

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

---



Fakulta strojní  
Katedra strojů průmyslové dopravy

# **Palivové příslušenství plynových motorů kogeneračních jednotek**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**David Křenovský**

2000-2001

**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**

**Fakulta strojní**



Katedra strojů průmyslové dopravy

Studijní rok: 2000/2001

**Obor 23 – 17 – 8**

**Konstrukce strojů a zařízení**

**Zaměření**

**Pístové spalovací motory**

**Palivové příslušenství plynových motorů kogeneračních jednotek**

**KSD - 406**

**David Křenovský**

Vedoucí diplomové práce: Doc. Ing. Josef Laurin, CSc.

Konzultant diplomové práce: Ing. Ladislav Bartoníček, CSc.

Rozsah diplomové práce:

|               |   |         |
|---------------|---|---------|
| Počet stran   | : | 48      |
| Počet obrázků | : | 11      |
| Počet tabulek | : | 12      |
| Počet příloh  | : | 8       |
| Počet výkresů | : | 18      |
| MDT           | : | 621.431 |

Květen 2001



## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Jméno a příjmení **David K ř e n o v s k ý**  
obor **Konstrukce strojů a zařízení**  
zaměření **Pístové spalovací motory**

Ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách se Vám určuje diplomová práce na téma:

### PALIVOVÉ PŘÍSLUŠENSTVÍ PLYNOVÝCH MOTORŮ KOGENERAČNÍCH JEDNOTEK

#### Zásady pro vypracování:

(uveďte hlavní cíle diplomové práce a doporučené metody pro vypracování)

1. Stručně charakterizujte plynové zážehové motory kogeneračních jednotek.  
Uveďte problematiku tvorby palivové směsi u zážehových motorů na zemní plyn používaných k pohonu generátorů kogeneračních jednotek. Přitom se zaměřte hlavně na tvorbu palivové směsi pomocí směšovače plynu se vzduchem v sacím traktu motoru a na regulaci kvality palivové směsi.
2. Proveďte rozbor vlivu teploty kyslíkové sondy (výfukových plynů) na kvalitu palivové směsi.
3. Navrhnete vhodný způsob výpočtu parametrů směšovače.
4. Proveďte konstrukční návrh a vyhotovte výkresovou dokumentaci:
  - výkonného členu regulátoru kvality palivové směsi s elektrickým snímačem hodnoty otevření odměrného průřezu pro plyn,
  - směšovače do sání motoru pracujícího s plynem dodávaným z regulátoru tlaku plynu.

Při konstrukčním návrhu vycházejte z požadavku fy TEDOM na možnost přizpůsobení obou agregátů pro použití u motorů různé velikosti (unifikace dílů).

Forma zpracování diplomové práce:

- průvodní zpráva: 35-40 stran

- grafické práce: dle zadání

Seznam literatury (uved'te doporučenou odbornou literaturu):

LEIKER, M. : Die Gasmaschiene. Springer - Verlag. Wien. 1953

ZARŽECKÝ, G.. Základy karburace automobilového motoru. MOTOR České Budějovice, 1971.

Studie, výzkumné zprávy, projekty a diplomové práce týkající se plynových motorů zpracované na KSD TU v Liberci.

Firemní literatura (Tedom, Bosch, Woodward, Kromschroder, Heinzmann aj.)

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Josef Laurin, CSc

Konzultant diplomové práce: Ing. Ladislav Bartoniček, CSc



prof. Ing. Stanislav Beroun, CSc.  
vedoucí katedry

doc. Ing. Ludvík Prášil, CSc.  
děkan

V Liberci dne 20.02.2001

Platnost zadání diplomové práce je 15 měsíců od výše uvedeného data. Termíny odevzdání diplomové práce jsou určeny pro každý studijní rok a jsou uvedeny v harmonogramu výuky.

# ANOTACE

## TÉMA

Palivové příslušenství plynových motorů kogeneračních jednotek

## ANOTACE

Diplomová práce v první části shrnuje informace o způsobu tvorby palivové směsi a o palivovém příslušenství plynových zážehových motorů používaných k pohonu generátorů kogeneračních jednotek.

Druhá část obsahuje návrh konstrukce zařízení pro regulaci množství plynu nasávaného motorem a popis regulace.

Součástí diplomové práce je výrobní výkresová dokumentace.

## THEME

Fuel accessories for gas engines of cogeneration units

## ANNOTATION

In the first part, the thesis deal with informations relating to possibilities of a creation of fuel mixture and fuel accessories of gas spark-ignition engines use for a propulsion of a generator of cogeneration units.

The second part of the thesis contains a design of a construction of equipment for a regulation of gas amount, which is inflow by an engine and also a description of regulation.

The thesis includes needful manufacturing drawing documentations.

## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vykonal samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci dne 20. května 2001

DAVID KŘENOVSKÝ

## PROHLÁŠENÍ K VYUŽITÍ VÝSLEDKŮ DP

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo) a § 35 (o nevýdělečném užití díla k vnitřní potřebě školy).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé práce a prohlašuji, že **s o u h l a s í m** s případným užitím mé práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědom toho, že užít své diplomové práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

Datum: 25.5.2001

Podpis: Krénovský David

## **PODĚKOVÁNÍ**

Rád bych na tomto místě poděkoval všem pracovníkům katedry strojů kolové dopravy, především svému vedoucímu diplomové práce Doc. Ing. Josefu Laurinovi, CSc. za odbornou pomoc, cenné rady a zájem při řešení mé diplomové práce.

Dále bych chtěl poděkovat pracovníkům firmy TEDOM s.r.o. za spolupráci.

# OBSAH

|                                                            |           |
|------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. ÚVOD</b>                                             | <b>11</b> |
| <b>2. TEORETICKÉ PŘEDPOKLADY PALIVOVÉHO PŘÍSLUŠENSTVÍ</b>  | <b>13</b> |
| <b>2.1 Paliva obecně</b>                                   | <b>13</b> |
| <b>2.2 Složení palivové směsi</b>                          | <b>15</b> |
| 2.2.1 Stechiometrická koncepce                             | 15        |
| 2.2.2 Chudá koncepce                                       | 15        |
| <b>2.3 Palivová soustava</b>                               | <b>17</b> |
| 2.3.1 Komponenty palivové soustavy                         | 17        |
| 2.3.2 Regulátor tlaku plynu                                | 18        |
| 2.3.3 Odměrný průřez plynu                                 | 20        |
| <b>2.4 Způsob tvorby směsi</b>                             | <b>22</b> |
| 2.4.1 Bodový směšovač                                      | 22        |
| 2.4.2 Směšovač s obvodovým přívodem plynu                  | 22        |
| 2.4.3 Rovnotlaký směšovač                                  | 23        |
| <b>3. NÁVRH A VÝPOČET SMĚŠOVAČE</b>                        | <b>24</b> |
| <b>3.1 Konstrukční návrh</b>                               | <b>24</b> |
| <b>3.2 Výpočet směšovače</b>                               | <b>24</b> |
| 3.2.1 Výpočet průřezu difuzoru                             | 25        |
| 3.2.2 Výpočet průřezu plynové trubice                      | 27        |
| 3.2.3 Výpočet rozměrů difuzoru s vloženou trubicí pro plyn | 28        |

|                                                    |               |
|----------------------------------------------------|---------------|
| <b>4. KONSTRUKCE ODMĚRNÉHO PRŮŘEZU PLYNU</b>       | <b>31</b>     |
| <b>4.1 Konstrukce s přímočarým pohybem ventilu</b> | <b>32</b>     |
| 4.1.1 Použité materiály                            | 32            |
| 4.1.2 Popis jednotlivých částí                     | 32            |
| 4.1.3 Regulace změny průřezu                       | 33            |
| 4.1.4 Pracovní poloha ventilu                      | 34            |
| 4.1.5 Použitý druh pohonu                          | 35            |
| <b>4.2 Konstrukce se škrtkicí klapkou</b>          | <b>37</b>     |
| 4.2.1 Použité materiály                            | 37            |
| 4.2.2 Popis jednotlivých částí                     | 37            |
| 4.2.3 Regulace změny průřezu                       | 38            |
| 4.2.4 Použitý druh pohonu                          | 39            |
| <b>4.3 Elektronický řídicí systém</b>              | <b>41</b>     |
| 4.3.1 Stechiometrická směs                         | 41            |
| 4.3.2 Chudá koncepce                               | 44            |
| <br><b>5. ZÁVĚR</b>                                | <br><b>46</b> |
| <br><b>6. LITERATURA</b>                           | <br><b>48</b> |

## Seznam použitých symbolů

|               |                                         |                       |
|---------------|-----------------------------------------|-----------------------|
| $A_M$         | účinná plocha membrány                  | [ mm <sup>2</sup> ]   |
| $D_{Dskut}$   | skutečný průměr difuzoru                | [ mm ]                |
| $D_{Dvolený}$ | volený průměr difuzoru                  | [ mm ]                |
| $D_{klapky}$  | průměr škrtky klapky                    | [ mm ]                |
| $D_{sedla}$   | průměr sedla ventilu                    | [ mm ]                |
| $D_{šroubu}$  | průměr šroubu                           | [ mm ]                |
| $D_{talířku}$ | průměr talířku ventilu                  | [ mm ]                |
| $L_{vt}$      | teoretická spotřeba vzduchu             | [ kg/kg ]             |
| $M_{Pskut}$   | objemový průtok paliva                  | [ m <sup>3</sup> /h ] |
| $M_{Vskut}$   | objemový průtok vzduchu                 | [ kg/h ]              |
| $R$           | elektrický odpor                        | [ Ω ]                 |
| $S_1$         | plocha kruhové úseče palivové trubice   | [ m <sup>2</sup> ]    |
| $S_2$         | plocha obdélníku palivové trubice       | [ m <sup>2</sup> ]    |
| $S_3$         | plocha půlkruhu palivové trubice        | [ m <sup>2</sup> ]    |
| $S_d$         | průtočný průřez difuzoru                | [ m <sup>2</sup> ]    |
| $S_{Dskut}$   | skutečný průřez difuzoru                | [ m <sup>2</sup> ]    |
| $S_{Pmax}$    | průtočný průřez plynu                   | [ m <sup>2</sup> ]    |
| $S_t$         | celková plocha zasahující do difuzoru   | [ m <sup>2</sup> ]    |
| $T$           | teplota vzduchu                         | [ K ]                 |
| $T_1$         | teplota výfuku před katalyzátorem       | [ °C ]                |
| $T_2$         | teplota výfuku za katalyzátorem         | [ °C ]                |
| $U_{lam}$     | napětí lambda sondy                     | [ mV ]                |
| $c$           | konstituční koeficient uhlíku v palivu  | [ - ]                 |
| $d_p$         | průměr plynové trubice                  | [ mm ]                |
| $d_{pvolený}$ | volený průměr plynové trubice           | [ mm ]                |
| $h$           | konstituční koeficient vodíku v palivu  | [ - ]                 |
| $o$           | konstituční koeficient kyslíku v palivu | [ - ]                 |
| $p_0$         | otevírací podtlak                       | [ Pa ]                |
| $p_b$         | barometrický tlak                       | [ kPa ]               |
| $P_e$         | elektrický výkon generátoru             | [ kW ]                |

|                    |                                    |                                          |
|--------------------|------------------------------------|------------------------------------------|
| $p_p$              | tlak paliva za nulovým regulátorem | [ kPa ]                                  |
| $r_p$              | měrná plynová konstanta plynu      | [ kJ.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ] |
| $r_v$              | měrná plynová konstanta vzduchu    | [ kJ.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ] |
| $v_d$              | rychlost proudění plynu v difuzoru | [ m.s <sup>-1</sup> ]                    |
| $v_{\text{sedla}}$ | výška sedla ventilu                | [ mm ]                                   |
| $\Delta p_d$       | tlaková ztráta v difuzoru          | [ kPa ]                                  |
| $\Delta p_f$       | tlaková ztráta na filtru           | [ kPa ]                                  |
|                    |                                    |                                          |
| $\eta_g$           | účinnost generátoru                | [ % ]                                    |
| $\varphi$          | vlhkost vzduchu                    | [ - ]                                    |
| $\lambda$          | teoretické množství vzduchu        | [ - ]                                    |
| $\mu_d$            | průtokový součinitel difuzoru      | [ - ]                                    |
| $\mu_p$            | průtokový součinitel pro palivo    | [ - ]                                    |
| $\rho_p$           | hustota paliva                     | [ kg/m <sup>3</sup> ]                    |
| $\rho_v$           | hustota vzduchu                    | [ kg/m <sup>3</sup> ]                    |

## 1. ÚVOD

Současný vývoj lidské společnosti je charakterizován stále se zvyšujícími nároky na energii, která je základním předpokladem samotné lidské existence. Současně je na každého výrobce energetických zařízení kladen veliký důraz na snížení produkce exhalací a škodlivých látek produkujících těmito zařízeními, které se dostávají volně do ovzduší, vody, půdy ... Proto se mnoho výrobců snažilo najít způsob jak nejlépe využít zdroj energie vyprodukovaný spalovacím motorem aniž by nadměrně zatěžovali životní prostředí. Jako výhodný způsob se ukázalo využití primární energie a její přeměnu v jinou formu energie, v tomto případě na elektrickou a tepelnou pomocí kogenerační jednotky.

