

Vysoká škola: **strojní a textilní v Liberci**

Katedra: **pístových strojů**

Fakulta: **strojní**

Školní rok: **1968/1969**

## DIPLOMOVÝ ÚKOL

pro **Josefa DVOŘÁKA**

odbor **04-1-04 stavba výrobních strojů a zařízení**

Protože jste splnil..... požadavky učebního plánu, zadává Vám vedoucí katedry ve smyslu směrnic ministerstva školství o státních závěrečných zkouškách tento diplomový úkol:

Název tématu: **Kouřeměr pro naftové motory**

### Pokyny pro vypracování:

1. Pro kouřeměr KS-04, vyvinutý na katedře pístových strojů VŠST, navrhnete a odzkoušejte část pro odběr kouřových plynů. Konstruktivní návrh podložte teoretickým výpočtem tlakových a teplotních poměrů.
2. Navrhnete absolutní stupnici kouření a provedete porovnání s kouřoměry VÖHM, Bosch, Hartridge.

Autorské právo se řídí směrnicemi MŠK pro státní závěrečné zkoušky č. j. 31 727/62-III/2 ze dne 13. července 1962-Věstník MŠK XVIII, sešit 24 ze dne 31. 8. 1962 § 19 autorského zákona č. 115/53 Sb.

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ  
Ústřední knihovna  
LIBEREC, STUDENTSKÁ 5

V 122/1969 S

Rozsah grafických laboratorních prací:

Rozsah průvodní zprávy:

Seznam odborné literatury: **Svoboda Miroslav, Moc Lubomír: Diplomová práce 1965 -- Vývoj kouřoměru pro naftové motory typu KS 1967 ( Zpráva)**

**Výkresová dokumentace KS 04**

**Sýkora K. :** Sdílení tepla

**Baštovský O. :** Hydromechanika

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Miroslav Svoboda**

Konzultanti:

Datum zahájení diplomové práce:

Datum odevzdání diplomové práce:



*[Handwritten signature]*

vedoucí katedry

*[Handwritten signature]*

děkan

O B S A H :

	str.
1. Odběrové zařízení	2
1.1. Úvod	2
1.2. Rozbor úlohy	7
1.3. Tlak a teplota výfuk.plynu	17
1.4. Charakteristika vývěvy	17
1.5. Výpočtová část	19
1.6. Konstrukční provedení - popis	24
1.7. Zkouška prototypu	26
2. Závislost údaje kouř. na odběru	32
2.1. Shodnost originálu a vzorku	32
2.2. Princip řešení	34
2.3. Zrychlení $a_y$	38
2.4. Stupeň zkreslení vzorku i	42
2.5. Vliv jednotl. parametrů na stupeň zkreslení	43
2.6. Výpočtová část	47
2.7. Úprava odsávacího zařízení	49
2.8. Vliv úpravy na funkci odběr. zařiz.	51
2.9. Velikosti odsátých sazí	52
2.10. Závěr a zhodnocení	53
3. Káviň absolutní stupnice kouření pro naft.mot.	
3.1. Úvod - způsoby měření kouře	55
3.2. Absolutní stupnice	57
3.3. Praktické porovnání systémů H.a B.	63
3.4. Závislost stupně nehomogenity na koncentraci	64
3.5. Důkaz existence funkce $N = F(c)$	65
3.6. Závěr a porovnání přístrojů	70
 Seznam obrazové přílohy	 72
 Seznam použité literatury	 73

1. ODBĚROVÉ ZAŘÍZENÍ PRO KS - 04.

1.1. Úvod.

Kouřoměr KS-04, vyrobený na KPS VŠST Liberec, je přístroj pro měření stupně kouření naftových motorů. Pracuje na principu absorpce světla sloupcem výfukových plynů. K poklesu intenzity světla dochází ve vlastním kouřoměrném válci. Sloupec plynů, jehož objem je dán objemem válce přístroje, je prosvětlován zdrojem- automobilovou žárovkou 12 V, 5W. Pokles intenzity světla je zjišťován změnou hodnoty odporu fotoodporu. Absorbce světla je dle fyzikálních zákonů úměrná množství pevných částic (sazí), obsažených v plynu, a je též funkcí stavových veličin t.j. tlaku a teploty, měřených plynů. Zajímá-li nás právě závislost absorpce světla na množství sazí obsažených v jednotce objemu, je nutno potlačit vliv tlakových a teplotních změn plynů. K poklesu intenzity světla dochází totiž jak na pevných částicích, rozptýlených v objemu, tak i v sloupci plynů. Je možno se domnívat, že hodnota absorpce světla v plynech bude nepoměrně menší, než pohlcená intenzita světla v sazích. Ze složení výfukových plynů ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , a malé množství  $\text{CO}$  a kyslíčků  $\text{N}_2$ ) vyplývá, že všechny hlavní složky jsou bezbarvé průhledné plyny. Zaručíme-li, že tlak i teplota plynů v kouřoměru bude vždy konstantní, můžeme vyloučit jejich vliv na celkový údaj kouřoměru seřizením nuly přístroje na hodnotu absorpce světla sloupcem neznečištěných plynů (na př. čistého vzduchu).

Regulace teploty plynů

Je tedy nutné regulovat stavové veličiny výfukových plynů pro kouřoměr na určitou konstantní hodnotu. Regulace teploty pro přístroj KS-04 je zajištěna ochlazováním a ohříváním výfukových plynů. Hodnota

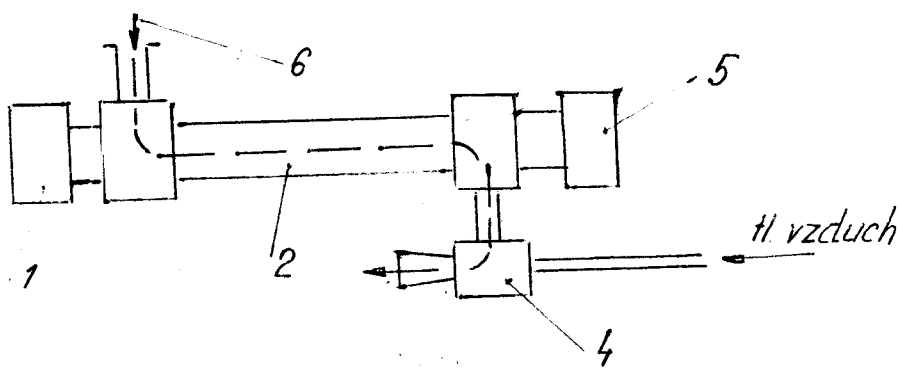
teploty plynu je ( 110 - 130)<sup>o</sup>C. Ovládání chladiče a topení je automatické. Tato regulace je popsána v lit. / 4 / a / 5 / .

Regulace tlaku plynů

Tlak ve výfukovém potrubí motoru je určen hydraulickými odpory potrubí, tlumiče, po případě dalších zařízení. Jelikož tyto odpory se dají vyjádřit čtvercem rychlosti (resp. rychlostní výškou, násobenou příslušným koeficientem ) lze se domnívat, že tlak ve výfuku kolísá ve značné míře v závislosti na otáčkách motoru. Není tedy možné připojit kouřoměr na výfukové potrubí motoru bez zařízení, jež by potlačilo kolísání tlaku ve výfuku a regulovalo by tlak plynu pro kouřoměr na konstantní hodnotu. Protože daný kouřoměr KS-04 měří stupeň kouření kontinuálně, musí i odběrové zařízení dodržet žádaný tlak při všech režimech zatížení motoru.

Schema kouřoměru KS-04

obr. 1.



- 1... zdroj světla
- 2... kouřoměrný válec
- 3... vstup výfukových plynů
- 4... vývěva
- 5... fotoodpor
- 6... dráha výf. plynů

Výfukové plyny jsou prosávány kouřoměrem. Potřebný tlakový spád, umožňující tento pohyb, je vyvolán vývěvou - vzduchovým ejektorem. Přivádíme-li tlakový vzduch pro vývěvu regulovaný na konstantní hodnotu a je-li i hodnota tlaku výfukových plynů konstantní, vývěva odsaje právě určitý objem plynů za jednotku času, který je určen její charakteristikou.

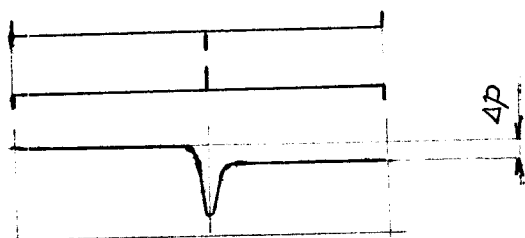
Aby nedocházelo k usazování sazí uvnitř kouřoměru, je nutno udržovat uvnitř kouřoměrného válce podtlak vůči vnějšímu prostředí. Hodnota tohoto podtlaku je stanovena dle zkušeností na 200mm H<sub>2</sub>O. Při nižší hodnotě podtlaku vzniká nebezpečí usazování sazí v kouřoměrném válci, vyšší hodnoty podtlaku by mohly způsobit přísávání vnějšího vzduchu netěsnostmi do kouřoměru a tím znehodnotit měření.

Odběrovým zařízením je tedy nutno spojit kouřoměr s výfukovým potrubím motoru. Toto spojení by mělo být jednoduché a jednoznačné. Odběr by se měl uskutečňovat z místa přesně určeného na výfukovém potrubí. Vzhledem k tomu, že tlak požadovaný pro kouřoměr má být  $p = -200\text{mm H}_2\text{O}$ , by bylo výhodnější odebírat vzorek kouře až za tlumičem. Protože však při použití různých tlumičů jsou výfukové plyny různě ovlivněny (na př. zachycováním sazí v tlumiči), bude odběr uskutečněn před tlumičem a z důvodů jednoznačnosti a snadné montáže umístěn přímo na přírubu výfukového potrubí motoru.

Možné způsoby snížení tlaku plynů pro odběr.

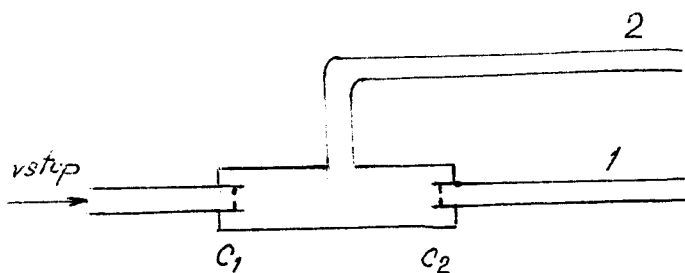
- a) pomocí clonek
- b) použitím bočního odběru
- c) použitím zužující se trysky

ad a) Principem je škrcení proudícího plynu náhle zúženým průřezem. Tento jev při zachování konstantní entalpie doprovází trvalá ztráta tlaku  $\Delta p$ . Tento způsob snižování tlaku je nevýhodný pro případ odběru kouře se sazezi, protože je nebezpečí, že saze budou zachycovány clonkou a při eventuálních velkých poměrných změnách průřezů se clonky budou zanášet sazezi.



obr. 2.

ad b) Bočník umožňuje větší pokles tlaku mezi 2 clonkami  $C_1$  a  $C_2$  tím, že část plynu je odváděna přetlakem do atmosféry a pouze část je při zmenšeném tlaku přiváděna do kouřoměru. Tato výhoda bočníku se však mění v nevýhodu při malém vstupním tlaku, protože je nebezpečí přisávání vzduchu z atmosféry potrubím 2 a tím znehodnocení vzorku kouře. Další nevýhodou bočníku je existence paralelního potrubí 2, což zvyšuje nároky na umístění zařízení, montáž a údržbu.



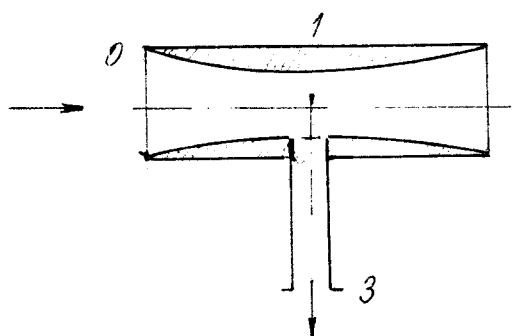
obr. 3.

ad c) V zúženém místě trysky se část tlakové energie mění v kinetickou. Provedeme-li odběr dle schematu, je možné, tlak plynu v potrubí 3 docílit vhodným poměrným zúžením průřezů trysky.

Všechny průřezy trysky i odběrového potrubí mohou být dostatečně velké, aby nedocházelo k zanášení sazí. Tryska se dá jednoduše umístit do výfukového potrubí motoru a snado spojit s kouřoměrem.

Velikost vstupního průřezu trysky se dá volit tak, aby 1) hydraulické odpory trysky ve výfukovém potrubí motoru neovlivnily jeho chod

- 2) množství plynu vstupujícího do trysky bylo několikanásobkem množství, jež z trysky bude odsáto do kouřoměru .



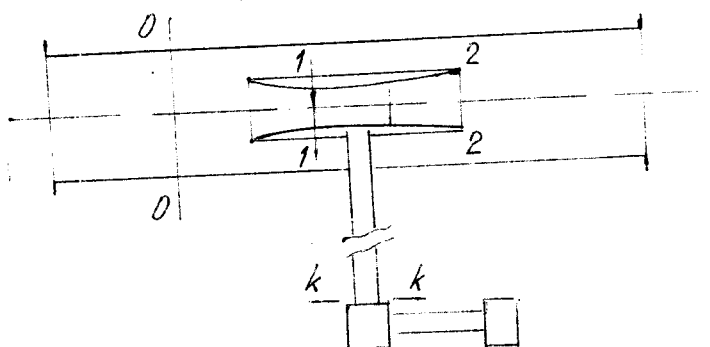
obr. 4.

Nejvýhodnějším způsobem docílení změny tlaku se zdá býti zúžující se tryska, protože nemá nevýhodu způsobů (a) a (b). Rozhodl jsem se tedy řešit odběrové zařízení na principu zužující se trysky .



1.2. Rozbor úlohy .

Proudění plynu tryskou a odběrovým zařízením lze popsat rovnicemi, uvedenými v lit. /1/ pro případ proudění vzdušin rozvětveným potrubím. Tyto rovnice jsou : rovnice Bernoulliho a rovnice kontinuity, doplněné rovnicí předpokládané změny stavu plynů a stavovou rovnicí ideálního plynu.



obr. 5.

$$\text{Platí: } p_0 \cdot v_0 + \frac{c_0^2}{2g} = p_{11} + \frac{c_1^2}{2g} \quad /+ h/ \quad (1.1)$$

$$p_{11} + \frac{c_1^2}{2g} = p_k + \frac{c_k^2}{2g} + h_z \quad (1.2.)$$

Tlak  $p_k$  je požadován konstantní a jeho hodnota je diskretní ( - 200 mm H<sub>2</sub>O ). Celé zařízení má být konstruováno pro tento účel.

Kouřoměr KS - 04 je vybaven zařízením pro dosažení konstantní teploty výfukových plynů, vstupujících do kouřoměru. Toto zařízení je popsáno v lit. / 4/.

Můžeme tedy předpokládat, že teplota výfukových plynů při správné funkci tohoto zařízení bude konstantní.

Předpokládáme-li platnost stavové rovnice ideálního plynu  $p v = RT$ , potom  $v = \frac{RT}{p}$ . Jelikož  $R = \text{konst.}$ ,  $T_{p_k} = \text{konst.}$ , bude i  $v_k = \text{konst.}$

Rychlost  $c_k$ , kterou plyn vstupuje do kouřoměru, je při daném  $p_k$  rovněž přesně určena. Je jí možno odečíst z charakteristiky vývěvy jako funkci podtlaku před vývěvou ( $p_k$ ) a parametru  $p$  (tlak tlakového vzduchu pro vývěvu). Vývěva je vzduchový ejektor a je popsána v lit. / 5/. Zjištění a proměření této charakteristiky je popsáno v následující kapitole této práce.

Z toho ovšem vyplývá, že celá pravá strana rovnice (1.2) je konstantní a nijak nezávisí na změně režimu zatížení motoru, kromě veličiny  $h_z$ , která reprezentuje ztráty v odsávací části odběrového zařízení.

Povšimněme si nyní levé strany rovnice (1.1).

Rychlost  $c_o$  je průměrná rychlost plynů ve výfukovém potrubí motorů. " dostatečnou přesností ji můžeme vyjádřit jako funkci otáček motoru a jeho zdvihového obsahu. Jsou-li  $n$  otáčky motoru a  $V$  jeho zdvihový objem, pak z předpokladu nutnosti výměny obsahu válce za jednotku času lze psát :

$$\frac{n}{2.60} \cdot V = Q \quad / \frac{m}{s} /$$

kde  $Q$  je množství plynu, jež projde průřezem výfukového potrubí za 1s. Známe-li  $F$  (plochu průřezu), určíme  $c_o$  jako  $c_o = \frac{Q}{F} / \frac{m}{s} /$ . Tato rychlost se tedy mění a nabývá určitých hodnot od  $c_{o_{min}}$  odpovídající volnoběhu do  $c_{o_{max}}$  odpovídající maximálním otáčkám motoru.

Tlak  $p_o$  : jednoznačnou závislost tohoto tlaku na otáčkách motoru lze těžko vyjádřit. Závisí totiž též na zatížení motoru a na teplotě výfukových plynů. Zjištění tlaku  $p_o$  bylo tedy provedeno experimentálně. Popis měření v následující kapitole. Opět tedy nabývá tlak  $p_o$  hodnot  $p_{o_{min}}$  až  $p_{o_{max}}$ .

Pro další úvahy se ukáže býti výhodné, budou-li charakterizovány 2 diametrálně odlišné režimy chodu motoru a to :

- a) max. režim
- b) min. režim

Ad a) hodnota  $p_0$  ( zjištěna měřením ) je max.,  $T_0$  výfuk. plynu a  $c_0$  jsou rovněž max. hodnoty.

Ad b) tlak, rychlost a teplota plynu jsou min.

Podaří-li se zkonstruovat odběrové zařízení tak, že obsáhne tyto dva režimy, můžeme tvrdit, že funkce zařízení bude správná i v ostatních.

Tlak a rychlost v zúženém průřezu trysky.

Pro proudění plynu mezi body 0 - 1 lze psát :  
rovnici Bernoulliho

$$p_0 + \frac{c_0^2}{2g} = p_1 + \frac{c_1^2}{2g} + h_z \quad (1.1)$$

rovnici kontinuity pro stlačitelné vzdušiny

$$\frac{F_0 c_0}{v_0} = \frac{F_1 c_1}{v_1} \quad (1.3)$$

mezi body 0 - 1 předpokládáme adiabatickou změnu stavu

$$p_0 v_0^\kappa = p_1 v_1^\kappa \quad (1.4)$$

doplníme rovnici stavu ideálního plynu  $p v = RT$

Ztráty  $h_z$  budeme pokládat za nulové, protože se jedná o úseky v délce několika cm, jsou ztráty zanedbatelné.

Z rovnice (1.3) vyjádříme  $c_1$  :  $c_1 = \frac{F_0}{F_1} \frac{v_1}{v_0} c_0 \quad (1.3')$

Z rovnice (1.4) vyjádříme  $\frac{v_1}{v_0}$  :  $\frac{v_1}{v_0} = \left(\frac{p_0}{p_1}\right)^{\frac{1}{\kappa}}$  a dosadíme do (1.3')

$$c_1 = \frac{F_0}{F_1} \left(\frac{p_0}{p_1}\right)^{\frac{1}{\kappa}} c_0$$

$$\text{Potom : } p_0 + \frac{c_0^2}{2g} = \frac{\left(\frac{F_0}{F_1}\right)^2 \left(\frac{p_0}{p_1}\right)^{\frac{2}{\kappa}} c_0^2}{2g} + p_1$$

$$RT_0 + \frac{c_0^2}{2g} = \frac{\left(\frac{F_0}{F_1}\right)^2 \left(\frac{p_0}{p_1}\right)^{\frac{2}{\kappa}} c_0^2}{2g} + RT \left(\frac{p_1}{p_0}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}$$

$$\frac{F_0}{F_1} = \sqrt{\frac{RT_0 \left[ 1 - \left( \frac{p_1}{p_0} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \right] \cdot 2g + c_0^2}{\left( \frac{p_0}{p_1} \right)^{\frac{2}{\kappa}} c_0^2}} \quad (1.5)$$

Tato rovnice udává poměrnou změnu průřezu trysky, v závislosti na tlacích a rychlostech v bodě 0 a 1. Předpokládejme, že stejného  $p_1$  bychom chtěli dosáhnout se stejnou tryskou při max. a min. poměrech. Z rovnice (1.5) vyplývá, že dosadíme-li za  $p_0$  a  $c_0$  bude  $\frac{F_0}{F_1}$  větší, než dosadíme-li  $p_{0min}$   $c_{0min}$ . Naopak máme-li trysku o  $\frac{F_0}{F_1} = \text{konst.}$ , potom tlak  $p_1$  dosažený touto tryskou při max. režimu bude vyšší, než tlak dosažený při min. režimu. Bude se tedy pohybovat od  $p_{1min}$  do  $p_{1max}$ .

Tlak  $p_1$  a rychlost  $c_1$  jsou tedy jednoznačně určeny poměrem průřezu trysky a vstupními parametry  $p_0$  a  $c_0$  na jedné straně, ale jsou na ně kladeny požadavky na straně odsávané  $p_k$   $c_k$ . Pokusme se vyjádřit tlak  $p_1$  jako funkci všech výše zmíněných veličin - tzn.  $p_0$ ,  $c_0$ ,  $p_k$  a  $c_k$ .

