

# VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra strojů průmyslové  
dopravy

Školní rok: 1990/91

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

pro

Miroslav Š u l c

obor

Spalovací motory

Vedoucí katedry Vám ve smyslu zákona č. 172/1990 Sb. o vysokých školách určuje tuto diplomovou práci:

Název tématu: Parametry odstředivého čističe oleje

### Zásady pro vypracování:

1. S použitím literární rešerše navrhnete výpočet základních parametrů (otáčky rotoru, průtok oleje atd.) odstředivého čističe oleje.
2. Navržený výpočet aplikujte na čistič JIKOV 3929 s uvažováním provozních a konstrukčních parametrů.
3. Navrhnete experimentální ověření vypočtených hodnot a experiment realizujte.
4. Formulujte závěry a event. doporučení pro další činnost v dané oblasti.

V 107/91 S

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ  
Ústřední knihovna  
LIBEREC 1, STUDENTSKÁ 8  
PSČ 461 17

KSD / SPD

Rozsah grafických prací:

Rozsah průvodní zprávy: 30 - 40 stran

Seznam odborné literatury:

ADAMOVIČ, A.V., GRIGORJEV, M.A., LEBEDĚV, S.A.:

Avtomobilnaja i traktornaja promyšlenost, 1955, č.8, str.3

GRIGORJEV, M.A.: Rasčet centroběžnoj očistki masla,

Avtomobilnaja promyšlenost, 1959, č.12, str. 24

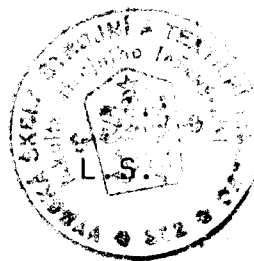
FIŠER, R.: Odstředivý čistič oleje. /Diplomová práce/.

Liberec 1989 - VŠST, fakulta strojní.

Vedoucí diplomové práce: Doc. Ing. Oldřich Červinka, CSc,  
Konzultant:

Zadání diplomové práce: 31.10.1990

Termín odevzdání diplomové práce: 3.5.1991



Doc. Ing. Stanislav Beroun, CSc.

Vedoucí katedry

Prof. Ing. Zdeněk Kovář, CSc.

Děkan

V Liberci

dne 31. 10. 1990

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra strojů průmyslové dopravy

Obor 23-20-8

stroje a zařízení pro strojírenskou výrobu

ZAMĚŘENÍ

stroje a zařízení pro průmyslovou dopravu

PARAMETRY ODSTŘEDIVÉHO ČISTIČE OLEJE

KSD 229

Miroslav ŠULC

Vedoucí práce: Doc. Ing. Oldřich Červinka, CSc. VŠST Liberec

Rozsah práce:	Počet stran:	52
	Počet tabulek:	8
	Počet obrázků:	3
	Počet grafů:	2
	Počet příloh:	3

DT: 621.43.729.11

3.května 1991

Místopřísežné prohlášení

Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

Miroslav Tůma

V Liberci 3.5.1991

## O B S A H

### Úvod

1. Stanovení základních parametrů odstředivého čističe oleje
  - 1.1 Princip činnosti odstředivého čističe oleje s reaktivním náhonem
2. Teoretický výpočet odstředivého čističe oleje s reaktivním náhonem
  - 2.1 Kinematické a dynamické poměry
  - 2.2 Síly působící na element nečistoty
  - 2.3 Postupné děje v rotoru odstředivého čističe
    - 2.3.1 Filtrační účinnost čističe
  - 2.4 Odstředivé čišění celého objemu v systému
    - 2.4.1 Zaplnění objemu rotoru nečistotami
3. Vliv konstrukčních a fyzikálních parametrů čističe a oleje na jeho funkci
  - 3.1 Tlak oleje před čističem
  - 3.2 Viskozita oleje
  - 3.3 Velikost trysek v rotoru
4. Aplikace výpočtu na odstředivý čistič JIKOV 3929
  - 4.1 Funkce odstředivého čističe
  - 4.2 Technické údaje odstředivého čističe
  - 4.3 Výpočet parametrů odstředivého čističe
    - 4.3.1 Otáčky rotoru
    - 4.3.2 Tlak oleje na vstupu do čističe
    - 4.3.3 Optimální rameno reaktivního momentu
    - 4.3.4 Výkon oleje na výtoku z trysek
    - 4.3.5 Mezní velikost částic zachycených v čističi
    - 4.3.6 Doba setrvání znečišťujících částic v oleji
    - 4.3.7 Odlučivost čističe oleje v rotoru a intenzita čišění
    - 4.3.8 Koncentrace částic nečistot na vstupu do čističe

- 4.3.9 Množství nečistot usazených v rotoru
- 4.3.10 Zaplnění objemu rotoru nečistotami
- 4.4 Grafická závislost otáček rotoru na tlaku oleje
  
- 5. Zkušební zařízení pro ověření funkčních parametrů odstředivého čističe oleje
  - 5.1 Měřené veličiny
  - 5.2 Popis zkušebního zařízení
  - 5.3 Postup zkoušky
  - 5.4 Výsledky zkoušky
  
- 6. Změna teoretického výpočtu odstředivého čističe oleje
  
- 7. Závěr

Použitá literatura

## Použité veličiny

- $a$  [N·m] ..... odporový moment při počátečních otáčkách rotoru
- $a_0$  [kg/s] ..... rychlost znečišťování oleje nečistotami
- $a_1$  [l] ..... koeficient, který charakterizuje pohyb částic po vnitřní straně rotoru
- $a_{0i}$  [kg/s] ... rychlost znečišťování oleje nečistotami s poloměrem  $\varrho_i$
- $b$  [N·m·min]... rychlost narůstání odporového momentu
- $dc$  [Pa] ..... derivace tlaku daného elementární vrstvou kapaliny
- $d_\zeta$  [m] ..... charakteristický rozměr (průměr) částice
- $d_T$  [m] ..... průměr trysky
- $f$  [m<sup>2</sup>] ..... průřez trysky
- $g$  [m/s<sup>2</sup>] ..... gravitační zrychlení
- $g_i$  [l] ..... poměrný obsah částic nečistot s poloměrem  $\varrho_i$  v celkovém množství nečistot
- $\dot{g}_z$  [kg] ..... množství odstředěných částic nečistot z oleje při jednom průchodu přes rotor
- $\Delta g_z$  [kg] ..... množství částic nečistot zachycených v odstředivém čističi v suché fázi
- $h$  [m] ..... střední výška rotoru
- $k$  [l/s] ..... pomocný koeficient
- $k_1$  [l] ..... korekční součinitel
- $l$  [m] ..... vzdálenost osy otáčení od osy trysky
- $l_1$  [m] ..... poloměr hřídele rotoru
- $l_0$  [m] ..... malý vnitřní poloměr rotoru
- $l_{opt}$  [m] ..... optimální vzdálenost osy otáčení od osy trysky
- $l_{opt(p_1)}$  [m]... optimální rameno reaktivního momentu v důsledku tlaku oleje
- $l_r$  [m] ..... velký vnitřní poloměr rotoru
- $l_{stř}$  [m] ..... střední poloměr rotoru
- $m$  [kg/s] ..... množství oleje vytékajícího z trysky
- $m_\zeta$  [kg] ..... hmotnost částic nečistot

$m_s [l]$ .....	poměr hmotnosti vlhkých usazenin v rotoru ku hmotnosti suché fáze
$n [l/min]$ .....	otáčky rotoru
$n_1 [l]$ .....	celkové množství ekvivalentních poloměrů různých částic nečistot
$p [Pa]$ .....	tlak oleje před otvorem trysky
$p_1 [Pa]$ .....	tlak oleje na vstupu do čističe
$\Delta p_1 [Pa]$ .....	ztráta tlaku oleje při průchodu rotorem
$\Delta p_u [Pa]$ .....	přírůstek tlaku oleje vlivem působení odstředivé síly
$q [m/kg]$ .....	převodní součinitel
$r [m]$ .....	poloměr vrstvy kapaliny
$r_\zeta [m]$ .....	vzdálenost částice nečistoty od osy otáčení rotoru
$t [s]$ .....	doba provozu čističe
$t_{max} [s]$ .....	maximální doba pobytu částic nečistot v oleji
$t_0 [^\circ C]$ .....	teplota oleje
$t_{stř} [s]$ .....	střední doba pobytu částic nečistot v oleji
$v [m/s]$ .....	rychlost vylučování částic v odstředivém poli
$v_c [m/s]$ .....	rychlost proudu oleje v trysce
$v_\zeta [m/s]$ .....	rychlost pohybu částic nečistoty
$v_l [m/s]$ .....	obvodová rychlost otáčející se trysky
$v_0 [m/s]$ .....	rychlost vylučování částic v gravitačním poli
$v_{stř} [m/s]$ ...	střední rychlost vylučování částic v odstře- divém poli
$x [%]$ .....	celková koncentrace částic nečistot na vstupu do čističe
$x_1 [%]$ .....	množství přivezených nečistot
$x_c [kg]$ .....	celkové množství částic nečistot
$x_f [%]$ .....	množství odcházejících nečistot
$x_i [kg]$ .....	množství částic nečistot o poloměru $\rho_i$
$x_0 [%]$ .....	počáteční koncentrace částic nečistot v oleji (v čase $t = 0$ )
$x_{0i} [%]$ .....	počáteční koncentrace částic nečistot v oleji s poloměrem $\rho_i$



$x_t$  [%] ..... koncentrace částic nečistot v oleji  
v čase  $t$   
 $x_z$  [%] ..... množství zschycených nečistot  
 $B$  [m/s] ..... číslo odkalení  
 $B_{0.5}$  [m/s] ..... číslo odkalení při 50% zaplnění rotoru  
nečistotami  
 $E_c$  [kg<sup>2</sup>/m<sup>5</sup>]... rozdílnost směsi  
 $F$  [N] ..... reaktivní síla proudu oleje vytékajícího  
z trysky  
 $F_r$  [l] ..... faktor rozdělení  
 $F_{rstř}$  [N] ..... střední faktor rozdělení  
 $G_o$  [kg] ..... hmotnost oleje v systému  
 $K_t$  [l] ..... poměrné snížení koncentrace nečistot v oleji  
 $K_{ti}$  [l] ..... poměrné snížení koncentrace nečistot v oleji  
s poloměrem  $\varrho_i$   
 $M_a$  [N·m] ..... moment odpovídající aerodynamickému odporu  
otáčejícího se rotoru  
 $M_c$  [N·m] ..... odporový moment  
 $M_n$  [N·m] ..... moment odpovídající tření v ložiskách rotoru  
a také tření oleje o rotující součásti  
 $M_r$  [N·m] ..... hnací reaktivní moment  
 $M_x$  [N·m] ..... moment odpovídající usazujícím částicím,  
které znečišťují vnitřní stěny rotoru  
 $N_r$  [W] ..... výkon oleje na výtoku z obou trysek  
 $N_{rmax}$  [W] ..... maximální výkon oleje na výtoku z trysek  
 $Q$  [m<sup>3</sup>/s] ..... sekundový objemový průtok oleje přes obě  
trysky  
 $Q_{kr}$  [m<sup>3</sup>/s] ... kritický průtok oleje v rotoru odstředivého  
čističe  
 $Q \cdot \varphi$  [m<sup>3</sup>/s] ... intenzita čistění  
 $T$  [N] ..... odstředivá síla působící na element nečistoty  
 $\Delta V$  [%] ..... zaplnění objemu rotoru nečistotami za dobu  
provozu čističe  
 $Z$  [N] ..... odporová hydraulická síla působící na  
částice nečistoty

- $\Delta$  [kg/m<sup>3</sup>] ..... rozdíl měrných hmotností částic nečistot  
a oleje  
 $\xi$  [1] ..... součinitel stlačení proudu oleje vytékajícího  
z trysky  
 $\mu$  [Pa·s] ..... dynamická viskozita oleje  
 $\mu_1$  [1] ..... průtokový součinitel trysky  
 $\nu$  [m<sup>2</sup>/s] ..... kinematická viskozita oleje  
 $\rho$  [kg/m<sup>3</sup>] ..... hustota oleje  
 $\rho_{20}$  [kg/m<sup>3</sup>] ... hustota oleje při 20°C  
 $\rho_e$  [m] ..... ekvivalentní poloměr částice nečistoty  
 $\rho_i$  [m] ..... poloměr i-té částice nečistoty  
 $\rho_k$  [m] ..... mezní poloměr částic vyloučených v rotoru  
 $\rho_N$  [m] ..... poloměr částic nečistot v oleji  
 $\rho_s$  [kg/m<sup>3</sup>] ... hustota usazenin v rotoru  
 $\rho_t$  [kg/m<sup>3</sup>] ... hustota oleje při různých teplotách  $t$   
 $\tau$  [s] ..... čas pobytu suspenze v silovém poli rotoru  
 $\varphi$  [1] ..... odlučivost čističe za jeden průchod oleje  
přes rotor  
 $\varphi_i$  [1] ..... odlučivost čističe od částic nečistot daných  
poloměrem  $\rho_i$   
 $\psi$  [1] ..... koeficient hydraulických ztrát tlaku od  
vtoku oleje do odstředivého čističe do  
ústí trysky  
 $\omega_1$  [1/s] ..... úhlová rychlost otáčení rotoru  
 $\omega_2$  [1/s] ..... úhlové rychlost proudu oleje protékajícího  
rotorem  
 $\omega_{kr}$  [m/s] .... kritické rychlost proudu oleje protékajícího  
rotorem  
 $\Omega$  [m<sup>3</sup>] ..... objem rotoru

## Ú v o d

V rámci snižování spotřeby motorového oleje, pracnosti a nákladů na plánovanou údržbu a běžné opravy, je snaha zavádět do provozu určitá opatření. Vedle snižování vlastní spotřeby oleje a snižování obsahu olejové náplně v motoru se na úsporách motorového oleje nejvýrazněji projeví prodloužení intervalu výměny. Toto prodloužení výměn oleje však vyžaduje použití kvalitních plnoprůtočných a odtokových filtrů. Použití odstředivých čističů oleje v obtokové větvi značně přispívá k lepší filtraci oleje. Hlavně filtrací kovových částic, které jsou mnohdy menší než  $3\mu\text{m}$  a tudíž je nelze odstranit plnoprůtočnými filtry s výměnnou papírovou vložkou. Tyto částice se nejen vtiskují do kluzných ploch motorů, ale působí i na editiva, které tak přestanou plnit svoji funkci.