Kogenerační jednotku tvoří elektrický generátor na výrobu elektřiny, poháněný nejčastěji plynovým spalovacím motorem, řídějí plynovou nebo parní turbínou. Takovéto agregáty jsou známy například z nemocnic, kde tvoří záložní zdroj pro případ výpadku elektřiny z elektrické sítě. Výhoda kogenerace však spočívá v tom, že odpadní teplo spalovacího motoru, obvykle odváděného chladičem a okolním prostředím, je využito pro vytápění nebo ohřev teplé vody v objektu. Základní podmínkou pro použití kogenerace je právě možnost využití tepla. Tím se výrazně zvýší energetická účinnost celého zařízení. Účinnost výroby elektřiny se u těchto zařízení pohybuje mezi 20 – 35 %, tepelná účinnost mezi 50 – 60 %. Celková účinnost dosahuje až 90 %. S tím ostře kontrastuje skutečnost, že při výrobě elektřiny ve velkých elektrárnách se využije necelých 30 % energie obsažené v palivu, zbytek se bez užitku odvádí do vzduchu chladicími věžemi.

Výkony kogeneračních jednotek se pohybují od 10 kW až po 300 kW. Tyto jednotky patří mezi nejpoužívanější. Maximální výkony elektrických generátorů kogeneračních jednotek mohou dosahovat až 3000 kW, ale i více. S většími zařízeními se můžeme setkat v průmyslových podnicích a městských teplárnách, kde je odpadní teplo využíváno pro technologické procesy či vytápění a ohřev teplé vody pro sídliště.

Elektrický generátor je přizpůsoben ke snadnému připojení k veřejné elektrické síti. Při tzv. ostrovním provozu, kdy generátor dodává proud pouze pro potřebu jednoho objektu, vzrůstají náklady na regulaci výkonu. Kogenerační jednotky se obvykle dodávají jako kompaktní zařízení, v odhlučněné skříni, jejíž instalace vyžaduje minimální stavební úpravy.

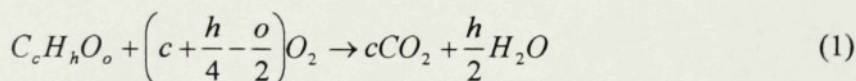
Palivem zážehových motorů je nejčastěji zemní plyn dodávaný přímo z rozvodné sítě, různé druhy bioplynu s vyšším obsahem metanu, uhelný plyn, propan, butan, nízkovýhřevný plyn získaný zplynováním biomasy, ale také kalový plyn z čistíren odpadních vod a skládkový plyn. Použitá plynná paliva vyžadují plynové palivové příslušenství, kterým se zabývá tato diplomová práce.

Hlavní část mé diplomové práce bude věnována návrhu palivové soustavy plynových zážehových motorů používaných pro zástavbu do kogeneračních jednotek, především způsobu regulace množství nasávaného plynu a způsobu tvorby palivové směsi. Součástí diplomové práce je návrh konstrukce odměrného průřezu plynu. Odměrný průřez plynu by měl být navržen pro základní výkonový rozsah  $P_{el} = 42 - 150 \text{ kW}$  a podle možností i pro rozšířený výkonový rozsah  $P_{el} = 190 - 1000 \text{ kW}$ . Požadavkem na konstrukci odměrného průřezu je zajistit zpětnou vazbu pro kontrolu pohybu regulačního členu ovládaného elektrickým motorem. Diplomová práce se bude zabývat výpočtem rozměrů směšovače pro základní výkonový rozsah motorů používaných v kogeneračních jednotkách firmou TEDOM s.r.o., která je zadavatelem diplomové práce.

## 2. TEORETICKÉ PŘEDPOKLADY PALIVOVÉHO PŘÍSLUŠENSTVÍ

### 2.1 Plynná paliva obecně

Plynným palivem rozumíme nositele tepelné energie, který se za standardních barometrických podmínek, tedy při tlaku 100 kPa a teplotě 20 °C, nalézá v plynném skupenství. Teoretická spotřeba vzduchu  $L_{VT}$  vyjadřuje množství vzduchu v kg potřebné pro spálení 1 kg paliva při  $\lambda = 1$ . Může být uvedena rovněž v m<sup>3</sup> vzduchu na 1 m<sup>3</sup> plynu. Tento parametr je důležitý pro návrh palivové soustavy motoru, přesněji jeho odměřovacích průřezů. Stanovení hodnoty  $L_{VT}$  vychází ze stechiometrické rovnice:



kde  $c, h, o$  ... konstituční koeficienty uhlíku, vodíku a kyslíku v palivu.

Výraz v závorce je teoretická spotřeba kyslíku v jednotkách [mol.mol<sup>-1</sup>] nebo [m<sup>3</sup>.m<sup>-3</sup>]. Vydělením tohoto výrazu molárním zlomkem kyslíku ve vzduchu (tedy hodnotou 0.21) se obdrží hodnota teoretické spotřeby vzduchu v [m<sup>3</sup>.m<sup>-3</sup>]. Hmotová teoretická spotřeba kyslíku se získá z objemové spotřeby kyslíku vynásobením poměrem molekulových hmotností.

$$O_{iO_2} = \frac{32}{12c + h + 16o} \left( c + \frac{h}{4} - \frac{o}{2} \right) \quad (2)$$

Hmotnostní teoretická spotřeba vzduchu se získá vydělením hodnoty  $O_{iO_2}$  hmotnostním podílem kyslíku ve vzduchu (0.233).

Výhřevnost paliva je možno definovat jako množství tepla, které se uvolní při spálení jeho jednotky objemu nebo hmotnosti. Vzhledem k tomu, že při spalování je třeba nejprve palivo rozložit na reagující části, na což se spotřebovává teplo (endotermní rozklad), závisí výhřevnost paliva nejen na jeho hmotnostním složení, ale též na jeho chemické struktuře. Proto nelze výhřevnost obecně jednoduše vypočítat, lze ovšem vypočítat výhřevnost směsi z výhřevností jednotlivých chemických individuí v ní obsažených [2].

### Složení zemního plynu

Hlavní složkou zemního plynu je metan, který je také hlavní složkou všech produktů metanogenního hnití, tj. bioplynu a skládkového plynu. V tab.1 jsou uvedeny parametry vybraných plynů.

|                                                                | Metan           | Propan                        | Butan                          | Vodík          |
|----------------------------------------------------------------|-----------------|-------------------------------|--------------------------------|----------------|
| Chemický vzorec                                                | CH <sub>4</sub> | C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> | C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> | H <sub>2</sub> |
| Normální bod varu [°C]                                         | -161,5          | -42,1                         | -0,06                          | -252,7         |
| Kritický tlak [MPa]                                            | 4,7             | 4,35                          | 3,8                            | 1,32           |
| Kritická teplota [°C]                                          | -81,5           | 99,6                          | 152                            | -240           |
| Měrná hmotnost [kg.m <sup>-3</sup> ]                           | 0,72            | 1,88                          | 2,44                           | 0,09           |
| Teoretická spotřeba vzduchu [m <sup>3</sup> .m <sup>-3</sup> ] | 9,52            | 23,8                          | 31                             | 2,38           |
| Výhřevnost paliva [MJ.m <sup>-3</sup> ]                        | 35,6            | 87                            | 111,5                          | 10,7           |
| Výhřevnost směsi λ = 1 [MJ.m <sup>-3</sup> ]                   | 3,38            | 3,51                          | 3,48                           | 3,17           |
| Výparné teplo [MJ.kg <sup>-3</sup> ]                           | 0,51            | 0,42                          | 0,39                           | 0,46           |
| Oktanové číslo – výzkumnou metodou                             | >120            | 112                           | 96                             | ?              |
| Oktanové číslo – motorovou metodou                             | >120            | 96                            | 90                             | ?              |

Tab.1 Vlastnosti vybraných plynů

V tab.2 jsou uvedeny průměrné hodnoty zemního plynu naměřené Českou plynárenskou společností přepočtené na teplotu 15°C, při tlaku 101,325 kPa a vlhkosti φ = 0.

|                                      |        |
|--------------------------------------|--------|
| Výhřevnost [MJ.m <sup>-3</sup> ]     | 34,081 |
| Spalné teplo [MJ.m <sup>-3</sup> ]   | 37,821 |
| Metan [%]                            | 98,06  |
| Vyšší uhlovodíky [%]                 | 1,00   |
| CO <sub>2</sub>                      | 0,10   |
| N <sub>2</sub>                       | 0,84   |
| S <sub>2</sub>                       | 0,20   |
| ρ <sub>p</sub> [kg.m <sup>-3</sup> ] | 0,694  |

Tab. 2 Jakost zemního plynu

## 2.2 Složení palivové směsi

### 2.2.1 Stechiometrická směs

Provozní režim motoru na stochiometrickou směs  $\lambda = 1$  se ukazuje jako optimální kompromis z hlediska výkonu a účinnosti. Hlavním důvodem pro použití stochiometrického složení směsi plynových motorů je dosažení nízkých hodnot emisí škodlivých výfukových motorů. Motoru provozovaný na stochiometrickou směs musí být vybaven třísložkovým katalyzátorem a vyžaduje pro spolehlivou funkci elektronický řídicí systém. Na základě údajů z lambda sondy umístěné ve výfukovém potrubí je množství plynu přiváděného do směšovače tak, aby byl zachován požadovaný stochiometrický poměr vytvářené směsi. Pro dosažení vysoké účinnosti třísložkového katalyzátoru je nutné udržovat palivovou směs v úzkém rozmezí součinitele přebytku vzduchu  $\lambda = 0,995 - 0,999$  [6].

Motor spalující stochiometrickou směs může být přeplňovaný, ale častěji se vyskytuje ve verzi s atmosférickým plněním válců.

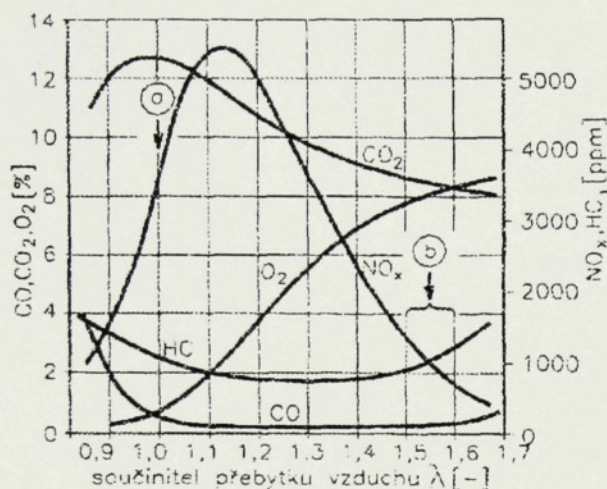
### 2.2.2 Chudá koncepce

Chudou koncepci plynových motorů lze rozdělit do dvou skupin. První skupinou je provoz motoru na chudou směs a druhou skupinou je provoz motoru na extrémně chudou palivovou směs.

#### Chudá směs

Chudou směsí se rozumí palivová směs se součinitelem přebytku vzduchu  $\lambda > 1$ . Nejčastěji se jedná o palivovou směs s hodnotou  $\lambda = 1,3 - 1,5$ . Použití chudé směsi je vedeno snahou o snížení škodlivých emisí oxidu dusíku  $\text{NO}_x$ . Na obr. 1, je znázorněna závislost vzniku škodlivých emisí obsažených ve výfukových plynech na součiniteli přebytku vzduchu  $\lambda$ . Z obrázku vyplývá, že nejvyšší tvorba  $\text{NO}_x$  je v oblasti mírně chudých směsí. Hodnota  $\text{NO}_x$  prudce klesá pro hodnoty  $\lambda > 1,2$ . Pokles hodnoty  $\text{NO}_x$  je způsoben poklesem spalovacích teplot (teplot v zóně plamene). Na druhou stranu dochází k nárůstu obsahu nespálených uhlovodíků HC a oxidu uhelnatého CO. Spalovací motory pracující s chudou směsí jsou vybaveny dvousložkovým katalyzátorem tzv. oxidačním katalyzátorem. Oxidační katalyzátor slouží k likvidaci škodlivých emisí CO a HC.

