$t_{sp} = 0,085 \cdot D = 0,085 \cdot 110 = 9,35 \text{ mm} \quad (8)$$

Volíme 9,5 mm

**OSTATNÍ STĚNY:**

$$s_0 = 0,06 \cdot D = 0,06 \cdot 110 = 6,6 \text{ mm} \quad (9)$$

Volíme 7 mm

**TLOUŠŤKA STĚN UPROSTŘED VLOŽENÉHO VÁLCE:**

$$t_{vv} = 0,072 \cdot D = 0,072 \cdot 110 = 8 \text{ mm} \quad (10)$$



## 1.2 HLAVNÍ PARAMETRY CHLAZENÍ

### VÝPOČET MNOŽSTVÍ CHLADÍČÍ KAPALINY:

$$t_{\text{eplo při expanzi}} s=0,17 \quad P_v=11000 \text{ J} \quad g_v=41\,840 \text{ KJ/kg} \quad (11)$$

$$Q=0,3 \cdot s \cdot P_v \cdot g_v = 0,3 \cdot 0,17 \cdot 11\,000 \cdot 41\,840 = 2,35 \cdot 10^7 \text{ KJ/h}$$

### POTŘEBNÉ MNOŽSTVÍ CHLADÍČÍ KAPALINY:

$$m_{chv} = \frac{Q}{t \cdot c} = \frac{2,35 \cdot 10^7}{15 \cdot 4,1810^3} = 374 \text{ kg} \quad t=15 \text{ °C} \quad c=4,18 \cdot 10^3 \text{ J} \quad (12)$$

### PŘÍVODNÍ POTRUBÍ CHLADÍČÍ VODY DO ČERPADLA:

$$d_{chv} = 1,5 \cdot Pe = 1,5 \cdot 11 = 16,5 \text{ mm} \quad (13)$$

volíme TR DN 20-ČSN 425710-11 343.0

výstupní trubka bývá od 20% do 50% větší

volíme TR DN 25 ČSN 42 5710-11 343.0

## 1.3 VÝPOČET HLAVNÍCH ROZMĚRŮ VSTŘIKOVACÍHO ČERPADLA:

### MNOŽSTVÍ VSTŘIKOVANÉHO PALIVA

$$q = \frac{c' \cdot Pe \cdot 100}{3 \cdot s_p \cdot n} = \frac{0,17 \cdot 11 \cdot 100}{3 \cdot 0,9 \cdot 25} = 2,7 \text{ mm}^3 \quad (14)$$

### VÝPOČET PRŮMĚRU PÍSTKU

$$d_p = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 100 \cdot Pe \cdot c'}{3 \cdot s_p \cdot n \cdot 0 \cdot \pi}} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 100 \cdot 11 \cdot 0,17}{3 \cdot 0,9 \cdot 25 \cdot 0,7 \cdot \pi}} = 5,04 \text{ mm} \quad (15)$$

### ZDVIH PÍSTKU:

$$h = 1 \cdot d_p = 1,5 \cdot 0,4 = 5,04 \text{ mm} \quad (16)$$

### ČAS POTŘEBNÝ KE VSTŘIKU:

$$t = \frac{60 \cdot \alpha}{n \cdot 360} = \frac{60 \cdot 20}{25 \cdot 360} = 2,2 \cdot 10^{-3} \text{ sec} \quad (17)$$

**MNOŽSTVÍ VSTRÍKNUTÉHO PALIVA:**

$$f = \sqrt{\frac{c'.Pe}{n.30.v.sp.t.ú}} = \sqrt{\frac{0,17.11}{25.30.250.0,9.0,002.0,9}} = 5,6.10^{-3}mm^2 \quad (18)$$

**PRŮMĚR DÝZI:**

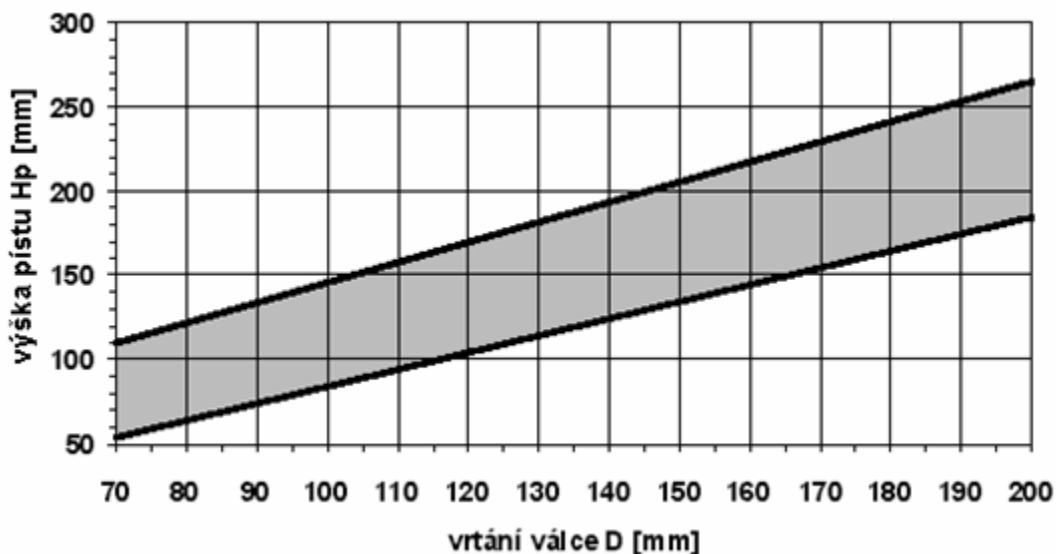
$$d_d = \sqrt{\frac{f}{4.\pi}} = \sqrt{\frac{0,0056}{4.\pi}} = 0,21 mm \quad (19)$$



## 2 KLIKOVÝ MECHANISMUS

### 2.1 KONSTRUKČNÍ NÁVRH PÍSTU

Při návrhu hlavních rozměrů pístu se postupuje již z dříve provedených a osvědčených konstrukcí. Veškeré vztahy pro výpočet geometrie pístu spalovacího motoru jsou vztahovány k průměru vrtání  $D$ .



Obrázek 2: výška pístu  $H_p$  v závislosti na vrtání pístu  $D$

#### TLOUŠŤKA DNA PÍSTU:

$$s = 0,14 \cdot D = 0,14 \cdot 110 = 17,6 \text{ mm} \quad (20)$$

#### VÝŠKA PÍSTU:

$$H_p = 1,4 \cdot D = 1,4 \cdot 110 = 154 \text{ mm} \quad (21)$$

z grafu je patrné, že se v daném rozmezí pohybují spíše při horní hranici.

#### NEJMENŠÍ TLOUŠŤKA PLÁŠTĚ:

$$s_{min} = 0,0417 \cdot D = 0,0417 \cdot 110 = 4,6 \text{ mm} \quad (22)$$



## 2.2 PEVNOSTNÍ VÝPOČET PÍSTU

Kvůli složitosti tvaru pístu tzn. Tvar dna pístu tepelný tok průřezy pístu, proměnnost zatěžujících účinků a vliv vrubových účinků je bezpečnost pevnostního výpočtu spíše informativní. Z toho důvodu postup při návržení základních rozměrů je dán vztahy experimentálními.