Odstředivé čističe filtrují olej od samého počátku provozu motoru, zatímco filtrační papírové vložky se musejí částečně zaplnit, aby měly optimální filtrační schopnost, čímž je motor dostatečně chráněn v době záběhu, kdy dochází k jeho vnějšímu opotřebení. Odstředivé čističe oleje mají velkou čisticí kapacitu - zachytí pětkrát více nečistot, než klasické papírové vložky stejných rozměrů. V současné době má většina odstředivých čističů oleje filtrační schopnost (  $2 \div 5$  )  $\mu\text{m}$  pro kovové částice a (  $4 \div 8$  )  $\mu\text{m}$  pro anorganické částice.

Stav filtrace oleje byl zvláště po zavedení editivovaných olejů, v Československu neuspokojivý a zaostával za světovou úrovní až do 50. let, kdy byl v ÚVMV Praha vyřešen odstředivý čistič oleje a to obtokový i plnoprůtočný. Jako první začala odstředivé čističe oleje vyrábět anglická firma GLACIER a posléze v její licenci západoněmecká firma MANN. V roce 1953 začal výzkum a vývoj těchto čističů v Sovětském svazu v moskevských výzkumných ústavech NAMI ( obtokové čističe ) a NATI ( plnoprůtočné čističe ).

V Československu začal vývoj odstředivých čističů oleje v roce 1955 a v roce 1958 byly zhotoveny a odzkoušeny 3 typy plnoprátočných čističů:

1. provedení s mechanickým náhonem;
2. provedení s náhonem turbínkou;
3. provedení s reaktivním náhonem.

Už zkoušky ukázaly velké výhody těchto čističů a to:

- a) velkou jímotelnost;
- b) prakticky neomezenou životnost;
- c) stejnoměrnou filtrační účinnost během provozu;
- d) snadnou obsluhu;
- e) vysokou filtrační schopnost.

Tyto výhody se výrazně projeví ve dvou až třinásobném snížení opotřebení motoru. Jejich výroby se ujal n.p. Motor České Budějovice.

Z hlediska ekonomického, provozního a ekologického je nejvýhodnější odstředivý čistič s reaktivním náhonem. Jeho výhody jsou podrobně zpracovány v kapitole 1.1.

Odstředivé čističe oleje se dnes používají hlavně u motorů nákladních vozů a traktorů, ale není zvlástoností jejich použití u vozů osobních či dodávkových. Tyto čističe jsou do budoucna velice perspektivní náhradou za klasické čističe s výměnnými papírovými vložkami a to pro své výhody z hlediska provozního, ekonomického a v neposlední řadě i z hlediska ekologického.

## 1. S t e n o v e n í \_ z á k l a d n í c h \_ p a r a - m e t r ů \_ o d s t ř e d i v é h o \_ č i s t i č e o l e j e

Snahou je navrhnout a vyrobit odstředivé čističe co nejúčinnější, t.j. dosáhnout co nejvyšší rychlostní charakteristiky rotoru a co nejlepší čisticí účinnosti. Je třeba dosáhnout maximálních otáček rotoru při minimálním průtoku oleje  $Q$  a minimálním tlaku oleje  $p_1$ .

Čisticí účinnost rotoru je možno ovlivňovat vhodným uspořádáním proudění oleje v rotoru. Z těchto důvodů byly sledovány vlivy jednotlivých konstrukčních úprav.

<sup>žáných?</sup>  
Výsledky zkoušek se zpracují do rychlostní charakteristiky čističe (t.j. vzájemné závislosti otáček rotoru  $n$  na vstupním tlaku  $p_1$ , na průtočném množství oleje  $Q$ ) a z ní vyloučnou konstrukční požadavky.

### 1.1 Princip činnosti odstředivého čističe oleje s reaktivním náhonem

Odstředivé čističe oleje s reaktivním náhonem se v současné době vyrábějí jako obtokové a plnoprůtočné. U obtokového provedení je veškerý olej procházející rotorem použit k pohonu rotoru, přičemž po projití tryskami odchází již bez tlakové energie zpět do olejové vany. Při plnoprůtočném provedení je část oleje, která prošla rotorem, vedena tlakovým systémem přímo k mazaným místům motoru (zhruba 70 %). Druhá část oleje (zhruba 30 %) se využívá k pohonu rotoru, přičemž koná stejnou dráhu, jako olej odstředivého čističe zepojeného do obtoku.

Princip činnosti odstředivého čističe oleje zepojeného do obtoku je podrobně popsán v kapitole 4.1.

Výhodou těchto čističů je to, že obě ložiskové vložky jsou uloženy v jediném detailu, což má kromě odstranění křížení ložiskových pouzder při montáži ještě tu výhodu, že olej vstupuje do vnitřního prostoru rotoru roztočen souhlasně se smyslem otáček rotoru, což vede k jeho snadnějšímu a rychlejšímu odstředění.

Kromě podstatného snížení opotřebení hlavních součástí motoru, oddálení generální opravy a tím i snížení provozních nákladů motoru, vykazují odstředivé čističe s reaktivním náhonem ve srovnání s jinými čističi oleje řadu konstrukčních i ekonomických výhod, projevujících se již při zabudování čističe do motoru a při provádění údržby.

Jejich obecnou výhodou je, že čistí účinněji a jemněji. Právě nejvíce škodlivé kovové částice a silně abra-

zivní zrnka prachu jsou jako specificky nejtěžší z oleje odstraňovány nejdříve. Čističe nejsou přitom choulostivé na obsluhu. Bylo-li opomenuto vyčistit rotor ve stanovené lhůtě, pracuje čistič dále, i když se sníženou účinností.

Při srovnání s odstředivými čističi s mechanickým pohonem je opět výhodné, že reaktivní odstředivé čističe nevyžadují mechanický ani jiný vnější pohon, neboť rotor je hnán pouze reakcí vystřikujícího čistěného oleje. Z toho plyne dále i snadnost jejich připojení k různým motorům. Také obsluha reaktivních čističů je snadná a proveditelná bez zvýšených nákladů a v krátkém čase. "ení rovněž třeba rozpojovat při čistění příruby, nebo hadice.

Proti tradičním obtokovým a plnopřůtočným čističům s výměnnými vložkami tkví nadřazenost reaktivních odstředivých čističů oleje hlavně v ekonomii jejich provozu. Nevyžadují totiž výměnu poměrně drahých filtračních vložek, ani výměnu součástí. Jsou tedy "doživotní". Reaktivní čističe jsou také velmi vhodné při používání aditivovaných olejů. Jelikož vyčistěný olej není nucen protékat vrstvou nečistot, dochází jen k velmi nepatrnému odstraňování cenných aditivů z oleje.

## 2. T e o r e t i c k ý \_ v ý p o č e t \_ o d s t ř e - č i v é h o \_ č i s t i č e \_ o l e j e \_ s \_ r e a k - t i v n í m \_ n á h o n e m

### 2.1 K i n e m a t i c k é \_ a \_ d y n a m i c k é \_ p o m ě r y

Pohyb za účinku reaktivních sil je založen na dvou zákonech mechaniky - druhý a třetí Newtonův zákon. *0. pad*

V souladu s druhým Newtonovým zákonem platí:

$$d(m \cdot v) = F \cdot dt \quad (1)$$

Pro rotor odstředivého čističe se dvěma tryskami při ustáleném režimu ( konstantní otáčky a průtok oleje) platí:

$$v = v_c - v_l \quad (2)$$

Dosazením vztahu (2) do výchozí rovnice dostaneme výraz pro reaktivní sílu proudu oleje vytékajícího z trysky:

$$F = \frac{m}{2} \cdot ( v_c - v_l ) \quad (3)$$

Tento vztah můžeme dále upravit:

$$F = \frac{\rho \cdot Q}{2} \cdot \left( \frac{Q}{2 \cdot \varepsilon \cdot f} - \frac{\pi \cdot n}{30} \cdot l \right) \quad (4)$$

Na rotoru jsou umístěny dvě trysky, které vyvolávají hnací reaktivní moment:

$$\begin{aligned} M &= 2 \cdot F \cdot l = m \cdot ( v_c - v_l ) \cdot l = \\ &= \rho \cdot Q \cdot l \cdot \left( \frac{Q}{2 \cdot \varepsilon \cdot f} - \frac{\pi \cdot n}{30} \cdot l \right) \end{aligned} \quad (5)$$

Při rovnovážném stavu odstředivého čističe oleje (  $n = \text{konst.}$  a  $Q = \text{konst.}$  ) je hnací moment  $M_r$  roven odporovému momentu otáčejícího se rotoru  $M_c$ , který závisí na tření oleje o rotující části a na tření v ložiskách. Odporový moment  $M_c$  je dán vztahem:

$$M_c = M_a + M_n + M_x \quad (6)$$

Část energie přiváděná do odstředivého čističe oleje, se využívá na vylučování částic z oleje a při vysokém znečistění oleje se stává nedefinovatelnou veličinou. ( v rovnici vyjádřena momentem  $M_x$  ) Proto se odporový moment skládá z momentu, který odpovídá aerodynamickému odporu

otáčejícího se rotoru  $\underline{M}_a$ , a momentu, který odpovídá tření v ložiskách  $\underline{M}_n$ .

Jak ukázaly experimenty, tak odporový moment závisí na síle tření v ložiskách a na otáčkách rotoru:

$$M_c = a + b \cdot n . \quad \text{rozměr} \quad (7)$$

Výpočet koeficientů  $\underline{a}$  a  $\underline{b}$  při dynamické viskozitě oleje (  $15 \div 100$  )  $10^3 \text{ Pa} \cdot \text{s}$  můžeme přibližně vypočítat podle následujících vztahů /podle 5 /:

$$a = 6 \cdot g \cdot \Omega \cdot \mu ; \quad \text{rozměr} \quad (8)$$

$$b = (0,03 + 2\mu) \cdot g \cdot 10^2 \cdot \Omega . \quad \text{rozměr?} \quad (9)$$

Při ustáleném vztahu kdy  $\underline{n} = \text{konst.}$  platí, že  $M_r = M_c$  a tedy

$$\rho \cdot Q \cdot l \cdot \left( \frac{Q}{2 \cdot \varepsilon \cdot f} - \frac{\pi \cdot n}{30} \cdot l \right) = a + b \cdot n . \quad (10)$$

Z tohoto vztahu můžeme určit otáčky rotoru  $\underline{n}$ , v závislosti na úhlové rychlosti rotoru a na konstrukčních a hydraulických parametrech:

$$n = \frac{\frac{\rho \cdot Q^2 \cdot l}{2 \cdot \varepsilon \cdot f} - a}{b + \frac{\pi \cdot \rho \cdot Q \cdot l^2}{30}} \quad (11)$$

Pro obecný počet trysek  $\underline{i}$  má vztah (11) následující podobu:

$$n = \frac{\frac{\rho \cdot Q^2 \cdot l}{i \cdot f \cdot \varepsilon} - a}{b + \frac{\pi \cdot \rho \cdot Q \cdot l^2}{30}} \quad (12)$$

*Spatření  
neodpovídá  
vztahu  
(12) (12)  
a ...*

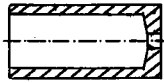
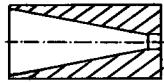
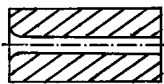
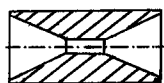


Ze vztahu (12) je patrné, že změna počtu trysek i jejich průřez mají stejný vliv na otáčky rotoru. Změna průřezu trysky je konstrukčně daleko lehčí než změna jejího počtu. Nejvhodnějším uspořádáním pro změnu radiálních sil působících na ložiska je při použití dvou trysek.

Průtok oleje jednou tryskou je dán vztahem /podle 5 /:

$$Q = \mu_1 f \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot p}{\rho}} \quad (13)$$

Výběr koeficientu  $\mu_1$  závisí na druhu trysky (tab. 1).

Tvar trysky	$\varepsilon$	$\mu_1$	Druh trysky
	0,9	0,8	1
	1	0,79-0,85	2
	1	0,72-0,8	3
	1,1	0,84-0,89	4

tab.1

Tlak oleje, který je těsně před <sup>přes otvor</sup> otvorem trysky určíme ze vztahu:

$$p = p_1 - \Delta p_1 + \Delta p_u \quad ; \quad (14)$$

$$\Delta p_1 = \psi \cdot p_1 \quad (15)$$

*W obecném případě  $p = p_1 + \Delta p_1 + \Delta p_u$*

U odstředivých čističů zapojených do obtoku volíme koeficient hydraulických ztrát  $\psi$  podle tab. 2. Čím je vyšší průřez trysky a vyšší rychlost proudu oleje, tím vyšší je i koeficient  $\psi$ . U odstředivých čističů zapojených do plnoprůtoku je  $\psi = (0,2 - 0,5)$ .

Průměr trysky [mm]	$\psi$
1,46	0,1
1,93	0,2
2,3	0,3

tab.2

V odstředivém poli otáčejícího se rotoru je tlak, daný elementární vrstvou kapaliny  $dr$ , roven:

$$dc = \rho \cdot \omega_1^2 r \cdot dr. \quad (16)$$

Integrovaním dané rovnice (16) od  $l_1$  do  $l$  dostaneme vztah pro přírůstek tlaku oleje vlivem působení odstředivé síly:

$$\Delta p_u = \int_{l_1}^l \rho \cdot r \cdot \left( \frac{\pi \cdot n}{30} \right)^2 \cdot dr = \frac{\rho}{2} \cdot \left( \frac{\pi \cdot n}{30} \right)^2 \cdot (l^2 - l_1^2). \quad (17)$$

Dosazením rovnic (15) a (17) do vztahu (14) dostaneme vztah pro výpočet tlaku oleje před otvorem trysky:

$$p = p_1 \cdot (1 - \psi) + \frac{\rho}{2} \cdot \left( \frac{\pi \cdot n}{30} \right)^2 \cdot (l^2 - l_1^2). \quad (18)$$

Dosazením rovnice (18) do vztahu (13) dostaneme konečnou rovnici pro průtok oleje jednou tryskou:

$$Q = \mu_1 \cdot f \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho} \cdot p_1 \cdot (1 - \psi) + \left( \frac{\pi \cdot n}{30} \right)^2 \cdot (l^2 - l_1^2)}. \quad (19)$$

Jestliže vynásobíme rovnici (19) počtem trysek ( v našem případě je  $i = 2$  ) dostaneme vztah pro celkový průtok oleje čističem:

$$Q = 2 \cdot \mu_1 \cdot f \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho} \cdot p_1 \cdot (1-\psi) + \left(\frac{\pi \cdot n}{30}\right)^2 \cdot (l^2 - l_1^2)}. \quad (20)$$

Z rovnice (20) můžeme vyjádřit vztah pro tlak na vstupu do čističe:

$$p_1 = \frac{Q^2 - 4 \cdot \left(\frac{\pi \cdot n}{30}\right)^2 \cdot (l^2 - l_1^2) \cdot \mu_1^2 \cdot f^2}{8 \cdot \mu_1^2 \cdot f^2 \cdot (1-\psi)} \cdot \rho. \quad (21)$$

Po dosazení rovnice (19) do vztahu (11) získáme rovnici čtvrtého řádu. Proto závislost  $n = f(p_1)$  vyřešíme následujícím postupem:

a) pomocí rovnice (11) sestrojíme grafickou závislost  $n = f(Q)$ ;

b) z dané grafické závislosti a rovnice (20) získáme závislost  $n = f(p_1)$ .