V případě chudé palivové směsi jsou nejčastěji používány přeplňované motory, které mohou být vybaveny mezichladičem plnicího vzduchu.



*a – oblast stechiometrické směsi*

*b – oblast extrémně chudé směsi*

Obr. 1 Závislost množství škodlivých plynů ve výfukových plynech na součiniteli přebytku vzduchu  $\lambda$  podle [7].

### Extrémně chudá palivová směs

Součinitel přebytku vzduchu u extrémně chudé směsi je  $\lambda > 1,5$ . Motory pracující s extrémně chudou směsí používají pro provoz jednodušší a méně nákladné zařízení pro řízení množství plynu nasávaného motorem. Toto zařízení nezajistí stejnou hodnotu emisí jako provoz na stechiometrickou směs nebo chudou směs s elektronicky řízenou dodávkou paliva.

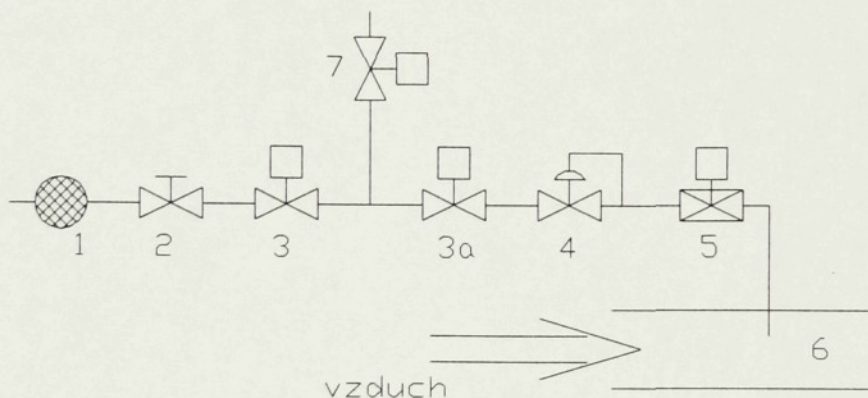
Doprava a dávkování paliva není řízena elektronicky, proto udržení stálého složení je dosaženo pouze navržením a seřazením vhodného příslušenství. Výhodou by mohlo být, že nevelká odchylka od požadovaného složení palivové směsi nezpůsobí výraznou změnu hodnot škodlivých emisí obsažených ve výfukových plynech. Nezbytnou součástí takto navrženého motoru je oxidační katalyzátor.

Motory spalující extrémně chudou palivovou směs jsou vybaveny turbodmychadlem, které zajistí vyšší naplnění válce a tedy i dopravní účinnost a také zvýšení výkonových parametrů. Z důvodu snížení teploty plnicí směsi bývá zařazen mezichladič plnicího vzduchu. Nepřeplňované motory spalující extrémně chudou směs se prakticky nepoužívají.

## 2.3 Palivová soustava

Palivová soustava vozidlových motorů je odlišná od palivové soustavy motorů stacionárních. Rozdíly plynou odlišností paliva, které motory spalují, ale také především různorodostí režimu provozu, ve kterém jsou provozovány. Oproti vozidlovému motoru nejsou takové nároky na filtraci nasávaného vzduchu, který se převážně nemění, avšak uzavření plynové soustavy je řešeno soustavou několika solenoidových ventilů.

### 2.3.1 Komponenty palivové soustavy



Obr. 2 Schéma palivové soustavy

- |       |                                                      |
|-------|------------------------------------------------------|
| 1     | palivový filtr                                       |
| 2     | plynový uzávěr                                       |
| 3, 3a | solenoidový ventil (dálkové uzavírání přívodu plynu) |
| 4     | regulátor tlaku plynu                                |
| 5     | odměrný průřez plynu                                 |
| 6     | směšovač                                             |
| 7     | solenoidový ventil (odvětrání palivové soustavy)     |

Palivem se volí zemní plyn z nízkotlakého rozvodu o přetlaku 2 kPa. Palivová soustava je skládá z palivového čističe (filtru) 1, ručně ovládaného plynového uzávěru 2, dvou solenoidových ventilů 3, 3a sloužících pro dálkové uzavírání přívodu plynu, regulátoru tlaku plynu 4, kterému je věnován článek 2.3.2.

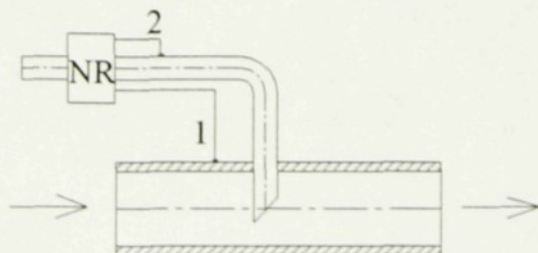
Dále je palivová soustava vybavena dalším solenoidovým ventilem 7, který je umístěn ve vedlejší plynové větvi mezi ventily 3, 3a. Tento ventil slouží k odvětrání palivové soustavy a je v provozu, když motor nepracuje a přitom musí být ventily 3, 3a uzavřeny. Před směšovačem je umístěn odměrný průřez plynu (viz. článek 2.3.3) ze kterého vede přívod paliva do směšovače, který je v sacím potrubí motoru (viz. článek 4.2.). Existuje několik variant přívodu paliva do směšovače o kterých pojednává kapitola 4.2.

### 2.3.2 Regulátor tlaku plynu

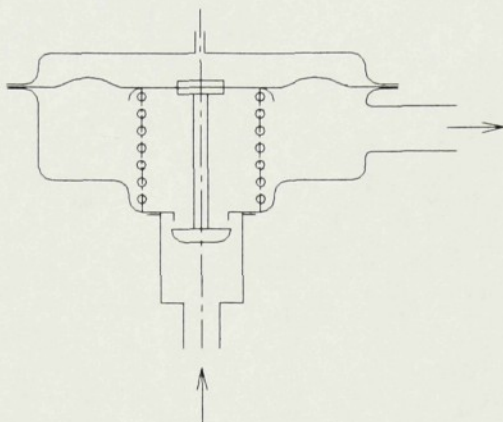
Regulátor tlaku plynu je často pro svou funkci označován jako nulový regulátor [3]. Úkolem nulového regulátoru je vyrovnat celkový tlak v palivové trati s celkovým tlakem vzduchu nasávaného motorem tak, aby se rozdíl obou tlaků přibližoval k nule. Tím se vytvoří vhodné podmínky pro směšování plynu se vzduchem. Tlak zemního plynu v příváděcím potrubí je přibližně 102 kPa a tlak nasávaného vzduchu se pohybuje okolo 100 kPa při 20 °C. Nulový regulátor tlaku plynu se používá jak u motorů vozidlových, tak motorů stacionárních. Vzhledem k určitým rozdílům se budeme zabývat nulovými regulátory, které používají motory stacionární.

#### Provedení nulového regulátoru

Nulový regulátor je vybaven dvěma vývody viz. obr. 3. Vývod 1 slouží pro snímání tlaku vzduchu v sacím potrubí motoru. Vývod 2 je zapojen za nulovým regulátorem a snímá hodnotu regulovaného tlaku plynu. Hodnoty obou tlaků jsou vzájemně porovnávány.



Obr. 3 Schéma nulového regulátoru



Obr. 4 Nizkotlaký nulový regulátor

Provedení nulového regulátoru, které je schematicky znázorněno na obr. 4 se prakticky používá, když tlak plynného paliva na vstupu do regulátoru je málo proměnlivý a spíše nízký. Tyto nulové regulátory mají přímé ovládání ventilu membránou prostřednictvím táhla. Požadovaného zdvihu lze dosáhnout vhodným předpětím pružiny. Nulový regulátor také slouží jako uzavírací prvek plynové soustavy. Tuto funkci zastává pružina pod membránou nulového regulátoru, která přitlačuje talíř ventilu do sedla silou  $P_0$ . Za předpokladu malé tuhosti pružiny a jejího velkého předpětí se síla pružiny se zdvihem ventilu, který je totožný se zdvihem membrány nemění. Z rovnováhy sil na membránu při uzavření ventilu lze určit tlak paliva pod membránou. Účinná plocha membrány tvoří přibližně 80 % celé plochy membrány.

$$A_M p_V = A_M p_P + p_0 \Rightarrow p_P = p_V - \frac{P_0}{A_M} = p_V - p_0 \quad (3)$$

$A_M$  ... účinná plocha membrány [ m<sup>2</sup> ]

$p_0$  ... otevírací podtlak [ Pa ]

Podmínkou pro výpočet je, že palivo proudí ventilem, když podtlak na výstupu regulátoru je  $> p_0$ . Poměr  $P_0/A_M$  je otevírací tlak nulového regulátoru s táhlem pro požadovaný přitlak talířku do sedla a danou velikost membrány.

### 2.3.3 Odměrný průřez plynu

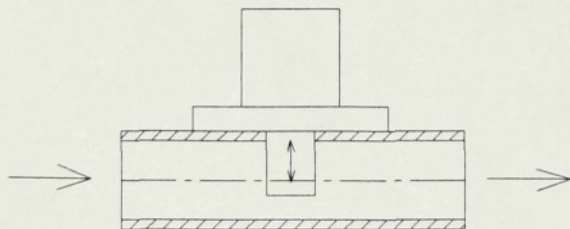
Odměrný průřez plynu slouží pro regulaci množství plynu přisávaného do motoru a bývá umístěn za nulovým regulátorem tlaku plynu. Na odměrný průřez je napojena trubice vedoucí do difuzoru. Konstrukce odměrných průřezů se liší podle principu činnosti a podle kvality regulace množství plynu.

#### Pevný odměrný průřez plynu

Regulace množství plynu je realizována pevnou clonkou nebo tryskou umístěnou v trubici ve které proudí plyn. Pevná clonka může být také zastoupena šroubem umístěným kolmo na potrubí. Velikost maximálního průtoku plynu je dána průřezem clonky. Toto zařízení je velmi jednoduché, ale není schopné zajistit kvalitu regulace bohatosti směsi. To způsobí proměnlivost směšovacího poměru plynu se vzduchem. Tyto podmínky neumožňují použití tříšložkového katalyzátoru. Zařízení neumožňuje plnění platných emisních předpisů.

#### Proměnný odměrný průřez

Proměnlivost průřezu je zajišťována pomocí škrticího orgánu ovládaného elektrickým motorem reagujícím na signály vysílané z elektronické řídicí jednotky. Tím je umožněno dodržení požadovaného směšovacího poměru vzduchu s plynem v širokém rozmezí průtokových rychlostí vzduchu v difuzoru. Jako škrticího orgánu se často používá válcové šoupátko ovládané krokovým motorkem (SYNTAX) umístěné v trubici s plynem, ale jsou také používána rotační šoupátka, nebo jejich různé modifikace. Škodlivé emise výfukových plynů spalovacích motorů vybavených tímto systémem regulace kvality směsi vyhovují platným emisním předpisům. Další předností proměnného průřezu je schopnost pokrýt určitý výkonový rozsah motorů, vlivem proměnnosti průtočného průřezu plynu.



Obr. 5 Odměrný průřez s krokovým motorkem SYNTAX

**By-pass**

By-pass je zařízení, které se skládá z pevného a proměnného odměrného průřezu. Oba průřezy jsou umístěny paralelně a umožňují velikou variabilitu průtočných průřezů plynu. Pevný odměrný průřez je nejčastěji používán ve variantě se šroubem a slouží k nastavení konstantní dávky plynu proudící do motoru a proměnný průřez nám řídí množství plynu na požadovanou hodnotu kvality směsi. Emisní vlastnosti plní shodně jako proměnný odměrný průřez a nabízí pokrytí širokého výkonového spektra při zachování jednoduchosti konstrukce. Sloučení obou proudů plynu do společné trubice je před difuzorem.

**Proměnný odměrný průřez pro vzduch i plyn**

Proměnný průřez pro vzduch i plyn slouží k regulaci množství plynu, ale také nasávaného vzduchu. Podrobný popis je uveden ve článku 3.2.3.

## 2.4 Způsob tvorby směsi

Při tvorbě zápalné směsi dochází k míšení dvou látek plynného skupenství (paliva a vzduchu), což v případě koncepce s tvorbou směsi v sacím traktu motoru, snižuje složitost směřovacího zařízení. Výhodou plyných paliv je, že není třeba zvláštního zařízení k obohacení směsi při „studeném“ startu motoru. U stacionárních motorů, které používají kogenerační jednotky se také nepředpokládá jejich použití v extrémních podmínkách při velmi nízké teplotě okolního prostředí.