Pro body 1 - k píšeme :

$$p_{v1} + \frac{c_1^2}{2g} = p_{vk} + \frac{c_k^2}{2g} + h_z \quad (1.2)$$

za  $c_1$  dosadíme do (1.2) z (1.3) a za  $\frac{F_0}{F_1}$  dosadíme do (1.3) z (1.5).

$$p_{v1} + \frac{c_0^2}{2g} \left[ \frac{2g RT_0 / 1 - \left( \frac{p_1}{p_0} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} + \frac{2}{c_0^2}}{\left( \frac{p_0}{p_1} \right)^{\frac{2}{\kappa}} c_0^2} \right] \left( \frac{p_0}{p_1} \right)^{\frac{2}{\kappa}} = p_{vk} + \frac{c_k^2}{2g} + h_z$$

$$p_{v1} + RT_0 / 1 - \left( \frac{p_1}{p_0} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} + \frac{c_0^2}{2g} = p_{vk} + \frac{c_k^2}{2g} + h_z$$

$$F_1 \left( \frac{p_0}{p_1} \right)^{\frac{1}{\kappa}} v_0 + RT_0 / 1 - \left( \frac{p_1}{p_0} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} + \frac{c_0^2}{2g} = p_{vk} + \frac{c_k^2}{2g} + h_z$$

$$\frac{\kappa-1}{P_1 \kappa} \frac{1}{P_0} v_0 + RT_0 / 1 - \left(\frac{P_1}{P_0}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = P_{kk} v_k + \frac{c_k^2 - c_0^2}{2g} + h_z$$

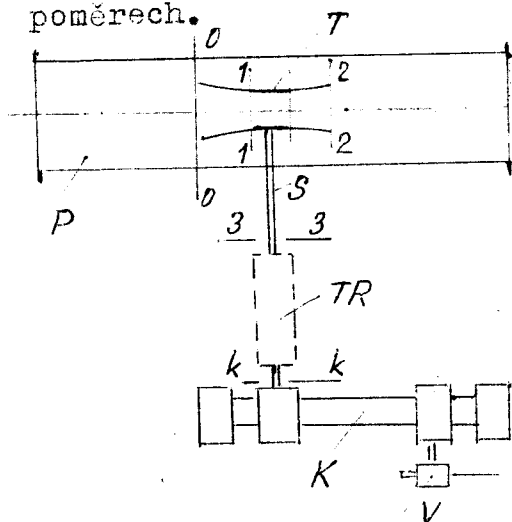
$$\frac{\kappa-1}{P_1 \kappa} \frac{1}{P_0} v_0 - \frac{RT_0}{P_0 \kappa} = P_{kk} v_k + \frac{c_k^2 - c_0^2}{2g} + h_z - RT_0$$

$$P_1 = \left[ \frac{P_{kk} \left(\frac{P_1}{P_0}\right)^{\frac{1}{\kappa}} \frac{c_k^2 - c_0^2}{2g} + h_z - RT_0}{\frac{1}{P_{kk}} v_k - \frac{RT_0}{P_0 \kappa}} \right]^{\frac{\kappa}{\kappa-1}} \quad (1.6)$$

Z předchozího víme, že tlak  $p_1$  při konstantním  $\frac{F_0}{F_1}$  (poměrným zúžením průřezu) se bude měnit a že bude růst s růstem  $p_0$   $c_0$  a naopak. Zároveň se bude zvyšovat  $c_1$  dle vztahu (1.3') v závislosti na  $c_0$ . Potom můžeme psát rovnici (1.2) takto :

$$P_1 \left(\frac{P_0}{P_1}\right)^{\frac{1}{\kappa}} v_0 + c_0^2 \left(\frac{F_0}{F_1}\right)^2 \left(\frac{P_0}{P_1}\right)^{\frac{2}{\kappa}} = \text{konst.} + h_z \quad (1.7)$$

Z této rovnice je patrné, že chceme-li skutečně do-  
držet  $p_k$   $c_k$  na konstantní hodnotě, musí ztráty  $h_z$   
vzrůstat v popsané závislosti na počátečních para-  
metrech výfukových plynů  $c_0$   $p_0$   $T_0$ . Ztráty  $h_z$  se  
ovšem vyjadřují jako násobek rychlostní výšky tzn.  
 $h_z = k \frac{c^2}{2g}$ . Nutno zdůraznit, že tyto ztráty se  
realizují přímo v odsávacím potrubí odběrového zaří-  
zení a jsou tudíž funkcí rychlosti  $c_k$ . Budeme te-  
dy sledovat ztrátovou výšku  $h_z$  při max. a min.  
poměrech.



obr. 6

- P ... výfuk.potrubí
- T ... tryska
- S ... odsávací potrubí
- K ... kouřoměr
- V ... vývěva
- TR .. regulace teploty

Úsek 3 - k ( viz obr. 6 )

V tomto úseku jsou výfukové plyny ochlazovány na konst. teplotu  $T_k$ . Je jim tedy odebráno teplo  $q$  (rozumí se 1 kg plynu). V místě 3 má plyn teplotu

$$T_3 = \frac{T_0}{\left(\frac{p_0}{p_3}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}}$$

Tlak v místě 3 můžeme považovat za  $p_3 = p_k$

shodný s tlakem před vývěvou, protože ztráty v úseku 3 - k jsou zanedbatelné. Odvod tepla probíhá tedy jako isobarický děj. (Ve skutečnosti je tento děj zřejmě složitější. Jedná se o polytropickou změnu - odvod tepla - přičemž bychom pro úsek 3 - k psali zákon o zachování energie ve formě základní pohybové rovnice pro proudění plynu - viz lit./2/.

$$\text{V dif. tvaru : } -dq = di + A \frac{dv}{2g} + Adh$$

dh... změna potenc. energie, pro náš případ = 0.

Je tedy elementární teplo odvedené jednomu kg proudícího plynu na elementární dráze rovno úbytku entalpie a kinetické energie plynu).

Výfukové plyny o teplotě  $T \leq 110^\circ\text{C}$  však ochlazovány nejsou, pro tyto plyny platí původní předpoklad adiab. proudění až do kouřoměrného válce.

Pro max. poměry :

vývěva nasává ochlazený plyn o teplotě  $T_k$  a tlaku  $p_k = p_3$ . Měrný objem je tedy  $v_k = \frac{RT_k}{p_k}$ . Předpokládáme-li isobarickou změnu pro úsek 3 - k, bude

$$v_3 = \frac{RT_3}{p_k}$$

$$\text{Rovnice kontinuity pro 3 - k : } \frac{F_3 c_3}{v_3} = \frac{F_k c_k}{v_k}$$

$$\text{vyjádříme tedy ... } c_3 = \frac{F_k}{F_3} \frac{T_3}{T_k} c_k \quad (1.8)$$

Ze vztahu (1.8) je patrné, že rychlost v odběrové části v místě 3 vzroste při max. poměrech v poměru  $\frac{T_3}{T_k}$ , oproti rychlosti při min. režimu, jelikož při min. režimu se plyny neochlazují a  $c_3 = c_k$ .

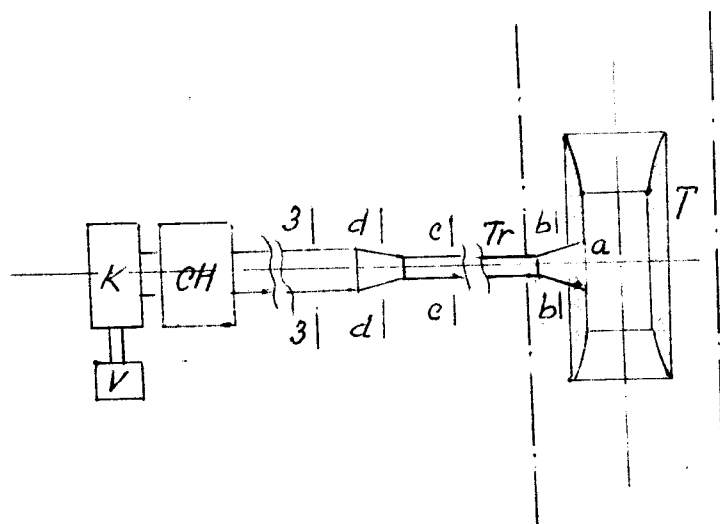
Vztah ( 1.6 ) je ovšem odvozen při uvažování adiabatické změny stavu t.zn. že popisuje přesně proudění plynu do bodu 3 odběrového potrubí. Je tudíž nutno přepsati jej do tvaru :

$$p_1 = \left[ \frac{p_3 \left( \frac{p_3}{p_0} \right)^{\frac{1}{\kappa}} \frac{c_3^2 - c_0^2}{2g} + h_z - RT_0}{p_0 \left( \frac{p_3}{p_0} \right)^{\frac{1}{\kappa}} - \frac{RT_0}{p_0 \kappa}} \right]^{\frac{\kappa}{\kappa-1}} \quad ( 1.6' )$$

kam za  $p_3$  dosadíme  $p_3 = p_k$ ,  
a za  $c_3$  dosadíme ze vztahu ( 1.8 ) .

Protože  $h_z = k \frac{c^2}{2g}$  je zřejmé, že se čtvercem rychlosti porostou ztráty . Tato skutečnost je velmi výhodná, protože koresponduje se vztahem ( 1.7 ) . Ztrátová výška  $h_z$  poroste tím více, čím bude vzrůstat  $p_1$  resp. počáteční poměry  $p_0$   $c_0$  .

Hlavní část odběrového zařízení tvoří ovšem potrubí relativně velkého průměru (  $\varnothing 22\text{mm}$  ) . Na takovémto potrubí bude vytvořena malá ztráta, protože jsou zde nízké rychlosti. Ukazuje se lepší vložit do odběrové části vhodný element, na kterém by se realizovala potřebná ztrátová výška a dala by se snadno zjistit její velikost. Tím by mohla být " krátká " rovná trubka, vložená mezi trysku a vlastní potrubí.



obr. 7

- CH... chladič
- K... kouřoměr
- V... vývěva
- T... tryska
- Tr... trubka

Rozbor ztrát.

Na uvedeném odběrovém zařízení (viz obr. 7) je několik způsobů vzniku ztrát.

- a) ztráta vstupem do potrubí
- b) ztráta pozvolným zúžením průřezu
- c) ztráta třením v trubce
- d) ztráta pozvolným rozšířením průřezu
- e) ztráta třením v hlavním odběrovém potrubí

Protože všechny zde uvedené ztráty se dají vyjádřit jako násobek rychlostní výšky, je patrné, že hlavní roli pro vytvoření ztrát má trubka  $Tr$ , protože rychlost v ní je několikanásobkem rychlostí v ostatních částech zařízení. Věnujme jí tedy největší pozornost.  
Ztráty v rovné trubce  $Tr$ .

Tyto ztráty se vyjadřují jako násobek rychlostní výšky. Platí Weissbachův vzorec  $h_z = \lambda \frac{l}{d} \cdot \frac{c^2}{2g}$ . (1.9)

$\lambda$  ... koeficient - je funkcí Reynoldsova čísla a poměrné drsnosti stěn

$\frac{l}{d}$  ... poměr délky a průměru potrubí

$c$  ... rychlost v potrubí

rychlost  $c$  v trubce snadno zjistíme z rovnice kontinuity pro odběrovou část potrubí (s přihlédnutím k rovnici adiab. změny stavu a stavové rovnici) a ze známé rychlosti  $c$ .

Pro určení  $\lambda$  je nutné znát  $Re = \frac{cd}{\nu}$ . Určení kinematické viskozity, rychlosti  $c$ , a tím  $Re$  bude provedeno ve výpočtové části.

Konstrukcí uspořádání (viz obr.7) napovídá, že na celkovou velikost ztrátové výšky bude mít právě směrdatný vliv hodnota  $h_z$  rovného zúženého potrubí. To ovšem platí jen za předpokladu turbulentního proudění o značném  $Re$ . Protože bude použita "krátká" trubka (zřejmě s poměrem  $\frac{l}{d} = / 20-25 /$ ) neplatí pro eventuální laminární proudění Weissbachův vztah pro  $h$ . Pro výpočet ztrát nutno použít vztahu, respektujícího rozběh proudu v potrubí. Pro turbulentní proudění,



kde se rychlostní profil v podobě plné paraboly ustáví na nepoměrně kratší vzdálenosti a ztráty rozběhem činí dle lit. /1/ asi 9% kinetické energie, dostaneme i dle Weissbachova vzorce použitelné výsledky .

Určení výstup. průřezu trysky.

V dosavadním průběhu výpočtu jsme dospěli k určení poměr. zúžení trysky. Nyní zbývá určit výstupní průřez trysky. S jistou nepřesností lze předpokládat, že tlak  $p_2$  za tryskou ve výfuk. potrubí bude stejně velký jako tlak  $p_0$  . Rovněž teplota  $T_2$  ve výfukovém potrubí bude shodná s  $T_0$  .

Pro průřez 2 lze tedy psáti rovnice: Bernoulliho , kontinuity, adiab. změny, stavovou rov. plynu.

$$p_{c_0} v_0 + \frac{c_0^2}{2g} = p_{c_2} v_2 + \frac{c_2^2}{2g}$$

$$\frac{F_0 c_0}{v_0} = \frac{F_k c_k}{v_k} + \frac{F_2 c_2}{v_2}$$

$$p v^\gamma = \text{konst.} \quad , \quad p v = RT$$

Z uvedených předpokladů vyplývá :  $p_2 = p_0$  ,

$$T_2 = T_0 .$$

$$2gRT_0 + c_0^2 = 2gRT_0 + c_2^2$$

$$\text{Z rov. kontinuity :} \quad c_2 = \frac{F_0}{F_2} \cdot \frac{v_2}{v_0} c_0 - \frac{F_3}{F_2} \cdot \frac{v_2}{v_3} c_3$$

Protože z předchozího výpočtu je znám poměr  $\frac{F_0}{F_1}$  (viz vzorec (1.5) ) a z konstrukčních důvodů  $F_3 = F_1$  , můžeme psáti :

$$c_2 = \frac{F_0}{F_2} \left[ c_0 \cdot \frac{v_2}{v_0} - \frac{1}{k} c_3 \frac{v_2}{v_3} \right] \quad ( 1.10 )$$

kde  $k$  značí poměr  $\frac{F_0}{F_1}$

za  $c_2$  dosadíme ze vztahu ( 1.10 ) do Bernoulli.rov:

$$2gRT_0 + c_0^2 = 2gRT_0 + \frac{F_0}{F_2} \left[ c_0 \frac{v_2}{v_0} - \frac{1}{k} \frac{v_2}{v_3} c_3 \right]^2$$

S použitím uvedených předpokladů:  $p_0 = p_2$  ,  $v_0 = v_2$  :

$$\frac{F_0}{F_2} = \frac{c_0}{c_0 - \frac{c_3}{k} \left( \frac{p_2}{p_0} \right)^{\frac{1}{\gamma}}} \quad ( 1.11 )$$

Shrnutí

- 1) Měřením se zjistí hodnoty tlaku a teploty výfuk. plynů v místě předpokládaného odběru a určí se max. a min. hodnoty, směrodatné pro výpočet.
- 2) Měřením se zjistí charakteristika vývěvy- závislost odsátého množství na podtlaku před vývěvou, parametr je tlak tlakového vzduchu.
- 3) Pro max. režim je nutno určit rychlost  $c_3$  dle vztahu ( 1.8 ), která je změněna v důsledku ode- bírání tepla oproti hodnotě  $c_k$ , odečtené z char. vývěvy.
- 4) Dle vztahu ( 1.9 ) se určí ztráty v trubce Tr.
- 5) Tyto hodnoty se dosadí do vztahu ( 1.6' ) a určí se tlak  $p_1$  .
- 6) Za tlak  $p_1$  se dosadí do vztahu ( 1.5 ) a určí se poměrné zúžení průřezu trysky.
- 7) Dosazením do vztahu ( 1.11 ) se určí rozšíření trysky  $\frac{F_0}{F_2}$  .

Je jasné, že hodnoty poměrných zúžení a rozšíření průřezů trysky, vypočítané pro max. a min. režim, se nebudou úplně shodovat. Toto je zaviněno především tím, že dosažená ztrátová výška  $h_2$ , i když je regulována rychlostí v trubce, nevyhovuje plně podmínce, vyjádřené rovnicí ( 1.7 ). Proto bude nutno porovnat obě hodnoty  $(\frac{F_0}{F_1})_{min}$  a  $(\frac{F_0}{F_1})_{max}$  a skutečnou trysku vyrobit v rozměrech, jež by odpovídaly střední hodnotě, vypočtené z těchto. Totéž platí i o hodnotách poměrného rozšíření trysky  $\frac{F_0}{F_2}$  .

Do jaké míry tyto nepřesnosti ovlivní funkci zaříze- ní názorně ukáže prověření funkce zhotoveného zaříze- ní. Výsledky zkoušky prototypu budou uvedeny v násle- dující kapitole této práce .

### 1.3. Tlak a teplota výfuk.plynů

Měření tlaku  $p_0$  a teploty  $T_0$  ve výfukovém potrubí motoru má za úkol zjistit jejich průběh v závislosti na režimu motoru. Měření bylo provedeno na motoru M 630. Ve výfuk. potrubí byl v místě předpokládaného umístění odsávacího zařízení zabudován termočlánek Fe - Co a sonda pro měření tlaku. Tlak byl měřen U - manometrem v mm Hg, přičemž byl změřen i tlak v laboratoři. Tlak ve výfuk. potrubí  $p_0$  byl určen jako součet  $+ p$ , změřeného manometrem a hodnoty  $p_B = 735 \text{ mmHg}$ , jež odpovídá tlaku  $10.000 \left(\frac{\text{kp}}{\text{m}^2}\right)$ . Hodnota  $p_{\text{omax}}$  byla zvýšena o 20 % čímž je zaručena správná činnost zařízení i při event. překročení těchto parametrů.

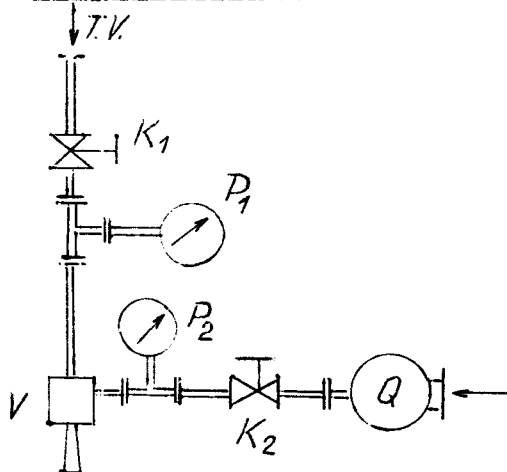
#### Tabulka naměřených hodnot

$ot/\text{l}/\text{min}$	$M_k$ /kpm/	$t/^\circ\text{C}/$	$\Delta p/\text{mmHg}/$	$p/\frac{\text{kp}}{\text{m}^2}$
600	0	110	11	10 150
1300	30	300	40	10 544
1625	66	590	75	11 020
1900	62	610	111	11 800

### 1.4. Charakteristika vývěvy

Účelem je zjistit přesnou závislost odsávaného objemu na tlaku před vývěvou. Známe-li tuto závislost je možno dle tlaku  $p$  ihned určit odsávaný objem a při známé hodnotě plochy potrubí i rychlost plynu. Parametrem, jež v průběhu měření je měněn, je tlak tlakového vzduchu pro vývěvu.

Schema měření



obr. 8.

- V... vývěva  
 TV... přívod tlak.vzduchu  
 P1... manometr pro měření tlak.vzduchu  
 P2... U-man pro měření podtlaku před výv.  
 K1... regulace tlaku vzd.  
 K2... regulace podtlaku  
 Q ... plynoměr "Gizelan"

Tabulka naměřených hodnot

tlak /at/	podtlak /mmv.s./	Q l/min	tlak /at/	podtlak /mmv.s./	Q l/min
1,5	185	64	1,5	135	58
	240	29,5		180	24
	350	0		260	0
	21	172		19	160
2	220	79,5	2,5	280	92
	315	37,5		330	79
	490	0		450	36
	29	202		580	0
3	300	98	3,5	32	212
				370	101,5
				450	71
				540	50
	52mmHg	0	57mmHg	0	
35	230	40	262		
4	390	120	4	655	55
	440	108		66mmHg	0
	530	81		50	296
	600	68			

Hodnoty z tab. byly vyneseny do diagramu charakter. vývěvy - viz přílohu obr. 9.

Z diagramu bylo odečteno množství  $Q_k$  pro tlak 9 800  $\text{kp/m}^2$  a parametr  $p = 4 \text{ at}$ . Známe-li plochu  $F_k$  můžeme určit střední rychlost proudícího plynu, neboť

$$c_k = \frac{Q_k}{F_k} \left( \frac{\text{m}}{\text{s}} \right).$$

$$Q_k = 225 \text{ (l/min)} = 0,00392 \text{ (m}^3/\text{s)}$$

$$F_k = 0,00038 \text{ (m}^2)$$

$$c_k = 10,25 \text{ (m/s)}$$

### 1.5. Výpočtová část

Dle popsaného postupu (viz str. 16) bude dosaženo do příslušných vztahů, uvedených v předchozích kapitolách.