Dále si za pomoci předcházejících dvou grafů můžeme sestrojit závislost  $Q = f(p_1)$ .

Optimální rameno reaktivního momentu, při kterém budou otáčky rotoru maximální určíme ze vztahu:

$$\frac{dn}{dl} = 0.$$

Z této diferenciální rovnice vyjádříme vztah pro optimální rameno reaktivního momentu:

$$l_{opt} = \frac{2 \cdot a \cdot \varepsilon \cdot f}{\rho \cdot Q^2} + \sqrt{\left(\frac{2 \cdot a \cdot \varepsilon \cdot f}{\rho \cdot Q^2}\right)^2 + \frac{30 \cdot b}{\pi \cdot \rho \cdot Q}}. \quad (22)$$

Ze vztahu (22) je vidět, že při stejné pevnostní podmínce se zvýšeným průtokem  $Q$  a s menším odporovým momentem ( je charakterizován koeficienty  $a$  a  $b$  ) se ve-

ličina  $l_{opt}$  zmenšuje.

Výkon, který vznikne při výtoku oleje z obou trysek, lze definovat vztahem:

$$\begin{aligned} N_r &= 2 \cdot f \cdot v_l = m \cdot (v_c - v_l) v_l = \\ &= \frac{\pi \cdot \rho \cdot Q \cdot l \cdot n}{30} \cdot \left( \frac{Q}{2 \cdot \varepsilon \cdot f} - \frac{\pi \cdot n}{30} \cdot l \right). \end{aligned} \quad (23)$$

Maximální výkon na výtoku z obou trysek, získáme z následujícího vztahu:

$$\frac{dN_r}{dv_l} = 0, \quad (24)$$

odtud

$$N_{rmax} = m \cdot \left( \frac{v_c}{2} \right)^2. \quad (25)$$

Jako je mazání motorů ohraničeno tlakem oleje a nikoli jeho průtokem, tak u odstředivého čističe oleje je důležitá závislost reaktivního momentu ( $2 \cdot l_{opt}$ ) na tlaku oleje  $p_1$ . Při zjišťování charakteristiky  $l_{opt} = f(p_1)$  postupujeme tímto způsobem:

a) nejprve sestojíme grafickou závislost  $n = f(p_1)$  při různých hodnotách ramene  $l$ ;

b) z dané grafické závislosti sestojíme závislost  $n = f(l)$  při různých hodnotách  $p_1$ ;

c) z grafické závislosti  $n = f(l)$  sestojíme závislost  $l_{opt} = f(p_1)$ .

Ve všech případech odstředivých čističů oleje je rameno reaktivního momentu větší než optimální v důsledku tlaku oleje.

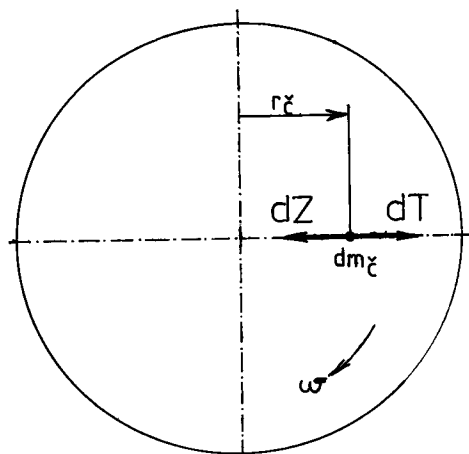
Pro předběžný výpočet můžeme uvažovat vztah:

$$l_{opt}(p_1) = 2 \cdot l_{opt}. \quad (26)$$



## 2.2 Síly působící na element nečistoty

Při otáčení rotoru čističe působí na element nečistoty odstředivá síla  $T$  a odporová hydraulická síla  $Z$  ( obr. 1).



obr. 1

Odstředivá síla se stanoví ze vztahu:

$$\begin{aligned} dT &= r_{\xi} \cdot \omega_1^2 \cdot dm_{\xi}; \\ T &= \int_{m_{\xi}} r_{\xi} \cdot \omega_1^2 dm_{\xi} = r \cdot \omega_1^2 \cdot m_{\xi} \end{aligned} \quad (27)$$

Odporová hydraulická síla působící na částici nečistoty se stanoví dle Stokesova vztahu /podle 5 /:

$$Z = 3 \cdot \pi \cdot \mu \cdot d_{\xi} \cdot v_{\xi} \quad (28)$$

Dynamická viskozita oleje  $\mu$  vyjadřuje míru vnitřního tření v kapalině vrstvě. Viskozita každého kapalného maziva je mimo jiné značně závislá na teplotě. Její hodnotu je možno zjistit poměrně složitým výpočtem, daleko výhodnější však bývá její přímý odečet z vhodně vypracovaného grafu. V tab.3 je uvedena kinematická viskozita některých automobilových olejů v závislosti na teplotě.

kinematická viskozita $\nu \cdot 10^{-6}$ (m <sup>2</sup> /s)				
teplota (°C)	M 6 AD	M 7 AD	M 6 ADV	M 6 ADSII
40	118,0	77	105,0	108,0
50	71,5	54	66,5	68,0
60	46,0	37	41,5	45,0
70	31,0	29	28,0	31,0
80	22,3	23	19,5	22,5
90	16,4	18	14,8	16,7
100	12,5	14,7	11,3	12,9
110	9,8	12,1	8,9	10,8
120	7,9	10,2	7,2	8,2

tab.3

Dynamickou viskozitu vypočteme podle následujícího vztahu:

$$\mu = \nu \cdot \rho \quad (29)$$

Rychlost pohybu částice nečistoty v silovém poli rotoru určíme ze vztahu:

$$v_c = \frac{dr}{dt} = \frac{2 \cdot \rho_c^2 \cdot \Delta \cdot \omega_f^2 \cdot r_c}{9 \cdot \mu} \quad (30)$$

Hodnoty ekvivalentních poloměrů částic nečistot  $\rho_c$  a rozdílů měrných hmotností částic nečistot a oleje jsou uvedeny v tab.4.

ČÁSTICE	$\rho_z$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta$ ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )
organické	12,8	300
anorganické	4,3	2600
železné	2,7	6900

tab.4

Rychlost proudu oleje vytékajícího rotorem určíme ze vztahu:

$$\omega_2 = \frac{Q}{\pi \cdot (l_r^2 - l_o^2)} \quad (31)$$

Intenzita čištění oleje závisí na rozměrech rotoru čističe a na rychlosti proudu oleje  $\omega_2$ , která nesmí být vyšší než kritická hodnota rychlosti  $\omega_{kr} = 0,05 \text{ m/s}$  při teplotě oleje  $t = (75 \div 80)^\circ\text{C}$ . Při větší rychlosti by proud oleje s sebou sebral i částice nečistot zachycené na stěně rotoru.

### 2.3 Postupné děje v rotoru odstředivého čističe

Času pobytu suspenze (rozptýlení jemných částic nečistot v oleji) v odstředivém poli rotoru stanovíme dle vztahu:

$$\tau = \frac{Q}{q} = \frac{h}{\omega_2} \quad (32)$$

$$\tau = \frac{\pi \cdot h \cdot (l_r^2 - l_o^2)}{Q} \quad (33)$$

Rychlost vylučování částic v odstředivém poli čističe závisí na Reynoldsově čísle  $Re$ , které je dáno poměrem setrvačných sil vznikajících při proudění částic. Při  $Re < 1$  pro zjištění rychlosti vyloučení částic použijeme Stokesův vztah /podle 5 /:



$$\frac{dr}{d\tau} = \frac{2 \cdot \rho_{\xi}^2 \cdot \Delta \cdot \omega_1^2 \cdot r_{\xi}}{9 \cdot \mu} ; \quad (34)$$

$$v = \frac{2 \cdot \rho_{\xi}^2 \cdot \Delta \cdot \omega_1^2 \cdot r_{\xi}}{9 \cdot \mu} ; \quad (35)$$

$$Re = \frac{2 \cdot \rho_{\xi} \cdot v \cdot \rho}{\mu} . \quad (36)$$

Po úpravě diferenciální rovnice (34) dostaneme výraz:

$$\frac{dr}{r} = k \cdot \rho_{\xi}^2 \cdot d\tau , \quad (37)$$

kde

$$k = \frac{2 \cdot \Delta \cdot \omega_1^2}{9 \cdot \mu} . \quad (38)$$

Najdeme poloměr  $r$  válcovitého povrchu kapaliny, určujícího oblast odstřeďujícího se oleje, kterou za čas  $\tau$  proběhne odstředění částic. Integrováním levé strany rovnice (37) od  $r$  - poloměr vrstvy kapaliny do  $l_r$  - vnitřní poloměr rotoru, a pravé od 0 do  $\tau$ , dostaneme vztah pro poloměr vrstvy kapaliny:

$$r = l_r \cdot \exp(-k \cdot \rho_{\xi}^2 \cdot \tau) . \quad (39)$$

Potom tloušťka vrstvy usazenin na stěně rotoru je dána rozdílem velkého vnitřního poloměru rotoru a poloměrem vrstvy kapaliny:

$$l_r - r = l_r \cdot [1 - \exp(-k \cdot \rho_{\xi}^2 \cdot \tau)] . \quad (40)$$

### 2.3.1 Filtrační účinnost čističe

Odlučivost čističe určíme ze vztahu:

$$\varphi = \frac{x_1 - x_f}{x_f} = \frac{x_z}{x_f} \quad (41)$$

Odlučivost čističe můžeme také vyjádřit vztahem:

$$\varphi = \frac{l_r^2 - r^2}{l_r^2 - l_0^2} \quad (42)$$

Po dosazení poloměru vrstvy kapaliny  $r$  dostaneme výraz:

$$\varphi = \frac{l_r^2}{l_r^2 - l_0^2} \cdot [1 - \exp(-2 \cdot k \cdot \varrho_c^2 \cdot \tau)] \quad (43)$$

Po dosazení pomocného koeficientu  $k$  do rovnice (43) a následným zavedením dvou součinitelů  $\underline{Fr}$  a  $\underline{Ec}$  ( $\underline{Fr}$  je tzv. rozdělující faktor a  $\underline{Ec}$  je rozdílnost směsi /podle 5 /) dostaneme vztah:

*jak je d. t. Fr a Ec*

$$\varphi = \frac{l_r^2}{l_r^2 - l_0^2} \cdot [1 - \exp(-\frac{4}{9} \cdot \underline{Fr} \cdot \underline{Ec})] \quad (44)$$

Součin rozdělujícího faktoru  $\underline{Fr}$  a rozdílnosti směsi  $\underline{Ec}$  je roven:

*z rovn. 44 a 33*

$$\underline{Fr} \cdot \underline{Ec} = \frac{\omega_1^2 \cdot \pi \cdot h \cdot (l_r^2 - l_0^2)}{Q} \cdot \frac{\varrho_c^2 \cdot \Delta}{\mu} \quad (45)$$

Celkové vyloučení částic v rotoru odstředivého čističe oleje ( $\varphi = 1$ ) platí pro případ, kdy poloměry částic nečistoty odpovídají tab. 4.

Dosazením odlučivosti čističe  $\varphi = 1$  do rovnice (43) dostaneme výraz pro mezní poloměr částic  $\varrho_k$ :

$$\varrho_k = \sqrt{\frac{1}{k \cdot \tau} \cdot \ln \frac{l_r}{l_0}} \quad (46)$$

Po dosazení pomocného koeficientu  $k$  a doby pobytu suspenze v odstředivém poli rotoru  $\tau$  dostaneme výraz:

$$Q_k = \sqrt{\frac{g \cdot \mu \cdot Q}{2 \cdot \Delta \cdot \omega_f^2 \cdot \pi \cdot h \cdot (l_r^2 - l_0^2)}} \cdot \ln \frac{l_r}{l_0} \quad (47)$$

Při praktických výpočtech můžeme uvažovat, že při úplném vyloučení částic v rotoru je rychlost vylučování rovna střední rychlosti, odpovídající střednímu poloměru částic v kapalině.