### MAXIMÁLNÍ SÍLA NA PÍST:

$$F_{max} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot p_{max} = \frac{\pi \cdot 110^2}{4} \cdot 7 = 66\,523,22\,N \quad (23)$$

### RADIÁLNÍ SÍLA :

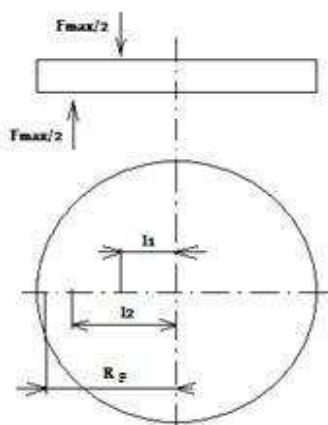
$$N = 0,1 \cdot F_{max} = 0,1 \cdot 66\,523,22 = 6\,652,32\,N \quad (24)$$

### KONTROLA SPEC. TLAKU MEZI PÍSTEM A VÁLCEM:

$$k = \frac{N}{L \cdot D} = \frac{6\,652,32}{132 \cdot 110} = 0,46 > 0,3\,MPa \quad (25)$$

Pro kontrolu dna pístu spalovacího motoru je brán model kruhové desky, který se dá ještě zjednodušit na přímý nosník. Deska je namáhána ohybem.

### KONTROLA DNA PÍSTU NA OHYB ZE SÍLY $F_{max}$ :



Obrázek 3: rozložení sil působící na model kruhové desky

$$R_p = \frac{0,8 \cdot D}{2} = \frac{0,8 \cdot 110}{2} = 44\,mm \quad (26)$$


**OHYBOVÝ MOMENT OD SÍLY  $F_{max}$ :**

$$M_1 = \frac{F_{max}}{2} \cdot l_1 = \frac{F_{max}}{2} \cdot \frac{4 \cdot R_p}{3 \cdot \pi} = \frac{6564,89}{2} \cdot \frac{4 \cdot 44}{3 \cdot \pi} = 61296,97 \text{ Nmm} \quad (27)$$

**OHYBOVÝ MOMENT OD REAKCE:**

$$M_2 = \frac{F_{max}}{2} \cdot l_2 = \frac{F_{max}}{2} \cdot \frac{2 \cdot R_p}{\pi} = \frac{6564,89}{2} \cdot \frac{2 \cdot 44}{\pi} = 91\,945,45 \text{ Nmm} \quad (28)$$

**VÝSLEDNÝ OHYBOVÝ MOMENT:**

$$M = M_2 - M_1 = 91\,945,45 - 61\,296,97 = 30\,648,48 \text{ Nmm} \quad (29)$$

**KONTROLA NAVRŽENÉHO DNA:**

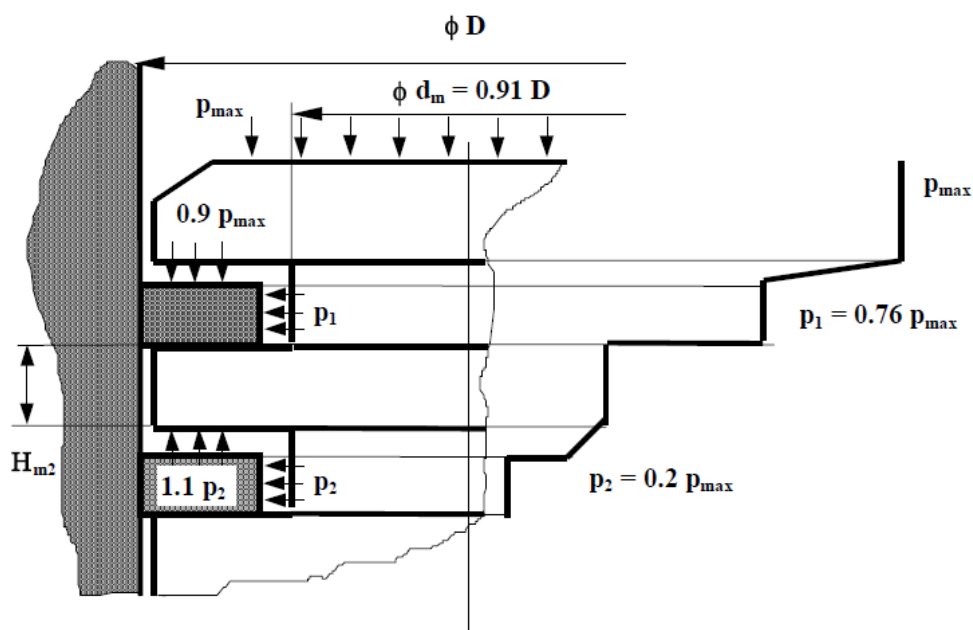
$$S = R_p \cdot \sqrt{\frac{F_{max}}{\sigma}} = 44 \cdot \sqrt{\frac{7}{50}} = 16,5 \text{ mm} < 17,6 \text{ mm} \quad (30)$$

**MĚRNÝ TLAK NA PLÁŠŤ PÍSTU:**

$$P_{pl} = \frac{N}{D \cdot H_p} = \frac{6\,652,32}{0,11 \cdot 0,154} = 392\,698,9 \text{ Pa} = 0,4 \text{ MPa} < 1,4 \text{ MPa} \quad (31)$$

**KONTROLA MŮSTKU:**

Provádí se z důvodu velmi vysokého namáhání od tlaků plynů ve spalovacím prostoru za současného působení vysokých teplot.



Obrázek 4: rozložení tlaku v prostoru pístních kroužků

**VÝPOČET SÍLY NAMÁHAJÍCÍ MŮSTEK NA OHYB A STŘIH:**

$$F_m = \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d_m^2) \cdot (0,9 \cdot p_e - 0,22 \cdot p_e) \quad (32)$$

$$F_m = \frac{\pi}{4} \cdot (0,11^2 - 0,101^2) \cdot (0,9 \cdot 700\,000 - 0,22 \cdot 700\,000) = 11\,359,04 \text{ N}$$

$$M_o = F_m \cdot \frac{D - d_m}{4} = 11\,359,04 \cdot \frac{0,11 - 0,101}{4} = 25,55 \text{ Nm} \quad (33)$$

**MODUL ODPORU V OHYBU:**

$$W_o = \frac{1}{6} \cdot \pi \cdot d_m \cdot H_{m2}^2 = \frac{1}{6} \cdot \pi \cdot 0,101 \cdot 0,005^2 = 1,32 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \quad (34)$$

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} = \frac{25,55}{1,32 \cdot 10^{-6}} = 19\,356\,060 \text{ Nm}^{-2} \quad (35)$$

**SMYKOVÉ NAPĚTÍ:**

$$\tau = \frac{F_m}{S_m} = \frac{11\,359}{960} = 11,8 \text{ Pa} \quad (36)$$

**VÝSLEDNÉ REDUKOVANÉ NAPĚTÍ:**

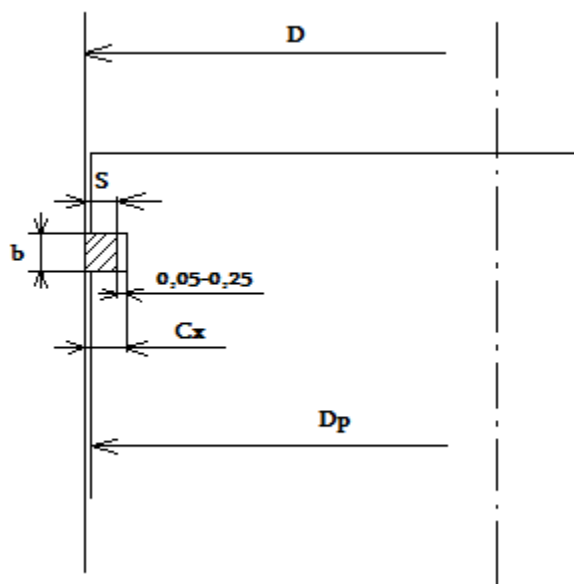
$$\sigma_{red} = \sqrt{(\sigma_o^2 + 3 \cdot \tau^2)} = \sqrt{(19\,356\,060^2 + 3 \cdot 11,8^2)} = 19\,356\,060 \text{ Pa} = 19 \text{ MPa} \quad (37)$$

$$19 \text{ MPa} < 60 \text{ MPa}$$



## 2.3 PÍSTNÍ KROUŽKY:

Slouží k utěsnění spalovacího prostoru od klikové skříně.