#### Počáteční hodnoty :

Pro max. poměry :

$$p_o = 11\,800 \text{ kp/m}^2$$

$$T_o = 923^\circ \text{K}$$

$$v_o = \frac{RT_o}{p_o} = 2,31 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$c_o = 43,5 \text{ m/s}$$

$$p_k = 9\,800 \text{ kp/m}^2$$

$$c_k = 10,2 \text{ m/s}$$

Pro min. poměry :

$$p_o = 10\,150 \text{ kp/m}^2$$

$$T_o = 400^\circ \text{K}$$

$$v_o = 1,15 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$c_o = 12,8 \text{ m/s}$$

$$p_k = 9\,800 \text{ kp/m}^2$$

$$c_k = 10,2 \text{ m/s}$$

#### Výpočet rychlosti $c_o$

Předpokládejme, že střední průměrná rychlost plynu ve výfuk. potrubí je dána otáčkami motoru resp. nutností výměny obsahu válce za jednotku času.

$$\text{Plocha výfuk. potr.} = F = 0,0044 \text{ m}^2$$

$$\text{Pro max. poměry : } n_o = n/2 = \frac{2 \cdot 000}{2 \cdot 60} = 17 \text{ (1/s)}$$

$$\text{Pro min. poměry : } n_o = n/2 = \frac{600}{2 \cdot 60} = 5 \text{ (1/s)}$$

$$\text{Zdvih. objem válců motoru} = V = 11,25 \text{ (l)}$$

$$\text{Množství, jež projde průřezem } F \text{ za } 1 \text{ s : } Q = V \cdot n_o \left( \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right)$$

$$\text{Pro max. poměry : } Q = 0,01125 \cdot 17 = 0,191 \text{ (m}^3/\text{s)}$$

$$\text{Pro min. poměry : } Q = 0,01125 \cdot 5 = 0,056 \text{ (m}^3/\text{s)}$$

Pro max. poměry:  $c_0 = \frac{Q}{F} = \frac{0,191}{0,0044} = 43,5 \text{ (m/s)}$

pro min. poměry:  $c_0 = \frac{Q}{F} = \frac{0,056}{0,0044} = 12,8 \text{ (m/s)}$

Výpočet rychlosti  $c_3$  pro max. poměry s uvažováním chlazení dle vztahu (1.8) .

$$c_3 = \frac{F_k}{F_3} \cdot \frac{T_3}{T_k} \cdot c_k = 1,400 \cdot 10,2 = 23,5 \text{ (m/s)}$$

Ztrátová výška  $h_z$  :  
-----

Můžeme určit Re pro proudění plynu trubkou  $T_r = 8\text{mm}$ ,

$$\frac{l}{d} = 25. \text{ Re} = \frac{cd}{\nu}$$

c...určíme z rovnice kontinuity  $\frac{F_3 c_3}{v_3} = \frac{F_8 c_8}{v_8}$

$$\text{max. } c_8 = c_3 \frac{F_3}{F_8} \cdot \left(\frac{p_3}{p_8}\right)^{\frac{1}{14}} = 23,5 \cdot \frac{3,8}{0,5} \cdot \left(\frac{9 \cdot 800}{9 \cdot 750}\right)^{\frac{1}{14}} = 162 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)$$

$$\text{min. } c_8 = 10,2 \cdot \frac{3,8}{0,5} \cdot \left(\frac{9 \cdot 800}{9 \cdot 750}\right)^{\frac{1}{14}} = 77,5 \text{ (m/s)}$$

Určení kinemat. viskozity:

dle lit. /1/ jsou hodnoty dynam. viskozity pro plyny o tlaku 760 mmHg a teplotě 0 C udány takto:

$\text{CO}_2 \dots 1,5 \cdot 10^{-6} \text{ (kps/m}^2 \text{)}$

$\text{O}_2 \dots 2 \cdot 10^{-6}$

$\text{N}_2 \dots 1,7 \cdot 10^{-6}$

$\text{H}_2\text{O} \dots 0,92 \cdot 10^{-6}$

Předpokládané složení výfuk. plynů naft. motoru

uvádí lit. /8 / v objemových % takto:

$\text{CO}_2 \dots \text{volnoběh } 4,3\% \text{ zatěž. } 7\% \text{ průměr } 5,5\%$

$\text{H}_2 \dots \quad \quad \quad 77 \quad \quad \quad 77 \quad \quad \quad 77$

$\text{O}_2 \dots \quad \quad \quad 14 \quad \quad \quad 10 \quad \quad \quad 12$

$\text{H}_2\text{O} \dots \quad \quad \quad 4,7 \quad \quad \quad 6 \quad \quad \quad 5,5$

dynam. viskozitu výfuk. plynů určíme tedy jako vážený průměr.

$$\eta_0 = \frac{X_{\text{CO}_2} N_1 + X_{\text{H}_2} N_2 + X_{\text{O}_2} N_3 + X_{\text{H}_2\text{O}} N_4}{\sum N}$$

$$= \frac{(5,5 \cdot 1,5 + 12 \cdot 2 + 17 \cdot 1,7 + 5,5 \cdot 0,92) \cdot 10^{-6}}{100} = \frac{1,68 \cdot 10^{-6}}{\text{(kps/m}^2 \text{)}}$$

Jelikož dynamická viskozita plynu v důsledku vnitřního tření s teplotou vzrůstá, nutno přepočítat  $\eta$  v závislosti na teplotě.

Zde se dopustíme jisté nepřesnosti, protože hodnoty konstant pro přepočet nejsou v tabulkách pro výfuk. plyny uvedeny. Proto jsou voleny konstanty jako pro vzduch, uvedené v lit. / 3 /.

Platí :

$$10^6 \cdot \eta = \eta_0 \sqrt{1+0,00366 \cdot t} \cdot (1+0,0008t^2)$$

$$\text{max.} = 1,68 \sqrt{1+0,00366 \cdot 650} \cdot (1+0,0008 \cdot 650^2) \cdot 10^{-6} =$$

$$= 7,1 \cdot 10^{-6} \text{ ( kps/m}^2 \text{ )}$$

$$\text{min.} = 1,68 \sqrt{1+0,00366 \cdot 110} \cdot (1+0,0008 \cdot 110^2) \cdot 10^{-6} =$$

$$= 2,26 \cdot 10^{-6} \text{ ( kps/m}^2 \text{ )}$$

Kinemat. viskozita :

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \quad \rho_{\text{max}} = \frac{1}{\nu g} = \frac{1}{2,3 \cdot 9,81} = \frac{1}{22,8}$$

$$\rho_{\text{min}} = \frac{1}{1,15 \cdot 9,81} = \frac{1}{11,3}$$

$$\text{max.} : \nu = 7,1 \cdot 22,8 = 162 \cdot 10^{-6} \text{ ( m}^2/\text{s )}$$

$$\text{min.} : \nu = 2,26 \cdot 11,3 = 25,5 \cdot 10^{-6} \text{ ( m}^2/\text{s )}$$

Nyní je možno určit Reynoldsovo číslo:

$$\text{max.} : \text{Re} = \frac{162 \cdot 0,008}{162 \cdot 10^{-6}} = 8 \ 150$$

$$\text{min.} : \text{Re} = \frac{77,5 \cdot 0,008}{25,5 \cdot 10^{-6}} = 24 \ 400$$

Dle Re vyhledáme v Nikuradseho diagramu pro hladké trubky příslušné  $\lambda$  :

$$\lambda = f(\text{Re} = 8 \ 150) = 0,033$$

$$\lambda = f(\text{Re} = 24 \ 400) = 0,025$$

dosazením do vztahu ( 1.9 ) \_ :

$$\text{max.} : h_z = 0,033 \cdot 25 \cdot \frac{162^2}{2g} = \underline{\underline{1 \ 150}}$$

$$\text{min.: } h_z = 0,026 \cdot 25 \cdot \frac{77,5^2}{2g} = \underline{190}$$

Výpočet tlaku  $p_1$  v zúženém průřezu trysky:

dosadit do vztahu ( 1.6' )

$$\text{max. } p_1 = \left[ \frac{9800 \cdot 2,3 \left[ \frac{11800}{9800} \right]^{\frac{1}{14}} + \frac{23,5^2 - 43,5^2}{2g} - 29,3 \cdot 923 + 11800}{11800^{\frac{1}{14}} \cdot 2,3 - \frac{29,3 \cdot 923}{11800^{\frac{14-1}{14}}}} \right]^{\frac{14-1}{14}} =$$

$$= \underline{10\,360 \text{ (kp/m}^2\text{)}}$$

$$\text{min. } p_1 = \left[ \frac{9800 \cdot 1,15 \left[ \frac{10150}{9800} \right]^{\frac{1}{14}} + \frac{10,2^2 - 12,8^2}{2g} - 29,3 \cdot 400}{10150^{\frac{1}{14}} \cdot 1,15 - \frac{29,3 \cdot 400}{10150^{\frac{14-1}{14}}}} \right]^{\frac{14-1}{14}} =$$

$$= \underline{9\,990 \text{ (kp/m}^2\text{)}}$$

Výpočet poměrného zúžení trysky:

dosadit za  $p_1$  do vztahu ( 1.5 )

$$\text{max. } \frac{F_0}{F_1} = \sqrt{\frac{29,3 \cdot 923 \left[ 1 - \left( \frac{10360}{11800} \right)^{\frac{14-1}{14}} \right] \cdot 2g + 43,5^2}{\left( \frac{11800}{10360} \right)^{\frac{2}{14}} \cdot 43,5^2}} = \underline{3,02}$$

$$\text{min. } \frac{F_0}{F_1} = \sqrt{\frac{29,3 \cdot 400 \left[ 1 - \left( \frac{9990}{10150} \right)^{\frac{14-1}{14}} \right] \cdot 2g + 12,8^2}{\left( \frac{10150}{9990} \right)^{\frac{2}{14}} \cdot 12,8^2}} = \underline{2,98}$$

Z těchto hodnot byla volena střední  $\frac{F_0}{F_1} = \underline{3}$



Rozšíření průřezu trysky :

dosadit do vztahu ( 1.11 )

$$\text{max. } \frac{F_0}{F_2} = \frac{43,5}{43,5 - 23,5 \cdot \frac{1}{3} \left( \frac{9800}{11800} \right)^{\frac{1}{4}}} = \underline{\underline{1,18}}$$

$$\text{min. } \frac{F_0}{F_2} = \frac{12,8}{12,8 - 10,2 \cdot \frac{1}{3} \left( \frac{9800}{10150} \right)^{\frac{1}{4}}} = \underline{\underline{1,36}}$$

Z těchto hodnot byla volena střední  $\frac{F_0}{F_2} = \underline{\underline{1,25}}$

1.6. Konstruktivní provedení - popis.

Nyní jsou známy poměrné změny průřezů trysky. Další otázkou zůstává, jakou velikost trysky volit. Je pravděpodobné, že volbou větších hodnot průřezů dostaneme při konstantní odsávaném množství 225 [l/min] nižší ovlivnění tlakových poměrů v trysce. Nadruhé straně ovšem zvýšení velikosti trysky vede ke zvýšení hydraul. odporu, jež tato klade proudu výfuk. plynů. Toto hledisko je velmi důležité, neboť odpory v potrubí mohou ovlivnit chod motoru. Proto byl volen vstupní průměr  $D_0$  trysky co možná nejmenší, ale tak, aby množství plynů vstupující do trysky bylo několiknásobek odsávaného.

Voleno :  $\varnothing d = 18\text{mm}$  , vypočteno :  $\varnothing D_0 = \sqrt{3} \cdot 18 = 31,2\text{mm}$  ,  $\varnothing D_2 = 27,9\text{mm}$ .

Množství odsáté z této trysky se pohybuje od  $\frac{1}{2} \div \frac{1}{5}$  celkového množství, které projde tryskou.

Jelikož plocha výfuk. potrubí je  $0,0044\text{ m}^2$  a čelní plocha trysky je  $0,00056$ , lze se domnívat, že hydr. ztráty nebudou značné. Jejich hodnota bude změřena a je uvedena v kap. zkoušky prototypu .

Odběrové zařízení - viz výkres čís. DP-VS-12/69 03-00- se skládá z vlastní odběr. trysky (pos. 1 ), jejímž úkolem je snížit tlak na hodnotu, blízkou tlaku požadovanému. Rozměry trysky jsou určeny dle výpočtu. Vstupní válec ( pos. 2 ) odběrového potrubí je vložen kolmo na osu trysky do díry, jež je v trysce vyvrtána a je s tryskou pevně spojen. Spojení se provede svařením. Vzájemná poloha dílů 1 a 2 je určena čepem 10 který je vsunut do dílu 2 a druhým koncem zapadá do drážky v trysce 1.

Obě svařené součásti se vsunou do části výfukového potrubí ( pos. 7 ), opatřeného na obou koncích příru-

bami ( pos. 8 ). V potrubí je vyvrtána díra  $\varnothing 22$ . Touto se vysune vstupní válec 2. Poloha trysky v potrubí je tedy určena dírou  $\varnothing 22$  a sousost je dodržena jednoduchým přípravkem (viz výkres DP-VS-12/69-04-06 v příloze). Kotouče se nasadí na trysku s obou stran. Spojení vstupního válce 2 s potrubím 7 se provede svařením. Tím je odběrové zařízení fixováno v ose potrubí. Protože se teplotou při svařování potrubí poněkud deformuje, je nutno kotouče přípravku po svaření vyrazit. K tomu účelu jsou opatřeny dírami  $\varnothing 8$ , kterými se prostrčí vhodný nástroj a úderem na něj lze vyvodit axiální pohyb protilehlého kotouče směrem ven z potrubí 7.

Do vstupního válce 2 se potom vsune trubka (pos. 3) ve které vzniká tlaková ztráta úměrná čtverci rychlosti a tím se "dolaďuje" výsledný tlak. Spojení části 2 a 3 je opět svařením.

Připojení vlastního odběrového zařízení k potrubí kouřoměru- trubka pos. 6 - je provedeno převlečnou maticí ( pos. 4 ), která fixuje trubku 3 k výstupnímu válci ( pos. 5 ).

Zúžení a rozšíření  $\varnothing 8$  je provedeno ve vstupním i výstupním válci ( pos. 2 a 5) jako kůžel o vrchol.úhlu  $30^\circ$ . Tím jsou ztráty, vzniklé pozvolným zúžením a rozšířením průřezu zanedbatelné proti vypočítaným ztrátám v trubce 3.

(dle lit./1/ jsou ztráty pozvolnou změnou průřezu:

$$h_z = k \cdot \frac{c^2}{2g}, \quad k \dots 0,04$$

porovnej s  $h_z = k \cdot \frac{1}{d} \cdot \frac{c^2}{2g}, \quad k \cdot \frac{1}{d} \dots = 0,7$ )

Odběrové zařízení se připojí na přírubu výfukového potrubí motoru 4 šrouby M 10. Ke druhé přírubě odběrové části se opět 4 šrouby M 10 připevní výfukové potrubí motoru. Délka vloženého odběrového zařízení je 170mm.

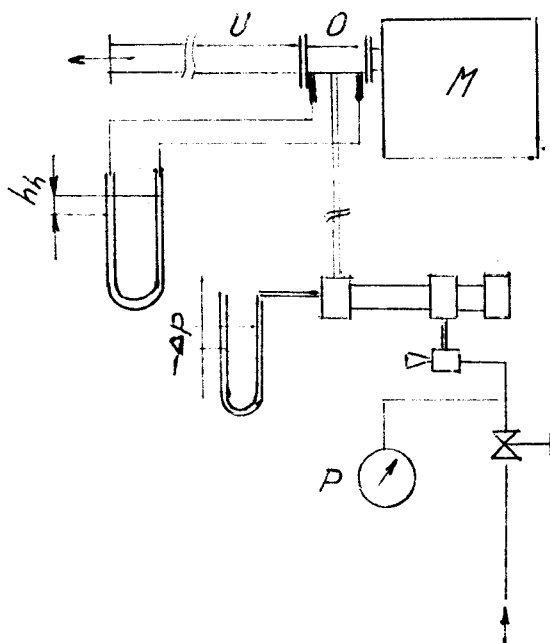
### 1.7. Zkouška prototypu

Dle výkresové dokumentace byl zhotoven prototyp odběrového zařízení. Tento byl umístěn na motor M 630 a ocelovou trubkou světlosti 22mm spojen s kouřoměrem KS- 04.

Z kouřoměru byla odstraněna hlava se zdrojem světla a na její místo byla zabudována sonda pro měření tlaku vstupujících plynů do kouřoměru. Sonda byla opatřena těsněním, jež mělo zabránit přisávání vzduchu.

Protože nebylo k dispozici orig. zařízení pro regulaci teploty výfuk. plynů v odběrovém potrubí, bylo použito pouze chlazení plynu vodním chladičem, zvláště k tomu účelu sestrojeným. Teplota takto ochlazených plynů se pohybovala asi od 100 do 170°C, což je hrubší regulace teploty, než při použití orig. regulace. Na výsledek zkoušky nemá však tato skutečnost podstatný vliv.

Na odběrové části, vložené mezi výfuk.potrubí a motor byly zabudovány 2 sondy pro měření tlakového rozdílu. Tento je způsoben hydraul. odpory, jež klade tryska proudu plynů. Sondy byly umístěny před a za tryskou, jejich vzdálenost činila 155mm.



obr. 10

- M ... motor
- P ... měř.tlaku vzd.
- U ... výfuk.potrubí
- O ... odběr.zařiz.
- $h_h$ ... hydraul.odpor
- $\Delta p$ ... tlak v kouř.

Pro zjištění funkce odběrového zařízení bylo voleno 5 různých režimů zatížení motoru, charakterizovaných  $ot$ ,  $M_k$   $T$  výfuk. plynů.

Do obr. 11 byla vynesena závislost dosaženého podtlaku v mm H<sub>2</sub>O v kouřoměru na zatížení motoru, t.zn. na poč. parametrech  $p_0$   $c_0$   $T_0$ . Pro srovnání byly voleny stejné režimy zatížení motoru, při jakých byl na stejném motoru zjišťován tlak  $p_0$ .

Obr. 12 udává závislost hydraul. odporu trysky ve výfuk.potrubí na režimu zatížení motoru.

Protože tlak resp. podtlak v kouřoměru je měřen U-manometrem vzhledem k vnějšímu prostředí, je nutné znát závislost změny podtlaků na barometr. tlaku. Tato závislost byla změřena pro 3 různé tlaky a je uvedena v tab. (1.7.3).

Protože při změně tlaku tlakového vzduchu pro vývěvu dochází dle její charakteristiky i ke změně odsávaného množství a podtlaku, je dobré znát tyto závislosti. Proto do obvodu stlačeného vzduchu byl zařazen regulační ventil, kterým byl postupně nastavován různý tlak od 2 do 4,5 at. Jaký je dosažený podtlak při měnícím se tlaku vzduchu ukazuje tab. (1.7.4) a obr. 13.

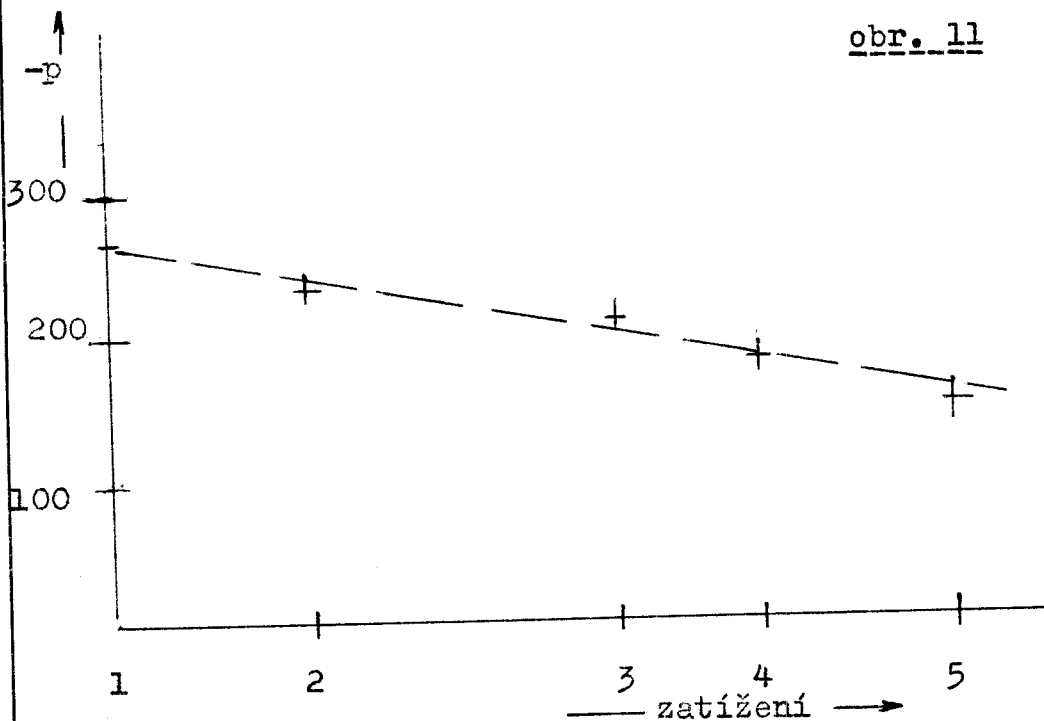
Tab. 1.7.0.

režim zat.	$n(\frac{1}{min})$	$M_k(kpm)$	$t(^{\circ}C)$
1	700	0	100
2	1200	32	275
3	1500	50	450
4	1600	57	490
5	1800	62	560

Závislost podtlaku na režimu motoru, při  $p = 4at$

Tab. 1.7.1.

režim	1	2	3	4	5
- $p$ (mmH <sub>2</sub> O)	265	227	200	180	155



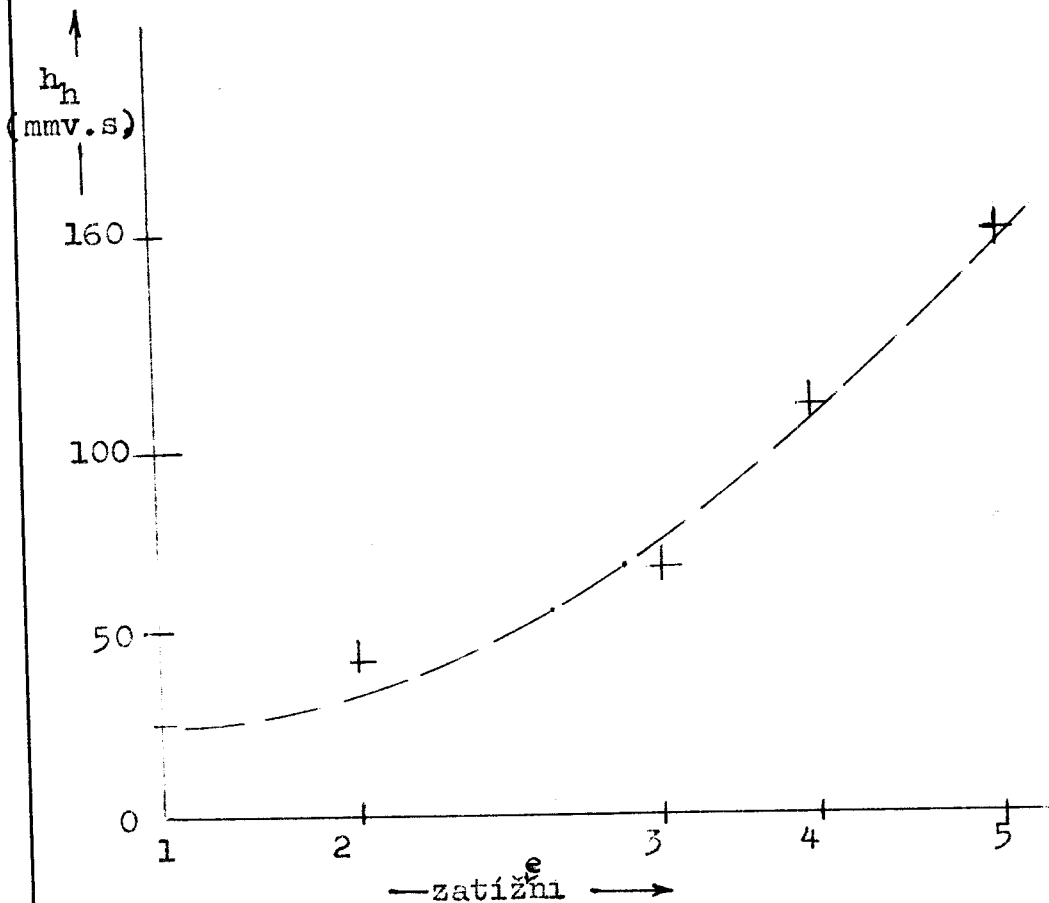
Hydraulické ztráty způsobené tryskou v závislosti na režimu zatížení .