Potom čas vylučování částic:

$$\tau = \frac{l_r - l_0}{v_{stř}} \quad (48)$$

Další významnou podmínkou pro úplné vyloučení částic v rotoru je:

$$\tau = \frac{l_r - l_0}{v_{stř}} \leq \frac{Q}{Q} \quad (49)$$

odkud

$$Q \leq \frac{v_{stř}}{l_r - l_0} \quad (50)$$

Vztah (49) můžeme přepsat do tvaru:

$$\frac{Q \cdot (l_r - l_0)}{\Omega \cdot F_{rstř}} \leq \frac{v_{stř}}{F_{rstř}} \quad (51)$$

Při podmínce vylučování částic ze Stokesova zákona je faktor rozdělení roven podílu rychlosti vylučovaných v odstředivém a gravitačním poli /podle 5 /:

$$F_r = \frac{v}{v_0} \quad (52)$$

Potom můžeme napsat vztah pro rychlost vylučovaných částic v gravitačním poli:

$$v_0 = \frac{v_{stř}}{F_{rstř}} \quad (53)$$

Dosazením do vztahu (51)

$$F_{rstř} = \frac{\omega_f^2 \cdot (l_r - l_0)}{2 \cdot g} \quad \text{a} \quad v_0 = \frac{v_{stř}}{F_{rstř}} ;$$

dostaneme

$$\frac{2 \cdot Q \cdot (l_r - l_0) \cdot g}{\Omega \cdot \omega_f^2 \cdot (l_r + l_0)} \leq v_0 \quad (54)$$

Levá část rovnice (54) charakterizuje schopnost vyčistění oleje v odstředivém čističi a nazýváme jí číslem odkalení:

$$B = \frac{2 \cdot Q \cdot g}{\Omega \cdot \omega_f^2} \cdot \frac{l_r - l_0}{l_r + l_0} \quad (55)$$

Podmínka úplného vyčistění oleje při jednom průchodu přes rotor musí splňovat, že číslo odkalení  $B$  je menší nejvýše rovno rychlosti vylučovaných částic v gravitačním poli:

$$B \leq v_0 \quad .$$

Ze Stokesova zákona platí:

$$v_0 = \frac{2 \cdot \Delta \cdot Q_c^2 \cdot g}{9 \cdot \mu} \quad .$$

Dosazením  $v_0 \leq B$  do rovnice (54) a následným vyjádřením  $Q_c$ , dostaneme vztah pro mezní poloměr částic vyloučených v rotoru:

$$\rho_k = \sqrt{\frac{9 \cdot \mu \cdot Q}{\omega_f^2 \cdot \Delta \cdot \pi \cdot h \cdot (l_f + l_0)^2}} \quad (56)$$

nebo

$$\rho_k = \sqrt{\frac{9 \cdot \mu}{2 \cdot \Delta \cdot g}} B \quad (57)$$

V případě 50% zaplnění objemu rotoru nečistotami bude číslo odkalení rovno:

$$B_{0,5} = \frac{2 \cdot Q \cdot g}{\Omega \cdot 0,5 \cdot \omega_f^2} \cdot \frac{l_{stř} - l_0}{l_{stř} + l_0}, \quad (58)$$

kde střední poloměr rotoru

$$l_{stř} = \sqrt{\frac{l_f^2 + l_0^2}{2}} \quad (59)$$

Množství odstředivých částic nečistot z oleje při jednom průchodu přes rotor je dáno vztahem:

$$\dot{g}_z = 0,01 \cdot x_1 \cdot \rho \cdot \Omega \cdot \psi \quad (60)$$

Dosazením vztahů pro odlučivost čističe (43) a pracovní objem rotoru:

$$\Omega = \pi \cdot h \cdot (l_f^2 - l_0^2), \quad (61)$$

dostaneme konečný vztah pro množství odstředěných částic nečistot z oleje:

$$\dot{g}_z = 0,01 \cdot x_1 \cdot \rho \cdot \pi \cdot h \cdot l_f^2 \cdot [1 - \exp(-2 \cdot k \cdot \rho_f^2 \cdot \tau)] \quad (62)$$

Odlučivost čističe  $\psi$  slouží pro hmotnostní odhad úplnosti procesu odstředění v rotoru odstředivé čističe. Hmotnostní odhad odstředění ( rychlost odstředění částic nečistot z oleje ) je dán vztahem  $Q \cdot \psi$ , který

charakterizuje tak zvanou intenzitu čištění oleje. Veličina  $Q \cdot \varphi$  představuje část toku oleje (procházejícího přes rotor odstředivého čističe za jednotku času), která se podrobuje čištění od částic nečistot z oleje. Tok oleje, který se nezúčastňuje čištění je dán veličinou  $Q \cdot (1 - \varphi)$ .

Do rovnice odlučivosti čističe (43) dosadíme vztah pro dobu pobytu suspenze v odstředivém poli rotoru a následným vynásobením průtokem  $Q$  dostaneme výraz pro intenzitu čištění:

$$Q \cdot \varphi = \frac{Q \cdot l_r^2}{l_r^2 - l_0^2} \cdot \left[ 1 - \exp \left( - \frac{2 \cdot k \cdot \rho_c^2 \cdot \pi \cdot h \cdot (l_r^2 - l_0^2)}{Q} \right) \right] \quad (63)$$

Maximální intenzita čištění oleje je v případě, když:

$$\frac{d(Q \cdot \varphi)}{dQ} = 0 \quad .$$

Z uvedeného vztahu vyplývá, že maximální intenzita čištění oleje nastává při maximálním průtoku oleje přes rotor ( $Q = \infty$ ). V tomto případě by ale rychlost průtoku oleje  $\omega$  překročila kritickou hodnotu ( $\omega_{kr} = 0,05 \text{ m/s}$ ), v důsledku čehož by docházelo ke strhávání vrstvy nečistot usazených na vnitřní straně rotoru proudem oleje.

Kritická hodnota rychlosti proudu oleje v rotoru a kritický průtok se dá přesně podle rovnice Sokolova určit /podle 5 / vztahy:

$$\omega_{kr} = \left( \frac{l_r - l_0}{2 \cdot \rho_c} \right)^{\frac{1}{7}} \cdot a_1 \cdot v_0 \cdot \omega_1^2 \cdot l_r \quad ; \quad (64)$$

$$Q_{kr} = \pi \cdot (l_r^2 - l_0^2) \cdot \left( \frac{l_r - l_0}{2 \cdot \rho_c} \right)^{\frac{1}{7}} \cdot a_1 \cdot v_0 \cdot \omega_1^2 \cdot l_r \quad . \quad (65)$$

Podle Sokolova je pro odstředivé čističe oleje koeficient charakterizující pohyb částic  $a_1 = 5,37$  /podle 5 /.

Vysokou intenzitu čištění oleje je nejvhodnější dosáhnout maximální hodnotu následujícího členu:

$$\frac{l_f^2}{l_f^2 - l_0^2} \cdot \{ 1 - \exp [ -2 \cdot k \cdot \varrho_c^2 \cdot \pi \cdot h \cdot (l_f^2 - l_0^2) ] \} .$$

Znečištění oleje rozdělujeme na:

1. monodisperzní systém - poloměr částic nečistot v oleji má  $\varrho_N = \text{konst.}$ ;
2. polydisperzní systém - toto jsou reálné znečištěné oleje kde  $\varrho_N \neq \text{konst.}$

Pro polydisperzní systém platí  $\Delta \cdot \varrho_N^2 = \text{konst.}$  a odlučivost čističe je dána vztahem:

$$\varphi = \sum_{i=1}^n \varphi_i \cdot g_i . \quad (66)$$

Poměrný obsah částic nečistot s poloměrem  $\varrho_i$  v celkovém množství nečistot je:

$$g_i = \frac{x_i}{x_c} .$$

Konečný vztah pro odlučivost čističe u polydisperzního systému je:

$$\varphi = \sum_{i=1}^n \left\{ \frac{l_f^2}{l_f^2 - l_0^2} \cdot [1 - \exp(-2 \cdot k \cdot \varrho_i^2 \cdot \tau)] \cdot g_i \right\} . \quad (67)$$

#### 2.4 Odstředivé čištění celého objemu oleje v systému

Systém mazání automobilových motorů s připojeným odstředivým čističem představuje uzavřený okruh, při kterém se olej, přivedený do odstředivého čističe, zpět vrací do motorové skříně. Proto čištění celého objemu oleje v motoru závisí na rychlosti vylučování znečišťujících částic v rotoru odstředivého čističe. Potom je koncentrace znečišťujících částic v oleji dána funkcí:

$$x = f(t) .$$

Řešením tohoto vztahu dostaneme složitou rovnici pro koncentraci znečišťujících částic na čase práce odstředivého čističe /podle 5 /;

$$x = x_0 \cdot \exp\left(-\frac{\rho}{G_0} \cdot Q \cdot \varphi \cdot t\right) + \frac{100 \cdot a_0}{\rho \cdot Q \cdot \varphi} \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{\rho}{G_0} \cdot Q \cdot \varphi \cdot t\right)\right] . \quad (68)$$

Výše uvedený vztah (68) platí pro monodisperzní systém částic nečistot v oleji ( $\rho_N = \text{konst.}$ ).

Pro polydisperzní systém částic nečistot v oleji ( $\Delta \cdot \rho_N^2 = \text{konst.}$ ) má rovnice (68) následující podobu:

$$x = \sum_{i=1}^m \left\{ x_{0i} \cdot \exp\left(-\frac{\rho}{G_0} \cdot Q \cdot \varphi_i \cdot t\right) + \frac{100 \cdot a_{0i}}{\rho \cdot Q \cdot \varphi_i} \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{\rho}{G_0} \cdot Q \cdot \varphi_i \cdot t\right)\right] \right\} . \quad (69)$$

Dále je třeba zahrnout do výpočtu ten fakt, že vnitřní poloměr rotoru  $\underline{l}_r$  se mění s dobou provozu čističe (zmenšuje se s mírou zaplnění rotoru nečistotami), což má vliv na efektivitu čistění oleje.

Výpočet koncentrace znečišťujících částic v oleji s určitým zaplněním rotoru nečistotami dostává velice složitou závislost.

V tomto případě provedeme u závislosti  $x = f(t)$  určitá zjednodušení: dobu provozu čističe  $\underline{t}$  rozdělíme na  $\underline{m}$  částí po intervalech  $\Delta t$  a budeme určovat koncentraci nečistot v oleji v čase  $\Delta t \cdot z$  (na konci libovolného časového úseku  $\Delta t$ ), kde  $\underline{z} \in \langle 0; m \rangle$ . Pak dostaneme vztah pro koncentraci znečišťujících částic /podle 5 /:

$$x_{\Delta t \cdot z} = \sum_{i=1}^m \left\{ x_{\Delta t(z-1)_i} \cdot \exp\left(-\frac{\rho \cdot Q \cdot \Delta t}{G_0} \cdot \varphi_{\Delta t(z-1)_i}\right) + \frac{100 \cdot a_{0i}}{\rho \cdot Q \cdot \varphi_{\Delta t(z-1)_i}} \cdot x \right. \\ \left. \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{\rho \cdot Q \cdot \Delta t}{G_0} \cdot \varphi_{\Delta t(z-1)_i}\right)\right] \right\} , \quad (70)$$

$$\varphi_{\Delta t(z-1)_i} = \frac{M_{\Delta t(z-1)}}{N_{\Delta t(z-1)}} \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{2 \cdot k \cdot \rho_i^2 \cdot N_{\Delta t(z-1)}}{Q}\right)\right] ;$$



$$M_{\Delta t(z-1)} = \pi \cdot h \cdot l_r^2 - q \cdot a_0 \cdot \Delta t \cdot (z-1) + 0,01 \cdot q \cdot G_0 \cdot (x_{\Delta t(z-1)} - X_0);$$

$$N_{\Delta t(z-1)} = \pi \cdot h \cdot (l_r^2 - l_0^2) - q \cdot a_0 \cdot \Delta t \cdot (z-1) + 0,01 \cdot q \cdot G_0 \cdot (x_{\Delta t(z-1)} - x_0).$$

Pomocí převodního součinitele  $q$  převedeme hmotnost suché fáze nečistot na objem usazenin:

$$q = \frac{m_s}{\rho_s} \quad (71)$$

Z měření v provozu můžeme napsat:  $m_s = 3,2$

$$\rho_s = 1070 \text{ kg/m}^3$$

Dosazením do vztahu (71) dostaneme velikost převodního součinitele  $q \approx 3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$ .

V orientačních případech výpočtu koncentrace částic nečistot v oleji připouštíme používat vztah (68). Dále předpokládáme, že částice nečistot jsou v monodisperzním systému se středním ekvivalentním poloměrem  $\rho_{\xi} = 0,4 \mu\text{m}$  při rozdílu měrných hmotností částic nečistot a oleje  $\Delta = 600 \text{ kg/m}^3$ .

Při počátečních podmínkách ( $a_0 = 0$ ;  $x \neq 0$ ) lze napsat vztah pro poměrné snížení koncentrace nečistot v čase  $t$  pro monodisperzní systém:

$$K_t = \frac{x_0 - x_t}{x_0} = 1 - \exp \frac{\rho}{G_0} \cdot Q \cdot \varphi \cdot t; \quad (72)$$

a pro polydisperzní systém:

$$K_t = \frac{x_0 - x_t}{x_0} = \sum_{i=1}^{n_1} K_{ti} \cdot g_i = \sum_{i=1}^{n_1} (1 - \exp \frac{\rho}{G_0} \cdot Q \cdot \varphi_i \cdot t) \cdot g_i \quad (73)$$

Při 50% předěpodobnosti zachycení částic nečistot odstředivým čističem uvádíme střední dobu pobytu částic nečistot v oleji:

$$t_{stř} = 0,7 \cdot \frac{G_0}{\rho} \cdot \frac{1}{Q \cdot \varphi} \quad (74)$$

a při 99% pravděpodobnosti zachycení částic nečistot uvádíme maximální dobu pobytu částic nečistot v oleji:

$$t_{\max} = 4,6 \frac{G_0}{\varphi} \cdot \frac{1}{Q \cdot \varphi} \quad (75)$$

Ze vztahů (74) a (75) /podle 5 / je patrné, že čas pobytu částic nečistot v oleji je přímo úměrný intenzitě čistění  $Q \cdot \varphi$ .

Z provedené teoretické analýzy je patrné, že efektivnost čistění oleje při jednom průchodu přes rotor je dána koeficientem odlučivosti čističe  $\varphi$ , a efektivnost čistění celého objemu oleje v systému je dána intenzivností čistění  $Q \cdot \varphi$ .

#### 2.4.1 Zaplnění objemu rotoru nečistotami

Množství částic nečistot zachycených v odstředivém čističi v suché fázi je roven /podle 5 /:

$$\Delta g_z = a_0 \cdot t + 0,01 \cdot G_0 \cdot (x - x_0) \quad (76)$$

Zaplnění objemu rotoru nečistotami za dobu provozu čističe je dáno vztahem /podle 5 /:

$$\Delta V = \frac{\Delta g_z \cdot a}{\Omega} \cdot 100 \quad (77)$$

Dále je možno provést energetickou bilanci čističe, ze které vyplývají různé účinnosti, ale s ohledem na její rozsáhlost není uvedena v této práci. Výpočet může být proveden podle použité literatury.