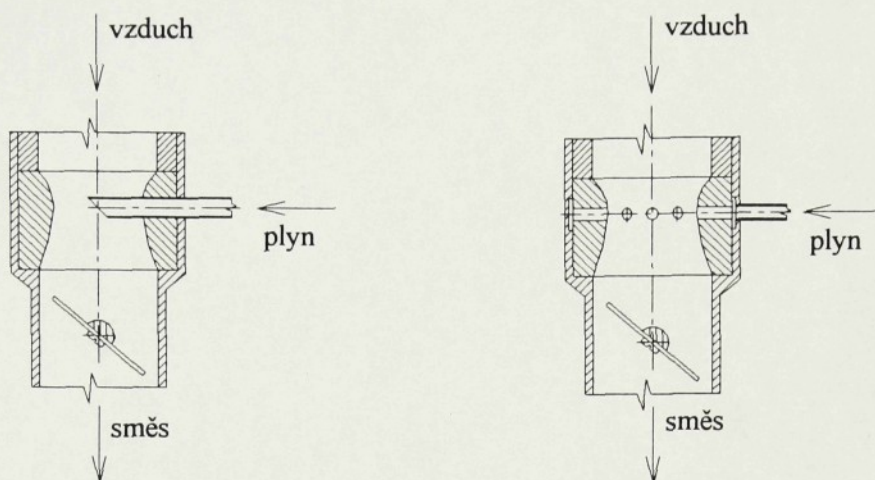
Směřovací zařízení tzv. směšovač je orgán pro vnější tvorbu směsi a v současné době je používán téměř u všech plynových motorů. Z konstrukčního hlediska je směšovač tvořen zúženou částí – difuzorem, který slouží k vytvoření vhodných tlakových poměrů pro tvorbu směsi. Do nejužší části difuzoru je přiváděn plyn. Průtokem vzduchu v nejužším místě difuzoru dojde k nárůstu rychlosti proudícího vzduchu a poklesu tlaku. Vzniklý tlakový rozdíl má za následek přisávání plynu do proudu vzduchu.

### 2.4.1 Bodový směšovač

Bodový směšovač je jednodušší variantou směšovacího zařízení a pro svou jednoduchost je velice používán u motorů stacionárních, ale také u motorů vozidlových. Přívod paliva je zprostředkován trubicí zavedenou do difuzoru v jeho nejužším místě. Tím dochází k ještě většímu zmenšení průtočné plochy difuzoru a také nárůstu čelního odporu vlivem trubice umístěné kolmo na směr proudu vzduchu. V porovnání se směšovačem s obvodovým přívodem plynu má nižší průtokový součinitel.

### 2.4.2 Směšovač s obvodovým přívodem plynu

Konstrukce směšovače vychází z malých otvorů umístěných po obvodu nejužšího místa difuzoru. Plyn je nasáván po celém obvodu rovnoměrně. Toto řešení přináší snížení ztrát a zvýšení průtokového součinitele proudícího vzduchu. Nevýhodou obvodového přívodu plynu je konstrukční složitost.



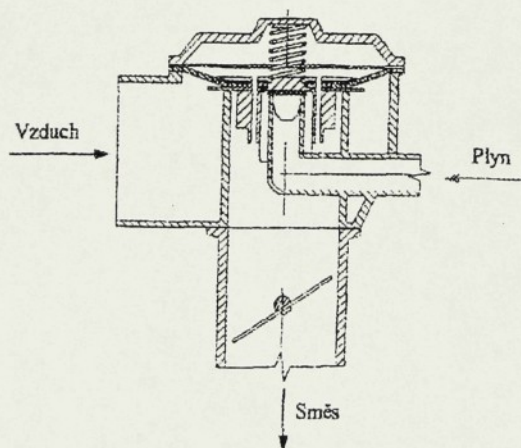
Bodový přívod plynu

Obvodový přívod plynu

Obr. 6 Provedení směšovače

### 2.4.3 Rovnotlaký směšovač

Ideálním stavem by bylo, kdyby odměřovací průřez pro vzduch byl malý při malém průtoku (vytvoření dostatečného podtlaku) a velký při velkém průtoku (snížení průtokových odporů). Zařízení s proměnlivými odměřovacími průřezy má tedy udržovat přibližně stálý podtlak v ústí odměrného průřezu plynu, proto tzv. „rovnotlaký směšovač“ [2].



Obr. 7 Schéma rovnotlakého směšovače

Odměrný průřez vzduchu je určen součinem obvodu kanálu a zdvihu membrány. Průřez paliva se reguluje škrcením palivového kanálu jehlou. Při zastaveném motoru je membrána přitlačována pružinou dolů a velikost odměřovacích průřezů je nulová. Po spuštění motoru vznikne v kanálu podtlak, který přes otvory v nákrůžku působí na její horní stranu. Membrána se nadzvedne do takové polohy, aby podtlak v kanálu v součinu s účinnou plochou membrány byl v rovnováze se silou pružiny. Podtlak v kanálu se tedy mění pouze úměrně změně přítlaču pružiny v souvislosti se změnou jejího stlačení při pohybu membrány.

### 3. NÁVRH A VÝPOČET SMĚŠOVAČE

#### 3.1 Konstrukční návrh

Při konstrukci směšovače jsem vycházel z jednodušší varianty tj. z bodového směšovače. Jak bylo řečeno ve článku 2.4.1, jedná se o směšovač tvořený difuzorem, kde v jeho nejužší části je vložena trubice umístěna kolmo na směr proudícího vzduchu. Výhodou tohoto řešení je velmi jednoduchá konstrukce. Ideálním tvarem z hlediska minimálních ztrát je, má-li vstupní část difuzoru úhel nejvýše 30° a výstupní 8 – 10°. Průřez difuzoru odpovídá maximálnímu množství vzduchu nasávaného motorem. Průřez palivové trubice se volí větší než je odpovídající průřez pro danou dávku paliva, který reguluje odměrný průřez plynu. Vlivem náhlého rozšíření průtočného průřezu paliva dochází k dalším tlakovým ztrátám a ke snížení rychlosti proudícího paliva a tedy k lepšímu promísení paliva se vzduchem. Palivová trubice i těleso difuzoru jsou vyrobeny ze Al-slitiny. Al-slitina byla použita pro svojí nízkou měrnou hmotnost, dobrou obrobitelnost a dobré antikorozi vlastnosti.

Palivová trubice je ve spodní části seříznuta pod úhlem 45° pro snazší výtok plynu. Trubice je umístěna otevřenou stranou po směru proudícího vzduchu.

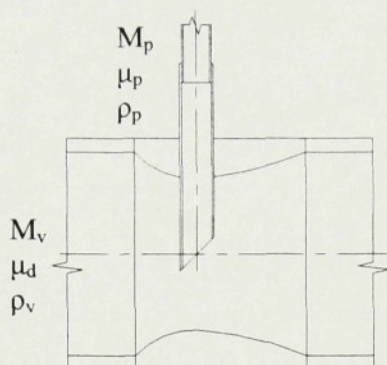
Výrobní výkresová dokumentace je v příloze KSD-DP-406-01.

#### 3.2 Výpočet směšovače

Zadání: Vypočítejte parametry směšovače pro zážehové motory spalující zemní plyn. Spalovací motory jsou provozovány na stechiometrickou nebo chudou směs. Jednotlivé parametry motorů jsou uvedeny v tab.3.

| Zadané parametry |                                     |      |      |      |      |      |
|------------------|-------------------------------------|------|------|------|------|------|
| $P_{el}$         | [kW]                                | 42   | 65   | 75   | 100  | 150  |
| $\eta_g$         | [ % ]                               | 92,5 | 92,5 | 92,5 | 92,5 | 92,5 |
| $M_p$            | [ m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> ] | 13,2 | 20   | 25,8 | 32,3 | 45,5 |
| $\lambda$        | [ - ]                               | 1    | 1    | 1,65 | 1,65 | 1,65 |

Tab. 3 Parametry motorových jednotek.



Obr. 8 Výpočtový model směšovače

Návrhový výpočet rozměrů difuzoru vychází z některých zjednodušujících předpokladů. Zanedbávají se třecí ztráty, změna polohové energie a stlačitelnost vzduchu i plynu. Výpočet je zobrazen ve třech částech. První část se zabývá výpočtem průřezu difuzoru, druhá část je věnována výpočtu průřezu plynové trubice a ve třetí části je úplný výpočet rozměrů difuzoru včetně plynové trubice a navazuje na předchozí části.

Vzorový výpočet je vypočítán pro jednu motorovou jednotku a výsledky zbývajících motorových jednotek jsou uvedeny na závěr výpočtu v tab. 4. Výsledky výpočtů je vhodné prakticky ověřit a případně provést korekci rozměrů.

### 3.2.1 Výpočet průřezu difuzoru

Pro výpočet rozměru difuzoru je potřeba znát hustotu plnicího vzduchu. Na vstupu difuzoru uvažují barometrické podmínky. Od barometrického tlaku je nutno odečíst tlakovou ztrátu na filtru (4). Pomocí stavové rovnice (5) určíme hustotu vzduchu.

$$p_v = p_b - \Delta p_f = 100 \text{ kPa} \quad (4)$$

$p_b$  - barometrický tlak 101 [kPa]

$\Delta p_f$  - tlaková ztráta na filtru 1 [kPa]

$$\rho_v = \frac{p_v}{r_v \cdot T} \cdot 10^3 = \frac{100}{287 \cdot 295} = 1,181 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \quad (5)$$

$T$  - teplota vzduchu na vstupu 295 [K]

$r_v$  - měrná plynová konstanta vzduchu 287 [kJ.kg<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>]

Při výpočtu průřezu difuzoru směšovače vyjdeme z naměřených hodnot elektrického výkonu generátoru  $P_{el} = 150 \text{ kW}$ , objemového průtoku paliva  $M_{Pskut} = 45,5 \text{ [m}^3 \cdot \text{h}^{-1}]$  a ze součinitele přebytku vzduchu  $\lambda = 1,65$ . Jedná se o hodnoty neměřené při jmenovitém výkonu a zatížení. Účinnost generátoru dle výrobce je  $\eta_g = 92,5 \%$ . Vzhledem k tomu, že zadanou hodnotou je objemový průtok paliva určíme si také hustotu paliva.

$$\rho_P = \frac{p_P}{r_P \cdot T_P} \cdot 10^3 = \frac{100}{498 \cdot 293} \cdot 10^3 = 0,685 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \quad (6)$$

|       |                                      |                                             |
|-------|--------------------------------------|---------------------------------------------|
| $p_P$ | - tlak paliva za nulovým regulátorem | 100 [kPa]                                   |
| $r_P$ | - měrná plynová konstanta plynu      | 498 [kJ.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ] |

$$\lambda = \frac{M_{Vskut}}{M_{Pskut} \cdot \rho_P \cdot L_{VT}} \Rightarrow M_{Vskut} = \lambda \cdot M_{Pskut} \cdot \rho_P \cdot L_{VT} =$$

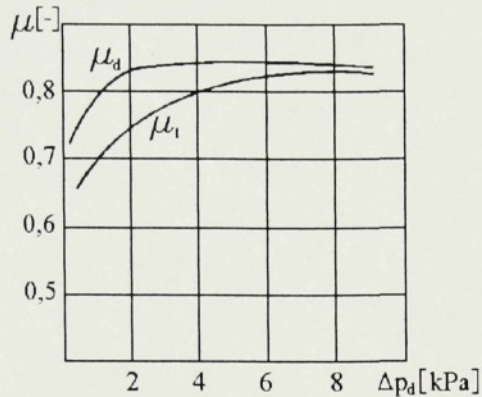
$$= 1,65 \cdot 45,5 \cdot 0,685 \cdot 16,85 = 866,53 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1} \quad (7)$$

Dále platí, že:

$$M_{Vskut} = 3600 \cdot \mu_d \cdot S_d \cdot v_d \cdot \rho_V \quad [\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}] \quad (8)$$

|             |                                      |                       |
|-------------|--------------------------------------|-----------------------|
| $M_{Vskut}$ | - objemový průtok vzduchu            | [kg.h <sup>-1</sup> ] |
| $\mu_d$     | - průtokový součinitel difuzoru      | [-]                   |
| $S_d$       | - průtočný průřez difuzoru           | [m <sup>2</sup> ]     |
| $v_d$       | - rychlost proudění plynu v difuzoru | [m.s <sup>-1</sup> ]  |

Průtokový součinitel difuzoru volíme podle obr. 9. Vyjdeme z předpokladu, že ve jmenovitém režimu motoru je průtok vzduchu difuzorem maximální a vzniklý podtlak v difuzoru bude větší než 2 kPa. Hodnotu průtokového součinitele  $\mu_d = 0,82$ .