Obrázek 5: rozměry pístního kroužku:

### ŠÍŘKA PÍSTNÍHO KROUŽKU:

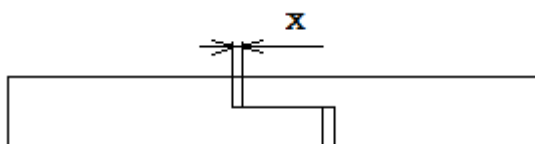
$$S = \frac{1}{30} \cdot D = \frac{1}{30} \cdot 110 = 3,6 \text{ mm volíme } 4 \text{ mm} \quad (38)$$

### VÝŠKA PÍSTNÍHO KROUŽKU:

$$b = 0,75 \cdot S = 0,75 \cdot 4 = 3 \text{ mm} \quad (39)$$

### VŮLE V ZÁMKU PÍSTNÍHO KROUŽKU:

$$X = \frac{D}{300} = \frac{110}{300} = 0,4 \text{ mm} \quad (40)$$



Obrázek 6: vůle v zámku pístního kroužku

**MEZERA MEZI VÁLCEM A PÍSTEM:**

$$c = \frac{X}{\pi} = \frac{0,4}{\pi} = 0,127mm \quad (41)$$

Mezi jedno z namáhání pístního kroužku patří také namáhá při přetahování přes píst při montáži. Kroužek je ohýbán opačným směrem. Toto zatížení trvá chvíli a za teploty okolí.

**NAMÁHÁNÍ PÍSTNÍHO KROUŽKU PŘI PŘETAHOVÁNÍ PŘES PÍST:**

$$E=8 \cdot 10^4 \text{MPa}$$

$$k = 1,6 \cdot E \cdot \left(\frac{s}{D}\right)^2 = 1,6 \cdot 8 \cdot 10^4 \left(\frac{4}{110}\right)^2 = 169,25 \text{MPa} < 200 \text{MPa} \quad (42)$$

**2.4 KONSTRUKČNÍ NÁVRH PÍSTNÍHO ČEPU:****VNĚJŠÍ PRŮMĚR ČEPU:**

$$d = D \cdot 0,4 = 110 \cdot 0,4 = 44 \text{mm} \quad (43)$$

**VNITŘNÍ PRŮMĚR ČEPU:**

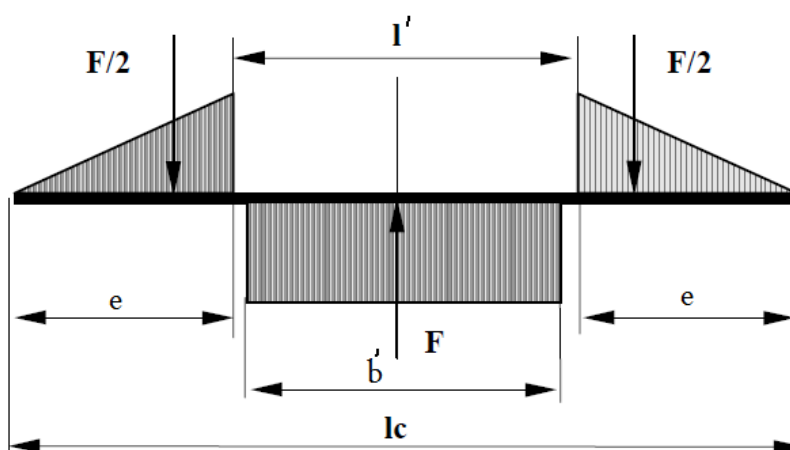
$$d' = 0,5 \cdot d = 0,5 \cdot 44 = 22 \text{mm} \quad (44)$$

**DÉLKA ČEPU:**

$$l_c \geq \frac{0,24 \cdot D^2}{d} = \frac{0,24 \cdot 110^2}{44} = 66 \text{mm} \quad (45)$$

**2.5 PEVNOSTNÍ VÝPOČET PÍSTNÍHO ČEPU**

Pístní čep je namáhán ohybem a z výsledků experimentálního namáhání byl stanoven tento prutový model.



Obrázek 7: ohybové namáhání pístního čepu

**KONTROLA ČEPU NA OHYB:**

$$M_{Omax} = \frac{F_{max}}{4} \cdot \left( \frac{l_c + l'}{2} - \frac{b'}{2} \right) = \frac{66\,523,2}{4} \cdot \left( \frac{88 + 57,8}{2} - \frac{42,5}{2} \right) = 858\,980,82 \text{ Nmm} \quad (46)$$

$$W = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{d^4 - d'^4}{d} = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{44^4 - 22^4}{44} = 7840,23 \text{ mm}^3 \quad (47)$$

$$\sigma = \frac{M_{Omax}}{W} = \frac{858\,980,82}{7840,23} = 110 \leq 140 \text{ MPa} \quad (48)$$

**OJNIČNÍ POMĚR:**

$$\lambda_o = \frac{R}{L_o} = \frac{66}{282} = 0,23 \quad (49)$$

**VÝPOČET VELIKOSTI SETRVAČNÉ SÍLY:**

$$\omega_{max} = \frac{\pi \cdot n}{30} = \frac{\pi \cdot 25}{30} = 2,62 \text{ s}^{-1} \quad (50)$$

$$F'_{sp} = m'_p \cdot R \cdot \omega_{max}^2 \cdot (1 + \lambda_o) = 2,5 \cdot 66 \cdot 2,62^2 \cdot (1 + 0,23) = 1\,393 \text{ N} \quad (51)$$

**KONTROLA NA OTLAČENÍ MEZI ČEPEM A OKEM OJNICE:**

$$F = F_{max} - F'_{sp} = 66\,523,2 - 1\,393 = 65\,130 \text{ N} \quad (52)$$

$$p_{\check{c}o} = \frac{F}{d \cdot b'} = \frac{65\,130}{44 \cdot 42,5} = 34,8 \text{ MPa} \quad (53)$$

**KONTROLA NA OTLAČENÍ MEZI ČEPEM A PÍSTEM:**

$$p_{\check{c}p} = \frac{F}{d \cdot e} = \frac{65\,130}{44 \cdot 42} = 35,2 \text{ MPa} \quad (54)$$



## 2.6 KONSTRUKČNÍ NÁVRH OJNICE:

materiál: 12 040.6 tomu odpovídá materiál 1.1181

### POLOMĚR KLIKY:

$$R = \frac{L}{2} = \frac{132}{2} = 66 \text{ mm} \quad (55)$$

### DÉLKA OJNICE:

$$L_o = 4,27 \cdot R = 4,27 \cdot 66 = 282 \text{ mm} \quad (56)$$

### PÍSTNÍ HLAVA OJNICE:

Bronzové pouzdro uložení H7/p6

$$t_{pho} = 0,1 \cdot d = 0,1 \cdot 44 = 4,4 \text{ mm} \quad (57)$$

### KLIKOVA HLAVA OJNICE:

#### PRŮMĚR OJNIČNÍHO ČEPU:

$$d_{kho} = 0,554 \cdot D = 0,554 \cdot 110 = 61 \text{ mm} \quad (58)$$

#### DÉLKA OJNIČNÍHO ČEPU:

$$l_{kho} = 1,15 \cdot D = 1,15 \cdot 110 = 70 \text{ mm} \quad (59)$$

#### TLOUŠŤKA OCELOVÝCH PÁNVÍ:

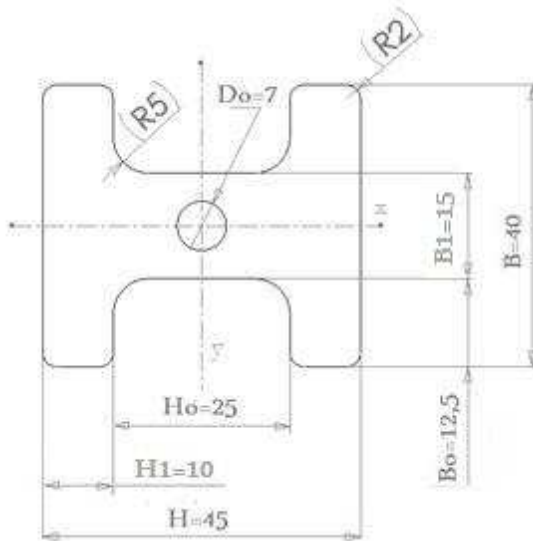
$$t_{kho} = 0,05 \cdot d_{kho} = 0,05 \cdot 61 = 3,5 \text{ mm} \quad (60)$$