### 3. Vliv konstrukčních a fyzikálních parametrů čističe a oleje na jeho funkci

#### 3.1 Tlak oleje před čističem

Z grafické závislosti (diagram D - 1) je vidět, že s rostoucím tlakem oleje se otáčky rotoru a průtok oleje přes rotor zvyšují. To zabezpečuje možnost zvyšování hydraulického přívodu na účet zvyšování průchodu oleje přes trysky.

#### 3.2 Viskozita oleje

Teplota oleje má vliv na jeho viskozitu, což ovlivňuje otáčky rotoru. S rostoucí teplotou oleje klesá jeho viskozita a otáčky rotoru vzrostou. Hlavní příčinou je to, že se zmenšováním viskozity oleje se také zmenšuje tření v ložiskách a snižuje se odporový moment otáčejícího se rotoru. Dále se také zmenšují hydraulické ztráty v tryskách a v přívodních kalnálech. Z provozních zkušeností vyplývá, že olej vstupující do odstředivého čističe má kinematickou viskozitu  $\nu = (8+23) \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$  (teplota oleje  $t_0 = (80+120)^\circ\text{C}$ ). V tab.2 je uvedena kinematická viskozita pro některé automobilové motorové oleje v závislosti na teplotě.

Viskozita oleje má vliv na průchod oleje přes trysky. Při zvyšování viskozity se průtok snižuje. Toto snížení průtoku nezvyšuje odpor průtoku oleje přes trysky, ale snižuje tlak před i za tryskami a tím se zmenšují odstředivé síly (zmenšení  $n$ ).

Viskozita oleje má vliv nejen na otáčky rotoru, ale i na čas vlastního rozběhu při začátečním přívodu tlaku oleje, a také na čas setrvačnosti dotáčejícího se rotoru při vypnutém přívodu oleje. Při snižování viskozity se čas rozběhu snižuje a čas doběhu zvyšuje.

### 3.3 Velikost trysek v rotoru

Při zvyšování průměru trysek se zvyšuje průtok oleje a otáčky rotoru. Se zvýšením velikosti průměru trysek nad určitou hranici se průtok oleje výrazně zvýší a otáčky rotoru už nebudou nerůstat. To vysvětlujeme tím, že se vzrůstajícím průměrem trysek se zvyšují hydraulické ztráty tlaku oleje v čističi a v důsledku toho se snižují lineární rychlost na výstupu oleje z trysky a hydraulická účinnost přívodu.

## 4. A p l i k a c e \_ v ý p o č t u \_ n a \_ o d s t ř e - d i v ý \_ č i s t i č \_ J I K O V \_ 3 9 2 9

### 4.1 Funkce odstředivého čističe

Odstředivý čistič oleje JIKOV 3929 (RHO 2d) má tyto hlavní části: (obr.2)

Vstupní kanál 1, základní těleso 2, dutý hřídel (trn) 3, radiální otvory 4, pracovní prostor rotoru 5, odrazný kalíšek 6, vnitřní strana rotoru 7, trysky 8, matice rotoru 9, síto 10, otvor 11, víko 12.

Jeho funkce je patrna z obr.2. Znečištěný olej vstupuje pod tlakem 290 - 590 kPa do čističe kanálem 1 v základním tělese 2, odkud do dutého hřídele 3 a radiálními otvory 4 v rotoru a trnu do pracovního prostoru rotoru 5. Olej je usměrněn odrazným kalíškem 6 a stoupá směrem nahoru, při čemž jsou z něho odstředivou silou odstraněny částice specificky těžší než olej, které se usazují na vnitřní straně rotoru 7. Vyčištěný olej vystřikuje tryskami 8 a reakční silou paprsku oleje se rotor otáčí. Tento olej odtéká samospádem otvorem 11 do olejové nádrže.

### 4.2 Technické údaje odstředivého čističe

## ODSTŘEDIVÝ ČISTIČ TYPU 3292

Druh	RHO 2d
Použití	LIAZ, TATRA 815
Výkon čističe	4,5 kg·min <sup>-1</sup>
Pracovní tlak oleje	(290 ÷ 590) kPa
Pracovní teplota oleje	max. 120°C
Otáčky rotoru	8330 min <sup>-1</sup>
Filtrační schopnost železných částic	(2 ÷ 4) μm
Filtrační schopnost neželezných částic	(4 ÷ 6) μm

tab.5

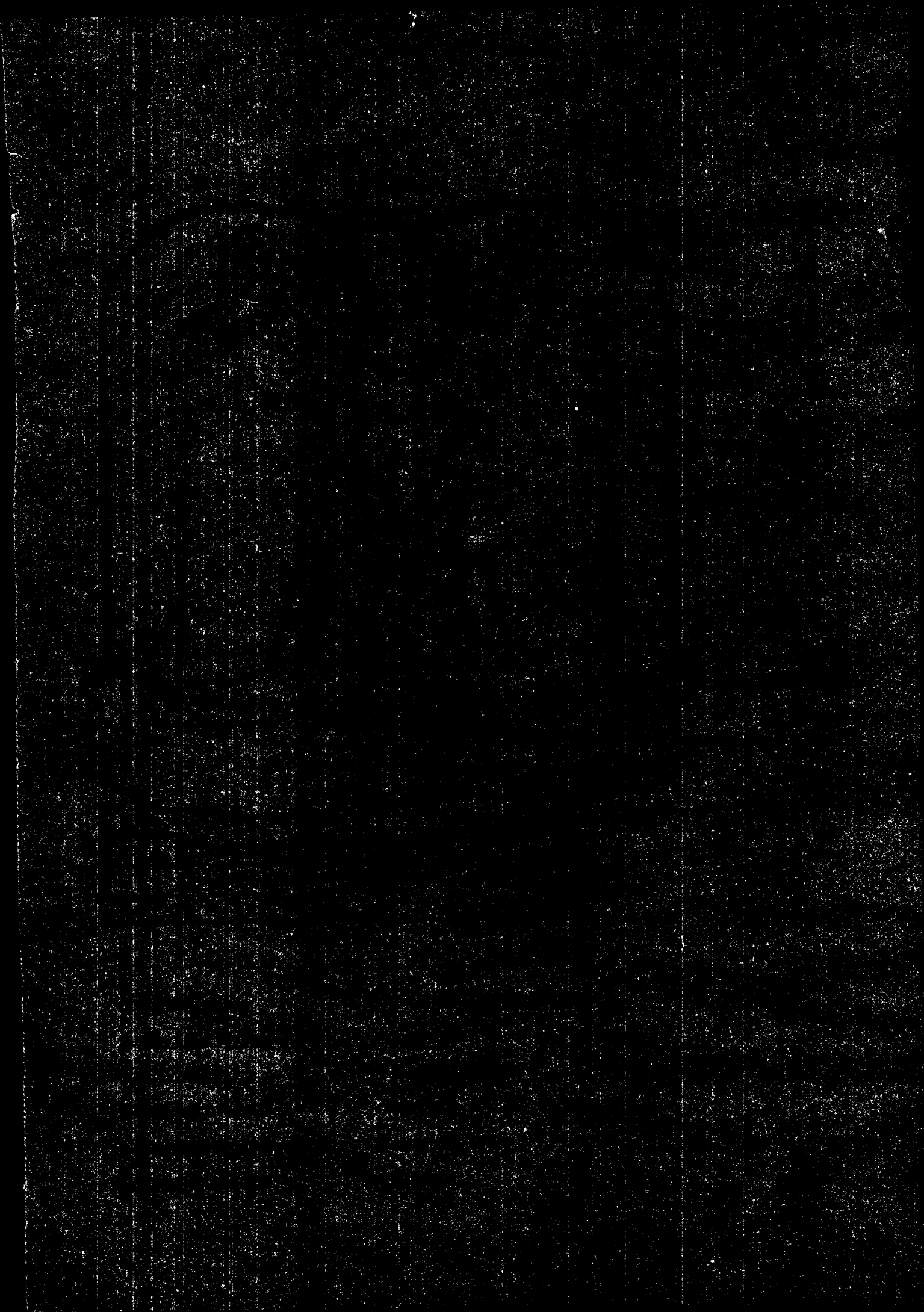
### 4.3 Výpočet parametrů odstředivého čističe / podle 5 /

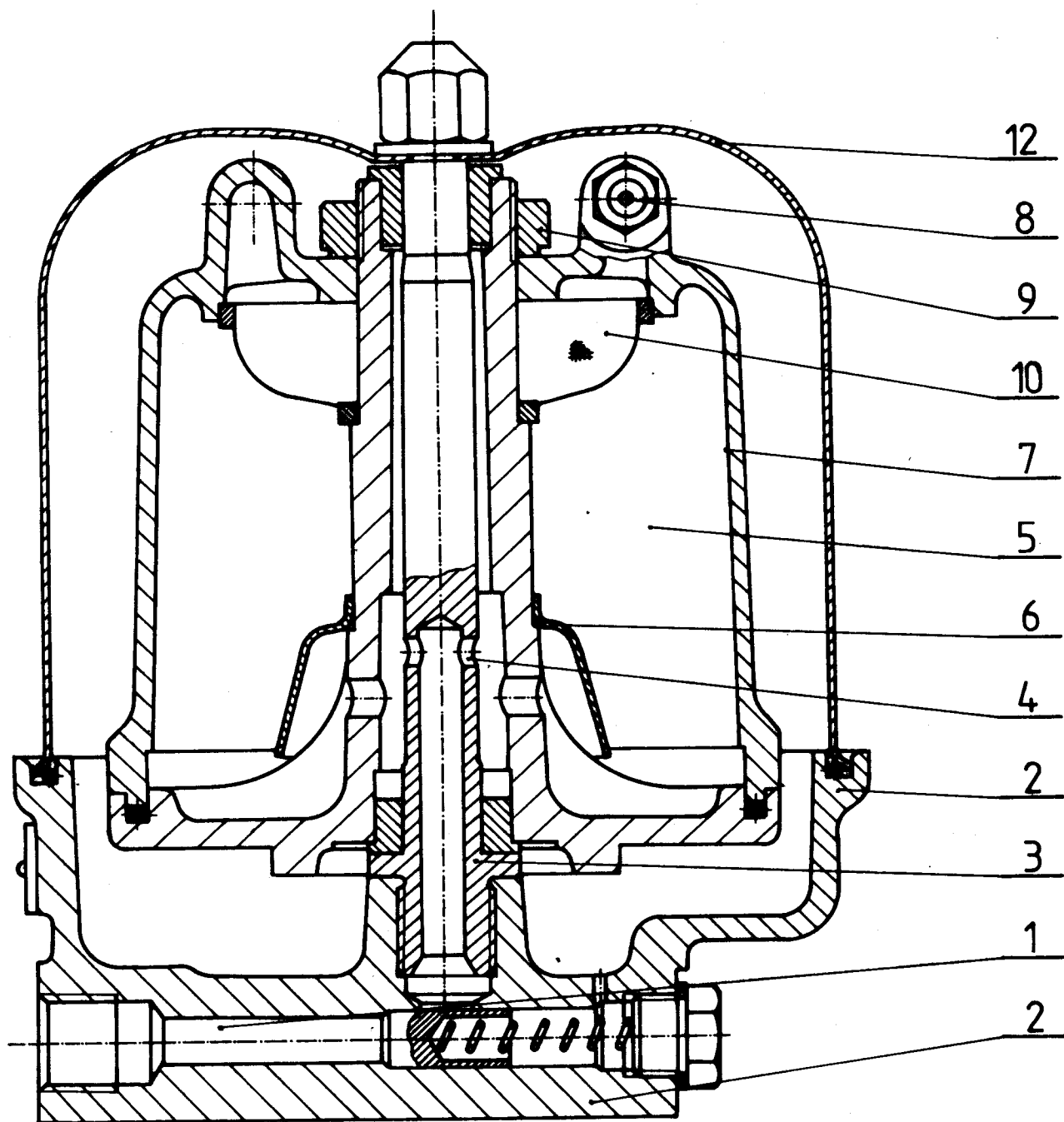
Základní parametry:

- Rychlost znečišťování oleje nečistotami .....  $a_0 = 1,67 \cdot 10^{-7} \text{ kg/s}$
- Hmotnost oleje v systému .....  $G_0 = 32 \text{ kg}$
- Hustota oleje .....  $\rho_{20} = 890 \text{ kg/m}^3$
- Kinematická viskozita oleje při 95°C ...  $\nu = 14,8 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$
- Sekundový objemový průtok oleje procházející rotorem při jmenovitém režimu ...  $Q = 1,0833 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$

Základní rozměry odstředivého čističe:

- Velký vnitřní poloměr rotoru .....  $l_r = 0,045 \text{ m}$
- Malý vnitřní poloměr rotoru .....  $l_o = 0,015 \text{ m}$
- Střední výška rotoru .....  $h = 0,08 \text{ m}$
- Vzdálenost osy otáčení od osy trysky ...  $l = 0,03 \text{ m}$
- Poloměr hřídele rotoru .....  $d_1 = 0,0064 \text{ m}$
- Průměr trysky .....  $d_T = 0,0015 \text{ m}$
- Druh trysky .....  $l$





obr. 2

1-VSTUPNÍ KANÁL

2-ZÁKLADNÍ TĚLESO

3-DUTÝ HŘÍDEL

4-RADIÁLNÍ OTVORY

5-PRAČOVNÍ PROSTOR ROTORU

6-ODRAZNÝ KALÍŠEK

7-VNITŘNÍ STRANA ROTORU

8-TRYSKY

9-MATICE ROTORU

10-SÍTO

11-OTVOR

12-VÍKO

#### 4.3.1 Otáčky rotoru

Výpočet otáček rotoru čističe (i/další počítané veličiny) provedeme pouze pro jmenovitý režim chodu pohonné jednotky, při kterém je sekundový objemový průtok oleje procházející rotorem  $Q = 6,5 \text{ l/min} = 1,0833 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ .

Číslo otáček rotoru je dáno vztahem (11).

Koeficienty  $a$  a  $b$  jsou dány rovnicemi (8) a (9). Pro jejich výpočet potřebujeme znát objem rotoru, který vypočteme podle rovnice (61):

$$\Omega = \pi \cdot h \cdot (l_r^2 - l_0^2) = \pi \cdot 0,08 \cdot (0,045^2 - 0,015^2) = 452,4 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3.$$

Dále potřebujeme znát dynamickou viskozitu oleje, která je dána vztahem (29).