Obr. 9 Závislost průtokového součinitele difuzoru  $\mu_d$  a trysky  $\mu_i$  na podtlaku v difuzoru podle [1].

Průtoková rychlost vzduchu má podle doporučení ležet v rozmezí  $85 - 95 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , volíme tedy  $v_d = 90 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Průřez difuzoru vypočteme podle vztahu:

$$S_d = \frac{M_{Vskut}}{\mu_d \cdot v_d \cdot \rho_V \cdot 3600} = \frac{866,53}{0,82 \cdot 90 \cdot 1,181 \cdot 3600} = 2,76 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \quad (9)$$

Z rychlosti proudění vzduchu v difuzoru vypočítáme velikost podtlaku  $\Delta p_d$  v difuzoru.

$$v_d = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p_d}{\rho_V}} \Rightarrow \Delta p_d = \frac{v_d^2 \cdot \rho_V}{2} = \frac{90^2 \cdot 1,181}{2} = 4,78 \text{ kPa} \quad (10)$$

### 3.2.2 Výpočet průřezu plynové trubice

Při výpočtu průřezu plynu směšovače vyjdeme opět z naměřených hodnot objemového průtoku paliva  $M_{Pskut}$  a ze součinitele přebytku vzduchu  $\lambda$ . Potom platí, že:

$$M_{Pskut} = 3600 \cdot \mu_P \cdot S_P \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p_d}{\rho_P}} \quad [\text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}] \quad (11)$$

$\mu_P$  - palivový průtokový součinitel  $[-]$

$S_P$  - průtočný průřez plynu  $[\text{m}^2]$

Průtokový součinitel difuzoru volíme opět podle obr. 9, ale z charakteristiky pro trysku. Hodnota průtokového součinitele byla zvolena  $\mu_p = 0,8$ . Podtlak v průřezu pro plyn je shodný s podtlakem v difuzoru, protože uvažují shodný tlak vzduchu na vstupu do difuzoru tak i tlak plynu na vstupu do odměrného plynového průřezu, který reguluje nulový regulátor.

Potom platí:

$$S_p = \frac{M_{Pskut}}{3600 \cdot \mu_p \cdot \sqrt{2 \cdot \Delta p_d \cdot \rho_p}} = \frac{45,5}{3600 \cdot 0,8 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 4,78 \cdot 10^3}{0,685}}} = 1,337 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \quad (12)$$

Průměr přívodu plynu vypočteme:

$$d_p = \sqrt{\frac{4 \cdot S_p}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,337 \cdot 10^{-4}}{\pi}} = 13,05 \text{ mm} \quad (13)$$

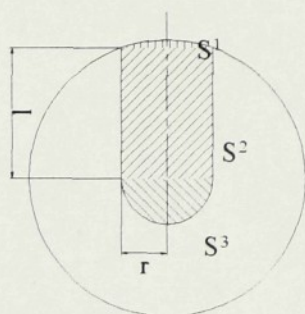
Skutečný vnitřní průměr plynové trubice se volí větší. Proto volím průměr trubice  $d_p = 15 \text{ mm}$ .

### 3.2.3 Výpočet rozměrů difuzoru s vloženou trubicí pro plyn

Při výpočtu difuzoru s vloženou plynovou trubicí dojde ke zmenšení průřezu difuzoru, proto je nutné přičíst plochu trubice, která vyčnívá v nejužším místě difuzoru k původnímu teoretickému průřezu difuzoru. Při výpočtu uvažujeme, že trubice je do difuzoru zavedena tak, aby se střed seříznuté trubice nacházel ve středu difuzoru.

Podmínky pro výpočet vyčnívající plochy trubice:

Trubice se skládá z plochy kruhové úseče, obdélníku a půlkruhu



|       |                                         |                |
|-------|-----------------------------------------|----------------|
| $S_1$ | - plocha kruhové úseče                  | $[\text{m}^2]$ |
| $S_2$ | - plocha obdélníku                      | $[\text{m}^2]$ |
| $S_3$ | - plocha půlkruhu                       | $[\text{m}^2]$ |
| $S_t$ | - celková plocha zasahující do difuzoru | $[\text{m}^2]$ |

Obr. 10 Znáznornění plochy trubice vyčnívající v difuzoru.

Pro skutečný výpočet si plochu zjednodušíme tím, že plochu  $S_1$  a  $S_2$  nahradíme obdélníkovou plochou. Délka hrany  $l$  bude totožná s poloměrem difuzoru. Uvažujeme-li však, že po připočtení plochy trubice zasahující do difuzoru dojde ke zvětšení průřezu a tedy i průměru difuzoru, dojde ke zvětšení délky trubice. Potom skutečná plocha plynové trubice je větší než původně uvažovaná. Proto do výpočtu volíme větší délku trubice, tak aby rozdíl zvětšeného průřezu difuzoru a plynové trubice odpovídal skutečnému průřezu difuzoru, potřebnému pro množství vzduchu nasávaného motorem.

Celkovou plochu trubice zasahující do difuzoru volím  $8,3 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$ .

potom je skutečný průřez difuzoru:

$$S_{Dskut} = S_d + S_t = 2,76 \cdot 10^{-3} + 8,3 \cdot 10^{-4} = 3,59 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \quad (14)$$

Dále vypočítáme skutečný průměr difuzoru:

$$D_{Dskut} = \sqrt{\frac{4 \cdot S_{Dskut}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 3,59 \cdot 10^{-3}}{\pi}} = 67,6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \quad (15)$$

Průměr difuzoru volím  $68 \text{ mm}$ . Pro průměr  $D_{Dskut} = 68 \text{ mm}$  zkontrolujeme rychlost proudění podle vztahu (16).

$$v_d = \frac{M_{Vskut}}{3600 \cdot \mu_d \cdot S_d \cdot \rho_V} = \frac{866,53}{3600 \cdot 0,82 \cdot 2,793 \cdot 10^{-3} \cdot 1,181} = 89,09 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \quad (16)$$

Z vypočteného výsledku je zřejmé, že rychlost proudění v difuzoru leží v požadovaném rozsahu.

V tab. 4 jsou uvedeny výsledky parametrů směšovače pro zbývající motorové jednotky.

| Zadané parametry             |          |          |          |          |          |
|------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| $P_{el}$ [kW]                | 42       | 65       | 75       | 100      | 150      |
| $\eta_g$ [%]                 | 92,5     | 92,5     | 92,5     | 92,5     | 92,5     |
| $M_p$ [m <sup>3</sup> /hod]  | 13,2     | 20       | 25,8     | 32,3     | 45,5     |
| $\lambda$ [-]                | 1        | 1        | 1,65     | 1,65     | 1,65     |
| Vypočtené hodnoty            |          |          |          |          |          |
| $S_d$ [m <sup>2</sup> ]      | 4,86E-04 | 7,36E-04 | 1,56E-03 | 1,96E-03 | 2,76E-03 |
| $S_t$ [m <sup>2</sup> ]      | 2,42E-04 | 3,35E-04 | 5,16E-04 | 6,06E-04 | 8,30E-04 |
| $D_{Dvolený}$ [mm]           | 31       | 37       | 52       | 58       | 68       |
| $S_{pmax}$ [m <sup>2</sup> ] | 3,88E-05 | 5,88E-05 | 7,58E-05 | 9,49E-05 | 1,33E-04 |
| $d_{pskut}$ [mm]             | 7,03     | 8,65     | 9,82     | 10,99    | 13,01    |
| $d_{pvolený}$ [mm]           | 9        | 11       | 13       | 14       | 17       |

Tab. 4 Tabulka parametrů směšovače.

#### 4. KONSTRUKCE ODMĚRNÉHO PRŮŘEZU PLYNU

Základním požadavkem bylo navrhnout odměrný průřez pro základní výkonový rozsah motorů  $P_{el} = 42 - 150 \text{ kW}$ . Zadání bylo rozšířeno pro další jednotky o výkonu  $P_{el} = 190 - 1000 \text{ kW}$ . Výkresová dokumentace je vyhotovena pro motor o výkonu  $150 \text{ kW}$ .

Velikost odměrného průřezu je závislá na množství plynu nasávaného motorem. To se mění podle režimu ve kterém pracuje spalovací motor. Maximální průtočná plocha odměrného průřezu musí umožnit provoz motoru při jmenovitém výkonu s určitou rezervou. Je výhodné umožňuje-li odměrný průřez plynu své použití pro určité výkonové rozmezí motorů bez zásadnějších úprav.

Nejdůležitějším parametrem je rozsah regulace průřezu. Na rozdíl od vozidlového motoru, který během provozu pracuje se stále proměnlivými podmínkami (teplota a tlak vzduchu, hustota směsi, apod.) nejsou u stacionárních motorů tak vysoké požadavky na okamžitou změnu dávky plynu. Uvažujeme-li, že stacionární motor je v případě kogenerační jednotky provozován při konstantním režimu (konstantní otáčky při daném výkonovém zatížení) odměrný průřez by nemusel být v činnosti po celou dobu provozu motoru. Lze říci, že během provozu motoru jsou po určitou dobu vlastnosti směsi téměř konstantní. Dalším důležitým parametrem pro změnu průřezu plynu jsou výkonové režimy motoru, při kterých je motor provozován. Pro tyto režimy motoru musí odměrný průřez nastavit požadovanou hodnotu kvality a množství směsi.

Dlouhodobým režimem je provoz při jmenovitém výkonu motoru. Při maximálním doporučeném výkonu pracuje motor s maximální dávkou plynu. Dávka plynu je regulována na určitou hodnotu s drobnými výchylkami. Velikost výchylek je závislá na změně barometrických podmínek vzduchu a nastavení hodnoty citlivosti soustavy s lambda sondou. Nastavením nižší citlivosti soustavy dojde k ustálení polohy regulačního členu odměrného průřezu.

Proměnlivým režimem je provoz kogenerační jednotky, při kterém dochází ke kopírování okamžité spotřeby elektrické energie objektu. Tomuto režimu je přizpůsoben výkon generátoru i motoru. Motor pracuje při nižším výkonu při jmenovitých otáčkách nutných pro funkci elektrického generátoru. Odměrný průřez plynule reguluje průtok plynu. Výrobce nedoporučuje dlouhodobé provozování motoru pod  $50 \%$  jmenovitého výkonu. )

Z těchto podmínek plyne, že nároky na naladění regulace celé soustavy jsou rozdílné.

## 4.1 Konstrukce s přímočarým pohybem ventilu

### 4.1.1 Použité materiály

Hlavním konstrukčním materiálem je Al-slitina, ze které je vyrobeno základní těleso, šroubení, kruhová deska, plynová trubice a difuzor. Výhodou slitiny je nízká měrná hmotnost, dobrá obrobitelnost a dobré antikorozní vlastnosti. Mechanické vlastnosti materiálu jsou zcela vyhovující z hlediska celkového namáhání konstrukce.

Talířek ventilu je vyroben s mosazi Ms58Pb.

Výstupní hřídel vedoucí ze servomotoru je vyroben z oceli a je dodán od výrobce včetně servomotoru.

Materiál všech částí je použit v základním stavu bez zušlechtní.

### 4.1.2 Popis jednotlivých částí

Odměrný průřez plynu je složen z několika částí. Všechny části jsou navrženy s ohledem na demontáž celé konstrukce. Jednotlivé části jsou vzájemně spojeny šrouby M5, M6 nebo M8. Ostatní části jsou spojeny pomocí nalisovaného uložení s přesahem.

Vstupní částí pro plyn je šroubení, které je přišroubované do hlavního tělesa odměrného průřezu. Na šroubení je nasunuta pryžová hadice s ochranným drátěným pláštěm vedoucí od ostatního plynového příslušenství. Hadice je pevně přichycena ke šroubení sponou. Nákladnější alternativou je použití ocelové hadice „vlnovce“ s ochranným pláštěm. Ocelové hadice jsou od výrobce dodávány s příslušenstvím pro připevnění dle požadavků zákazníka. Použití pryžových nebo ocelových hadic pro vedení plynu je z hlediska bezpečnosti vyhovující.

Základní těleso odměrného průřezu je vyrobeno z kruhové tyče ve které je vyvrtán otvor určující vnitřní objem tělesa. Těleso je kruhového průřezu s vyfrézovanými rovnoběžnými plochami. K jedné ploše je připevněno šroubení a druhá plocha uvolňuje prostor vývodkám servomotoru. K vrchní stěně tělesa je přišroubován servomotor, který uzavírá těleso. Otvor ve vrchní straně tělesa slouží pro vstup hřídele ze servomotoru a zároveň tvoří vodící část. Uložení je navrženo jako přesné s minimální vůlí. Spodní část tělesa je tvořena přírubou pro připevnění odměrného průřezu k difuzoru. Vnitřní otvor je ve spodní části zahlouben a spolu s kruhovou deskou tvoří uložení s přesahem.