Tloušťka výstelky z ložiskového kovu volíme 2 mm

Uložení pánví H7/k6



## 2.7 PEVNOSTNÍ VÝPOČET OJNICE:



Obrázek 8: průřez tělem ojnice

### 2.7.1 KONTROLA OJNICE NA VZPĚR PODLE TETMAJERA:

#### PLOCHA PRŮŘEZU U PÍSTNÍ HLAVY:

$$S_o = H \cdot B - H_o \cdot 2 \cdot B_o - \frac{\pi \cdot D_o^2}{4} = 45 \cdot 40 - 25 \cdot 2 \cdot 12,5 - \frac{\pi \cdot 7^2}{4} = 1\,136,52 \text{ mm}^2 \quad (61)$$

#### KVADRATICKÝ MOMENT PLOCHY $J_x$ :

$$J_x = \frac{B \cdot H^3 - 2H_o^3 \cdot B_o}{12} - \frac{\pi \cdot D_o^4}{64} = \frac{40 \cdot 45^3 - 2 \cdot 25^3 \cdot 12,5}{12} - \frac{\pi \cdot 7^4}{64} = 271\,080 \text{ mm}^4 \quad (62)$$

#### KVADRATICKÝ MOMENT PLOCHY $J_y$ :

$$J_y = \frac{2 \cdot H_1 B^3 + H_o B_1^3}{12} - \frac{\pi \cdot D_o^4}{64} = \frac{2 \cdot 10 \cdot 40^3 + 25 \cdot 15^3}{12} - \frac{\pi \cdot 7^4}{64} = 113\,580,06 \text{ mm}^4 \quad (63)$$

#### KONTROLA V ROVINĚ KYVU:

$$i = \sqrt{\frac{J_y}{S}} = \sqrt{\frac{113\,580,06}{1\,136,52}} = 10 \quad (64)$$

$$\lambda = \frac{L_o}{i} = \frac{132}{10} = 13,2 \quad (65)$$

$$\sigma_{kr} = 335 - 0,62 \cdot \lambda = 335 - 0,65 \cdot 13,2 = 326,5 \text{ MPa} \quad (66)$$

$$F_{kr} = \sigma_{kr} \cdot S_o = 326,5 \cdot 1\,136,52 = 371 \text{ kN} \quad (67)$$

$$k = \frac{F_{kr}}{F_{max}} = \frac{371\,000}{66\,523,22} = 5,58 \quad \text{vyhovuje} \quad (68)$$


**KONTROLA V ROVINĚ KOLMÉ NA ROVINU KYVU:**

$$i = \sqrt{\frac{J_x}{S}} = \sqrt{\frac{271\,080}{1\,136,52}} = 15,44 \quad (69)$$

$$L_{red} = \frac{L_0}{2} = \frac{132}{2} = 66 \quad (70)$$

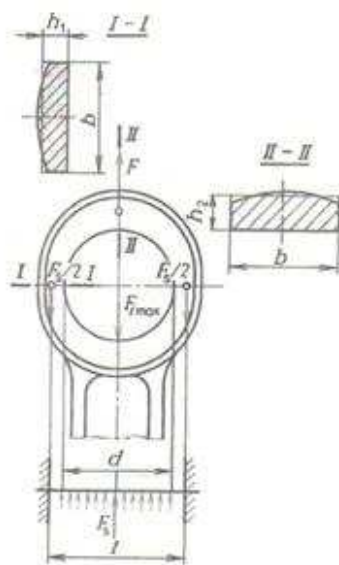
$$\lambda = \frac{L_{red}}{i} = \frac{66}{15,44} = 4,27 \quad (71)$$

$$\sigma_{kr} = 335 - 0,62 \cdot \lambda = 335 - 0,65 \cdot 4,27 = 332,35 \text{ MPa} \quad (72)$$

$$F_{kr} = \sigma_{kr} \cdot S_0 = 332,35 \cdot 1\,136,52 = 378 \text{ kN} \quad (73)$$

$$k = \frac{F_{kr}}{F_{max}} = \frac{378\,000}{66\,523,22} = 5,68 \quad (74)$$

Vyhovuje

**KONTROLA OJNIČNÍHO OKA:**


Obrázek 9: pístní oko ojnice

**KONTROLA OJNIČNÍHO OKA NA OTLAČENÍ:**

$$p = \frac{F_{max}}{d \cdot b} = \frac{66\,523,22}{44 \cdot 42,5} = 35,57 \leq 45 \text{ MPa} \quad (75)$$

Ojniční oko ojnice je dále namáháno setrvačnými silami a to v době horní úvratí při výplachu spalovacího prostoru.


**VÝPOČET TLOUŠTKY POSTRANICE:**

$$\sigma_t = \frac{F'_{sp}}{2 \cdot h_{oo} \cdot b'} \leq \sigma_{d,t} \quad (76)$$

$$h_{oo} = \frac{F'_{sp}}{\sigma_{d,t} \cdot 2 \cdot b'} = \frac{1393}{30 \cdot 2 \cdot 42,5} = 0,6 \text{ mm} \quad (77)$$

Z konstrukčních důvodu volíme  $h_{oo} = 10 \text{ mm}$

**VÝPOČET TLOUŠTKY OJNÍČNÍHO OKA V ČELNÍM PRŮŘEZU:**

$$M_o = \frac{F'_{sp}}{8} \cdot \left( b' - d + \frac{d^2}{3 \cdot b'} \right) = \frac{1393}{8} \cdot \left( 42,5 - 44 + \frac{44^2}{3 \cdot 42,5} \right) = 2905,16 \text{ Nmm} \quad (78)$$

$$\sigma = \frac{M_o}{W_o} = \frac{2905,16}{4 \cdot b' \cdot h_{ooč}} \leq 7 \text{ MPa} \quad (79)$$

$$h_{ooč} = \sqrt{\frac{M_o}{\sigma \cdot b' \cdot 4}} = \sqrt{\frac{2905,16}{7 \cdot 42,5 \cdot 4}} = 1,56 \text{ mm} \quad (80)$$

Z konstrukčních důvodu volíme  $h_{ooč} = 10 \text{ mm}$

**SETRVAČNÁ SÍLA POSUVNÝCH HMOT:**

$$m_r = m'_p + \frac{2}{3} m_o = 1,76 + \frac{2}{3} \cdot 5,8 = 5,63 \text{ kg} \quad (81)$$

$$F'_s = m_r \cdot R \cdot \omega_{max}^2 \cdot (1 + \lambda_o) = 5,63 \cdot 66 \cdot 2,62^2 \cdot (1 + 0,23) = 3137,33 \text{ N} \quad (82)$$



**ZATĚŽUJÍCÍ SÍLA II PRŮŘEZU:**

$$M_{oII} = \frac{F'_S}{2} \cdot \left( \frac{l}{2} - \frac{d}{4} \right) = \frac{3\,135,33}{2} \cdot \left( \frac{110}{2} - \frac{68}{4} \right) = 59\,571,27 \text{ Nmm} \quad (91)$$

**OHYBOVÁ NAPĚTÍ:**

$$\sigma_{oII} = \frac{M_{oII}}{J_{II}} \cdot e_2^{II} = \frac{59\,571,27}{52\,987,26} \cdot 13,95 = 20,2 \leq 100 \text{ MPa} \quad (92)$$

**2.8 KONSTRUKČNÍ NÁVRH KLIKOVÉHO HŘÍDELE:**

Při návrhu hlavních rozměrů klikového hřídele spalovacího motoru vycházíme z hlavních parametrů tj. průměr vrtání  $D$ .