Hustota oleje je závislá na teplotě. Její přepočtení při 20°C na hustotu při jiné teplotě je roven:

$$\rho_t = \rho_{20} - k_1 \cdot (t_0 - 20) . \quad (78)$$

Korekční součinitel  $k_1$  je pro různé hustoty kapalin vyjádřen v tab.6 /podle 8 /.

Hustota při 20°C ( kg/m <sup>3</sup> )	korekční součinitel $k_1$
610 - 650	0,95
651 - 710	0,90
711 - 770	0,80
771 - 800	0,75
801 - 830	0,70
831 - 950	0,65
951 - 1000	0,60

tab.6



Hustota oleje při 95°C je rovna

$$\rho_{95} = 890 - 0,65 \cdot (95 - 20) = 841 \text{ kg/m}^3 .$$

Potom je dynamická viskozita oleje při 95°C rovna

$$\mu = \nu \cdot \rho_{95} = 14,8 \cdot 10^{-6} \cdot 841 = 0,012 \text{ Pa}\cdot\text{s} .$$

Dále již můžeme vypočítat koeficienty a a b:

$$a = 6 \cdot g \cdot \Omega \cdot \mu = 6 \cdot 9,81 \cdot 452,4 \cdot 10^{-6} \cdot 0,012 = 3,2 \cdot 10^{-4} \text{ N}\cdot\text{m};$$

$$b = (0,03 + 2 \cdot \mu) \cdot g \cdot 10^{-2} \cdot \Omega = (0,03 + 2 \cdot 0,012) \cdot 9,81 \cdot 10^{-2} \cdot 452,4 \cdot 10^{-6} = \\ = 2,4 \cdot 10^{-6} \text{ N}\cdot\text{m}\cdot\text{min} .$$

Součinitel stlačení proudu oleje vytékajícího z trysky  $\xi$  je podle druhu trysky 1 ( otvor v tenké stěně), podle tab.1, roven 0,9.

Průřez trysky

$$f = \frac{\pi \cdot d_T^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,0015^2}{4} = 1,767 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 .$$

Pomocí vypočtených parametrů určíme otáčky rotoru:

$$n = \frac{\frac{\rho \cdot Q^2 \cdot l}{2 \cdot \xi \cdot f} - a}{b + \frac{\pi \cdot \rho \cdot Q \cdot l^2}{30}} = \frac{\frac{841 \cdot (1,0833 \cdot 10^{-4})^2 \cdot 0,03}{2 \cdot 0,09 \cdot 1,767 \cdot 10^{-6}} - 3,2 \cdot 10^{-4}}{2,4 \cdot 10^{-6} + \frac{\pi \cdot 841 \cdot 1,083 \cdot 10^{-4} \cdot 0,03^2}{30}} = \\ = 8446 \text{ min}^{-1} .$$

#### 4.3.2 Tlak oleje na vstupu do čističe

Tlak oleje na vstupu do čističe je dán vztahem (20). V tab.2 nalezneme koeficient hydraulických ztrát tlaku oleje  $\psi = 0,1$  a podle tab.1 je průtokový součinitel trysky

$$\mu_1 = 0,8 .$$

Pomocí určených veličin vypočteme tlak oleje:

$$p_1 = \frac{Q^2 - 4 \cdot \left(\frac{\pi \cdot n}{30}\right)^2 \cdot (l^2 - l_1^2) \cdot \mu_1^2 \cdot f^2}{8 \cdot \mu_1^2 \cdot f^2 \cdot (1 - \psi)} \cdot \rho =$$

$$= \frac{(1,0833 \cdot 10^{-4})^2}{8 \cdot 0,8^2 \cdot (1,767 \cdot 10^{-6})^2 \cdot (1 - 0,1)} =$$

$$= \frac{4 \cdot \left(\frac{\pi \cdot 8446}{30}\right)^2 \cdot (0,03^2 - 0,0064^2) \cdot 0,8^2 \cdot (1,767 \cdot 10^{-6})^2}{8 \cdot 0,8^2 \cdot (1,767 \cdot 10^{-6})^2 \cdot (1 - 0,1)} \cdot 841 =$$

$$= 0,372 \text{ MPa} .$$

#### 4.3.3 Optimální rameno reaktivního momentu

Jako je mazání motorů ohraničeno tlakem oleje a ne jeho průtokem, tak u odstředivého čističe oleje je optimální rameno ( $l_{opt(p_1)}$ ) závislé na tlaku oleje  $p_1$  a je dáno vztahem (26):

$$l_{opt(p_1)} = 2 \cdot l_{opt} = 2 \cdot \left[ \frac{2 \cdot a \cdot \epsilon \cdot f}{\rho \cdot Q^2} + \sqrt{\left(\frac{2 \cdot a \cdot \epsilon \cdot f}{\rho \cdot Q^2}\right)^2 + \frac{30 \cdot b}{\pi \cdot \rho \cdot Q}} \right] =$$

$$= 2 \cdot \left[ \frac{2 \cdot 3,2 \cdot 10^{-6} \cdot 0,9 \cdot 1,767 \cdot 10^{-6}}{841 \cdot (1,0833 \cdot 10^{-4})^2} + \right.$$

$$\left. + \sqrt{\left(\frac{2 \cdot 3,2 \cdot 10^{-6} \cdot 0,9 \cdot 1,767 \cdot 10^{-6}}{841 \cdot (1,0833 \cdot 10^{-4})^2}\right)^2 + \frac{30 \cdot b}{\pi \cdot \rho \cdot Q}} \right]$$

$$+ \sqrt{\frac{30 \cdot 2,4 \cdot 10^{-6}}{\pi \cdot 841 \cdot 1,0833 \cdot 10^{-4}}} = 0,0317 \text{ m} .$$

Rozdíl mezi vypočteným optimálním ramenem reaktivního momentu ( $l_{\text{opt}(p_1)}$ ) a daným poloměrem reaktivního momentu  $l$  je necelých 6%.

#### 4.3.4 Výkon oleje na výtoku z trysek

Výkon oleje na výtoku z obou trysek budeme počítat podle rovnice (23):

$$\begin{aligned} N_r &= \frac{\pi \cdot Q \cdot Q \cdot l \cdot n}{30} \cdot \left( \frac{Q}{2 \cdot \varepsilon \cdot f} - \frac{\pi \cdot n \cdot l}{30} \right) = \\ &= \frac{\pi \cdot 841 \cdot 1,0833 \cdot 10^{-4} \cdot 0,03 \cdot 8446}{30} \times \\ &\times \left( \frac{1,0833 \cdot 10^{-4}}{2 \cdot 0,9 \cdot 1,767 \cdot 10^{-6}} - \frac{\pi \cdot 8446 \cdot 0,03}{30} \right) = \\ &= 18,19 \text{ N} \cdot \text{m/s} . \end{aligned}$$

#### 4.3.5 Mezní velikost částic zachycených v čističi

Pro výpočet mezního poloměru částic vyloučených při jednom průchodu oleje přes rotor budeme potřebovat tzv. číslo odkalení, které vypočteme podle následující rovnice (55):

$$B = \frac{2 \cdot Q \cdot g}{\Omega \cdot \omega_1^2} \cdot \frac{l_r - l_0}{l_r + l_0} ,$$

kde

$$\omega_1 = \frac{\pi \cdot n}{30} = \frac{\pi \cdot 8446}{30} = 884,46 \text{ s}^{-1} .$$

Pro rotor bez nečistot

$$B = \frac{2 \cdot Q \cdot g}{\Omega \cdot \omega_1^2} \cdot \frac{l_r - l_0}{l_r + l_0} = \frac{2 \cdot 1,0833 \cdot 10^{-4} \cdot 9,81}{452,4 \cdot 10^{-6} \cdot 884,46^2} \cdot \frac{0,045 - 0,015}{0,045 + 0,015} =$$

$$= 3,0 \cdot 10^{-6} \text{ m/s} .$$

Při 50% zaplnění objemu rotoru nečistotami budeme počítat podle vztahu (58):

$$B_{0,5} = \frac{2 \cdot Q \cdot g}{\Omega \cdot 0,5 \cdot \omega_1^2} \cdot \frac{l_{stř} - l_0}{l_{stř} + l_0} ,$$

kde střední poloměr rotoru vypočteme (59):

$$l_{stř} = \sqrt{\frac{l_r^2 + l_0^2}{2}} = \sqrt{\frac{0,045^2 + 0,015^2}{2}} = 0,03354 \text{ m} ,$$

$$B_{0,5} = \frac{2 \cdot Q \cdot g}{\Omega \cdot 0,5 \cdot \omega_1^2} \cdot \frac{l_{stř} - l_0}{l_{stř} + l_0} = \frac{2 \cdot 1,0833 \cdot 10^{-4} \cdot 9,81}{452,4 \cdot 10^{-6} \cdot 0,5 \cdot 884,46^2} \times$$

$$\times \frac{0,03354 - 0,015}{0,03354 + 0,015} = 4,588 \cdot 10^{-6} \text{ m/s} .$$

Mezní poloměr částic zachycených v čističi pro různé hodnoty  $\Delta$  počítáme podle rovnice (57):

$$Q_k = \sqrt{\frac{9 \cdot \mu}{2 \cdot \Delta \cdot g} \cdot B} .$$

Výsledky jsou zaznamenány v tab.7.

ČÁSTICE	$\Delta$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\varrho_k$ [μm]	
		BEZ NEČISTOT	50% ZNEČISTĚNÍ
organické	300	7,42	9,18
anorganické	2600	2,52	3,12
železné	6900	1,55	1,91

tab.7

#### 4.3.6 Doba setrvání znečišťujících částic v oleji

Dobu pobytu částic nečistot v oleji do jejího vyloučení v odstředivém čističi vypočteme podle následujících vztahů.

Střední dobu pobytu částic nečistot v oleji ( $t_{stř}$ ) podle rovnice (74) a maximální doby pobytu částic nečistot v oleji podle (75):

Pro počáteční mezní velikost částic zachycených v čističi uvažujeme odlučivost čističe  $\varphi = 1$ .

$$t_{stř} = 0,7 \cdot \frac{G_0}{\varrho} \cdot \frac{1}{Q \cdot \varphi} = 0,7 \cdot \frac{32}{841} \cdot \frac{1}{1,0833 \cdot 10^{-4} \cdot 1} = 246s = 4min \ 6s ;$$

$$t_{max} = 4,6 \cdot \frac{G_0}{\varrho} \cdot \frac{1}{Q \cdot \varphi} = 4,6 \cdot \frac{32}{841} \cdot \frac{1}{1,0833 \cdot 10^{-4} \cdot 1} = 1616s =$$

$$= 26 \text{ min } 56 \text{ s} .$$

#### 4.3.7 Odlučivost čističe oleje v rotoru a intenzita čišťení

Odlučivost čističe  $\varphi$  a intenzitu čistění  $Q \cdot \varphi$  určíme pro ekvivalentní částice nečistoty  $\rho_c = 0,4 \mu\text{m}$  při rozdílu měrných hmotností  $\Delta = 600 \text{ kg/m}^3$ .

Pro rotor bez nečistot je odlučivost čističe počítána podle vztahu (44).

Součin rozdělovacího faktoru  $Fr$  a rozdílnosti směsi  $Ec$  je dán vztahem (45):

$$\begin{aligned} Fr \cdot Ec &= \frac{\omega_r^2 \pi \cdot h \cdot (l_r^2 - l_0^2)}{Q} \cdot \frac{\rho_c^2 \Delta}{\mu} = \\ &= \frac{884,46^2 \pi \cdot 0,08 \cdot (0,045^2 - 0,015^2)}{1,0833 \cdot 10^{-4}} \times \\ &\times \frac{(0,4 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 600}{0,012} = 0,0261 . \end{aligned}$$

Potom pro rotor bez nečistot je odlučivost  $\varphi$  a intenzita čistění  $Q \cdot \varphi$  rovna:

$$\begin{aligned} \varphi &= \frac{l_r^2}{l_r^2 - l_0^2} \cdot [1 - \exp(-\frac{4}{9} \cdot Fr \cdot Ec)] = \\ &= \frac{0,045^2}{0,045^2 - 0,015^2} \cdot [1 - \exp(-\frac{4}{9} \cdot 0,0261)] = 0,013 ; \end{aligned}$$

$$Q \cdot \varphi = 1,0833 \cdot 10^{-4} \cdot 0,013 = 14 \cdot 10^{-7} \text{ kg/s} .$$

Při 50% zaplnění objemu rotoru nečistotami budeme počítat podle následujících vztahů:

$$\varphi = \frac{l_{str}^2}{l_{str}^2 - l_0^2} \cdot [1 - \exp(-\frac{4}{9} \cdot Fr \cdot Ec)] ;$$

$$Fr \cdot Ec = \frac{0,5 \cdot \omega_1^2 \cdot \Omega}{Q} \cdot \frac{\Delta \cdot \rho_c^2}{\mu} = \frac{0,5 \cdot 884,46^2 \cdot 452,4 \cdot 10^{-6} \cdot 600 \cdot (0,4 \cdot 10^{-6})^2}{1,0833 \cdot 10^{-4} \cdot 0,012} =$$

$$= 0,013 .$$

$$\varphi = \frac{0,03354^2}{0,03354^2 - 0,015^2} \cdot [1 - \exp(-\frac{4}{9} \cdot 0,013)] = 0,0072 ;$$

$$Q \cdot \varphi = 1,0833 \cdot 10^{-4} \cdot 0,0072 = 7,8 \cdot 10^{-7} \text{ kg/s} .$$

#### 4.3.8 Koncentrace částic nečistot na vstupu do čističe

Orientační výpočet koncentrace částic nečistot na vstupu do čističe za 100 hodin provozu je dán vztahem (68):

$$x = x_0 \cdot \exp(-\frac{\rho}{G_0} \cdot Q \cdot \varphi \cdot t) + \frac{100 \cdot a_0}{\rho \cdot Q \cdot \varphi} \cdot [1 - \exp(-\frac{\rho}{G_0} \cdot Q \cdot \varphi \cdot t)] .$$

Počáteční koncentrace částic nečistot v oleji je rovna nule ( $x_0 = 0$ ). Orientační výpočet koncentrace částic se provádí při 50% zaplnění objemu rotoru nečistotami, u kterého bereme ekvivalentní poloměr částice nečistoty  $\rho_c = 0,4 \cdot 10^{-6} \text{ m}$  a rozdíl měrných hmotností  $\Delta = 600 \text{ kg/m}^3$ .