Kruhová deska je uložena v základním tělese s přesahem. Uprostřed desky je sedlo ventilu s vrcholovým úhlem  $30^\circ$ . Ve spodní části kruhové desky je zahlobení pro vložení palivové trubice, která je uložena s přesahem.

Palivová trubice je také nalisována do tělesa difuzoru. Přesné spoje desky, trubice a difuzoru zajišťují souosé spojení odměrného průřezu s difuzorem. Tolerance jednotlivých uložení je dle tolerancí uvedených na výkresové dokumentaci.

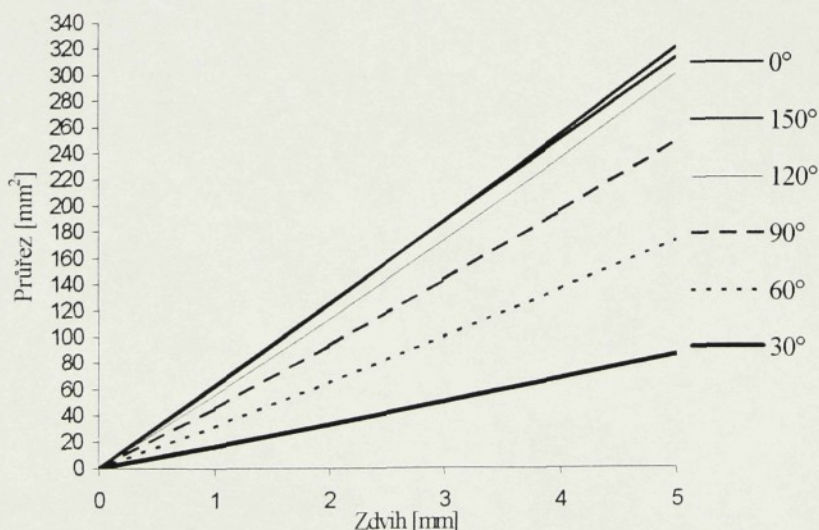
Ventil se skládá z hřídele a talířku. Talířek ventilu je připevněn šroubem k hřídeli servomotoru. Vrcholový úhel talířku je  $30^\circ$ .

Hřídel, ke kterému je přišroubován talířek je dodán se servomotorem a ve výkresové dokumentaci (KSD-DP-406-01.7) je navržena jeho úprava, kterou upraví výrobce servopohonu.

Pro celou konstrukci bylo výhodné použít pevné spojení odměrného průřezu se směšovačem. Rozměry směšovače musí být přizpůsobeny každé motorové jednotce, to znamená rozměry difuzoru i palivové trubice.

#### 4.1.3 Regulace změny průřezu

Průřez pro plyn je tvořen mezikružím mezi talířkem ventilu a sedlem ventilu. Mezikružím tvoří plochu pláště komolého kuželu. Vrcholový úhel talířku i sedla je shodný. Konstrukce talířku, který svislým posuvem zajišťuje změnu průřezu je navržena pro vysokou citlivost regulace změny průřezu. Největší vliv na změnu průřezu má vrcholový úhel talířku a sedla ventilu. Na obr. 11 je znázorněna změna průřezu s rostoucím zdvihem v závislosti na vrcholovém úhlu talířku. Návrh výpočtu průřezu je naznačen v příloze 1.



Obr. 11 Závislost průřezu na zdvihu talířku pro různé vrcholové úhly

Z uvedeného grafu vyplývá, že velikost změny průřezu roste se zvětšujícím se vrcholovým úhlem talířku. To znamená, že již při malém zdvihu talířku s velkým vrcholovým úhlem dochází k velikému nárůstu průřezu. Tato vlastnost by mohla způsobit rozkmitání soustavy regulace, protože poloha ventilu nemusí odpovídat poloze potřebné pro odpovídající množství plynu nasávaného motorem. Také, bude-li motor pracovat v režimu kopírování spotřeby objektu citlivost regulace změny průřezu nebude vyhovovat hodnotám požadovaného průřezu. Výhoda většího vrcholového úhlu talířku spočívá v jeho použití pro pokrytí širokého výkonového rozmezí. Z hlediska citlivosti regulace je výhodnější použít talířek s malým vrcholovým úhlem, který je použit v konstrukci odměrného průřezu. Toto řešení umožňuje citlivě reagovat na potřeby změny průřezu. Nevýhodu pokrytí menšího výkonového spektra odstraní použití menšího průměru talířku oproti sedlu ventilu. To umožňuje zvětšení průřezu při zachování ostatních rozměrů. Výrobce nedoporučuje dlouhodobější provozování kogenerační jednotky pod 50 % výkonu, proto minimální průřez je zvolen tak, aby umožňoval regulaci od výkonu 50 % až po jmenovitý výkon s určitou rezervou.

#### 4.1.4 Pracovní poloha ventilu

Jak bylo řečeno ve článku 4.1.3 průřez pro plyn tvoří kuželová plocha. Površka pláště kuželové plochy tvoří kolmici na plášť sedla ventilu a vede ke spodní hraně talířku. S rostoucím zdvihem je nárůst průřezu téměř lineární. To neplatí o zdvihu blízcím se k nule a po překročení maximálního zdvihu, kde již není površka kolmá na plášť sedla a regulace průřezu je nelineární. Potom se průřez mění pouze minimálně. Protože zde není požadavek na uzavření plynové tratě, není tedy nutná poloha kdy je průřez uzavřen. Proto základní poloha zdvihu ventilu je 1 mm nad vnitřním průměrem sedla ventilu. Tato poloha zabraňuje kontaktu talířku se sedlem a je optimální i z hlediska regulace. Maximální zdvih od základní polohy je 6 nebo 8 mm. Vyšší zdvih již není nutný, protože maximální průtočný průřez je omezen nejmenším průřezem sedla. V příloze 2 je znázorněn graf regulace pro průměry talířků ventilu (15-20 mm) podle kterého probíhal výběr rozměrů talířků. V tab. 5 jsou uvedeny stanovené hodnoty rozměrů sedel a talířků ventilů.

|                              |          |          |          |          |          |          |          |
|------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| $P_{el}$ [kW]                | 42       | 65       | 75       | 100      | 150      | 190*     | 260*     |
| $S_{pmax}$ [m <sup>2</sup> ] | 3,88E-05 | 5,88E-05 | 7,58E-05 | 9,49E-05 | 1,33E-04 | 1,79E-04 | 2,41E-04 |
| $D_{sedla}$ [mm]             | 20       | 20       | 20       | 20       | 20       | 20       | 20       |
| $D_{taliřku}$ [mm]           | 20       | 20       | 20       | 19       | 19       | 17       | 16       |
| $v_{sedla}$ [mm]             | 7        | 7        | 7        | 7        | 7        | 9        | 9        |
| $zdvih$ [mm]                 | 6        | 6        | 6        | 6        | 6        | 8        | 8        |

Tab. 5 Stanovené hodnoty průměru sedla a taliřku ventilu.

\* pro výkony 190 a 260 kW je zvětšena výška sedla a tedy dojde ke zvětšení délky základního tělesa odměrného průřezu.

#### 4.1.5 Použitý druh pohonu

Pohon ventilu odměrného průřezu zajišťuje elektrický táhlový servomotor typ MIKRO 524 681 419 od výrobce ZPA Nová Paka. Schéma servomotoru je uvedeno v příloze 3.

#### Popis servopohonu

Přímočarý posuv ventilu je zajištěn přímočarým táhlovým servomotorem s konstantní rychlostí přestavení výstupní části. Reverzační synchronní motorek a samosvorný převodový mechanismus jsou uloženy na základní desce s odnímatelným víkem. Vodiče se přivádějí přes ucpávkové vývodky.

Servomotor má vypínače síly pro obě krajní polohy ventilu. Vypínače síly vypínají při dosažení nastavené síly v libovolné poloze pracovního zdvihu. Pod krytem je umístěno ruční kolečko pro přestavení výstupní části, signalizační vypínače. Signalizační vypínač je nastaven 1,5 mm před krajními polohami. Poloha sepnutí obou signalizačních vypínačů je volně stavitelná v rozsahu nastaveného pracovního zdvihu. Jmenovitý zdvih vysílače odpovídá jmenovitému zdvihu servomotoru. Servomotor je vybaven odporovým vysílačem polohy, který pracuje jako dělič napětí a podává informace o aktuální poloze ventilu.

Konstrukce servomotoru umožňuje použití různých připevňovacích částí (příruba, sloupky apod.). Pro konstrukci odměrného průřezu jsem zvolil připevnění servomotoru na přírubu tělesa odměrného průřezu dvěma šrouby M8. Pracovní poloha je svislá nad ovládaným zařízením.

**Technické údaje:**

|                                                                |                                                 |
|----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Napájecí napětí                                                | 220 V stejnosměrné                              |
| Elektrický příkon                                              | max. 5,5 VA                                     |
| Jmenovitá síla                                                 | 600 N s přesností $\pm 10\%$                    |
| Pracovní zdvih                                                 | 10 mm                                           |
| Rychlost přestavení výstupní části                             | 20 mm/min                                       |
| Vůle výstupní části při zatížení 25 %                          | max. 0,3 mm                                     |
| Časový interval pro reverzaci                                  | min 50 ms ( bez zatížení )                      |
| Zatěžovatel podle ČSN 35 0000                                  | přerušovaný chod 25 % - 100 cykl/hod .          |
|                                                                | krátkodobý chod 1200 cykl/hod. ( max. 24 hod. ) |
| Hystereze signalizačních vypínačů                              | max. 1,5 mm                                     |
| Vysílač polohy - celkový odpor<br>- nelinearita<br>- hystereze | 100 $\Omega$ + 10 $\Omega$                      |
|                                                                | max. $\pm 2\%$                                  |
|                                                                | max. 2 %                                        |
| Stupeň krytí podle ČSN EN 60 529                               | IP 54                                           |
| Hmotnost servomotoru                                           | 2,2 kg                                          |

Tab.6 Technické údaje servomotoru.

**Úprava rozměrů servopohonu**

Servopohon je požit v základním typovém provedení, bez dodávaných sloupků. Závít ve spodní desce motoru je M8. Úprava výstupního hřídele je uvedena na výkrese KSD-DP-406-01.7.

## 4.2 Odměrný průřez se škrťací klapkou

### 4.2.1 Použité materiály

Hlavním konstrukčním materiálem je opět Al-slitina, ze které je vyrobeno základní těleso, příruby pro připevnění hadic, zátka. Vlastnosti materiálu byly uvedeny v předchozí kapitole.

Hřídel na které je připevněna škrťací klapka je vyrobena z ocele 11 370.

Škrťací klapka je vyrobena z mosazi Ms58Pb.

Vodící pouzdro je vyrobeno z bronze CuSn6. Tento materiál byl zvolen pro dobré kluzné vlastnosti a nízkou opotřebitelnost.

Pro připevnění servopohonu k tělesu je použito plechu z oceli 11370.

Materiály jsou použity v základním stavu bez dalšího zušlechťení.

### 4.2.2 Popis jednotlivých částí

Celá konstrukce je spojena pomocí šroubů M4, M6, M8. Šrouby zajišťují snadnou montáž i demontáž celé konstrukce. Některé části jsou spojeny uložením s přesahem.

Servomotor je přišroubován na ocelový plech, který je zahýbaný do tvaru „U“ a přes šrouby připevněný k základnímu tělesu.

Vstupní částí, kterou je přiváděn plyn do odměrného průřezu je příruba shodná s výstupní přírubou. Příruba je připevněna k základnímu tělesu šrouby. Druhý konec je osazen zápichy a slouží pro nasunutí hadice. Pryžová hadice s ochranným drátěným pláštěm je pevně přichycena k přírubě sponou. Nákladnější alternativou je použití ocelové hadice „vlnovce“ s ochranným pláštěm. Ocelová hadice je od výrobce dodávána s příslušenstvím pro připevnění hadic. Použití pryžových nebo ocelových hadic pro vedení plynu je z hlediska bezpečnosti vyhovující.

Základní těleso je vyrobeno ze čtvercové tyče. Tělesem procházejí dva paralelní otvory sloužící pro vedení plynu. Do prvního otvoru vstupuje ze strany šroub, který slouží pro nastavení konstantního průřezu pro plyn. Podle požadavku na minimální průtokovou plochu má šroub kulové nebo rovné zakončení. Druhý otvor se v polovině tělesa zužuje na stejný průměr prvního otvoru. V tomto otvoru se pohybuje klapka a kolmo na osu otvoru je vyvrtán otvor pro hřídel klapky. Otvor pro hřídel klapky je na obou stranách zahlouben. Vrchní zahloubení slouží pro vedení hřídele klapky a je navržen s malou vůlí. Spodní zahloubení slouží pro vložení vodícího pouzdra a zátky, která jsou uložena s přesahem.