Materiál: 12 060.1 podle nové normy tomu odpovídá materiál 1.0535

$$d_{kh} = 0,63 \cdot D = 0,63 \cdot 110 = 70 \text{ mm} \quad (93)$$

$$l_{kh} = 1,18 \cdot d_{kh} = 1,18 \cdot 70 = 82,6 \text{ mm} \quad (94)$$

Volíme 100 mm

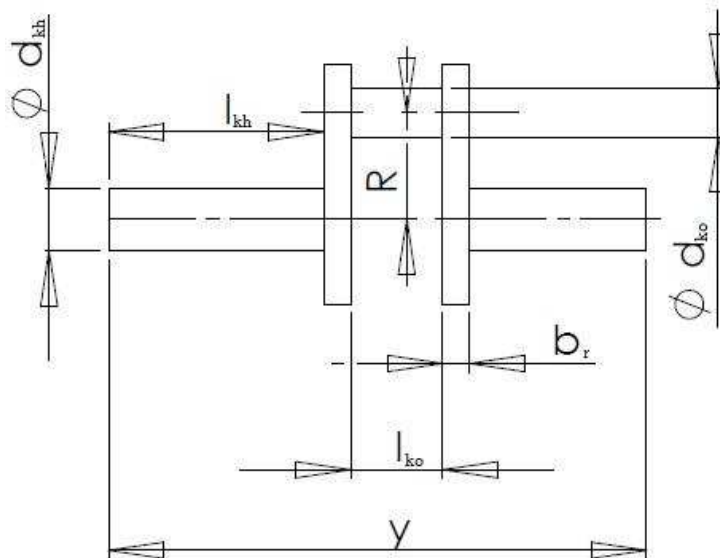
$$d_{ko} = d_{kho} = 61 \text{ mm}$$

$$l_{ko} = l_{kho} = 71 \text{ mm}$$

$$b_r = 0,45 \cdot d_{kh} = 0,45 \cdot 70 = 31,5 \text{ mm} \quad (95)$$

volíme  $b_r = 40 \text{ mm}$

$$R = 66 \text{ mm}$$



Obrázek 11: schéma základních rozměrů klikového hřídele

## 2.9 KONTROLNÍ PEVNOSTNÍ VÝPOČET KLIKOVÉHO HŘÍDELE:

Pevnostní výpočet klikového hřídele patří mezi nejobtížnější. Na klikový hřídel působí síly od tlaku plynů ve spalovacím prostoru, které přenáší ojnice, setrvačné síly od pohybujícího se klikového ústrojí a v neposlední řadě síly a momenty vyvolané torzním a ohybovým kmitáním klikového hřídele. Návrh hlavních rozměrů je spíše předdimenzování součásti a to důvodů větší tuhosti klikového hřídele, tím se dosáhne menší vibrace celého motoru. Při kontrolním pevnostním výpočtu zanedbáváme deformaci klikové skříně, pružnost uložení i nerovnoměrnost opotřebení jednotlivých ložisek.

### 1. KONTROLA NA ZAHŘÁTÍ Z MĚRNÉ TŘECÍ PRÁCE:

#### ČASOVÝ PRŮMĚR SÍLY:

$$F_s = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot p_s = \frac{\pi \cdot 110^2}{4} \cdot 0,525 = 4\,989,24 \text{ N} \quad (96)$$

$p_s = 0,525 \text{ MPa}$  pro naftové motory

#### Hlavní čep:

$$z = \frac{F_s \cdot n}{l_{kh}} = \frac{4\,989,24 \cdot 25}{100} = 1\,247,31 \quad (97)$$

$z = 670 \text{ Až } 1340$  vyhovuje


**OJNIČNÍ ČEP:**

$$z = \frac{F_s \cdot n}{l_{kho}} = \frac{4\,989,24 \cdot 25}{71} = 1\,756,77 \quad (98)$$

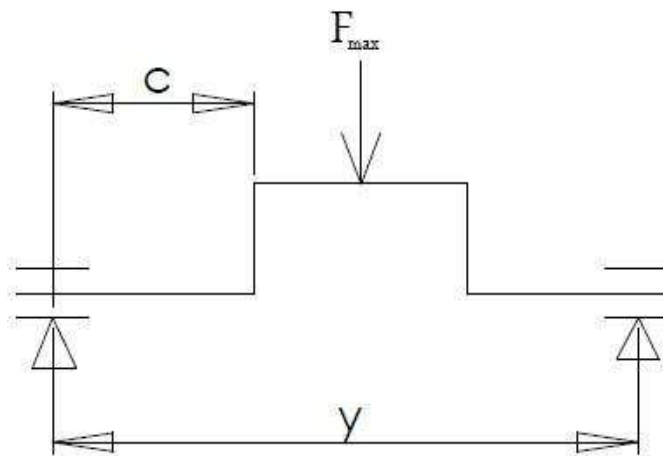
$z = 1\,500$  Až  $2\,170$  vyhovuje

**MĚRNÝ TLAK V HLAVNÍM ČEPU:**

$$k = \frac{F_{max}}{2 \cdot l_{kh} \cdot d_{kh}} = \frac{66\,523,22}{2 \cdot 100 \cdot 70} = 4,75 \quad k=4 \text{ až } 5 \quad (99)$$

**MĚRNÝ TLAK V OJNIČNÍM ČEPU:**

$$k = \frac{F_{max}}{2 \cdot l_{kho} \cdot d_{ko}} = \frac{66\,523,22}{2 \cdot 71 \cdot 61} = 7,68 \quad k=9 \text{ až } 11 \quad (100)$$

**2.9.1 NAMÁHÁ KLIKOVÉHO HŘÍDELE , JE-LI PÍST V HORNÍ MRTVÉ POLOZE (MAXIMÁLNÍ OHYB):**
**OJNIČNÍ ČEP NA OHYB:**


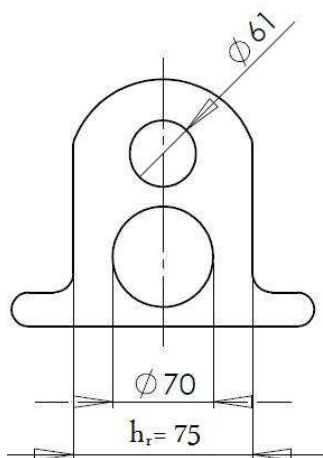
Obrázek 12: schéma zatížení klikového hřídele

$$M_o = W_o \cdot \sigma_o = \frac{F_{max} \cdot y}{4} = \frac{66\,523,22 \cdot 200}{4} = 3,3 \cdot 10^6 \text{ Nmm} \quad (101)$$

$$W_o = 0,1 \cdot d_{ko}^3 = 0,1 \cdot 61^3 = 22\,698 \text{ mm}^3 \quad (102)$$

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} = \frac{3\,300\,000}{22\,698} = 146,53 \text{ MPa} \quad (103)$$

$$\sigma_{d,o} = \frac{0,7 \cdot R_m}{k} \cdot c = \frac{0,7 \cdot 700}{2} \cdot 0,65 = 160 \text{ MPa} \quad (104)$$