Tab. 1.7.2.

režim	1	2	3	4	5
$h_h$ (mmH <sub>2</sub> O)	25	42	72	112	160

Závislost hydraul.ztrát na režimu zatíží.

obr. 12



Závislost podtlaku na barometr. tlaku

Tab. 1.7.3.

$p_{\text{bar}}$ (mmHg)	724,5	726	729
podtlak (mmH <sub>2</sub> O)	260	265	275

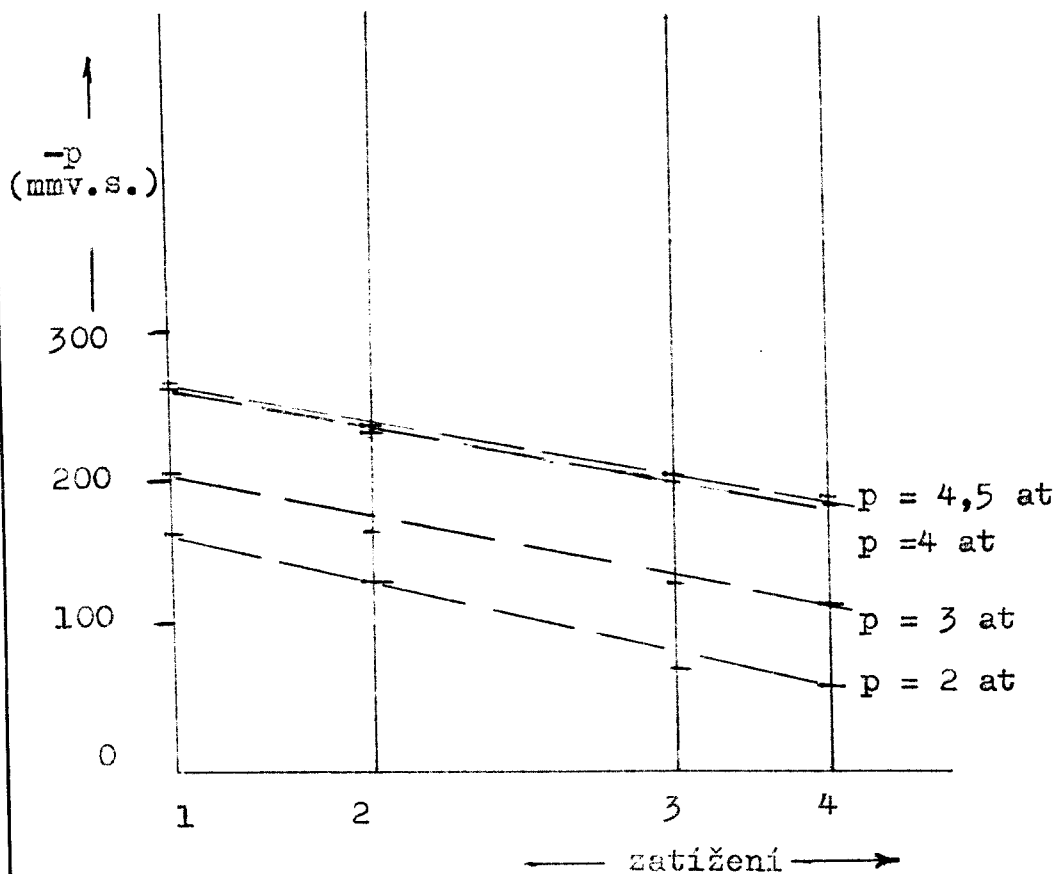
Při 3 různých barometr. tlacích byla změřena hodnota podtlaku v kouřoměru při volnoběhu motoru. Ta byla vynesena do tab. 1.7.3.

Závislost podtlaku v kouřoměru na tlaku tlakového vzduchu pro vývěvu.

Tab. 1.7.4.

tlak režim	2	3	4	4,5
1	165	205	265	270
2	130	165	227	230
3	70	132	200	205
4	60	118	180	185

obr. 13





Zhodnocení výsledku zkoušky prototypu

Z uvedených výsledků zkoušky prototypu vyplývá, že hodnota podtlaku při středním režimu zatížení se shoduje s požadavkem kladeným na odběrové zařízení. Rozdíl hodnoty podtlaku dosaženého při max. a min. režimu je asi  $11 \text{ cmH}_2\text{O}$ .

Vyjádříme-li tuto nepřesnost v % celkové hodnoty tlaku  $9800 \text{ kp/m}^2$ , potom je relativní chyba, s níž zařízení pracuje  $\frac{110}{9800} \cdot 100\% = \underline{\underline{1,15\%}}$

Protože i při event. změně tlaku tlakového vzduchu a při kolísání barometr tlaku je udržován v kouřoměru podtlak několika  $\text{cm H}_2\text{O}$ , je možno považovat odběrové zařízení za vyhovující.

## 2. ZÁVISLOST ÚDAJE KOUŘOMĚRU NA ZPŮSOBU ODBĚRU.

### 2.1. Shodnost originálu a vzorku.

Účelem této kapitoly je zjistit, zda a do jaké míry konkrétní, zde popsany způsob odběru výfukových plynů, ovlivní výsledky měření. Nebudeme se zde zabývat zkoumáním ovlivnění měření v důsledku změny tlaku a teploty plynu v kouřoměru, protože tyto závislosti jsou popsány v lit. / 4/a/5/ a v 1 kapit. této práce.

Zůstává však nezodpovězena otázka, do jaké míry je složení výfuk. plynů (resp. množství sazí a jejich velikost obsažených v jednotce objemu) odsávaných do kouřoměru shodné v uvedených parametrech s plyny, které proudí výfukovým potrubím motoru.

Je totiž možné, že pevné částičky kouře- saze, mající určitou hmotu a pohybující se určitou rychlostí v určité části průřezu výfukového potrubí motoru nebudou při takto provedeném odběru nasátý do odběrové části a tato skutečnost může měření stupně kouření podstatně ovlivnit.

Jde tedy o to A) zda odsávaný kouř obsahuje stejné množství sazí v jednotce objemu, jako kouř ve výfuk. potrubí.

B) zda odsávaný kouř obsahuje saze všech velikostí, které se v daném okamžiku a režimu měření vyskytují ve výfuk. potrubí.

ad A)

V podstatě jde o zjištění 2 hodnot  $a_1$  a  $a_2$ , kde

$$a_1 = \frac{N_1}{V_1 \cdot t}$$

$$a_2 = \frac{N_2}{V_2 \cdot t}$$

$N_1$  ... množství sazí, které obsahuje  $m^3$  kouře ve výf. potrubí  $[\frac{g}{m^3}]$

$V_1$  ... objem plynu ve výfuk.potrubí v  $m^3/s$

$t$  ... čas = 1

$N_2$  ... množství sazí v  $m^3$  vzorku t.j. kouře, odsávaného do kouřoměru  $[\frac{g}{m^3}]$

$V_2$  ... objem odsátého plynu v  $m^3/s$

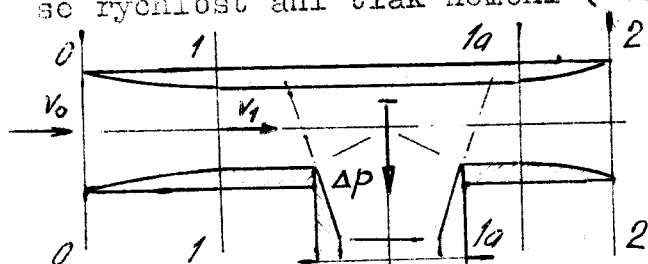
Z předchozí kapitoly je znám podíl objemu plynu, prošlého za jednotku času průřezem výfuk.potrubí a odsávaným objemem, který je  $X = \frac{V_1}{V_2}$ .

Je tedy třeba dokázat, že alespoň  $\frac{1}{X}$  celkového počtu sazí, obsažených ve výfukových plynech, bude skutečně nasáto do odběru. Tím bude zaručeno, že množství sazí v 1  $m^3$  vzorku a originálu bude shodný. Předpokládáme-li, že saze jsou stejné hmoty, je zaručena tímto i shodnost kritéria  $\frac{g}{m^3}$ .

2.2. Princip řešení .

Věnujme pozornost dynamickým a silovým účinkům na pevnou částici, procházející tryskou.

Pevná částice se pohybuje ve výfukovém potrubí v prostředí o tlaku  $p_0$  rychlostí  $c_0$ . Část sazí bude procházet tryskou odběrového zařízení. V zužující se části této trysky se mění (snižuje) tlak prostředí na  $p_1$  a zvyšuje se rychlost na  $c_1$ . V řezu 1 - 1 předpokládáme dokončení této změny až do řezu 1a-1a se rychlost ani tlak nemění (viz obr. 14).

obr. 14

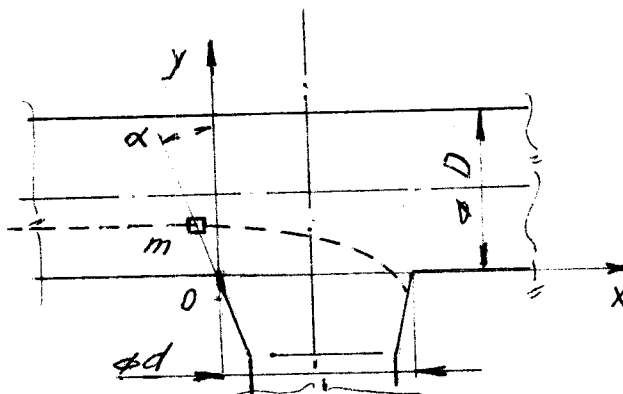
V rozšiřující se části trysky probíhá opačný proces, než v zužující - tlak se zvyšuje až na tlak  $p_0 - h_z$ , kde  $h_z$  je tlaková ztráta, způsobená odporem trysky v potrubí, a rychlost se opět snižuje.

Rozhodující je chování částice v úseku mezi řezy 1 a 1a.

Předpokládejme v tomto úseku rovnoměrný přímočarý pohyb částice o hmotě  $m$  rychlostí  $c_1$  do místa, kde začne působit silové pole kolmého odběrového potrubí. Toto pole je vytvořeno tlakovým spádem  $\Delta p$  vývěvy, jehož velikost je známa. Tvar tohoto pole předpokládáme kuželovitý (dle obr. 14).

Na částici vstupující do silového pole odběru začne tedy působit zrychlení  $a_y$ , jímž je toto pole charakterizováno. Zrychlení  $a_y$  je síla, jež působí na jednotkovou hmotu uvnitř silového pole  $\Delta p$ . Na pevnou částici tedy bude působit síla  $P = ma_y$ , která způsobí zakřivení původně přímé dráhy částice.

Je tedy třeba nalézt  $y_{\max}$  takové, aby částice pohybující se v této vzdálenosti byla ještě vychýlena takovou měrou, že bude nasáta (viz obr. 15).  
Souřadnice  $y_{\max}$  se mění podél osy  $z$  v důsledku válcovitého tvaru obou potrubí (viz obr. 19 v příloze). Nutno tedy nalézt i průběh  $y_{\max}$  podél souřadnice  $z$ . Tato křivka vymezí v celkovém průřezu plochu, jejíž poměr ku celkové ploše by měl být  $\frac{F_{cd}}{F_a} = \frac{1}{X}$ , potom by množství sazí v  $m^3$  vzorku bylo shodné s množstvím sazí v  $m^3$  originálu.



obr. 15

Předpoklady pro řešení úlohy :

- 1/ rovnoměrné rozložení pevných částic po celém průřezu
- 2/ neuvažujeme gravitační zrychlení  $g$ , neboť jeho hodnota se ukáže být daleko menší než hodnota zrychlení  $a_y$
- 3/ rychlostní profil  $v_1$  je obdélníkový ( $v_1$  je konstantní po celém průřezu).

Principem úlohy je tedy vodorovný vrh, kdy těleso o hmotě  $m$  se pohybuje v určité odlehlosti  $y$  počáteční rychlostí  $v_1$  (viz obr. 15).

Pohybové rovnice :

$ma_x = 0$  ... ve směru  $x$  nepůsobí zrychlení

$ma_y = P$  ... ve směru  $y$ , tedy ve směru tlakového spádu  $\Delta p$ , způsobeného odsáváním plynu, působí zrychlení  $a_y$ , jehož velikost je funkcí tlakového spádu

Pro pohyb tělesa dále platí :

$$v_x = v_{1x} = \text{konst.}$$

$$v_y = v_{1y} - a_y t = -a_y t \quad v_{1y} = 0$$

$$v_x = \frac{dx}{dt} \Rightarrow x = v_1 t$$

$$v_y = \frac{dy}{dt} \Rightarrow y = -\frac{1}{2} a_y t^2$$

Vyloučení parametru  $t = \frac{x}{v_1}$  dostaneme :

$$y = -\frac{x^2 a_y}{2 v_1^2}$$

Nazveme dále pořadnici  $x$  odlehlostí  $L$ , která se bude měnit se změnou souřadnice  $y$  a  $z$  - tedy  $L_{yz}$ . Řešme nyní případ pro souřadnici  $z = 0$ .  
Potom platí :

$$y = + \frac{L_y^2 \cdot a_y}{2 v_1^2} \quad (2.1.)$$

( Znaménko + odpovídá označení souřadnic dle obr. 15 )

$L$  ... vzdálenost, na níž na částici působí zrychlení  $a_y$ .

Nadále bude  $L$  označována právě tu vzdálenost, na níž se dráha částice zakříví tak, že tato dopadne do otvoru  $\varnothing d$  a bude nasáta odběrovým zařízením. (viz obr. 19 v příloze).

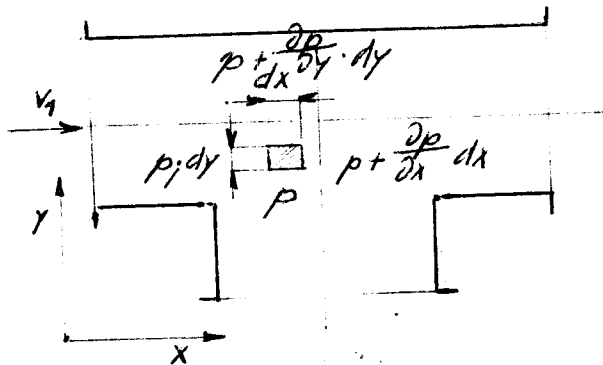
Protože se  $L$  mění se  $z$ -ovou souřadnicí, bude se  $i_y$  měnit a to od max. hodnoty, kterou nabyde při  $z = 0$  až po  $y = 0$ , kterou nabyde v  $z = r$ .

Předpokládaný průběh  $y = f(z)$  pro  $a_y = \text{konst.}$  a  $v_1 = \text{konst.}$  je zakreslen na obr. 19 v příloze.

Byl zjištěn tak, že za  $L_z$  byly dosazovány hodnoty odměřené z výkresu do vztahu (2.1.).

### 2.3. Zrychlení $a_y$

Pokusme se nyní vyjádřit zrychlení silového pole jako funkci tlakového spádu vytvořeného vývěvou v odběrové části.



obr. 16

V rovině  $xy$  si vytkneme element ideální tekutiny o rozměrech  $l \cdot dx \cdot dy$  a měrné hmotě  $\rho$ . Pro pohyb elementu ve směru osy  $x$  je možno psát Newtonovu rovnici :

$$X \cdot dm - l \cdot dy \cdot dp_x = a_x \cdot dm,$$

kde  $X$  je příslušná složka vnějšího zrychlení  $R$ , působícího na element.

Ve směru osy  $y$  :

$$Y \cdot dm - l \cdot dx \cdot dp_y = a_y \cdot dm.$$

Ve směru osy  $x$  předpokládáme nulové zrychlení, rovněž změna tlaku dle této souřadnice je nulová. Tím se původně 2rozměrný případ proudění zjednoduší na jednorozměrný. Protože i vnější zrychlení  $R = 0$ , je možno psati :

$$- dx \cdot dp_y = a_y \cdot dm$$

$$\text{dosaďme za } dp_y = \frac{\partial p}{\partial y} \cdot dy$$

$$\text{a za : } dm = \rho \cdot dx \cdot dy \cdot l$$



$$- dx \cdot \frac{\partial p}{\partial y} \cdot dy = \rho \cdot dx \cdot dy \cdot a_y$$

$$a_y = - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial y}$$

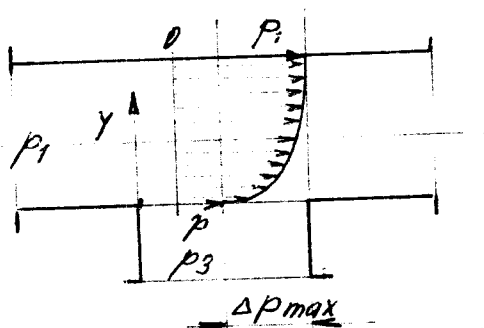
Protože se tlak mění pouze s y-ovou souřadnicí, můžeme psát místo parciální derivací derivace obyč.

$$a_y = - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{dp}{dy} \quad (2.2.)$$

Jak tedy vypadá průběh tlakového spádu  $dp$  dle  $dy$  ?

Jde o znázornění průběhu tlaku  $p_1$  v průřezu trysky o průměru  $D$  v závislosti na  $y$  souřadnici. Souřadnice  $y$  nabývá hodnot  $0 - D$ .

Nutno učinit předpoklad tohoto průběhu ( viz obr.17).



obr. 17

S malou nepřesností snad můžeme předpokládat průběh tlaku v průřezu v závislosti na  $y$  parabolický. Na souřadnici  $y = 0$  bude zřejmě tlak  $p_3$ , dosahovaný vývěvou, a dojde zde tedy k největšímu poklesu tlaku  $p_1$  o  $\Delta p = p_3 - p_1$ . Derivace tlakového spádu dle  $y$  zde nabývá teoreticky nekonečně velkou hodnotu. V místě  $y = D$  bude naopak tlak  $p_1$  ovlivněn nejméně, dá se říci, že si uchová hodnotu  $p_1$ .

$$\text{Je-li : } \Delta p = p_3 - p_1$$

$$\text{potom : } dp = d(\Delta p) = d(p_3 - p_1)$$

$$\text{rovnice paraboly : } \Delta p = C \cdot y^2$$

(2.3.)

potom dle vztahu (2.2.) platí :

$$a_y = - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{d(\Delta p)}{dy} = - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{1}{2} \cdot C \cdot y^{\frac{1}{2}}$$

čili :

$$a_y = k \cdot y^{\frac{1}{2}} \quad (2.4.)$$

kde :

$$k = - \frac{c}{2\varphi} \quad (2.5.)$$

Průběh  $y$  v závislosti na zrychlení, rychlosti a odlehlosti  $L$ .

Sledujme nejprve závislost  $L$  na  $y$  :

Dle obr.15 je možno psati :

$$L_y = d + y \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad (2.6.)$$

Ze vztahu (2.6.) dosadíme za  $L_y$  do vztahu (2.1.):

$$y = \frac{(d + y \cdot \operatorname{tg} \alpha)^2 \cdot k \cdot y^{-\frac{1}{2}}}{2 v_1^2}$$

$$y = \frac{(d^2 + 2y d \operatorname{tg} \alpha + y^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \alpha) \cdot k \cdot y^{-\frac{1}{2}}}{2 v_1^2}$$

$$y^{\frac{3}{2}} \cdot k \cdot \operatorname{tg}^2 \alpha + y^{-\frac{1}{2}} \cdot 2k d \operatorname{tg} \alpha + k d^2 \cdot y^{-\frac{3}{2}} = 2 v_1^2, \quad (2.7.)$$

Pro  $z = 0$  a malé  $\alpha$  platí :  $L = d$

potom :

$$y = \left[ \frac{d^2 \cdot k}{2 v_1^2} \right]^{\frac{2}{3}} \quad (2.8.)$$

Charakteristická plocha.

Jak již bylo řečeno, na obr. 19 v příloze, je znázorněn průběh křivky  $y = f(z)$ , tzn. geometrického místa bodu z nichž ještě při daném zrychlení  $a_y$  a počáteční rychlosti  $v_1$ , budou částice nasáty do odběru. Je nutné určit velikost plochy, ohraničené touto křivkou a její podíl k celkové ploše průřezu trysky o  $\emptyset D$ .