Hřidel ke kterému je připevněna klapka je spojen přes čtyřhran se servopohonem. Na hřideli jsou zápichy pro těsnící kroužky zabraňující úniku plynu. Hřidel je zajištěn proti svislému pohybu posazením čelní plochy většího průměru na dno zahloubení na základním tělese. Osově vedení hřídele je zajištěno v jeho vrchní i spodní části uložením s nepatrnou vůlí. V místě pro připevnění klapky je hřidel vyfrézována a na této čelní ploše jsou otvory se závitem pro šrouby připevňující klapku.

Škrťací klapka má tvar elipsy a je vyrobena seříznutím kulatiny pod úhlem  $8^\circ$ . Klapka je uložena v otvoru tělesa s vůlí. Opracování obvodové části je navrženo s vysokou jakostí povrchu.

Vodící pouzdro je uloženo v základním tělese s přesahem. Vnitřní průměr sloužící pro osově vedení klapky je navržen s minimální vůlí a vysokou jakostí povrchu.

Pod vodícím pouzdrům je nalisováno zátka zabraňující úniku plynu. Uložení zátky v díře je s přesahem.

#### 4.2.3 Regulace změny průřezu

Velikost průřezu pro plyn je dána součtem průřezů obou otvorů. V otvoru se šroubem se nastaví pevná hodnota průřezu. Je to minimální hodnota průřezu, která je vyhovující pro všechny režimy práce motoru. Znamená to, že průřez nastavený šroubem musí umožňovat provoz motoru při výkonu 50 %. Zbývající hodnoty průřezu jsou nastavovány zvětšováním úhlu pootočení klapky. Graf znázorňující změnu průřezu na úhlu pootočení klapky je znázorněn v příloze 4. Vzhledem k tomu, že hřidel klapky zmenšuje průřez otvoru, je závislost pootočení klapky rostoucí do té doby než se dostane klapka do stínu hřídele klapky. Dále je křivka závislosti konstantní. Graf změny průřezu v závislosti na pootočení šroubu je v příloze 5. Velikost vysunutí šroubu je omezena tak, aby nedocházelo k odkrývání otvoru pro šroub. Podle grafů v příloze 4 a 5 byly stanoveny rozměry obou otvorů a šroubu.

|                               |      |      |      |      |       |       |     |       |       |       |       |
|-------------------------------|------|------|------|------|-------|-------|-----|-------|-------|-------|-------|
| $P_{el}$ [kW]                 | 42   | 65   | 75   | 100  | 150   | 190   | 260 | 400   | 500   | 770   | 1000  |
| $S_{pmax}$ [mm <sup>2</sup> ] | 38,8 | 58,8 | 75,8 | 94,9 | 133,7 | 179,3 | 241 | 343,9 | 423,2 | 643,7 | 858,2 |
| $D_{klapky}$ [mm]             | 22   | 22   | 22   | 22   | 22    | 22    | 22  | 22    | 22    | 26    | 28    |
| $D_{šroubu}$ [mm]             | M20  | M20  | M20  | M20  | M20   | M20   | M20 | M20   | M20   | M24   | M24   |
| Prov. šroubu                  | ☉    | ☉    | ☉    | ☉    | ☉     | ☉     | ☉   | ☐     | ☐     | ☐     | ☐     |

Tab. 7 Stanovené hodnoty rozměrů regulačních členů.

☉ ... šroub s kulovým koncem

☐ ... šroub bez úpravy

#### 4.2.4 Použitý druh pohonu

Pohon ventilu odměrného průřezu zajišťuje elektrický pákový servomotor typ 523 400 029 od výrobce ZPA Nová Paka. Schéma servomotoru je uvedeno v příloze 6.

##### Popis servopohonu

Rotační pohyb klapky je zajištěn otočným jednootáčkovým, pákovým servopohonem s konstantní ovládací rychlostí. Reverzační synchronní motorek a samosvorný převodový mechanismus jsou uloženy mezi dvěma deskami ve skříni z ocelového plechu. Vodiče se přivádějí přes ucpávkové vývodky.

Záběrný moment se přenáší na výstupní hřídel přímo převodem. Servomotor je vybaven polohovými vypínači, signalizačními kontakty a ručním ovládaním. Pracovní zdvih se nastavuje vačkami, které ovládají polohové vypínače. Signalizační kontakty jsou nastaveny 5° stupňů před krajními polohami. Poloha sepnutí obou signalizačních kontaktů je samostatně stavitelná v celém pracovním rozsahu. Servomotor je vybaven dvojitým odporovým vysílačem polohy.

Konstrukce servomotoru umožňuje použití různých přípevňovacích částí (příruba, nosník apod.). Pro konstrukci odměrného průřezu jsem zvolil přípevnění servomotoru přes ocelový plech na těleso odměrného průřezu třemi šrouby M8. Pracovní poloha je svislá nad ovládaným zařízením.

##### Úprava rozměrů servopohonu

Servopohon je převzat v základním typu, bez dodávané příruby pro přípevnění motoru. Úprava výstupního vřetena je uvedena na výkrese KSD-DP-406-02.9.

**Technické údaje:**

|                                                                |                                                |
|----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| Napájecí napětí                                                | 220 V stejnosměrné                             |
| Elektrický příkon                                              | max. 9 VA                                      |
| Jmenovitý moment                                               | 8 Nm                                           |
| Pracovní úhel                                                  | 90°                                            |
| Rychlost přestavení výstupní části                             | 30 s/ 90°                                      |
| Vůle výstupní části při zatížení 10 %                          | max. 1,5 mm                                    |
| Časový interval pro reverzaci                                  | min. 50 ms ( bez zatížení )                    |
| Zatěžovatel podle ČSN 35 0000                                  | přerušovaný chod 25 % - 100 cykl/hod .         |
|                                                                | krátkodobý chod 630 cykl/hod. ( max. 24 hod. ) |
| Hystereze signalizačních vypínačů                              | max. 3° úhlové                                 |
| Vysílač polohy - celkový odpor<br>- nelinearita<br>- hystereze | 100 $\Omega \pm 10 \Omega$                     |
|                                                                | max. $\pm 2,5 \%$                              |
|                                                                | max. 2 %                                       |
| Stupeň krytí podle ČSN EN 60 529                               | IP 54                                          |
| Hmotnost servomotoru                                           | 3 kg                                           |

Tab. 8 Technické údaje servomotoru.

### 4.3 Elektronický řídicí systém

Úkolem elektronického systému (ORSS) je regulace množství plynu nasávaného motorem na požadovanou hodnotu bohatosti resp. chudosti směsi. Vlastní regulace je realizována pomocí servomotoru. Pro pohon může být použit také krokový motor nebo jiný druh pohonu.

#### 4.3.1 Stechiometrická směs

Úkolem popisovaného regulátoru ORSS je automatické řízení kvality stochiometrické směsi kogenerační jednotky. ORSS je umístěn v samostatné kovové skřínce, kterou lze připevnit do lišty rozvaděče. Schéma rozmístění konektorů na regulátoru je v příloze 7.

#### Základní technické údaje:

|                         |              |                                         |
|-------------------------|--------------|-----------------------------------------|
| Napájení                | S-N.1...2    | 12 V                                    |
| Analogové vstupy        | S-AI. 1...6  | Lambda sonda                            |
|                         |              | Termočlánek typu K nebo J               |
|                         |              | Snímač polohy akčního členu             |
| Binární vstupy          | S-DI.1...9   | Aktivační kontakt                       |
| Binární výstupy         | S-DO.1 ...7  | Varování                                |
|                         |              | Havárie                                 |
|                         |              | GND                                     |
|                         | S-DO.8 ...11 | Ovládání servopohonu                    |
| Komunikační rozhraní PC | CANNON       | Zadávání parametrů, monitorování funkce |

Tab. 9 Technické údaje elektronického řídicího systému ORSS.

#### Regulace bohatosti směsi

Hodnota bohatosti směsi je snímána lambda sondou, která je umístěná ve výfukovém potrubí. Výstupem z čidla je stejnosměrné napětí v rozsahu 0...1V.

Bohatost směsi je řízena servomotorem (SM). Při nárůstu napětí z čidla nad zadanou mez žádané hodnoty napětí na výstupu lambda sondy odměrný průřez uzavírá, při poklesu otevírá. Je-li odchylka skutečné a žádané hodnoty napětí na lambda sondě menší než její necitlivost, nedochází k regulaci. Regulace bohatosti směsi je proporcionální - s větší odchylkou se zvyšuje rychlost pohybu SM. Zjednodušeně lze říci, že rychlost SM se zvyšuje tolikrát, kolikrát je odchylka skutečného a požadovaného napětí vyšší než parametr rychlosti.

Snížení hodnoty parametru rychlosti způsobuje zvýšení rychlosti přejezdu SM, regulace je živější, ale může dojít k rozkmitání regulátoru.

Jsou-li neaktivní oba vstupní signály (zapalování, deon generátoru), je SM nastaven ve výchozí poloze, odpovídající poloze po startu a budící napětí na SM je vypnuto. Při přivedení napájecího napětí na ORSS se předpokládá, že servomotor je nastaven v této poloze.

Při aktivaci vstupu zapalování dojde k zapnutí budících napětí SM a ORSS je připraven k činnosti. Po aktivaci vstupu deonu generátoru je regulátor uveden do činnosti.

Po uvedení do činnosti regulátor začíná regulovat bohatost směsi s definovaným časovým zpožděním od okamžiku, kdy napětí na výstupu čidla dosáhlo hodnoty parametru prohřívacího napětí. (V tomto okamžiku se předpokládá, že snímací čidlo dosáhlo pracovní teploty, při které je výstupní napětí úměrné bohatosti směsi.) Je-li napětí z čidla menší než toto napětí i po uplynutí doby stanovené pro dosažení prohřívacího napětí od aktivace ORSS, je regulace spuštěna bez ohledu na dosažené napětí.

Po deaktivaci vstupu deonu generátoru zůstává ORSS stále v činnosti. Po deaktivaci vstupu zapalování je regulace přerušena, provede se vynulování polohy SM, jeho nastavení do výchozí polohy a budící napětí na SM je vypnuto. V tomto stavu ORSS čeká na opětovnou aktivaci.

Během provozu KJ je vyhodnocována poloha SM. Dosáhne-li poloha SM některý z krajních elektrických dorazů, aktivuje se příslušný výstup varování. Pokud se během varování změní poloha SM, výstup varování se deaktivuje.

Trvá-li varování dobu delší než je doba trvání daného parametru dojde k aktivaci příslušného výstupu havárie. Regulátor zůstává i nadále v provozu, výstupy havárie zůstanou bez ohledu na polohu akčního členu aktivní až do okamžiku deaktivace zapalování.

ORSS snímá a vyhodnocuje teploty výfuku před katalyzátorem (T1) a za katalyzátorem (T2). Teplota výfuku je snímána termočlánkem typu K umístěným ve výfukovém potrubí.

Přesáhne-li některá z teplot výfuku teplotu danou daným parametrem dojde k aktivaci výstupu Havárie T1,T2. Dále je vyhodnocován teplotní rozdíl T2-T1. Překročí-li teplotní rozdíl danou mez, dojde k aktivaci výstupu Havárie T2-T1. Toleranční mez pro odchylku teplot není konstantní, je závislá na hodnotě T1. I po aktivaci výstupů Havárie T1,T2 nebo Havárie T2-T1, zůstává regulace v činnosti. Výstupy teplotních havárií jsou aktivní jen podobu trvání příslušného stavu.