Lříve bylo vypočteno, že při  $\rho_c = 0,4 \cdot 10^{-6} \text{ m}$  a  $\Delta = 600 \text{ kg/m}^3$  je

$$Q \cdot \varphi = 7,8 \cdot 10^{-7} \text{ kg/s} ;$$

$$\begin{aligned}
 x &= x_0 \cdot \exp\left(-\frac{\rho}{G_0} \cdot Q \cdot \varphi \cdot t\right) + \frac{100 \cdot a_0}{\rho \cdot Q \cdot \varphi} \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{\rho}{G_0} \cdot Q \cdot \varphi \cdot t\right)\right] = \\
 &= 0 + \frac{100 \cdot 1,67 \cdot 10^{-7}}{841 \cdot 7,8 \cdot 10^{-7}} \left[1 - \exp\left(-\frac{841}{32} \cdot 7,8 \cdot 10^{-7} \cdot 3,6 \cdot 10^5\right)\right] = \\
 &= 0,0254 .
 \end{aligned}$$

#### 4.3.9 Množství nečistot usazených v rotoru

Množství částic nečistot zachycených v odstředivém čističi v suché fázi za 100 hodin počítáme podle rovnice (76):

$$\begin{aligned}
 \Delta g_z &= a_0 \cdot t + 0,01 \cdot G_0 \cdot (x - x_0) = 1,67 \cdot 10^{-7} \cdot 3,6 \cdot 10^5 + \\
 &+ 0,01 \cdot 32 \cdot (0,0254 - 0) = 0,068 \text{ kg} = 68 \text{ g} .
 \end{aligned}$$

#### 4.3.10 Zaplnění objemu rotoru nečistotami

Zaplnění objemu rotoru nečistotami za 100 h doby provozu čističe počítáme podle rovnice (77).

Převodní součinitel  $q$  hmotnosti suché fáze nečistot k objemu usazenin je  $q = 3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$  .

$$\Delta v = \frac{\Delta g_z \cdot q}{\Omega} \cdot 100 = \frac{0,068 \cdot 3 \cdot 10^{-3}}{452,4 \cdot 10^{-6}} \cdot 100 = 45\%$$

#### 4.4 Grafická závislost otáček rotoru na tlaku oleje

Grafickou závislost  $n = f(p_1)$  provedeme následujícím způsobem:

a) pomocí rovnice otáček rotoru (11) provedeme grafickou závislost  $n = f(Q)$ , kde průtok oleje uvažujeme v rozmezí  $Q = (4 \div 12,7) 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$  ( v grafické závislosti



je průtok oleje  $Q$  v  $\text{kg/min}$  ). (diagram D-2 )

b) z dané grafické závislosti a rovnice tlaku oleje  
(20) získáme závislost  $n = f(p_1)$ . (diagram D-1 )

Dále si za pomoci předcházejících dvou grafů provedeme grafickou závislost  $Q = f(p_1)$ . Číselné hodnoty jsou zaznamenány v tab 8 a grafická závislost je na diagramu D - 1.

VYPOČTENÉ HODNOTY		
$Q$ ( $\text{kg/min}$ )	$n$ ( $l/\text{min}$ )	$P_1$ ( $\text{kPe}$ )
4,0	5704	224,1
4,2	6072	242,7
4,4	6443	261,7
4,6	6815	281,3
4,8	7189	301,4
5,0	7564	322,1
5,2	7941	343,2
5,4	8319	364,9
5,6	8697	387,0
5,8	9077	409,6
6,0	9458	432,8
6,2	9839	456,4
6,4	10221	480,5
6,6	10604	505,1

tab.8

## 5. Zkušební zařízení pro ověření funkčních parametrů odstředivého čističe oleje

Současná teorie výpočtu parametrů odstředivého čističe oleje v sobě nezahrnuje všechny zákonitosti, které mají vliv na provoz čističe. Otázka analytického řešení řady složitých zadání, spjatých s hydrodynamikou, vede k soustavě složitých diferenciálních rovnic. Proto závislosti, nezbytné pro správné sestavení výpočtu jsou obsaženy ve výsledcích experimentálního sledování. Na provedení experimentu je potřeba postavit samostatnou měřicí stanici, která splňuje podmínky práce v motoru. Aplikací této stanice získáme téměř shodné provozní podmínky jako v běžném provozu čističe.

### 5.1 Měřené veličiny

Vzhledem k rozsahu diplomové práce a možnostem, které jsou v dílnách, jsem postavil měřicí stanici na ověření důležitých parametrů. Podobná měřicí stanice (měření stejných parametrů) je také postavena v ÚVMV Praha, kde každoročně probíhá ověřování technických údajů udávaných výrobcem.

U odstředivého čističe JIKOV 3929 budeme měřit:

- a) tlak oleje na vstupu do čističe .....  $p_1$  (kPa);
- b) otáčky rotoru .....  $n$  (1/min);
- c) objemový průtok oleje procházející rotorem .....  $Q$  (kg/min);
- d) teplotu oleje .....  $t_0$  (°C).

### 5.2 Popis zkušebního zařízení

Schema měřicí stanice je na obr. 3. V zásobní nádrži 1 je 35 litrů oleje M6ADII, ve které je současně zabudováno zubové čerpadlo 2, topné těleso 3, stonkový teploměr 4

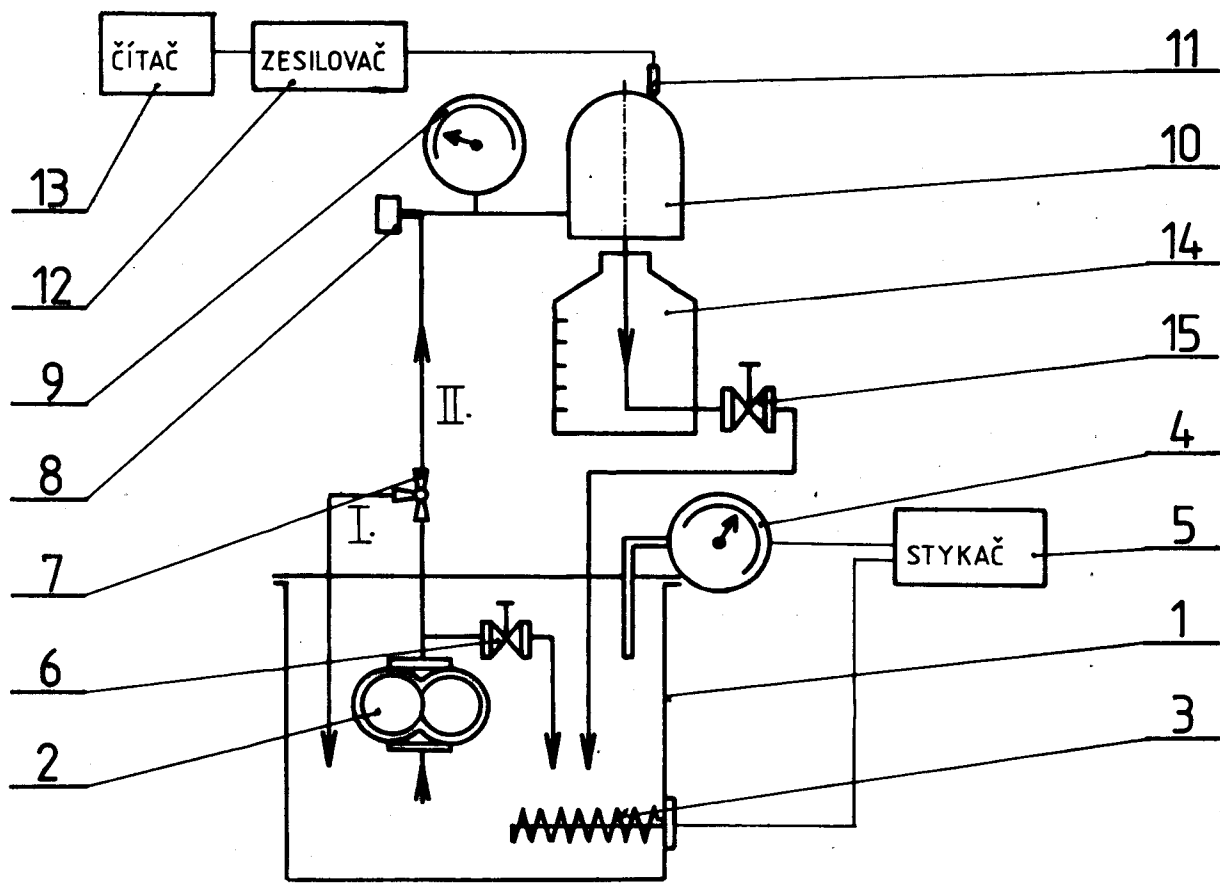


obr.3

- 1-ZÁSOBNÍ NÁDRŽ S OLEJEM - 35l  
 2-ZUBOVÉ ČERPADLO  
 3-TOPNÉ TĚLESO 2000W/220V  
 4-STONKOVÝ TEPLOMĚŘ  
 5-OVLÁDÁNÍ TOPNÉHO TĚLESA - 2 STYKAČE V16D  
 6-PŘEPOUŠTĚCÍ REDUKČNÍ VENTIL  
 7-TŘÍCESTNÝ VENTIL  
 8-ODPOROVÝ TEPLOMĚŘ RT 100  
 9-MANOMETR  
 10-ODSTŘEDIVÝ ČISTIČ OLEJE  
 11-INDUKČNÍ CÍVKA  
 12-ZESILOVAČ NAPĚTÍ  
 13-DIGITÁLNÍ ČÍTAČ OTÁČEK BM 520  
 14-ODMĚRNÁ NÁDOBA - 5l  
 15-UZAVÍRACÍ VENTIL

### 5.3 Postup zkoušky

Po připojení čističe na zkušební zařízení a zapnutí zdroje pro měřicí techniku přepneme třícestný ventil do polohy pro malý okruh I. Dále zapneme topné těleso 3 a motor čerpadla. Když teplota oleje v nádrži dosáhne cca 60°C přepneme třícestný ventil do polohy pro velký okruh II. a ventilem 6 upravíme tlak před čističem na hodnotu zhruba 400 kPa. Aby mohl olej, který projde čističem, procházet zpět do nádrže 1, musí být uzavírací ventil 15 otevřen. Nyní necháme olej cirkulovat až do doby, kdy teplota před čističem (odporový teploměr 8) stoupne na  $95 \pm 2^\circ\text{C}$ , což je přiměřená teplota oleje v motoru. Teplotu je nutno kontrolovat, čímž se současně přesvěd-



obr. 3

1-ZÁSOBNÍ NÁDRŽ S OLEJEM - 35l

2-ZUBOVÉ ČERPADLO

3-TOPNÉ TĚLESO 2000W/220V

4-STONKOVÝ TEPLMĚŘ

5-OVLÁDÁNÍ TOPNÉHO TĚLESA - 2 STYKAČE V 16D

6-PŘEPOUŠTĚCÍ REDUKČNÍ VENTIL

7-TŘÍCESTNÝ VENTIL

8-ODPOROVÝ TEPLMĚŘ PT 100

9-MANOMETR

10-ODSTŘEDIVÝ ČISTIČ OLEJE

11-INDUKČNÍ CÍVKA

12-ZESILOVAČ NAPĚTÍ

13-DIGITÁLNÍ ČÍTAČ OTÁČEK BM 520

14-ODMĚRNÁ NÁDOBA - 5l

15-UZAVÍRACÍ VENTIL

a přepouštěcí redukční ventil 6. Regulace teploty oleje se provádí nastavením určitého rozmezí teplot na stonkovém teploměru 4, který přes stykač 5 ovládá topné těleso 3. V tlakové větvi od čerpadla 2 směrem ke zkoušenému čističi 10 je umístěn třícestný ventil 7, odporový teploměr 8 a manometr pro ověření vstupního tlaku 9. Pod čističem 10 je umístěna odměrná nádoba 14 a uzavírací ventil 15, přes který se olej vrací zpět do zásobní nádrže 1.

Abychom mohli snímat otáčky rotoru čističe, provedli jsme na něm určité úpravy:

1. Matice na rotoru byla zaměněna za matici zakalenou a zmagnetovanou.
2. Do vnějšího krytu čističe byla přidělána indukční cívka 11, ve které se změnou magnetického pole indukuje elektromotorické napětí. Změna magnetického pole je dána otáčením rotoru čističe, na kterém je zmagnetovaná matice. Indukované napětí jde z cívky 11 přes zesilovač 12 do čítače 13, na jehož digitálním výstupu odečítáme otáčky rotoru čističe 10.

### 5.3 Postup zkoušky

Po připojení čističe na zkušební zařízení a zapnutí zdroje pro měřicí techniku přepneme třícestný ventil do polohy pro malý okruh I. Dále zapneme topné těleso 3 a motor čerpadla. Když teplota oleje v nádrži dosáhne cca 60°C přepneme třícestný ventil do polohy pro velký okruh II. a ventilem 6 upravíme tlak před čističem na hodnotu zhruba 400 kPa. Aby mohl olej, který projde čističem, procházet zpět do nádrže 1, musí být uzavírací ventil 15 otevřen. Nyní necháme olej cirkulovat až do doby, kdy teplota před čističem (odporový teploměr 8) stoupne na  $95 \pm 2^\circ\text{C}$ , což je přibližná teplota oleje v motoru. Teplotu je nutno kontrolovat, čímž se současně přesvědčíme o správné regulaci stonkovým teploměrem 4.

Po ustálení teploty můžeme přikročit k vlastnímu měření.

Při měření rychlostní charakteristiky odstředivého čističe oleje postupujeme tak, že měříme přepouštěcím ventilem 6 tlak před čističem v rozsahu (300 ÷ 600) kPa např. po 50 kPa. Při měření průtoku uzavíráme ventil 15 s stopkami sledujeme přírůstek oleje v odměrné nádobě. Otáčky rotoru i příslušné množství oleje měříme až v ustáleném stavu.

#### 5.4 Výsledky zkoušky

Naměřené hodnoty, zaznamenané v příloze 1, jsou přepočteny na základní jednotky (viz příloha 2) a zároveň s vypočtenými hodnotami vyneseny do rychlostní charakteristiky - závislost množství oleje a otáček rotoru na vstupním tlaku (viz. diagram D-1).