Průběh křivky  $y = f(z)$  se zjistí dosazováním změřeného  $L_z$  do vztahu (2.1.), hodnoty zrychlení a rychlosti volíme konstantní. Tuto charakteristickou plochu převedeme na obdélník o stejném obsahu, čímž se výpočet její velikosti zjednoduší.

Grafické určení  $y_{stř}$ .

( viz obr.19 a 20 v příloze)

Změříme velikost charakteristické plochy  $F_{od}$  a  $y$ -ovou souřadnici této plochy, odpovídající  $z = 0$ . Převedením na obdélník platí :

$$F_{od} = \pi \frac{D}{2} \cdot y_{stř}$$

Je tedy  $y_{stř}$  strana obdélníka o ploše  $F_{od}$ , přičemž druhá strana tohoto obdélníka je rovna polovině obvodu.

Podílem  $y_{stř} : y_0$  dostaneme jejich poměr  $N$ . Tím můžeme určit plochu  $F_{od}$  jako  $f(y_0)$  - tedy jediné hodnoty.

$$F_{od} = \pi \cdot \frac{D}{2} \cdot y_0 \cdot N \quad (2.9.)$$

Kde  $y_0$  je  $y$ -ová souřadnice v rovině  $z = 0$ .

Tato úprava přinese zjednodušení výpočtu.

Výpočet hodnoty  $N$  je proveden na obr. 20 v příloze.

2.4. Stupeň zkreslení vzorku  $i$ .

Z předpokladů, učiněných na počátku této kapitoly vyplývá, že bude-li poměr ploch  $\frac{F_c}{F_{od}} = \frac{V_1}{V_3} = X$ ,

bude splněna podmínka shodnosti vzorku s originálem. Velikost  $F_{od}$  je vyjádřena jako funkce  $a_y, v_1, L$ . Sledujme tedy veličinu, označenou jako stupeň zkreslení vzorku  $i$ , která vyjadřuje stupeň splnění požadavků  $\frac{F_c}{F_{od}} = X$ , resp. shodnost obsahu sazí v  $\frac{g}{m^3}$  originálu a vzorku.

$$i = \frac{F_c}{F_{od}} \cdot \frac{1}{X} \quad (2.10.)$$

Bude-li  $i = 1$ , potom se vzorek shoduje s originálem, přičemž kritérium shodnosti je množství sazí v  $\frac{g}{m^3}$ . Bude-li  $i > 1$ , potom množství sazí v  $m^3$  originálu je  $i$ -krát větší než množství sazí v  $lm^3$  vzorku.

2.5. Vliv jednotlivých parametrů na stupeň zkreslení.

Dosadíme do vztahu (2.10.) za  $F_{od}$  ze vztahu (2.9.) a za  $y_0$  ze vztahu (2.8.).

$$i = \frac{F_c \cdot 2^{\frac{5}{3}} \cdot v_1^{\frac{4}{3}}}{X \cdot \pi \cdot D \cdot N \cdot k^{\frac{2}{3}} \cdot d^{\frac{4}{3}}} \quad (2.11.)$$

Budeme nyní sledovat, jak se mění veličina  $i$  v závislosti na změně veličin  $v_1$ ,  $k = f(\Delta p)$ ,  $d$ ,  $X$ . Vyjádříme postupně závislost  $i$  na jednotlivých veličinách, přičemž ostatní veličiny budeme považovat za konstantní.

Chceme tedy určit : a/  $i = f(v_1)$   $X, d, k, = \text{konst.}$

b/  $i = f(d)$   $X, v, k = \text{konst.}$

c/  $i = f(k)$   $X, v, d = \text{konst.}$

d/  $i = f(X)$   $v, d, k = \text{konst.}$

a/ vliv rychlosti  $v_1$  na stupeň zkreslení .

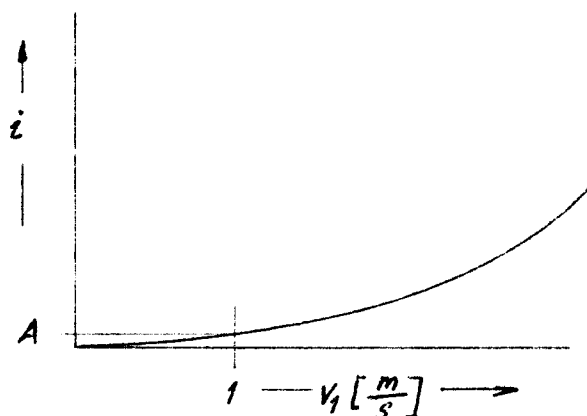
V průběhu zkoušek se mění rychlost  $v_0$  plynů ve výfukovém potrubí, každá  $v_0$  odpovídá určitému otáčkám motoru. Jak bylo popsáno v 1.části této práce, mění se v závislosti na této rychlosti  $v_0$  i rychlost  $v_1$  dle vztahu (1.3').

Protože ve vztahu (2.11.) jsou pro tento případ  $F_c, \pi, D, N, k, d$  konstanty, lze psát :

$$i = A \cdot v_1^{\frac{4}{3}} \quad (2.12.)$$

$$\text{kde } A = \frac{2^{\frac{5}{3}}}{X \cdot \pi \cdot D \cdot N \cdot k^{\frac{2}{3}} \cdot d^{\frac{4}{3}}}$$

Grafické vyjádření funkce  $i = f(v_1)$  je na obr. 18.



obr. 18.

$$i = f(v_1)$$

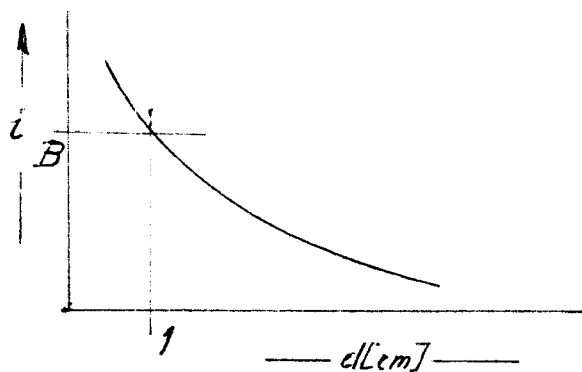
ad b/ vliv  $\phi$  d na stupeň zkreslení .

$\phi$ d ... průměr odsávaného potrubí  
jsou-li  $F_c, \pi, D, N, k, v_1$  konstanty, platí:

$$i = B \cdot \frac{1}{d^{\frac{4}{3}}} \quad (2.13.)$$

$$\text{kde } B = \frac{2^{\frac{5}{3}} \cdot v_1^{\frac{4}{3}}}{N \cdot \pi \cdot D \cdot k^{\frac{2}{3}}}$$

Grafické vyjádření funkce  $i = f(d)$  je na  
obr. 21.



obr. 21

$$i = f(d)$$

V případě, že by  $i$  vycházel nevyhovující, lze  
změnou  $\phi$  d docílit jiného, výhodnějšího poměru.  
Není však možno měnit  $d$  libovolně. V případě  
popsaného odběrového zařízení je  $\phi$  d = 18 mm

určený jeho konstrukcí. Proto se nadále není třeba touto závislostí zabývat.

ad c/ vliv velikosti tlakového spádu na stupeň zkreslení.

Velikost tlakového spádu se mění v závislosti na režimu zatížení motoru. Tlak  $p_1$  kolísá v závislosti na tlaku  $p_0$ ,  $v_0$  a  $T_0$  dle vztahu (1.6.), uvedeného v 1. části této práce, kdežto tlak  $p_3$  zůstává konstantní. Protože je  $\Delta p = p_1 - p_3$  mění se tedy též v závislosti na režimu motoru.

Průběh tlakového spáduyprůřezu, trysky nadále pokládáme za parabolický.

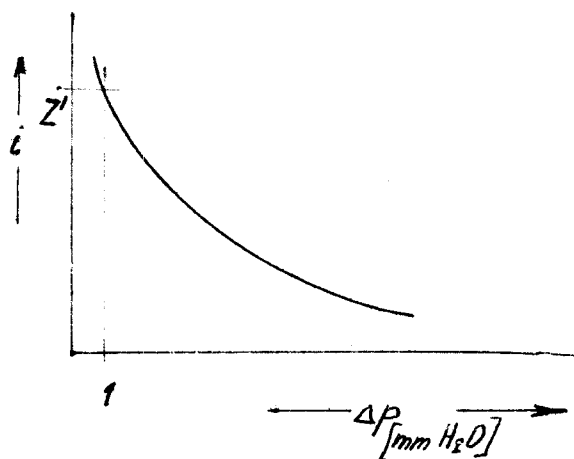
Jsou-li  $F_c$ ,  $\pi$ ,  $D$ ,  $d$ ,  $v_1$ ,  $X$  konstanty, potom platí dle (2.11.) :

$$i = \frac{Z}{k^2} \quad \text{kde } Z = \frac{F_c \cdot 2^{\frac{5}{3}} \cdot v_1^{\frac{4}{3}}}{X \cdot \pi \cdot D \cdot N \cdot d^{\frac{4}{3}}}$$

s použitím vztahů (2.3.) lze psát :  
(2.5.)

$$i = \frac{Z'}{\Delta p^{\frac{2}{3}}} \quad (2.14.)$$

Grafické vyjádření funkce  $i = f(\Delta p)$  je na obr. 22.



obr. 22

$$i = f(\Delta p)$$

ad d/ vliv poměru X na stupeň zkreslení.

$X = V_1 : V_3$ , je poměr objemů originálu a vzorku. ( V jsou udány v  $m^3/s$  ).

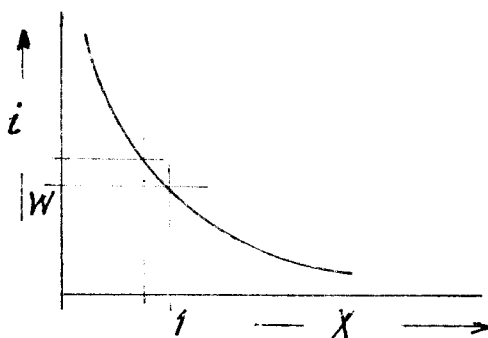
V závislosti na režimu a otáčkách zkoušeného motoru se mění rychlost výfukových plynů v potrubí a tedy i v trysce. Průřez trysky zůstává konstantní. Tím tedy objem  $V_1$  závisí na rychlosti  $v_1$  (  $V = F \cdot v$  ), zatímco objem vzorku  $V_3$  je v průběhu měření konstantní. Tím se tedy mění X v závislosti na režimu motoru.

Jsou-li  $F_c, \pi, D, d, v_1, k$  konstanty, potom platí dle (2.11.) :

$$i = \frac{W}{X} \quad (2.15.)$$

$$\text{kde } W = \frac{F_c \cdot 2^{\frac{5}{3}} \cdot v_1^{\frac{4}{3}}}{\pi \cdot D \cdot N \cdot k^{\frac{2}{3}} \cdot d^{\frac{4}{3}}}$$

Grafické znázornění funkce  $i = f(X)$  je na obr. 23.



obr. 23

$$i = f(X)$$

Jelikož je velmi obtížné vyjádřit stupeň zkreslení vzorku i názorně jako funkci jednoho parametru, vyjádříme jednotlivé parametry v konkrétních hodnotách pro max. a min. režim ( obdobně jako v 1.části této práce), a vypočítáme pro tyto hodnoty stupeň zkreslení i. Průběh mezi  $i_{\max}$  a  $i_{\min}$  odhadneme.



2.6. Výpočtová část .

V této části budou provedeny výpočty dle uvedených vztahů pro max. a min. poměry.

Výchozí hodnoty :

$\phi D = 18 \text{ mm}$	$v_{lmax} = 145 \text{ m/s}$
$\phi d = 18 \text{ mm}$	$v_{lmin} = 40,5 \text{ m/s}$
$p_{max} = 515 \text{ mm H}_2\text{O}$	$F_c = 2,54 \text{ cm}^2$
$p_{min} = 255 \text{ mm H}_2\text{O}$	$N = 0,5$
$X_{max} = 4,2$	$X_{min} = 2,6$
	$\rho = 39,2 \text{ kgs}^2\text{m}^{-4}$

Do vztahu (2.3.) dosadíme za  $y = D$ , potom určíme z (2.5.) C.

$$\text{max. : } C = \frac{515}{0,018^{\frac{1}{2}}} = 4\ 050$$

$$\text{min. : } C = \frac{255}{0,018^{\frac{1}{2}}} = 2\ 020$$

Z rovnice (2.5.) určíme k :

$$\text{max. : } k = \frac{4\ 050}{2 \cdot 39,2} = 51,5$$

$$\text{min. : } k = \frac{2\ 020}{2 \cdot 39,2} = 25,8$$

Dosadíme do vztahu (2.8.) :

$$\text{max. : } y = \left[ \frac{0,018^2 \cdot 51,5}{2 \cdot 145^2} \right]^{\frac{2}{3}} = 1,18 \cdot 10^{-4} \text{ / m/}$$

$$\text{min. : } y = \left[ \frac{0,018^2 \cdot 25,8}{2 \cdot 40,5^2} \right]^{\frac{2}{3}} = 1,9 \cdot 10^{-4} \text{ /m/}$$

Dosadit do rovnice (2.9.):

$$\begin{aligned} \text{max.: } F_{od} &= 3,14 \cdot 0,5 \cdot 0,018 \cdot 1,18 \cdot 10^{-4} \cdot 0,5 = \\ &= 1,7 \cdot 10^{-2} \quad / \text{cm}^2 / \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{min.: } F_{od} &= 3,14 \cdot 0,5 \cdot 0,018 \cdot 1,9 \cdot 10^{-4} \cdot 0,5 = \\ &= 2,7 \cdot 10^{-2} \quad / \text{cm}^2 / \end{aligned}$$

Dosadit do vztahu (2.10.) :

$$\text{max.: } i = \frac{2,54}{1,7 \cdot 4,2} \cdot 10^2 = 35,8$$

$$\text{min.: } i = \frac{2,54}{2,7 \cdot 2,6} \cdot 10^2 = 36,2$$

S tak velkou hodnotou stupně zkreslení vzorku není možno souhlasit a je nutno hledat cesty jak ji snížit.

### 2.7. Úprava odsávacího zařízení .

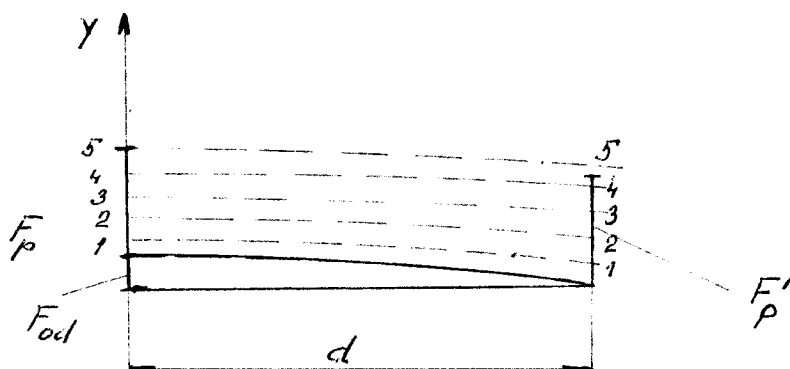
Již v předchozí kapitole byla tavržena možnost zlepšení stupně zkreslení změnou  $\phi$  d. Tato změna by byla možná jen v případě, že by spolu s  $\phi$  d byl zvětšen i  $\phi$  D<sub>0</sub> trysky . To by mělo za následek zvýšení hydraul. odporů, jež tryska klade proudu výfuk.plynů. Rychlost  $v_1$  je dána tryskou a nelze s ní manipulovat. Rovněž velikost tlakového spádu vývěvy nelze měnit s ohledem na požadavek hodnoty podtlaku 9 800 mmvs. Proto byla provedena úprava na odsávacím zařízení dle obr. 20 v příloze.

Přídavná plocha F<sub>d</sub> .

Jaký je význam této plochy ?

Pevné částečky, pohybující se ve vzdálenosti  $y > y_0$ , jsou vystaveny též zrychlujícímu účinku silového pole a jejich dráha se zakřivuje. Dopadnou však mimo odsávací potrubí. To znamená, že ho míjejí v určité výšce h. Narazí-li zde na překážku, uměle vytvořenou, zabrzdí se a mohou být strženy do odsávacího potrubí. Je-li homogenní rozdělení částic v průřezu potrubí před vstupem do silového pole, nelze toto tvrdit i pro plochu F'<sub>p</sub>, která je až za silovým polem. Hustota částic, zachycených touto plochou bude v důsledku proměnného zrychlení a<sub>y</sub> zřejmě nižší, než hustota původní.

Chceme-li tudíž přičíst přídavnou plochu k ploše F<sub>od</sub> měli bychom i násobit opravným koeficientem, respektujícím změnu hustoty částic - viz obr. 24.



obr. 24

Protože se jedná o malé odlehlosti (řádově  $10^{-1}$  cm) a malé plochy ( $10^{-2}$  cm<sup>2</sup>) lze tyto skutečnosti zanedbat a považovat hustotu částic za homogenní i na ploše  $F_p$ .

Výpočet stupně zkreslení pro upravené zařízení.

$$i = \frac{F_c}{F_{od}} \cdot \frac{1}{X} \quad (2.16.)$$

$$F_{od} = F_{od} + F_p \quad (2.17.)$$

Na obr. 20 v příloze byla odečtena plocha  $F_p = 33 \text{ mm}^2$ .

$$\text{max.: } F_{od} = 1,7 + 33 = 34,7 \quad / \text{ mm}^2 /$$

$$\text{min.: } F_{od} = 2,7 + 33 = 35,7 \quad / \text{ mm}^2 /$$

Dle (2.16.) :

$$\text{max.: } i = \frac{2,54}{0,347 \cdot 4,2} = 1,74$$

$$\text{min.: } i = \frac{2,54}{0,357 \cdot 2,6} = 2,6$$

2.8. Vliv úpravy na funkci odběr. zařízení.

V místě, kde proud plynu naráží na plochu  $F_p'$  je tento proud bržděn. Jeho kinetická energie je proměněna (s vyloučením ztrát) na tlakovou. Kdyby  $F_p' = F_c$  proud by se zabrzdil úplně,  $v_1$  by byla rovna 0 a rychlostní výška  $\frac{v_1^2}{2g}$  by byla rovna přírůstku tlaku

 $\Delta p_1$ .

Plocha  $F_p$  však tvoří pouze zlomek celkové plochy  $F_c$ , proto se v tlakovou energii promění pouze příslušný zlomek kinetické energie proudu plynu.

Lze též předpokládat, že rychlost proudu nebude mít v místě plochy  $F_p'$  směr kolmý na tuto plochu, protože v důsledku odsávání budou proudnice zakřiveny.

Z toho vyplývá, že se zmaří pouze x-ová složka rychlosti  $v_1$ , která opět činí pouze určitý zlomek rychlosti  $v_1$ . Úhel mezi vektorem rychlosti  $v_1$  a plochou  $F_{od}$  (jeho průměrnou hodnotu) odhadneme na  $65^\circ$ .

$$\text{Celková rychlostní výška} : \frac{v_1^2}{2g} = \frac{145^2}{2g} \approx 1\,000$$

$$\text{podíl } \frac{F_{od}}{F_c} = \frac{0,33}{2,54} = \frac{1}{7,85}$$

Je tedy zvýšení tlaku  $p_1$  způsobené bržděním proudu:

$$-\frac{\Delta p_1}{\gamma} = 0,9 \cdot \frac{1}{7,85} \cdot 1\,000 = 115$$

z předchozího je známa  $\gamma = 0,4/\text{kg}/\text{m}^3$

Potom je zvýšení tlaku  $p_1$  :  $\Delta p_1 = 115 \cdot 0,4 = 47$

Z první části této práce vyplývá, že v důsledku změny režimu zatížení motoru se tlak  $p_1$  mění v hodnotách od 9 990 do 10 360 .

Vyjádříme-li v % změnu tlaku  $p_1$ , způsobenou  $F_p$  ke změně, ke které dochází v průběhu změny režimu motoru:  $-\frac{47}{370} \cdot 100\% = 12,4\%$

Vliv úpravy na funkci zařízení je zanedbatelný.

2.9. Velikosti odsátých sazí .

V této části se má zjistit, zda se schopnost odběrového zařízení odsát pevnou částicí z určité odlehlosti  $y$  mění v závislosti na hmotě saze. Jinak řečeno, zda vzorek bude obsahovat všechny velikosti sazí, které obsahuje originál.

Dle vztahu (2.1.) :

$$y = \frac{L^2 \cdot a_y}{2v_1^2}$$

pro  $a_y$  platí :  $a_y = k \cdot y^{-\frac{1}{2}}$  , kde  $k = f(\Delta P)$

je měrná hmota.

$$\text{čili: } a_y \neq f(m)$$

$$k \neq f(m)$$

$$L \neq f(m)$$

$$v_1 \neq f(m)$$

Jelikož určující hodnoty pro pohyb částice, tedy pro zakřivení její dráhy,  $v_1$ ,  $a_y$ ,  $L$  nezávisí na hmotě částice, můžeme tvrdit (dle (2.1.)), že odběrové zařízení neovlivní složení obsahu sazí v  $m^3$  plynu dle jejich velikosti.

2.10. Závěr a zhodnocení .

Z výsledků na str. 50 je zřejmé, že ani množství sazí v  $m^3$  kouře odsátého upraveným zařízením nebude shodné s množstvím sazí skutečně obsažených ve výfuk. plynech. Množství sazí ve vzorku bude asi ( dle str. 50 ) 1,7 krát nižší než množství sazí v originálu. Vzhledem k dalšímu prudkému růstu tlaku  $p_1$  v důsledku brždění proudu plochou  $F_p$  nelze zvětšováním této plochy dále ovlivňovat stupeň zkreslení.