**RAMENO KLIKY NA OHYB:**


Obrázek 13:schéma ramena klinky klikového hřídele

$$M_o = \frac{F_{max}}{2} \cdot C = \frac{66\,523,22}{2} \cdot 33 = 1\,097\,633,1 \text{ Nmm} \quad (105)$$

$$W_o = \frac{h_r \cdot b_r^2}{6} = \frac{75 \cdot 40^2}{6} = 20\,000 \text{ mm}^3 \quad (106)$$

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} = \frac{1\,097\,633,1}{20\,000} = 54,88 \text{ MPa} \quad (107)$$

**RAMENO KLIKY NA TLAK:**

$$\sigma_t = \frac{\frac{F_{max}}{2}}{S} = \frac{\frac{66\,523,22}{2}}{3000} = 11,09 \text{ MPa} \quad (108)$$

$$S = b_r \cdot h_r = 40 \cdot 75 = 3000 \text{ mm}^2 \quad (109)$$

**CELKOVÉ NAPĚTÍ:**

$$\sigma = \sigma_o + \sigma_t = 54,88 + 11,09 = 65,97 \text{ MPa} \quad (110)$$

**Hlavní čep:**

V ohybu: ohybový moment stejný jako ve vzorci (105)

$$W_o = 0,1 \cdot d_{kh}^3 = 0,1 \cdot 70^3 = 34\,300 \text{ mm}^3 \quad (111)$$

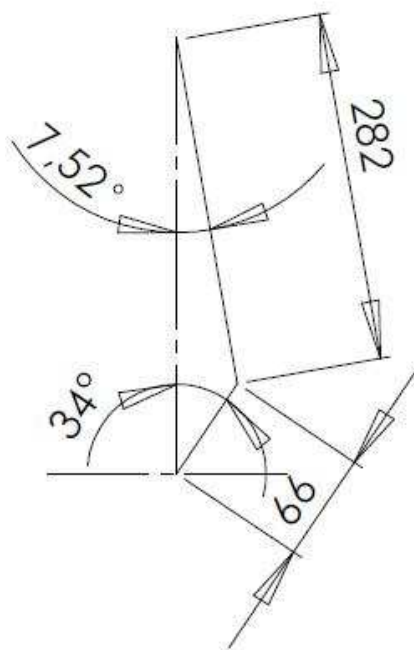
$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} = \frac{1\,097\,633,1}{34\,300} = 32 \text{ MPa} \quad (112)$$

Ve smyku:

$$\tau = \frac{F_{max}}{S} = \frac{66\,523,22}{3\,848,45} = 17,29 \text{ MPa} \quad (113)$$


**VÝLEDNÉ NAPĚTÍ:**

$$\sigma_{\delta_v} = \sqrt{\sigma_o^2 + \tau^2} = \sqrt{32^2 + 17,29^2} = 36,37 \text{ MPa} \quad (114)$$

**2.9.2 NAMÁHÁNÍ KLIKOVÉHO HŘÍDELE, JE-LI PÍST V POLOZE MAXIMÁLNÍ TANGENCIÁLNÍ SÍLY (MAXIMÁLNÍ KROUTICÍ MOMENT):**


Obrázek 14: schéma pozice klikového hřídele a ojnice v poloze maximálního krouťícího momentu

$$P = F_{max} \cdot 0,9 = 66\,523,22 \cdot 0,9 = 59\,870,9 \text{ N} \quad (115)$$

$$R = P \cdot \frac{\cos(\alpha + \beta)}{\cos \beta} = 59\,870,9 \cdot \frac{\cos(34^\circ + 7,52^\circ)}{\cos 7,52^\circ} = 45\,215,7 \text{ N} \quad (116)$$

$$T = P \cdot \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\cos \beta} = 59\,870,9 \cdot \frac{\sin(34^\circ + 7,52^\circ)}{\cos 7,52^\circ} = 40\,031,6 \text{ N} \quad (117)$$


**OJNIČNÍ ČEP:**

Na ohyb:

$$M_o = \frac{R \cdot y}{4} = M_o = \frac{45\,215,7 \cdot 200}{4} = 2,26 \cdot 10^6 \text{ Nmm} \quad (118)$$

$$W_o = 0,1 \cdot d_{ko}^3 = 0,1 \cdot 61^3 = 22\,698 \text{ mm}^3 \quad (119)$$

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} = \frac{2\,260\,785}{22\,698} = 100 \text{ MPa} \quad (120)$$

**VÝSLEDNÉ NAPĚTÍ:**

$$\sigma_{vo} = \sqrt{2 \cdot \sigma_o^2} = \sqrt{2 \cdot 100^2} = 141,42 \text{ MPa} \quad (121)$$

**NA KROUCENÍ OD SÍLY T:**

$$M_k = \frac{T}{2} \cdot R = \frac{45\,215,7}{2} \cdot 66 = 1,5 \cdot 10^6 \text{ Nmm} \quad (122)$$

$$W_k = \frac{\pi \cdot d_{ko}^3}{16} = \frac{\pi \cdot 61^3}{16} = 44\,567,62 \text{ mm}^3 \quad (123)$$

$$\tau_k = \frac{M_k}{W_k} = \frac{1,5 \cdot 10^6}{44\,567,62} = 33,66 \text{ MPa} \quad (124)$$

**VÝSLEDNÉ NAPĚTÍ V OHYBU:**

$$\begin{aligned} \sigma_v &= 0,35 \cdot \sigma_{vo} + 0,65 \cdot \sqrt{\sigma_{vo}^2 + 4 \cdot \tau_k^2} = 0,35 \cdot 141,42 + 0,65 \cdot \sqrt{141,42^2 + 4 \cdot 33,66^2} = \\ &= 151 \text{ MPa} \leq 160 \text{ MPa} \end{aligned} \quad (125)$$

**RAMENO KLIKY NA OHYB:**

$$M_o = T \cdot R = 40\,031 \cdot 66 = 2,7 \cdot 10^6 \quad (126)$$

$$W_o = \frac{b_r \cdot h_r^2}{6} = \frac{40 \cdot 75^2}{6} = 37\,500 \text{ mm}^3 \quad (127)$$

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} = \frac{2,7 \cdot 10^6}{37\,500} = 72 \text{ MPa} \quad (128)$$

**OD SÍLY R:**

$$M_o = \frac{R}{2} \cdot C = \frac{45\,215,7}{2} \cdot 33 = 746\,059 \text{ Nmm} \quad (129)$$

$$W_o = \frac{b_r^2 \cdot h_r}{6} = \frac{40^2 \cdot 75}{6} = 20\,000 \text{ mm}^3 \quad (130)$$

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} = \frac{746\,059}{20\,000} = 37,3 \text{ MPa} \leq 160 \text{ MPa} \quad (131)$$

**HLAVNÍ ČEP:**

Na ohyb od síly R

$$M_o = 746\,059 \text{ Nmm}$$

$$W_o = 34\,300 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} = \frac{746\,059}{34\,300} = 21,75 \text{ MPa}$$

Na ohyb od síly T:

$$M_o = \frac{T}{2} \cdot C = \frac{40\,031,6}{2} \cdot 33 = 660\,521,4 \text{ Nmm} \quad (132)$$

$$W_o = 34\,300 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} = \frac{660\,521,4}{34\,300} = 19,26 \text{ MPa} \quad (133)$$

$$\sigma_c = \sqrt{2 \cdot \sigma_o^2} = \sqrt{2 \cdot 19,26^2} = 27,23 \text{ MPa} \leq 160 \text{ MPa} \quad (134)$$