Výsledky zkoušky provedené na zkušebním zařízení (obr. 3) ukázaly, že vypočtená otáčková charakteristika čističe  $n = f(p_1)$  se poněkud liší od charakteristiky naměřené (viz D-1). U výpočtu má charakteristika téměř přímkovou závislost, kdežto měřením nám vyšla charakteristika mírně prohnutá. Také poloha charakteristiky se liší, vypočtená je o něco výše než naměřená.

Stejně odlišnosti jsou také u závislosti  $Q = f(p_1)$  (viz D-1).

#### 6. Změna teoretického výpočtu odstředivého čističe oleje

V této části diplomové práce se zaměřím na zpřesnění teoretického výpočtu.

Jestliže mezi sebou porovnáme odstředivý čistič JIKOV 3929 a sovětský čistič zjistíme zásadní rozdíl v konstrukci rotoru. U našeho čističe jsou trysky umístěny v horním a u sovětského čističe v dolní partii rotoru. Tím samozřejmě dochází při průtoku oleje čističem k rozdílné ztrátě tlaku od vtoku oleje do odstředivého čističe do ústí trysky. U sovětských čističů je tlaková ztráta malá,

čímž dojde jen k malému poklesu tlaku, který je těsně před tryskou. Kdežto u našich čističů dochází k velké tlakové ztrátě (olej musí vystoupat až k hornímu okraji rotoru) a tudíž i k většímu poklesu hodnoty tlaku před tryskou. Tlaková ztráta je ve výpočtu zahrnuta v koeficientu hydraulických ztrát  $\psi$ , který je pro teoretický výpočet čističů JIKOV potřeba upravit.

Na základě výsledků zkoušky navrhuji pro čistič JIKOV 3929 velikost koeficientu  $\psi = 0,44$ . Tím se nám změní výpočet tlaku oleje na vstupu do čističe  $p_1$  a zároveň i grafické závislosti  $n = f(p_1)$ . Číselné hodnoty upraveného výpočtu pro získání grafické závislosti (stejný postup provedení jako v kapitole 4.4) jsou zaznamenány v příloze 3 a grafická závislost je na diagramu D-1.

## 7. Závěr

Hlavním problémem této diplomové práce bylo ověření teoretického výpočtu odstředivého čističe oleje.

Nejprve jsem provedl teoretický výpočet odstředivého čističe oleje, který jsem následně aplikoval na čistič JIKOV 3929. Pak jsem na postaveném měřícím zařízení provedl měření. Výsledky zkoušky však teoretický předpoklad nepotvrdily a tak jsem byl nucen výpočet upravit. Touto změnou jsem dostal prakticky shodné závislosti ( $n = f(p_1)$  a  $Q = f(p_1)$ ) s naměřenými.

Předmětem dalšího výzkumu by mělo být získání hodnot koeficientu hydraulických ztrát  $\psi$  pro různé průměry trysek. Doporučuji, aby na měřící stanici (viz obr.3) byl odzkoušen odstředivý čistič s různými průměry trysek a na základě naměřených charakteristik  $n = f(p_1)$  a  $Q = f(p_1)$  určit zpětně koeficienty  $\psi$ .

Závěrem bych chtěl poděkovat pracovníkům dílen KSD VŠST v liberci a to především Petru Jerjemu, Miroslavu

Myškovi, Jaroslavu Bláhovi, Václavu Novákovi a Pavlu Jarošovi, kteří mi pomáhali při stavbě zkušební stanice. Především však děkuji Doc. Ing. Oldřichu Červinkovi CSc, který byl vedoucím této diplomové práce a který mi při jejím vypracování výrazně pomohl.



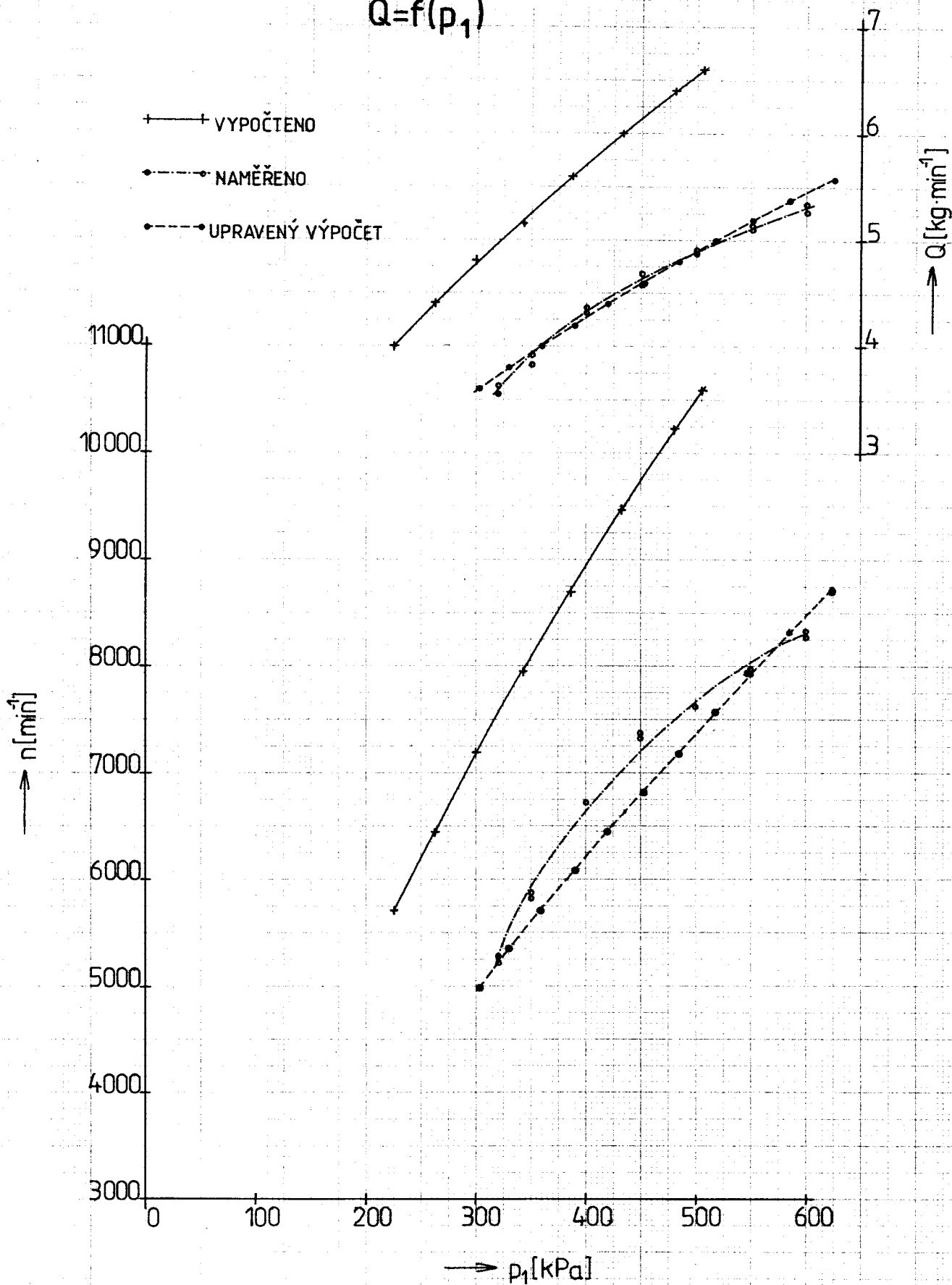
## POUŽITÁ LITERATURA

- /1/ Adamovič, A.V., Grigorjev, M.A., Lebeděv, S.A.: Automobilnaja; traktornaja promyšlenost, 1955, č.8, str.3.
- /2/ Brož, J. a kolektiv: Základy fyzikálních měření, Praha SPN 1983.
- /3/ Fišer, R.: Odstředivý čistič oleje. /Diplomová práce/. Liberec 1989 - VŠST, fakulta strojní.
- /4/ Grigorjev, M.A.: Rasčet centroběžnoj očistki masla, Avtomobilnaja i traktornaja promyšlenost, 1959, č.12, str. 24.
- /5/ Grigorjev, M.A., Pokrovskij, G.P.: Avtomobilnyje i traktornyje centrifugi, 1961.
- /6/ Hampl, j.: Kontrolní zkouška obtokového odstředivého čističe oleje RHO2 d./Protokol/. Praha ÚVMV 1987
- /7/ Šedivý, J.: Podnikové laboratorní zkoušky 3 sériových čističů oleje RHC2 d. /Protokol/. České Budějovice 1989.
- /8/ — : Katalogy a firemní literatura.
- /9/ — : Zkušební předpis pro laboratorní ověřování funkčních parametrů odstředivých čističů oleje ZP-1009-5.

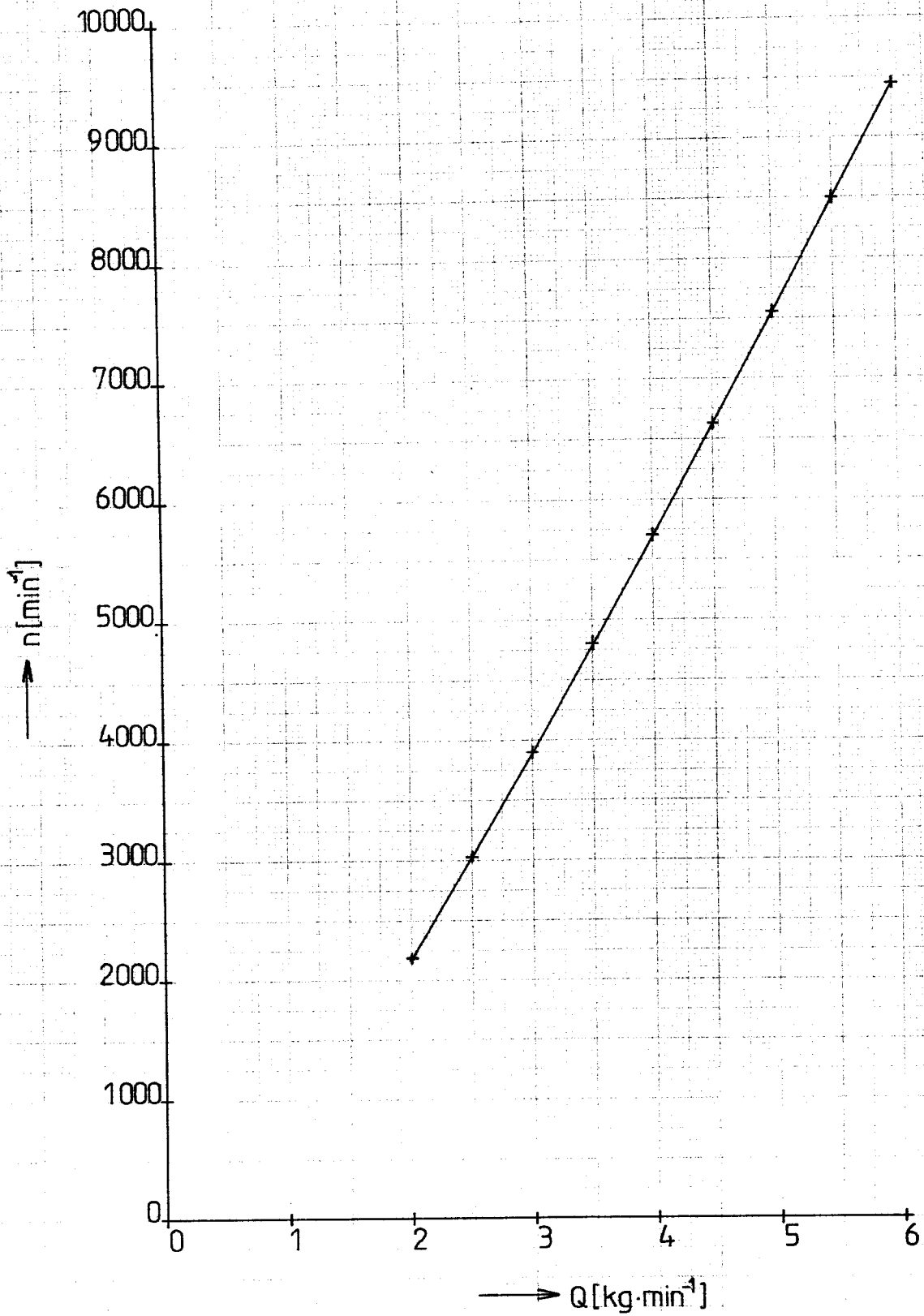
$$n = f(p_1)$$

$$Q = f(p_1)$$

- + VYPOČTENÓ
- NAMĚŘENO
- UPRAVENÝ VÝPOČET



$$n=f(Q)$$



## PŘÍLOHA 1

NAMĚŘENÉ HCDNOTY		
$P_1$ (kPa)	$n$ (s <sup>-1</sup> )	$\tau_{Q=15l}$ (s)
320	88	20,88
320	87	21,32
350	97	19,74
350	98	19,32
400	112	17,39
400	112	17,53
450	122	16,16
450	123	16,52
500	127	15,39
500	127	15,51
550	132	14,81
550	133	14,70
600	139	14,37
600	138	14,16

## PŘÍLOHA 2

PŘEPočTENÉ NAMĚŘENÉ HODNOTY		
$p_1$ (kPa)	$n$ ( $\text{min}^{-1}$ )	$Q$ ( $\text{kg} \cdot \text{min}^{-1}$ )
320	5280	3,63
320	5220	3,55
350	5820	3,83
350	5880	3,92
400	6720	4,35
400	6720	4,32
450	7320	4,68
450	7380	4,58
500	7620	4,92
500	7620	4,88
550	7920	5,11
550	7980	5,15
600	8340	5,27
600	8280	5,35

## PŘÍLOHA 3

VYPOČTENÉ HODNOTY		
Q (kg·min <sup>-1</sup> )	n (min <sup>-1</sup> )	P <sub>1</sub> (kPa)
3,4	4611	276,1
3,6	4973	303,2
3,8	5337	331,3
4,0	5704	360,2
4,2	6072	390,0
4,4	6443	420,6
4,6	6815	452,1
4,8	7189	484,5
5,0	7564	517,6
5,2	7941	551,6
5,4	8319	586,4
5,6	8697	622,0
5,8	9077	658,3
6,0	9458	695,5