Jiná možnost dosažení stupně zkreslení  $i = 1$  je zvýšení veličiny  $X$  - podílu množství plynu jež projde za 1s tryskou a množství odsátého plynu za 1s. Toto lze docílit snížením tlaku tlakového vzduchu pro vývěvu. Tím se odsaje dle charakteristiky vývěvy při stejném podtlaku nižší množství plynu a veličina  $X$  nabyde větší hodnoty.

( Příklad : je-li  $p = 3at$  je odsáté množství odečtené z charakteristiky na obr. 9 v příloze 155 lt/min.

Rychlost v odsávacím potrubí je  $v_3 = 15,7$  m/s a  $X = 6,4$  . Stupeň zkreslení, předpokládáme-li ostatní veličiny zachovány, je potom  $i = 1,12$  . )

Ani tato úprava nemá dle obr. 13 kap. 1.7. podstatný vliv na funkci odběrového zařízení.

Vzhledem k ostatním nepřesnostem, vyskytujících se při odvození metody porovnání vzorku s originálem a nepřesnostem a chybám, vyskytujících se při měření kouře, můžeme pokládat tyto výsledky za uspokojivé v tom smyslu, že vzorek obsahuje přibližně stejné množství sazí v  $m^3$  jako originál a všechny velikosti sazí, vyskytujících se v originále.

Přesné vyjádření stupně zkreslení  $i$  je možné jedině tehdy, známe-li všechny parametry  $v_1, X, d, p$  při určitém režimu zatížení motoru a dosadíme-li je do vztahu (2.12.). Kdybychom znali i průběhy těchto parametrů v závislosti na  $n, M_k, T$  určitého motoru, bylo by možno sestrojit nomogram ( pro daný motor ) ze kterého by se odečetl  $i$  v závislosti na  $n, M_k, T$  a dle jeho velikosti by bylo možno korigovat výsledky měření tak, že zjištěná hodnota měřidla by se převedla na údaj v  $g/m^3$  a vynásobila příslušným  $i$ .

Sestrojení tohoto nomogramu však není nutné s ohledem na výše uvedené nepřesnosti a chyby vyskytující se při měření kouře.

Význam tohoto zkoumání shodnosti originálu a vzorku má tedy více méně informativní charakter.



### 3. NÁVRH ABSOLUTNÍ STUPNICE KOUŘENÍ NAFT. MOTORŮ

#### 3.1. Úvod - způsoby měření kouře .

Kouření naftových motorů lze posuzovat z několika hledisek. V případě naftových motorů rozumíme kouřením výfukové plyny, v nichž jsou rozptýleny pevné nespálené uhlíkové částice - saze.

- a/ technické hledisko :
- b/ hygienické
- c/ provozní

ad a/ Dle stupně kouření t.j., dle obsahu sazí v určitém objemu plynů je možné usuzovat na dokonalost spalování paliva v motoru resp. na dokonalost přípravy paliva, tvar spalovacího prostoru atp.

ad b/ Nežádoucí znečišťování okolí naftových motorů, v malé míře i výskyt jedovatých složek ( CO ).

ad c/ Toto hledisko posuzuje vliv kouření vozidlových motorů na bezpečnost provozu na silnicích. Neprůhledné složky kouře silně ovlivňují ( snižují ) viditelnost.

Protože není možné seřadit motory stávajících konstrukcí tak, aby neobsahovaly ve výfukových plynech saze, je nutno měřit kouření naftových motorů po př. stanovit maximální přípustnou hranici kouření.

#### Způsoby měření kouře naftových motorů.

Pomineme-li vizuelní hodnocení kouření motorů, které je subjektivní a nedokonalé, jsou vyvinuty pro měření kouře v podstatě dva principy :

- a/ absorbční
- b/ filtrační

ad a/ Stupeň kouření je posuzován na základě pohlcení části intenzity světla sloupcem výfukových plynů. Změna intenzity světla je indikována.

ad b/ Předem stanovený objem výfuk. plynů je prosáván přes filtrační papír, který se znečistí sazemi úměrně s jejich množstvím v určeném objemu. Vyhodnocování se provádí prosvětlováním znečištěného papíru a sleduje se pokles intenzity světla oproti čistému papíru.

Typickými představiteli jednotlivých principů jsou :

ad a/ Hartridge, u nás KS - 04

ad b/ Bosch, u nás VÚNM

Každý z uvedených přístrojů má pro hodnocení kouře vyvinutou vlastní stupnici. 0 na této stupnici vzniká obyčejně seřizováním el. veličin při prosvětlování sloupce čistého vzduchu nebo čistého papíru. 100% hodnota potom odpovídá úplné absorpci světla sloupcem plynů nebo začerněným papírem.

Průběh stupnice od 0 do 100 se ovšem u jednotlivých přístrojů značně liší, a to nikoli jen u přístrojů pracujících na odlišném principu skupiny ( a ) nebo ( b ), ale i uvnitř jednotlivých skupin. Měření je totiž ovlivněno způsobem odběru, množstvím odebíraného plynu, délkou sloupce plynů, jakostí filtračního papíru, stavovými veličinami měřených plynů atp.

Tyto hodnoty jsou sice upřesněny nebo normalizovány pro jednotlivé typy přístrojů, jsou však pro každý typ jiné a proto neumožňují okamžité porovnání údajů jednotlivých přístrojů.

Proto je potřebné vyvinout stupnici, kde by stupeň kouření byl funkcí jednoznačně stanovitelné a snadno měřitelné veličiny. Tento parametr bude mít význam jen tehdy, budou-li i dosavadní stupnice na něm závislé. Jen tak je možno porovnat dosavadní stupnice s novou.

### 3.2. Absolutní stupnice .

Všimněme si znovu systému měření kouře :  
Bosch : Kouř se sazemi je prosáván přes filtr. papír.  
Teoreticky jsou tedy všechny saze zachyceny v tomto papíru. ( Ve skutečnosti i velmi jakostní papíry nezachytí saze velmi malých rozměrů; tyto jimi projdou).  
Dá se však předpokládat, že stupeň začernění filtr. papíru bude funkcí množství sazí, obsažených v jednotkovém objemu. ( Pozn.: Začerněním se rozumí již údaj v % pohlcené intenzity světla, získaný prosvětlením papíru). Existence, tvar a charakter této funkce je popsán v lit. / 6 /.  
Je tedy jediný absolutní parametr, vyskytující se při tomto způsobu měření, údaj  $c / \text{gm}^{-3} /$ .

Hartridge : Tento přístroj hodnotí kouř dle pohlcení intenzity světla sloupcem plynů. Absorbce světla v plynech je fyzikálně poměrně složitý děj, je proto nutno zkoumat ji podrobněji.

#### Absorbce světla v plynech.

Absorbci světla v plynech popisuje Lambertův zákon ( viz lit. /10/ ).

$$E = E_0 \cdot e^{-\alpha l} \quad (3.1.)$$

$\frac{E}{E_0}$  ... pokles intenzity světla

$l$  ... délka sloupce plynu

$\alpha$  ... koeficient absorbce

Koeficient absorbce :

Závisí na několika veličinách :

- 1./ Na vlnové délce použitého světla
- 2./ Na tlaku a teplotě plynu
- 3./ Na koncentraci roztoku

ad 1./ Tato vlastnost koef. absorpce nabývá velkého významu v případě absorpce světla v parách kovů. Je-li kmitočet světla rovný vlastnímu kmitočtu elektronů prosvětlované látky, nabývá absorpce světla maximální hodnotu. Na jiných kmitočtech je absorpce podstatně menší.

Dle lit./8/ nepředpokládáme ve výfuk. plynech naft. motorů páry těžkých ani jiných kovů. Proto můžeme považovat absorpci světla za konstantní v celém vlnovém rozsahu bílého světla. ( Jinak je tomu u benzin. motorů, pracujících s palivem obsahujícím antidetonální přísady např. tetraethyl olova ).

ad 2./ Se zvyšováním tlaku a teploty koef. absorpce světla v plynech stoupá. Zmenšuje se vzdálenost mezi jednotlivými atomy a rozptyl, k němuž dochází střetáváním se fotonů s elektrony se zvyšuje. Protože v kouřoměrech dodržujeme konst. tlak i teplotu plynů, je možno vliv tlaku a teploty na změnu absorpce světla vyloučit.

ad 3./ Tato vlastnost absorpčního koeficientu nabývá významu tehdy, tvoří-li prosvětlovanou látku neabsorbující rozpouštědlo v němž jsou rozptýleny absorbující částice.

Je jasné, že v kouřoměrech typu Hartridge dochází k absorpci světla jak rozptylem světla v plynech, tak i pohlcením rozptylem na pevných částicích, jež plyn obsahuje. Složení výfuk. plynů - dle lit./9/ -  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  a malé množství kyslíčků  $\text{N}_2$  a  $\text{CO}$  zaručuje, že se převážně jedná o průhledné bezbarvé

plyny. Jsou-li zaručeny konst. hodnoty stavových veličin plynu v kouřoměru, můžeme jejich vliv na celkový údaj kouřoměru vyloučit seřazením 0 přístroje na hodnotu absorpce světla sloupcem neznečištěných plynů (např. vzduchu).

Tyto skutečnosti umožňují zjednodušení děje na případ absorpce světla sloupcem neabsorbujícího rozpouštědla a absorbujících částic, rozptýlených po objemu. Posuzujme tedy výfuk. plyny v kouřoměru jako koloidní roztok o určité koncentraci  $c / \text{gm}^{-3}$ .

Veličina  $c$  se tedy vyskytuje jak při hodnocení kouře systémem filtračním tak i při absorbčním. Je přesně a jednoznačně definována. Nabízí se tedy možnost klasifikace stupně kouření dle této veličiny - koncentrace sazí v g v  $1 \text{ m}^3$  plynu.

Absorpce světla v roztoku.

Pro tento děj uvádí lit. /9/ tento vztah :

$$E = E_0 \cdot e^{-A \cdot c \cdot l} \quad (3.2.)$$

$A$  ... konst. proporcionality, závislá na absorpč. koef. rozpuštěné látky

$c$  ... koncentrace roztoku v  $\text{gm}^{-3}$

Dle tohoto vztahu lze tedy jednoznačně stanovit pokles intenzity světla, při konst. délce  $l$  plynů, v závislosti na množství částic obsažených v jednotce objemu plynu. V této formě však vztah (3.2.) platí absolutně jen pro homogenní roztoky.

V případě nehomogenního roztoku může totiž dojít k různému poklesu intenzity světla při stejné koncentraci, bude-li různý stupeň nehomogenity t.j. poměr mezi max. a min. velikostmi částic, vyskytujících se v roztoku.

Stupeň nehomogenity roztoku sazí ve výfuk. plynech.

Absorbce světla roztokem sazí v plynu lze posuzovat ve 2 rovinách. Roztok bude totiž zřejmě obsahovat jak částice rozměrů srovnatelných s vlnovou délkou světla, tak i částice řádově větších rozměrů.

Absorbce světla na částicích srovnatelných s vln. délkou světla se řídí zákonitostmi oboru vlnové optiky a dochází k ní rozptylem světla na těchto částicích, takže výsledný světelný tok do zkoumaného směru v důsledku rozptylu poklesne.

Na částicích řádově větších než vln. délka světla však kromě rozptylu dochází i k úplnému zastínění elementárního světelného toku, dopadajícího na tuto částici. Celková hodnota absorbce se tedy řídí též dle zákonitostí z oboru geometrické optiky. Tyto částice mohou být považovány za totálně nepropustné asi od hodnoty  $1\mu$  (dle lit./ 9/ poklesne na pevných částechkách o tloušťce  $1\mu$  intenzita světla  $10^{-7}$ krát). V této oblasti geometrické optiky se dá snadno dokázat, že absorbce světla bude různá při stejné koncentraci bude-li různý stupeň nehomogenity resp. jsou-li částice v jednom případě větší než v druhém. Viz př. :

Označíme-li hmotnost částic 1. roztoku  $m_1$ , a počet částic v  $m^3$   $n_1$  a u 2. roztoku  $m_2$ ,  $n_2$ , potom platí:

$$m_1 \cdot n_1 = c$$

$$m_2 \cdot n_2 = c$$

a je-li  $m_1 < m_2$ ;  $n_1 > n_2$ ,  $c$  je koncentraci v  $gm^{-3}$ .

Předpokládáme-li stejný tvar částic, je jejich plocha úměrná hmotnosti  $m$ . Čili :

$$k \cdot F_1 \cdot n_1 = c$$

$$k \cdot F_2 \cdot n_2 = c$$

Jelikož je  $n_1 > n_2$  je tedy  $F_2 > F_1$ .

Plocha, kterou zastíní částice 2. roztoku je tedy větší a tím i absorbce světla je vyšší než v 1. případě.

Předpokládejme, že uvedený roztok sazí v plynu není homogenní. Nelze proto jednoznačně popsat závislost absorpce světla na koncentraci.

Lambertův zákon platí však pro všechny roztoky, tedy i pro nehomogenní. V tomto případě ovšem  $A$  (viz vztah (3.2.)) není konstantní ale je funkcí velikosti částic a skládá se ze dvou částí :

$$A = A_a + A_r \quad (3.3.)$$

$A_a$  ... tato složka vyjadřuje podíl absorpce pohlcováním částí světelného toku pevnými částicemi

$A_r$  ... tato složka vyjadřuje podíl absorpce rozptylem světla na částicích, srovnatelných s vln. délkou světla.

Mění-li se stupeň nehomogenity roztoku, mění se i podíl složek  $A_a$  a  $A_r$  na celkovém poklesu intenzity světla. Ize tedy tvrdit, že v případě nehomogenního roztoku může dojít i při stejné koncentraci k rozdílnému poklesu intenzity světla.

Je patrné, že určení absolutní závislosti absorpce světla sloupcem kouřových plynů na koncentraci sazí není možné bez uvažování velikosti těchto sazí resp. stupně nehomogenity.

Nelze tedy jednoznačně převést údaj měřidla kouřoměru typu Hartridge na údaj v  $\text{gm}^{-3}$ .

Poznámka :

Bylo by ovšem možné, stanovit závislost absorpce světla při stejné koncentraci na různých stupních nehomogenity roztoku. Tato závislost by se dala určit i experimentálně tak, že by se připravilo několik roztoků o stejné koncentraci  $c$  ale s různým stupněm nehomog.  $\mu$   
a  $l = \text{konst.}$

Platí: 
$$\lg \frac{E}{E_0} = - A_{\mu} \cdot c \cdot l$$

$$- A_{\mu} = \frac{\lg \frac{E}{E_0}}{cl}$$

Pro různá  $\mu$  dostaneme funkci  $A = f(\mu)$  tak, že měříme pokles intenzity a známe  $c, l$ .

Přesnou znalostí této funkce můžeme převést údaj absorpčního kouřoměru na údaj v  $gm^{-3}$  dle vztahu(3.2.)

To ovšem znamená, že kdybychom chtěli převést údaj abs. kouřoměru na  $gm^{-3}$ , museli bychom měřit zároveň s poklesem intenzity světla i velikosti sazí, obsažených v plynu. Protože kouřoměry nejsou vybaveny zařízením pro indikaci velikosti částic a sestrojení takového zařízení by odstranilo hlavní výhodu absorpčních kouřoměrů, kterou je jednoduchost, nemájí uvedené skutečnosti praktický význam.

#### Shrnutí .

Sestrojení absolutní stupnice kouření není možné bez dalšího komplikování způsobu měření. Nelze totiž najít jednoznačné kritérium, dle kterého by se daly stávající systémy měření kouře absolutně porovnat.



3.3. Praktické porovnání systémů Hartridge a Bosch.

V předcházející kapitole je dokázána nemožnost resp. nesnadnost absolutního porovnání. Otázkou je, zda ovlivnění údaje měřidla kouřoměru různým stupněm nehomogenity roztoku při stejné koncentraci je v oblasti dosahovaných velikostí sazí u konkrétních naft. motorů rozhodující. Zda by nebylo vhodné spojit se pro praktické účely pouze s jedním kritériem, s koncentrací, a předpokládat, že u stávajících naft. motorů (dobře seřízených) bude existovat při stejné koncentraci přibližně stejný stupeň nehomogenity, resp. že odchylky velikostí sazí, jež tyto doznají při stejné koncentraci, ovlivní údaj měřidla absorb. kouřoměru s chybou, kterou lze zanedbat. Kdyby se podařilo dokázat existenci funkce mezi stupněm nehomogenity a koncentrací, potom by každé koncentraci odpovídal právě 1 stupeň nehomogenity. Akceptováním existence této funkce je možné převádět údaj absorb. kouřoměru na  $gm^{-3}$  jednoznačně.

3.4. Závislost stupně nehomogenity na koncentraci.

Stupněm nehomogenity byl nazván poměr max. velikosti sazí k min. Považujeme-li min. velikost rovnou jedné, potom rozumíme stupněm nehomogenity velikost max. částice, vyskytující se v roztoku.

Velikosti sazí.

Saze vznikají ve spalovacím prostoru motoru nedokonalým shořením vstříknutého paliva. Lze předpokládat, že u naft. motorů budou mít max. částice rozptýleného paliva srovnatelné velikosti. Protože i způsob hoření, rychlost hoření a palivo jsou srovnatelné, je možné předpokládat, že vzniklé saze budou řádově shodných velikostí u všech stávajících naft. motorů. Ke vzniku větších částic - sazí - dochází až na stěnách výfuk. potrubí sbalováním / aglomerací / , tedy mechanickým způsobem. Lze se domnívat, že velikost takto vytvořených shluků sazí bude úměrná množství sazí v jednotce objemu, tedy čím větší koncentrace tím větší je možnost vzniku větších částic. Podkladem pro tyto úvahy je lit./6/, která uvádí, že " převážná většina sazí vytvořených ve spalovacím prostoru je velikostí  $(0,3 \div 1) \mu$ . Pouze menší část, vzniklá aglomerací na stěnách potrubí, je velikostí  $(5 \div 30) \mu$ . "

Tyto skutečnosti jsou výhodné :

- a/ převážná část sazí je velikostí srovnatelných s vln. délkou světla ( $0,3 \div 0,7 \mu$ ). Takový roztok je možno považovat za homogenní, neboť k absorpci světla dochází rozptylem dle zákonů z oboru vln. optiky.
- b/ složka, způsobující nehomogenitu roztoku, je pouze menší díl celkového rozpuštěného množství.
- c/ je možné předpokládat existenci funkce mezi nehomogenitou a koncentrací.

3.5. Důkaz existence funkce  $N = F(c)$

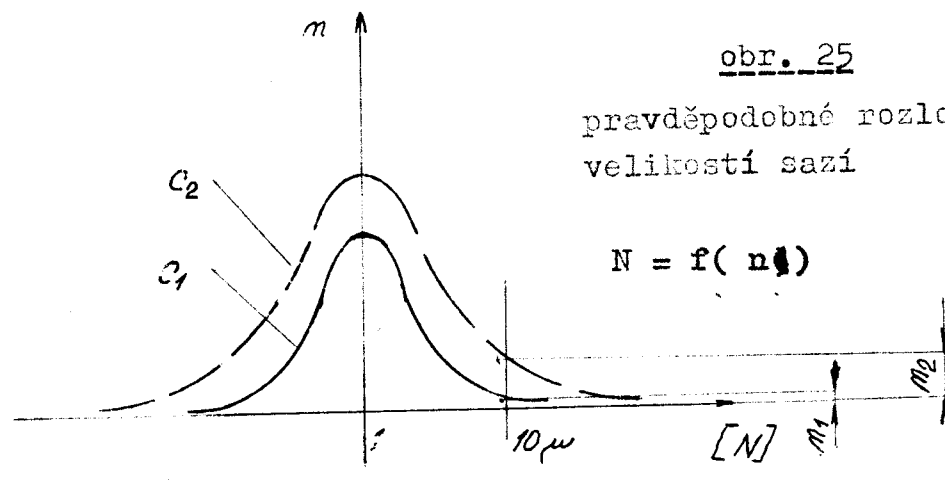
- N ... stupeň nehomogenity ( resp. velikost max. částice )  
c ... koncentrace ( resp.  $\text{gm}^{-3}$  )

Tento důkaz lze provést experimentem, který si neklade nároky na absolutní přesnost a zjištění matematické formulace ale omezuje se na prokázání existence této funkce. Je možné pokládati existenci funkce za prokázanou tehdy, zjistíme-li počet částic určité velikosti obsažených v  $\text{m}^3$  plynu v závislosti na příslušné koncentraci. Hranice velikostí částic, které budou počítány, je určena možnostmi použitých přístrojů a byla stanovena na  $10\mu$ .

Předpokládáme-li totiž pravděpodobné rozložení velikostí sazí dle Gaussovy křivky - viz obr. 25 - je jasné, že má-li určitá velikost  $\mu$  různou hodnotu četnosti  $n$  jsou i hodnoty max. velikostí různé a tudíž je různý stupeň nehomogenity.

Pozn. : přímé určení stupně nehomogenity zněšením max. velikosti saze je těžko realizovatelné. Proto je měřena četnost sazí určitého rozměru ( $10\mu$ ).

Výsledky budou přesnější a věrohodnější.  
Zároveň je nutno měřit koncentraci v  $\text{gm}^{-3}$ .



Měření koncentrace.

Jak bylo uvedeno v předchozím odstavci, měření si neklade absolutní nároky. Proto je možné změřit množství sazí vážením filtračního papíru. Lze se domnívat, že skutečný obsah sazí ve výfuk. plynech bude vyšší o počet sazí malých rozměrů, jež filtrační papír nezachytí. Tento podíl však je u všech měření stejný a je možné jej proto zanedbat.

Měření koncentrace bylo provedeno na motoru M 630.

Odebírání vzorků se uskutečnilo odvěrovou částí kouřoměru VÚHM s tím rozdílem, že přes každý filtr. papírek byl prosát objem 1 lt.

Čisté papírky byly vyušeny a zváženy na analytických poloautomat. vahách MEOPTA. Opětně byly vysušeny a zváženy znečištěné. Rozdíl obou hodnot je koncentrace sazí v g/l.

Měření velikosti a počtu sazí.