Na krut od síly T:

$$M_k = T \cdot R = 40\,031,6 \cdot 66 = 2,7 \cdot 10^6 \text{ Nmm} \quad (135)$$

$$W_k = \frac{\pi \cdot d_{kh}^3}{16} = \frac{\pi \cdot 70^3}{16} = 67\,347,9 \text{ mm}^3 \quad (136)$$

$$\tau_k = \frac{M_k}{W_k} = \frac{2,7 \cdot 10^6}{67\,347,9} = 40,1 \text{ MPa} \quad (137)$$

**VÝSLEDNÉ NAMÁHÁNÍ V HLAVNÍM ČEPU:**

$$\begin{aligned} \sigma_v &= 0,35 \cdot \sigma_c + 0,65 \cdot \sqrt{\sigma_c^2 + 4 \cdot \tau_k^2} = 0,35 \cdot 27,23 + 0,65 \cdot \sqrt{27,23^2 + 4 \cdot 40,1^2} = \\ &= 64,58 \text{ MPa} \leq 160 \text{ MPa} \end{aligned} \quad (138)$$



### 3 NÁVRH HMOTNOSTI SETRVAČNÍKU A VYVÁŽENÍ KLIKOVÉHO MECHANISMU:

Setrvačnick působí jako akumulacní zařízení, které je schopné přijímat ale i dodávat kinetickou energii. Setrvačnick přijímá kinetickou energii v době hoření a expanze, a dodává ji v dobách sání, stlačení a výfuku. Dále je setrvačnick důležitý z konstrukčního hlediska a to že je součástí spojky a dále se na něm vyskytuju ozubený věnec který zapadá do elektrického spouštěče. Dále setrvačnick slouží pro akumulaci energie pro startování spalovacího motoru.

$$m_s = \frac{c \cdot P_e}{n^3 \cdot R_s^2 \cdot \sigma_s} = \frac{80\,000 \cdot 11\,000}{25^3 \cdot 550^2 \cdot 0,005} = 37,3 \text{ kg} \quad (139)$$

c .....pro jednoválec  $80\,000 \text{ Kg} \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{KW}^{-1} \cdot \text{s}^{-3}$

#### HMOTNOST ROTUJÍCÍCH ČÁSTÍ KLIKOVÉHO MECHANISMU:

a) odstředivé síly:

$$m_{os} = m_{\zeta} + \frac{1}{3} m_o = 1 + \frac{1}{3} \cdot 5,8 = 3 \text{ kg} \quad (140)$$

$$m_{os} \cdot R = m_{pr} \cdot R_1 \quad (141)$$

$$\frac{m_{os} \cdot R}{R_1} = m_{pr}$$

$$m_{pr} = \frac{3 \cdot 66}{62} = 3,2 \text{ kg}$$

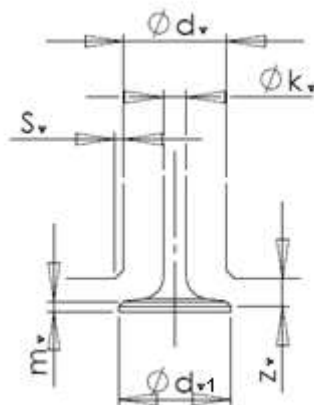
b) setrvačné síly:

$$m_{ss} = m_p + \frac{2}{3} m_o = 1,76 + \frac{2}{3} \cdot 5,8 = 5,62 \text{ kg} \quad (142)$$



## 4 VENTIL

### 4.1 KONSTRUKČNÍ NÁVRH VENTILU



Obrázek 15: rozměry ventilu

#### PRŮMĚR POTRUBÍ:

$$d_v = 0,4 \cdot D = 0,4 \cdot 110 = 22 \text{ mm} \quad (143)$$

#### SÍLA TALÍŘE:

$$m_v = \frac{d_v}{7,3} = \frac{22}{7,3} = 3 \text{ mm} \quad (144)$$

#### NEJVĚTŠÍ ZDVIH:

$$z_v = 0,25 \cdot d_v = 0,25 \cdot 22 = 5,5 \text{ mm} \quad (145)$$

#### STOPKA VENTILU:

$$k_v = 0,25 \cdot d_v = 0,25 \cdot 22 = 5,5 \text{ mm} \quad (146)$$

#### ŠÍŘKA SEDLA:

$$s_v = \frac{d_v}{50} + 2 = \frac{22}{50} + 2 = 2,5 \text{ mm} \quad (147)$$

### 4.2 KONTROLA PRŮTOKU VZDUCHU KOLEM VENTILU:

$$S_{\text{teoretické}} = \frac{S_p \cdot c_s}{v} = \frac{9\,503,32 \cdot 6,6}{45} = 1\,393,82 \text{ mm}^2 \quad (148)$$

$$S_{1\text{ventilu}} = \pi \cdot d_v \cdot z_v \cdot \cos \alpha = \pi \cdot 22 \cdot 5,5 \cdot \cos 15^\circ = 366,99 \text{ mm}^2 \quad (149)$$

$$S_{\text{skutečné}} = S_{1\text{ventilu}} \cdot 4 = 366,99 \cdot 4 = 1\,468 \text{ mm}^2 \quad (150)$$



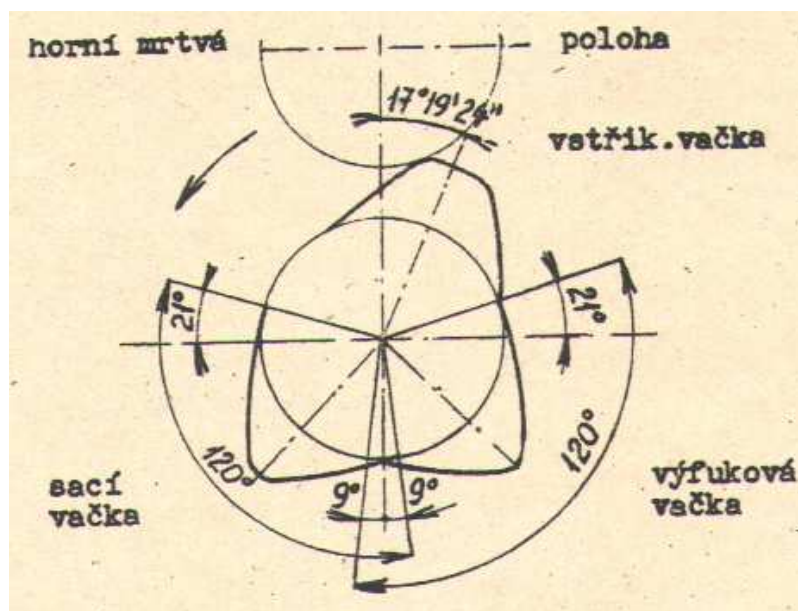
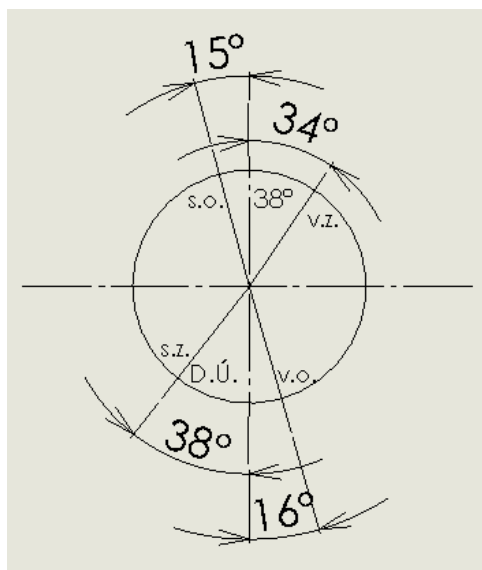
## 5 VAČKA:

### PRŮMĚR VAČKY:

$$d_{vačka} = 0,25 \cdot 110 = 27,5 \text{ mm}$$

(151)

### 5.1 POSTAVENÍ VAČKY:



Obrázek 16:postavení vačky



## ZÁVĚR

V části výpočtové popřípadě návrhové jsem na další vylepšení popřípadě zjednodušení nepřišel. Veškeré návrhové vzorce jsou dány zkušenostmi z testování jednotlivých součástí spalovacího motoru. V části konstrukční, což půjde vidět na výkresech přidaných v příloze, je pár odlišností od tradičních způsobů. Asi největší je v části rozvodů, respektive v oblasti vačky. Použil jsem rozvod DOHC kde jsem se setkal s problémem použití dvou vaček. To jsem vyřešil přidáním třech ozubených kol v oblasti rozvodů. Dále důvod použití rozvodů 4 ventilového je proto, že podle výpočtů potřebného pro výplach motoru bych potřeboval celkem velký průměr ventilu, což byl problém uspořádat v prostoru hlavy. To to vše jde vidět na výkresové dokumentaci.



## POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] STONE , Richard.Introduction to Internal Combustion Engines. 3rd edition. Hampshire: Palgrave, 1999. 641 s.ISBN 0-333-74013-0.
- [2] HEISLER, Heinz. Advanced Engine Technology.Oxford: Butterworth-Heinemann, 2002.794 s. ISBN 1-56091-734-2
- [3] F.Machek, Spalovací motory 1954
- [4] Kolektiv, Naftové motory I,II a II díl, SNTL 1955
- [5] Jan Leinveber-Pavel Vávra, Strojnické tabulky,Druhé doplněné vydání , ALBRA,2005



## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

$b$	[mm]	výška pístního kroužku
$b'$	[mm]	šířka ojniční hlavy ojnice
$b_r$	[mm]	tloušťka ramena kliky
$c_s$	[m/s]	střední pístová rychlost
$c$	[mm]	mezera mezi válcem a pístem
$c'$	[g/kW]	spec. spotřeba paliva
$d$	[m]	Průměr vrtání válce
$d'$	[mm]	vnitřní průměr čepu
$d_{chv}$	[mm]	průměr přívodního potrubí chladící kapaliny do čerpadla
$d_d$	[mm]	průměr dýzi
$d_{kh}$	[mm]	průměr klikového ložiska klikové hřídele
$d_{kho}$	[mm]	průměr klikové hlavy ojnice
$d_{ko}$	[mm]	průměr ojničního ložiska klikové hřídele
$d_p$	[mm]	průměr pístku čerpadla
$d_v$	[mm]	průměr sacího potrubí
$d_{vačka}$	[mm]	minimální průměr vačky
$D$	[mm]	vnější průměr čepu
$D_\xi$	[mm]	průměr šroubu pro utažení hlavy motoru
$e$	[mm]	délka styčných ploch mezi pístním čepem a pístních ok pístu
$f$	[mm <sup>2</sup> ]	množství vstříknutého paliva
$F_h$	[N]	zatěžující síla I průřezu ojnice
$F_{max}$	[N]	maximální síla na píst
$F'_s$	[N]	setrvačná síla posuvných hmot
$F'_{sp}$	[N]	velikost setrvačné síly
$h$	[mm]	zdvih pístku čerpadla
$h_{oo}$	[mm]	tloušťka postranice ojničního oka v bočním pohledu
$h_{ooč}$	[mm]	tloušťka postranice ojničního oka v čelním pohledu
$h_r$	[mm]	šířka ramena kliky
$H_{m2}$	[m]	výška můstku
$H_p$	[mm]	výška pístu
$i$	[-]	Počet válců
$k_v$	[mm]	průměr dříku ventilu
$l$	[m]	zdvih pístu
$l'$	[mm]	vnitřní vzdálenost mezi pístními oky
$l_c$	[mm]	celková délka čepu



$l_{kh}$	[mm]	délka klikového ložiska klikové hřídele
$l_{kho}$	[mm]	délka klikové hlavy ojnice
$l_{ko}$	[mm]	délka ojnicního ložiska klikové hřídele
L	[m]	zdvih pístu
$L_o$	[mm]	délka ojnice
$m_{\xi}$	[kg]	hmotnost pístního čepu
$m_{chv}$	[kg]	množství chladící kapaliny
$m_o$	[kg]	hmotnost ojnice
$m_{os}$	[kg]	hmotnost odstředivé síly
$m_p$	[kg]	hmotnost pístu
$m'_p$	[kg]	hmotnost pístní skupiny
$m_{pr}$	[kg]	hmotnost protizávaží na klikovém hřídeli
$m_r$	[kg]	hmotnost rotujících hmot
$m_s$	[kg]	hmotnost setrvačníku
$m_{ss}$	[kg]	hmotnost setrvačných síly
$m_v$	[mm]	síla talíře ventilu
$M_{oII}$	[Nm]	zatěžující moment II průřezu ojnice
n	[s <sup>-1</sup> ]	otáčky motoru
N	[N]	radiální síla
o	[-]	objemová účinnost čerpadla
P	[MPa]	tlak na těsnící plochu
pe	[W]	Efektivní výkon
Pe	[MPa]	nejvyšší indikovaný tlak
q	[mm <sup>3</sup> ]	množství vstříknutého paliva
R	[mm]	poloměr kliky
$R_1$	[mm]	vzdálenost osy hlavního ložiska klikového hřídele od těžiště protizávaží
$R_s$	[mm]	střední průměr věnce setrvačníku
s	[mm]	tloušťka dna pístu
$s_{min}$	[mm]	nejmenší tloušťka pláště pístu
$s_o$	[mm]	tloušťka ostatních stěn
$s_p$	[g/cm <sup>3</sup> ]	spec. váha paliva
$s_v$	[mm]	šířka sedla pro ventil
S	[mm]	šířka pístního kroužku
$S_{1ventilu}$	[mm <sup>2</sup> ]	průřez jednoho ventilu
$S_m$	[mm <sup>2</sup> ]	průřez v místě vetknutí
$S_{skutečné}$	[mm <sup>2</sup> ]	průřez všech 4 ventilů
$S_{teoretické}$	[mm <sup>2</sup> ]	průřez potřebný pro výplach motoru



$t$	$[s^{-1}]$	doba vstřiku paliva
$t_{kho}$	$[mm]$	tloušťka ocelových pánví klikové hlavy ojnice
$t_{pho}$	$[mm]$	tloušťka bronzového pouzdra v klikové hlavě
$t_{sp}$	$[mm]$	tloušťka stěny hlavy uzavírající spalovací prostor
$t_{vv}$	$[mm]$	tloušťka stěny uprostřed vloženého válce
$ú$	$[-]$	kontrakce dýzi
$v$	$[m/s]$	rychlost vstřiku paliva
$V_k$	$[m^3]$	kompresní objem
$V_z$	$[m^3]$	zdvihový objem
$x$	$[mm]$	vůle v zámku pístního kroužku
$z_v$	$[mm]$	největší zdvih ventilu
$\alpha$	$[^\circ]$	natočení klikového hřídele
$\beta$	$[^\circ]$	natočení ojnice
$\varepsilon$	$[-]$	kompresní poměr
$\lambda$	$[-]$	Zdvihový poměr
$\lambda_o$	$[-]$	ojniční poměr
$\omega_{max}$	$[s^{-1}]$	maximální úhlová rychlost otáčení klikového hřídele
$\sigma_s$	$[-]$	přípustná nerovnoměrnost setrvačníku



---

## SEZNAM PŘÍLOH

- [1] Výkres pístu
- [2] Výkres ojnice
- [3] Výkres klikového hřídele
- [4] Výkres sestavy jednoválcového vznětového motoru