Metoda tohoto měření a způsob odběru vzorku byl konzultován s pracovníky OHS Liberec, přičemž byl vzat ohled ke zkušenostem s měření prašnosti. ( )

Stejným odběrovým zařízením při stejných režimech motoru jako při měření koncentrace byl 1 lt výfuk. plynů odsát přes "Impinger" t.j. přes zkumavku s určitým množstvím destilované vody. Opět není zaručeno, že skutečně všechny saze budou zachyceny ve vodním sloupci a že jistá část sazí nebude stržena " probublávajícím " plynem. Tyto podmínky jsou však zaručeně shodné při odběru všech vzorků. Proto neovlivní výsledek měření.

Množství destil. vody bylo stanoveno pokusně na 5 ml aby bylo dosaženo co možná největší koncentrace sazí v roztoku vody.

Takto získané roztoky bylo nutné dále upravit.

5 ml roztok byl kvantitativně převeden do centrifugační nádoby. Byl odstřeďován centrifugou " CHIRANA" po dobu 10 min. při 3 000 ot/min. Z centrifugátu bylo odpipetováno 0,02 ml roztoku do Bürkerovy komůrky a kvantitativně vyhodnoceno.

Tabulky naměřených hodnot.

Tab. 3.1.0

Režimy zatížení motoru.

( vzorky byly odebrány při režimech 1 - 5 zatěžovací charakteristiky při  $n = 1\ 000$  ot/min ).

režim	1	2	3	4	5
$M_k$ /kpm/	40	50	60	70	74

Tab. 3.1.1

Koncentrace roztoku.

režim	1	2	3	4	5
$c$ /mgm <sup>-3</sup> /	51	108	191	483	945

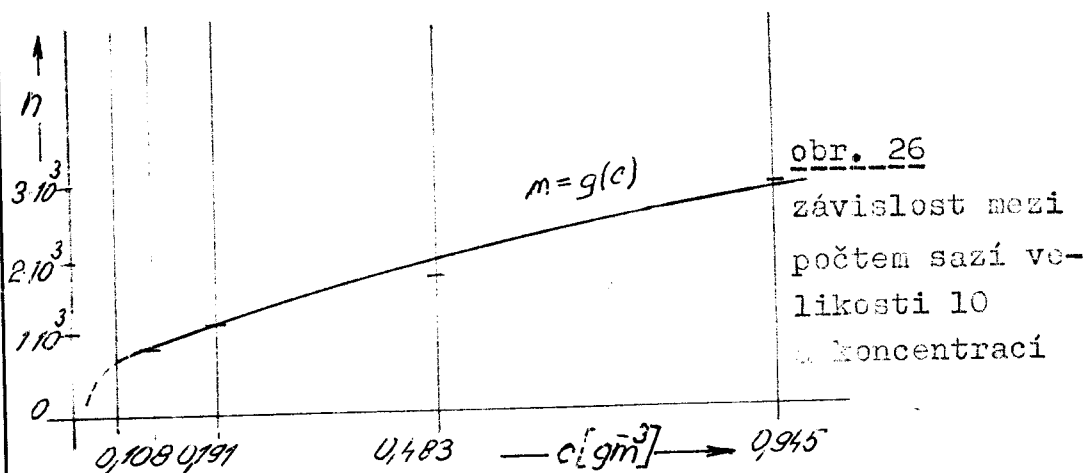
Tab. 3.1.2

Počet sazí velikosti 10 v lm<sup>3</sup> výfuk.plynu.

režim	1	2	3	4	5
n	-	1 000	1 250	1 850	3 000

Pozn.: u vzorku 1 nemohl být počet sazí určen, protože praskla centrifugační nádoba.

Změřené hodnoty  $n$  a  $c$  byly vyneseny do grafu, přičemž na osu pořadnic byla nanášena hodnota  $c$ .  
Viz obr. 26



Z obr. 26 je možno považovat existenci funkce  $n = g(c)$  za prokázanou.

Jelikož je stupeň nehomogenity  $N = f(n)$  - tuto závislost ukazuje obr. 25 (Gaussova křivka) - je možné tvrdit, že existuje funkce :

$$N = f[g(c)] = F(c)$$

Tím je dokázána existence jednoznačné závislosti stupně nehomogenity na koncentraci.

Fotografie roztoku sazí na Bürkerově mřížce podporu-  
je oprávněnost učiněných předpokladů o rozložení  
a velikostech sazí. Vzdálenosti jednotlivých čar  
rastru Bürkerovy komůrky jsou  $10\mu$ .

Fotografie byla pořízena na NEOFOTu při 625násobném  
zvětšení. Snímek je však znehodnocen posunutím sklič-  
ka na Bürkerově komůrce, ke kterému došlo při přená-  
šení vzorku. Tím lze vysvětlit shluky sazí v levém  
dolním rohu, které byly vytvořeny v důsledku mecha-  
nického pohybu sklička po mřížce. Z čas. důvodů ne-  
mohly být odebrány nové vzorky a zhotoveny nové foto.  
Viz obr. 27

Rozložení a velikosti sazí

obr. 27

### 3.6. Závěr a porovnání údajů přístrojů typu Bosch a Hartridge.

Roztok sazí ve výfuk. plynech je tedy do značné míry tvořen homogenní směsí, protože většina sazí vytvořených ve spal. prostoru motoru je velikostí ( $0,3 - 1\mu$ ). Velikosti aglomerovaných sazí ve výfuk. potrubí jsou funkcí koncentrace sazí v plynu, neboť čím větší množství sazí, tím snazší a pravděpodobnější je shlukování sazí ve větší částice. Proto můžeme předpokládat existenci jednoznačné závislosti stupně nehomogenity na koncentraci a dokázat ji.

Důsledky :

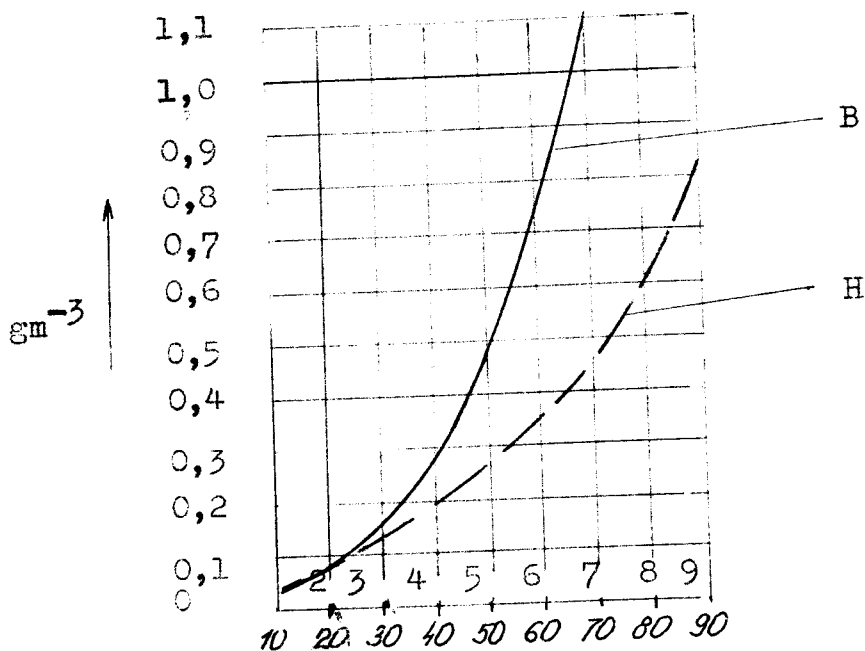
Není nutné se obávat, že by se při stejné koncentraci sazí v plynech objevily natolik různé velikosti sazí, které by podstatně ovlivnily měření stupně kouření absorpčním kouřoměrem.

Akceptováním uvedených závislostí stupně nehomogenity na koncentraci lze jednoznačně převádět údaj těchto kouřoměrů na  $gm^{-3}$ .

#### Porovnání údajů kouřoměrů Hartridge a Bosch pomocí kritéria $gm^{-3}$ .

V lit. /6/ a /7/ je běžně uváděná závislost údajů přístrojů Bosch a Hartridge na koncentraci sazí v  $m^3$  výfuk. plynů, bez uvažování dalších parametrů. Vývoody a důsledky této práce jsou ve shodě s uvedenou literaturou /6/ a /7/ a je proto možné převzít výsledky v ní zveřejněné. Proto je zde uveden obr. 28, na němž jsou oba typy kouřoměrů porovnány pomocí kritéria  $gm^{-3}$ , převzatý z lit. /7/.





Obr. 28 : Porovnání kouřoměrů Bosch a Hartridge

Porovnání údajů VÚNM a KS - 04 je možné provést měřením kouře naft. motoru zároveň tímto typem a typem Bosch nebo Hartridge. Protože je známá závislost údajů B. a H. na  $gm^{-3}$ , můžeme tímto zjistit i závislost údaje VÚNM a KS - 04 na kritériu  $gm^{-3}$ .

Závěrem chci poděkovat ing. M. Svobodovi, vedoucímu diplom. práce, za cenné rady a připomínky, doc. ing. Z. Kovářovi CSc za doporučení a zapůjčení vhodné literatury,

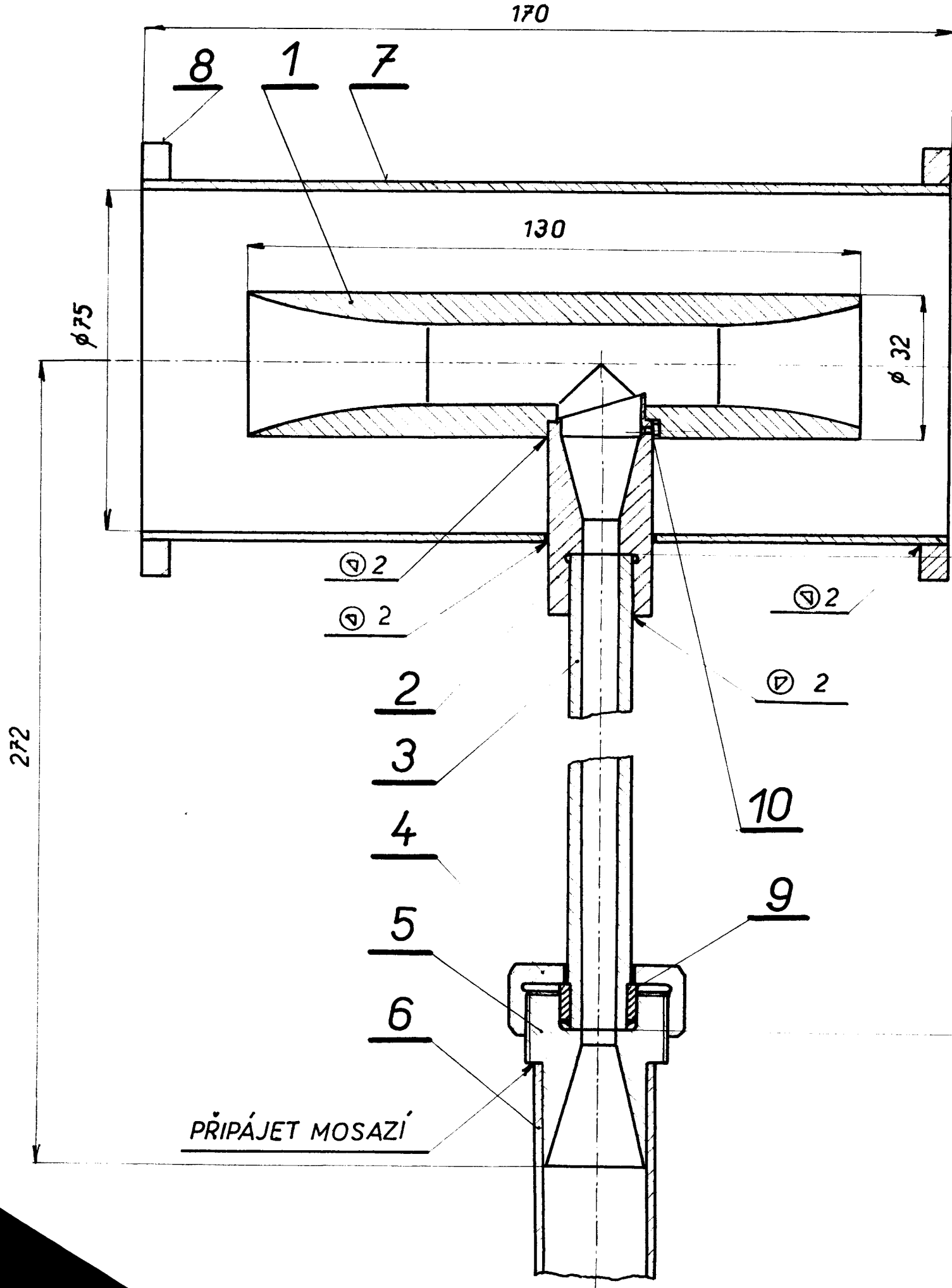
RNDr. Z. Jorovi, z OHES Liberec za pomoc při laboratorním vyhodnocení vzorků kouře.

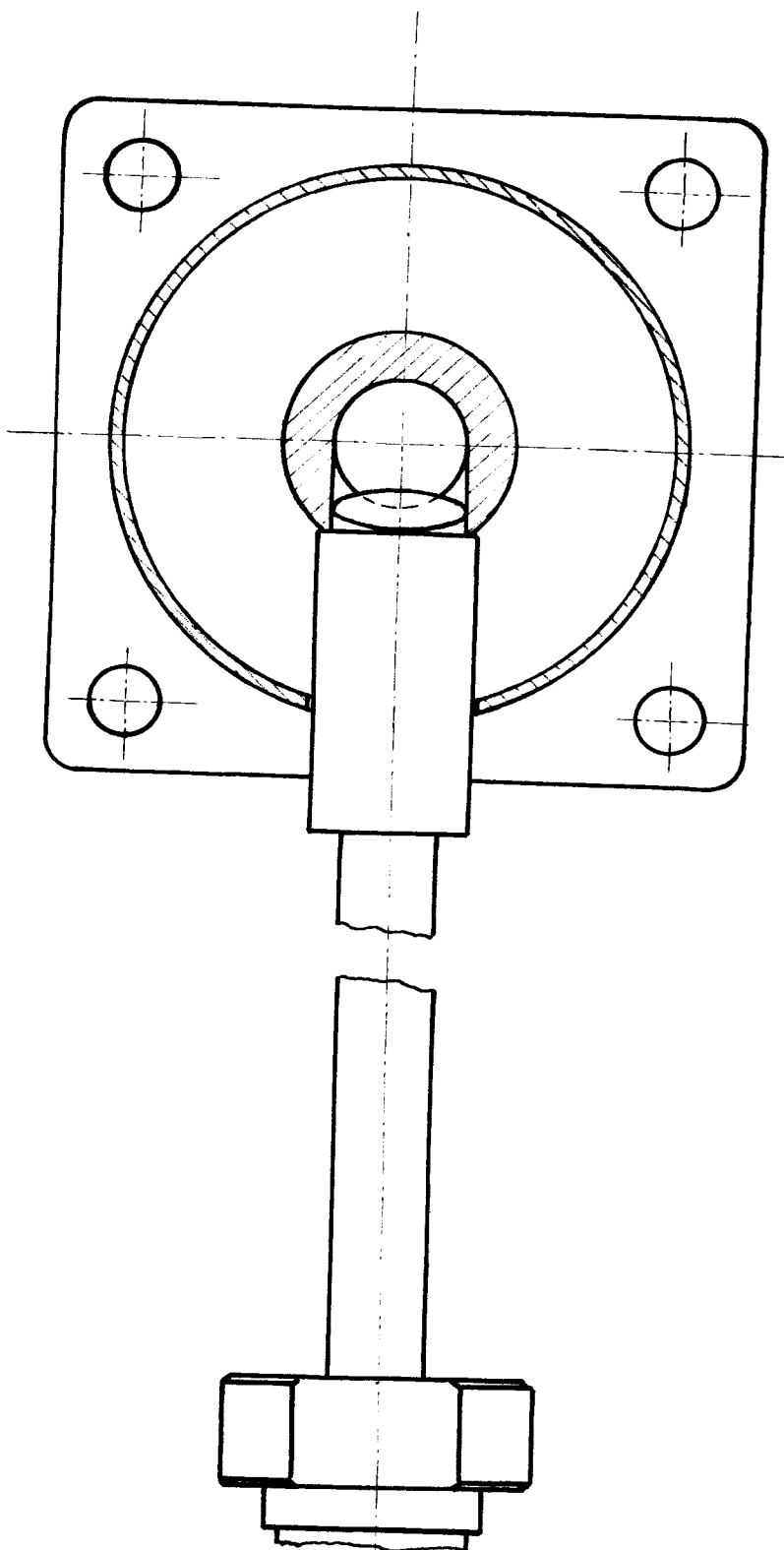
Seznam obrazové přílohy :

1.	výkres	č.	DP-VS-12/69	03 - 00
2.	výkres	č.	DP-VS-12/69	04 - 01
3.	výkres	č.	DP-VS-12/69	04 - 02
4.	výkres	č.	DP-VS-12/69	04 - 03
5.	výkres	č.	DP-VS-12/69	04 - 04
6.	výkres	č.	DP-VS-12/69	04 - 05
7.	výkres	č.	DP-VS-12/69	04 - 06
8.	charakteristika vývěvy		obr.	9
9.	charakteristická plocha		obr.	19
10.	pomocná plocha		obr.	20
11.	kusovník	č.	DP-VS-12/69	03-00

Seznam použité literatury :

- /1/ Maštovský , O .: Hydrodynamika
- /2/ Kalčík , J .: Technická termodynamika
- /3/ Černoch, S.: Strojně technická příručka
- /4/ Svoboda, M.: Diplom.práce 1965
- /5/ Moc, L.: Vývoj kouřoměru pro naft. motory typu KS 1967 - zpráva
- /6/ Falkner, W.: Die Rauchentwicklung von Dieselmotoren ; "Österreichische Ingenieur-Zeitschrift" roč.I , č.9
- /7/ Ekspres informacija, Poršněvyje i gazoturbinnyje dvigatěli, No 29 1967
- /8/ Košťál, J.: Pístové spalovací motory
- /9/ Klier, E .: Úvod do fyziky, IV část /optika/ - skripta 1965





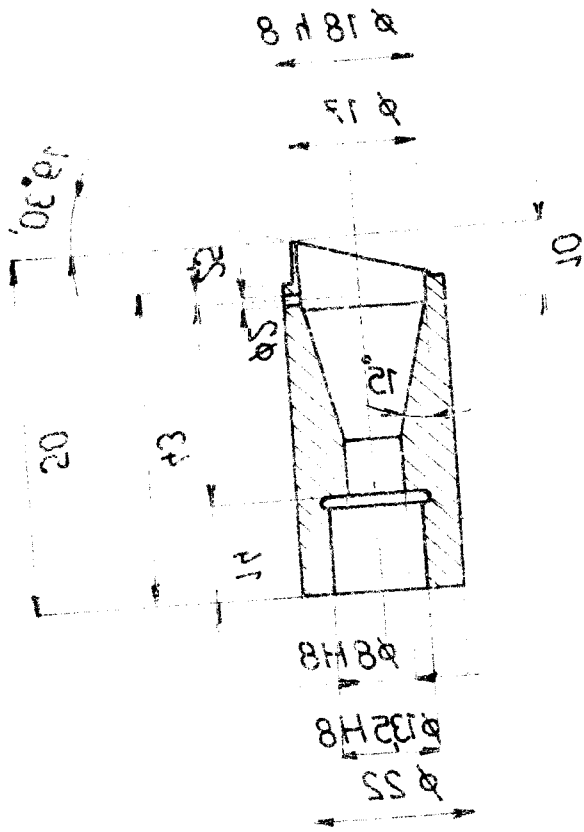
*Detail prof*

1:1

ODBĚROVÉ  
ZARÍZENÍ

DP-VS-12/69 03-

37



BS8102

11320

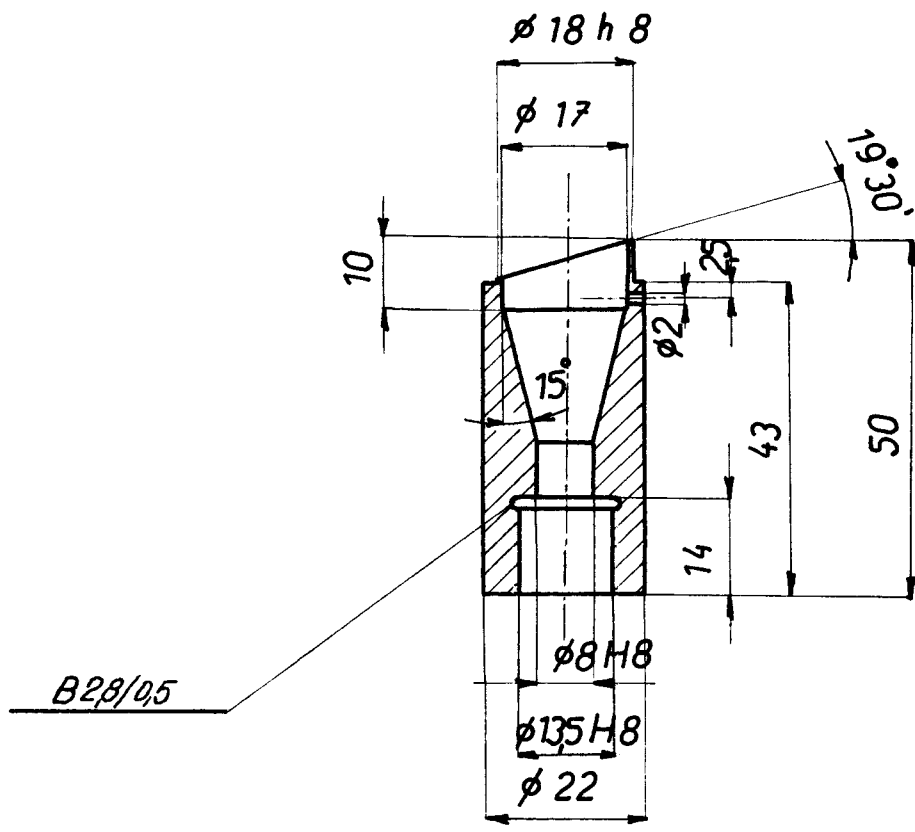
*Handwritten signature*

1:1

DB-V2-15/ea OK-05

VÁLEČ  
VSTUPNÍ

3,2 ✓



		11370		Číslo výkresu	Číslo souč.
Úvodní (základní) stav	Úvodní (základní) stav	Úvodní (základní) stav	Úvodní (základní) stav	Sestavení	

*Denise Jank*

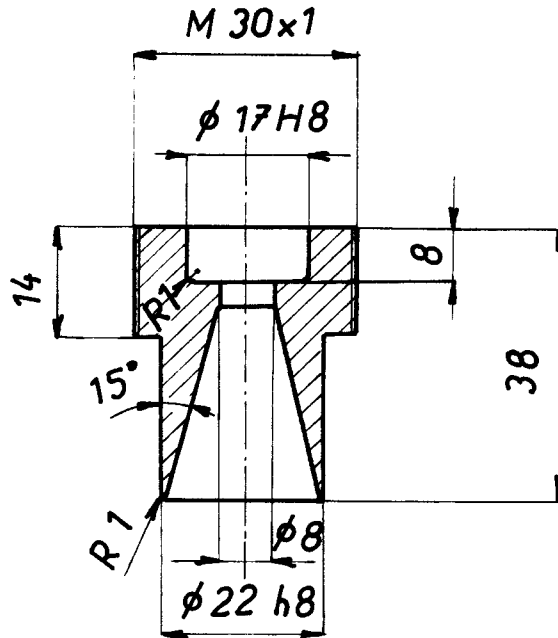
1:1

Vstupní válec	VSTUPNÍ VÁLEC	DP-VS-12/69 04-02
---------------	---------------	-------------------

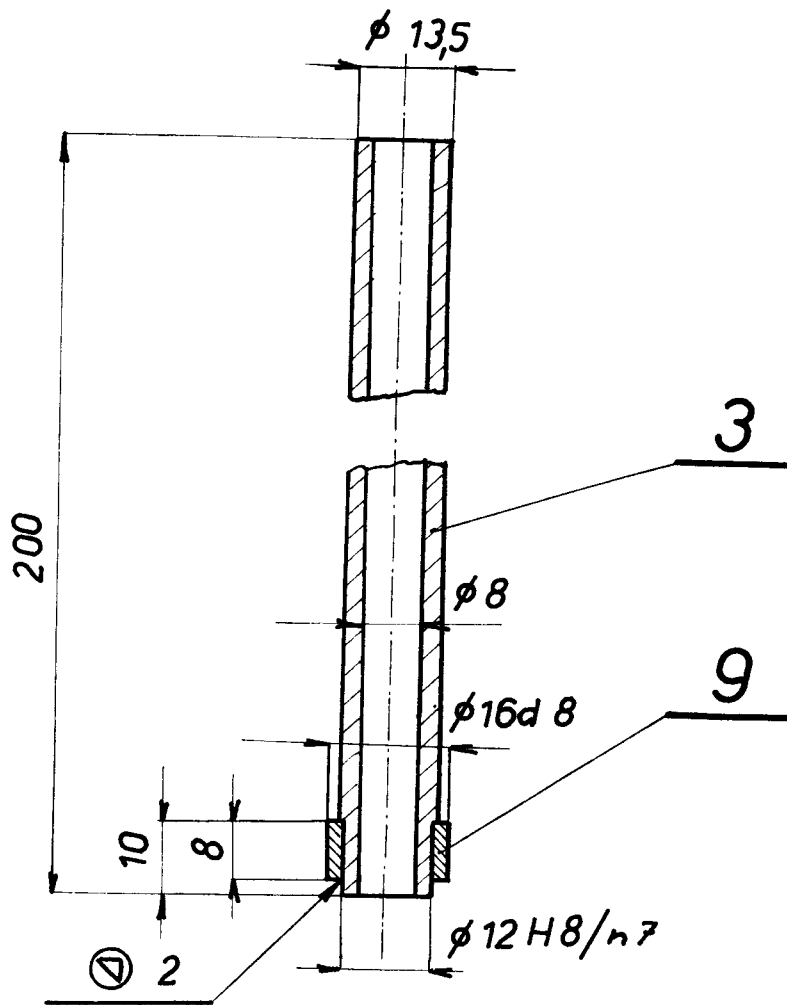




3,2



		11 370		kg	Číslo výkresu	Číslo souč.
Materiál (výchozí stav)	Číslo a název materiálu (výchozí) norma číslo normy	Materiál (konkrétní stav)	Objed.	Číslo výrobku	Sestava číslo	
1:1						
Výskl. ústředí strojní v Liberci						
Název		VÝSTUPNÍ VÁLEC				
Číslo výkresu		DP-VS-12/69 04-03				



POUŽ. ELEKTRODA  
E 44.83

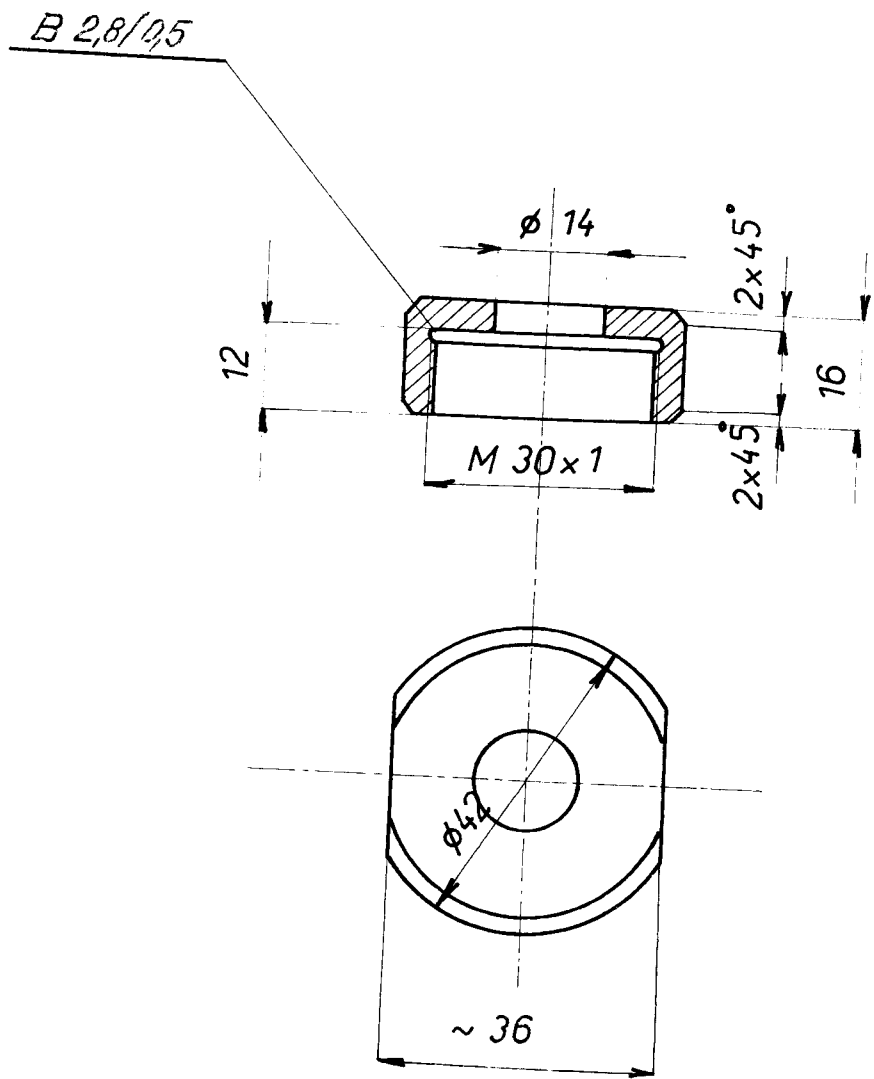
1	KROUZEK $\varnothing 16-10$	11 370			9
1	TRUBKA $\varnothing 13,5-200$	11 350		425710	3
Kusů				ČSN	Pos.

*Průřez trub*

1:1

TRUBKA  
S KROUŽKEM

DP-VS-12/69 04-04



11370

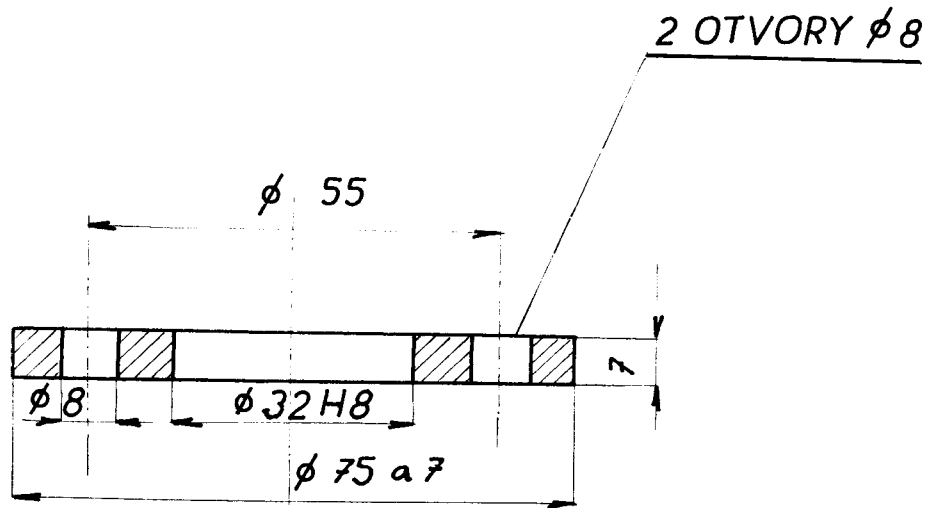
1:1

*David M F*

MATICE

DP-VS-12/69 04-05

3,2  
✓



11370

HRANY SRAZIT  $0,5 \times 45^\circ$

*Daniš Jozef*

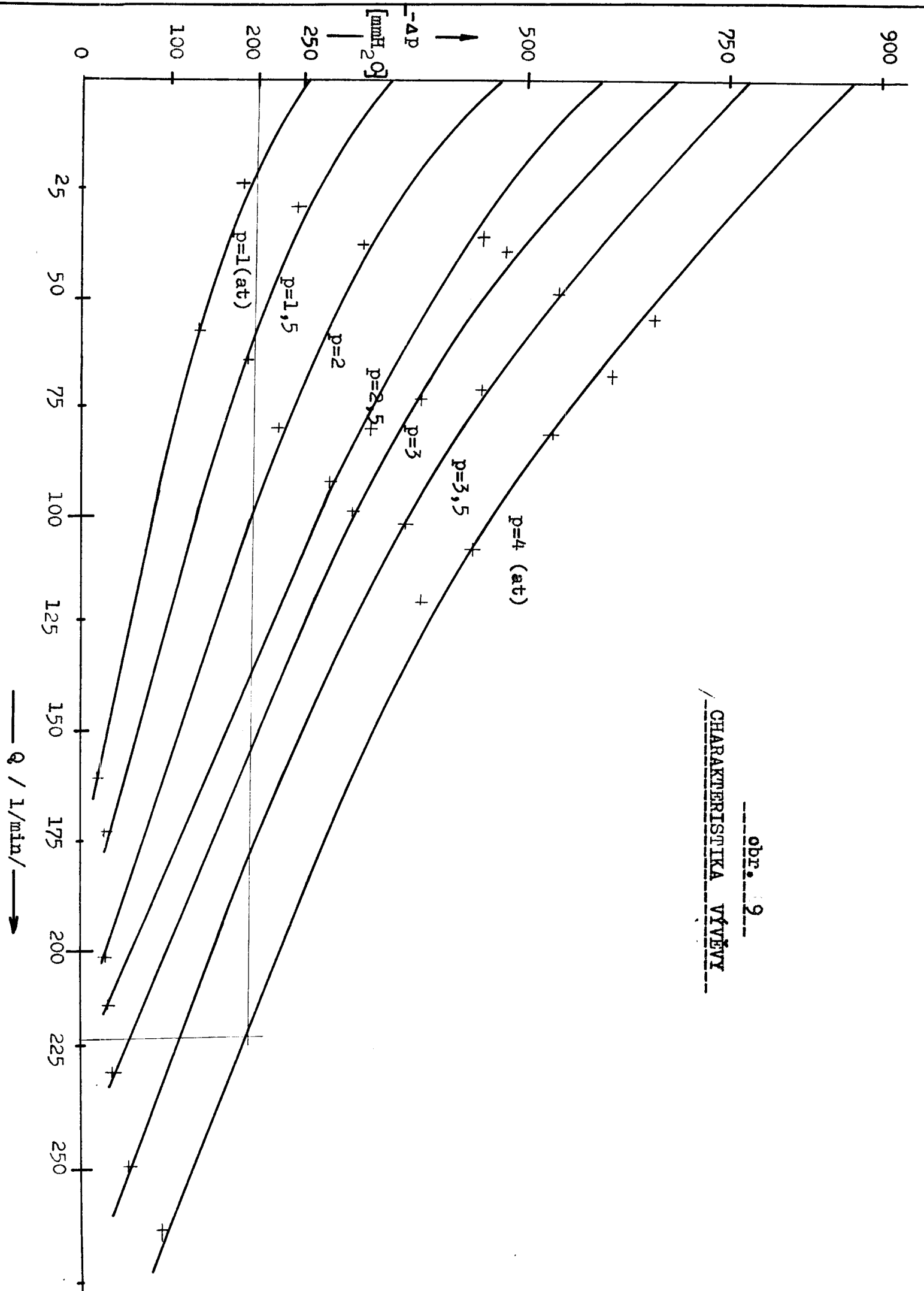
1:1

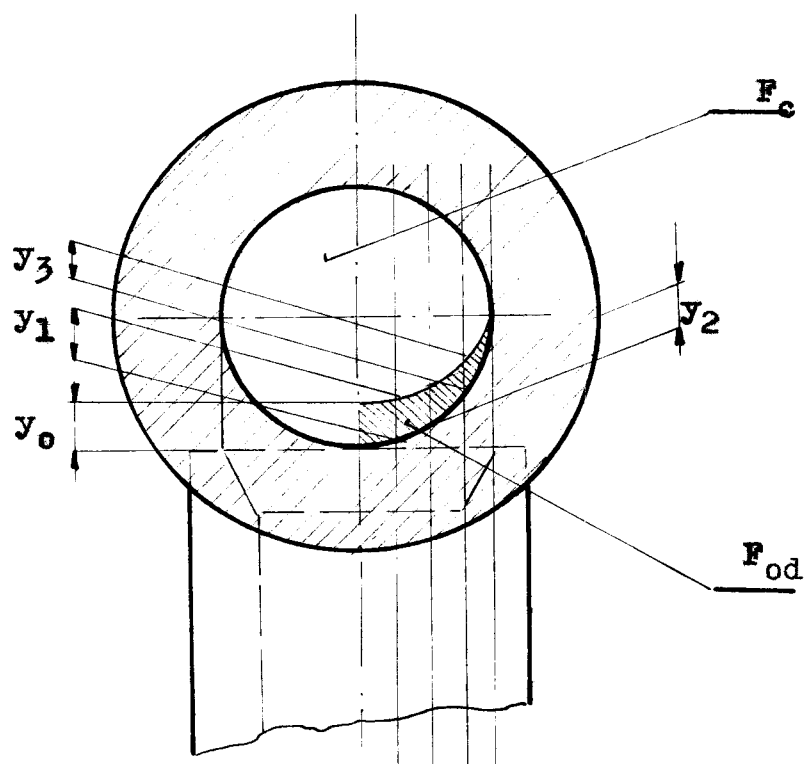
Výrobek a jeho část  
v L. H. J. J. J.

KOTOUČ<sup>v</sup>

DP-VS-12/69 04-06

obr. 9  
CHARAKTERISTIKA VÝVĚVY

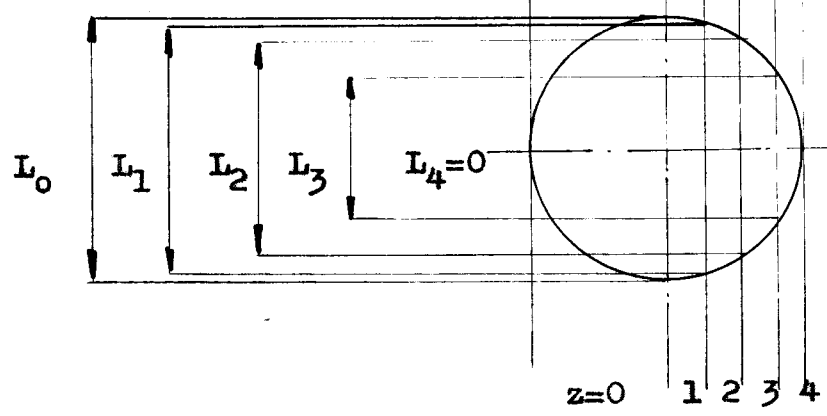




$$y_z = \frac{L_z^2 \cdot a_y}{2 v_1^2}$$

voleno:  $a_y = 900 \text{ ( m/s}^2 \text{ )}$

$v_1 = 10 \text{ ( m/s )}$



- $L_0 = 38 \text{ (mm) , } y_0 = 6,5 \text{ (mm)}$
- $L_1 = 34,5 \text{ , } y_1 = 6,1$
- $L_2 = 30 \text{ , } y_2 = 4,05$
- $L_3 = 19,5 \text{ , } y_3 = 1,7$
- $L_4 = 0 \text{ , } y_4 = 0$

obr. 19

CHARAKTERISTICKÁ PLOCHA  $F_{od}$  :---

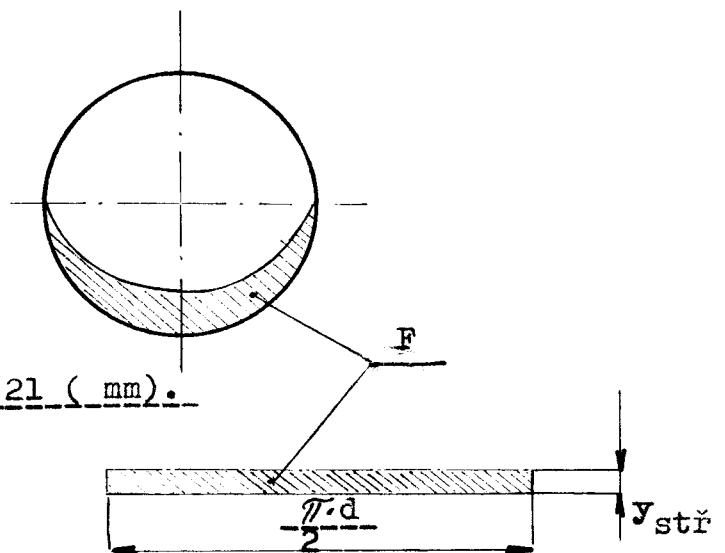
Velikost char. plochy-  
převedení na obdelník.

(Velikosti ploch byly  
odečteny z mm-papíru.)

$$d = 36 \text{ (mm)}$$

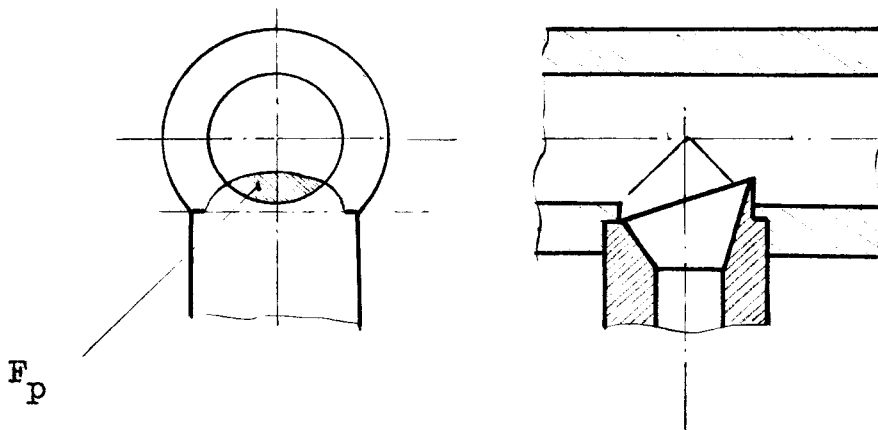
$$F = 181 \text{ (mm}^2\text{)}$$

$$y_{\text{stř.}} = \frac{\frac{F}{\pi \cdot d}}{2} = \frac{181 \cdot 2}{3,14 \cdot 36} = 3,21 \text{ (mm).}$$



$$N = \frac{y_{\text{stř.}}}{y_0} = \frac{3,21 \cdot 2}{6,5} = 0,5$$

Určení velikosti pomocné plochy.



$$\underline{F_p = 0,33 \text{ (cm}^2\text{)}}}$$

Kusů	Název - Rozměr	Mat. konečný	Mat. výchozí	Tr. odp.	Č. váha	Hr. váha	ČSN	Pos.
1	Tryska ø32-130	11 370						1
1	Vstupní válec ø12-50	11 370						2
1	Trubka ø13,5-200	11 350					425710	3
1	Matice M 30x1	11 370						4
1	Výstup. válec ø30-38	11 370						5
1	Trubka ø 25 - 2 000	11 350					425715	6
1	Výfuk. potr. ø 75 -170							7
2	Příruba k výf. potr.							8
1	Opěrný kr. ø 16 - 10	11 370						9
1	Čep ø 3 -4	11 370						10

*Dovněl Jozef*

Výrobě a údržbě strojů  
v závodě  
Československé akademie věd

**KUSOVNÍK**

DP-VS-12/69 03-00