**Nastavitelné parametry:**

| Název parametru          |                                                                                                          | Rozsah           | Jednotky |
|--------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|----------|
| Teplota výfukových plynů |                                                                                                          |                  |          |
| 1.                       | Max. přípustná teplota před katalyzátorem                                                                | 400 – 900        | °C       |
| 2.                       | Max. přípustná teplota za katalyzátorem                                                                  |                  |          |
| 3.                       | Max. teplotní rozdíl T2-T1 při T1=600°C                                                                  | 10 – 200         |          |
| 4.                       | Max. teplotní rozdíl T2-T1 při T1≤400°C                                                                  |                  |          |
| Parametry regulace       |                                                                                                          |                  |          |
| 1.                       | Horní doraz servomotoru                                                                                  | 0 – 100          | %        |
| 2.                       | Spodní doraz servomotoru                                                                                 |                  |          |
| 3.                       | Výchozí poloha servomotoru po startu KJ                                                                  |                  |          |
| 4.                       | Žádaná hodnota napětí na výstupu lambda sondy                                                            | 480 – 880        | mV       |
| 5.                       | Prohřívací napětí lambda sondy                                                                           | 100 – 400        | mV       |
| 6.                       | Maximální doba pro dosažení prohřívacího napětí                                                          | 10 – 240         | s        |
| 7.                       | Zpoždění spuštění regulace po dosažení prohřívacího napětí                                               |                  |          |
| 8.                       | Zpoždění chyby způsobené najetím motoru na doraz                                                         | 5 – 240          | s        |
| 9.                       | Minimální odchylka skutečné a požadované hodnoty napětí pro uznání poruchy způsobené najetím SM na doraz | 5 – 150          | mV       |
| 10.                      | Necitlivost regulace lambda sondy                                                                        | 10 – 250         | mV       |
| 11.                      | Rychlost regulace lambda sondy                                                                           | 5 – 50           | mV       |
| Ostatní                  |                                                                                                          |                  |          |
| 1.                       | Nastavení polaritý binárních vstupů                                                                      | Přímý / Invertní |          |

Tab. 10 Nastavitelné parametry elektronického řídicího systému ORSS

### 4.3.2 Chudá směs

Zařízení ORCHS je regulátor bohatosti směsi plynových motorů spalujících chudou směs. Regulátor umožňuje udržet konstantní směšovací poměr vzduchu a plynu v nastavitelném rozsahu  $\lambda = 1,3 - 1,8$ . Schéma zapojení je v příloze 8.

#### Základní technické údaje:

|                         |                                         |
|-------------------------|-----------------------------------------|
| Napájecí napětí         | 220 V stejnosměrné                      |
| Analogové vstupy        | Lambda sonda                            |
|                         | Termočlánek typu K nebo J               |
|                         | Snímač polohy servopohonu               |
| Logický vstup           | Aktivační kontakt                       |
| Logické výstupy         | Varování                                |
|                         | Havárie                                 |
|                         | GND                                     |
| Grafický výstup         | Segmentový displej                      |
|                         | LED diody                               |
| Komunikační rozhraní PC | Zadávání parametrů, monitorování funkce |

Tab. 11 Technické údaje elektronického řídicího systému ORCHS

#### Regulace bohatosti směsi

Před příchodem spouštěcího impulsu jednotky je regulátor bez napájecího napětí a servomotor (SM) je z předchozího provozu nastaven do klidové polohy (KP), která je zadána v nastavitelných parametrech. Při startu se připojí napájecí napětí regulátoru, SM zůstává stále v KP po dobu startu i fázování. Při přifázování se sepne aktivační kontakt (kontakt relé ovládaného stavovým kontaktem deonu). Regulace je však zahájena až po dosažení nastavené teploty výfukových plynů.

Po splnění uvedených podmínek a po uplynutí dob zpoždění každé podmínky regulátor začne regulovat na nastavenou hodnotu napětí lambda sondy  $U_{\text{lam}}$ . Parametry regulace (délka impulsů a prodleva mezi impulsy vyslaných na SM) jsou opět nastavitelné.

Při odstavování regulátor ukončí regulaci současně se zánikem jedné z podmínek regulace a nastaví SP do klidové polohy. V této poloze zůstane i po odpojení deonu a vypnutí napájení a je připraven pro další start.

Během provozu KJ je vyhodnocována poloha SM. Je-li poloha SM v zavřené poloze (nulová poloha) je hodnota odporu na snímači polohy mezi svorkami potenciometru 42-41 blízko hodnotě  $0 \Omega$ . V otevřené poloze je hodnota odporu blízko hodnotě  $0 \Omega$ . Polohu servopohonu a pracovní režim motoru zobrazuje segmentový displej a LED-diody zobrazují aktuální stav.

Shodně jako u regulátoru stechiometrické směsi v případě překročení nastavených parametrů dojde nejdříve k aktivaci varování a případně i aktivaci havárie.

#### Nastavitelné parametry:

| Název parametru                             | Jednotky |
|---------------------------------------------|----------|
| Výběr podmínek aktivace regulace            | AK       |
| Aktivační teplota výfuku                    | °C       |
| Prodleva aktivace kontaktem                 | S        |
| Prodleva aktivace teplotou výfuku           | S        |
| Klidová poloha SM                           | %        |
| Varovací meze polohy SM                     | %        |
| Havarijní meze polohy SM                    | %        |
| Napětí lambda sondy s pásmem necitlivosti   | $\mu V$  |
| Násobek délky impulsů na regulační odchylku | -        |
| Prodleva mezi impulsy                       | S        |

Tab. 12 Nastavitelné parametry elektronického řídicího systému ORCHS

Nastavené  $U_{lam}$  se upřesňuje za provozu měřením emisí škodlivých plynů ve výfukových plynech.

Vhodnost parametrů regulace, délky a prodlevy impulsů, lze opět posoudit a zkorigovat na základě pozorování průběhů  $U_{lam}$  a polohy SM. Nemělo by docházet k nezatlumeným periodickým změnám  $U_{lam}$  a polohy SM. Regulace bohatosti směsi bude řádově pomalejší než regulace výkonu, v případě podobných rychlostí bude soustava nestabilní a projeví se kmitáním  $U_{lam}$  i polohy SM.

## 5. Závěr

Cílem této diplomové práce byl návrh konstrukce zařízení regulujícího množství plynu nasávaného motorem. Požadavkem na danou konstrukci bylo zajistit regulaci množství plynu pro základní výkonový rozsah  $P_{el} = 42 - 150 \text{ kW}$ . Zadání bylo rozšířeno i pro rozšířený výkonový rozsah  $P_{el} = 190 - 1000 \text{ kW}$ . Dalším požadavkem bylo zajistit zpětnou vazbu pro kontrolu polohy regulačního členu ovládaného elektrickým pohonem. Součástí diplomové práce byl výpočet rozměrů směšovače a vyhotovení výkresové dokumentace pro motor o výkonu 150 kW.

Teoretická část je věnována problematice tvorby palivové směsi a způsobu regulace množství nasávaného plynu u plynových zážehových motorů.

Výpočet směšovače probíhal podle standardních výpočtových vztahů a metod. Zvolený typ směšovače vychází z osvědčeného řešení, které se s úspěchem používá u mnoha plynových motorů. Hlavní výhoda směšovače s bodovým přívodem plynu spočívá v jeho výrobní jednoduchosti a v praxi ověřené funkčnosti.

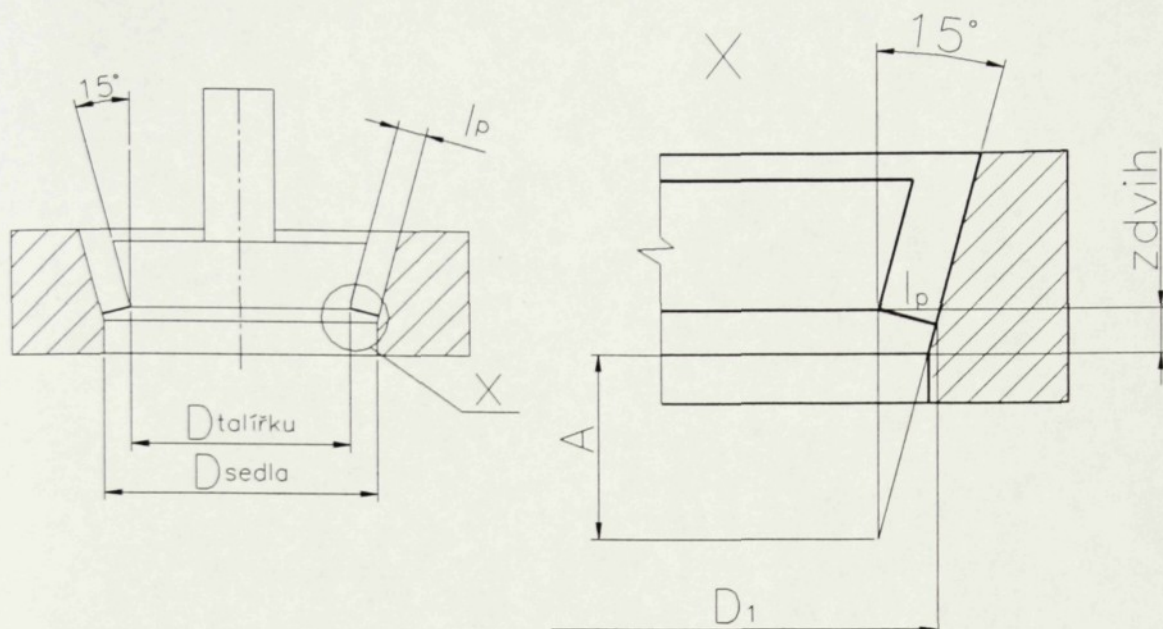
Při návrhu konstrukce zařízení pro regulaci množství plynu jsem vycházel z požadavků zadání, které byly dále rozšířeny. Dalším důležitým požadavkem byla dostupnost použitého servopohonu pro ovládání regulačního členu a výrobní jednoduchost. Pro regulaci množství plynu byly zvoleny dvě varianty, které svými vlastnostmi splňují požadavek regulace pro základní i rozšířený výkonový rozsah.

Varianta s přímočarým pohybem talířku ventilu s malým vrcholovým úhlem je vhodná pro velmi citlivou regulaci množství plynu. Změna průřezu se s rostoucím zdvihem talířku mění pozvolna, a proto splňuje požadavky regulace na konstantní hodnotu součinitele přebytku vzduchu  $\lambda$ . Variantu s talířkem s malým vrcholovým úhlem doporučuji pro základní výkonový rozsah, ale lze ji také použít i pro část rozšířeného rozsahu. Výhodou je, že pro základní výkonový rozsah postačí použití dvou rozměrů talířku ventilu. Řešení s větším vrcholovým úhlem bylo zavrženo pro snížení citlivosti regulace a rostoucí rozměry celé konstrukce. Zpětná vazba snímání polohy talířku je zajištěna odporovým snímačem polohy, který je integrován výrobcem přímo v servomotoru.

Druhou variantou je regulace množství plynu ovládaná škrticí klapkou. Tuto variantu lze použít pro oba výkonové rozsahy. Výhoda spočívá v použití jediné konstrukce pro základní výkonový rozsah i část rozšířeného rozsahu. Ale v porovnání s první variantou dochází i při minimálním pootočení klapky k větší změně průřezu. Z toho plyne, že klapka je svými vlastnostmi výhodnější pro motory s vyšším výkonem a tedy pro rozšířený výkonový rozsah. Odměrný průřez používaný pro nejvyšší výkony se liší větší světlostí průřezů obou otvorů a tedy i rozměrem klapky a regulačního šroubu. Zpětná vazba je také zajištěna odporovým snímačem polohy integrovaným v servomotoru.

## Seznam doporučené literatury

- [1] ZARŽECKÝ, G.: Základy karburace automobilového motoru, České Budějovice 1979.
- [2] TAKÁTS, M.: Příslušenství plynových motorů, ČVUT Praha 1994.
- [3] THANH VINH, N.: Plynový zážehový motor pro kogenerační jednotku. /Diplomová práce./ ČVUT Praha 2000.
- [4] MEJSNAR, P.: Plynový motor s elektronickým řídicím systémem. /Diplomová práce./ TU Liberec 1999.
- [5] HIBŠ, M.: Podzvukové difuzory, Praha 1985.
- [6] BARTONÍČEK, L – LAURIN, J – MYŠKA, M.: Výzkum a vývoj plynového motoru ML 636 NGS. /Výzkumná zpráva/. TU Liberec 1999.
- [7] BEROUN, S – SCHOLZ, C.: Základy teorie vozidel a pístových spalovacích motorů, TU Liberec 1999.
- [8] LEIKER, M.: Die Gasmaschine. Springer – Verlag, Wien. 1953.
- [9] TEDOM, s.r.o. Hořovice: /Firemní literatura/.
- [10] BHC, a.s. Jílové u Prahy: /Firemní literatura/.
- [11] ZPA, a.s. Nová Paka: /Firemní literatura/.
- [12] KROMSCHRODER, Inc. Hudson: Control valve, <http://www.kromschroder.com>.



### Návrh výpočtu průřezu pro různé průměry talířku a sedla ventilu.

Průřez tvořený kuželovou plochou s délkou površky pláště  $l_p$  se vypočítá podle vztahu:

$$S = \pi \cdot l_p \cdot \left( \frac{D_{talírku}}{2} + \frac{D_1}{2} \right)$$

Pro délku površky  $l_p$  platí:

$$l_p = (A + zdvih) \cdot \sin 15^\circ$$

Pro „A“ platí:

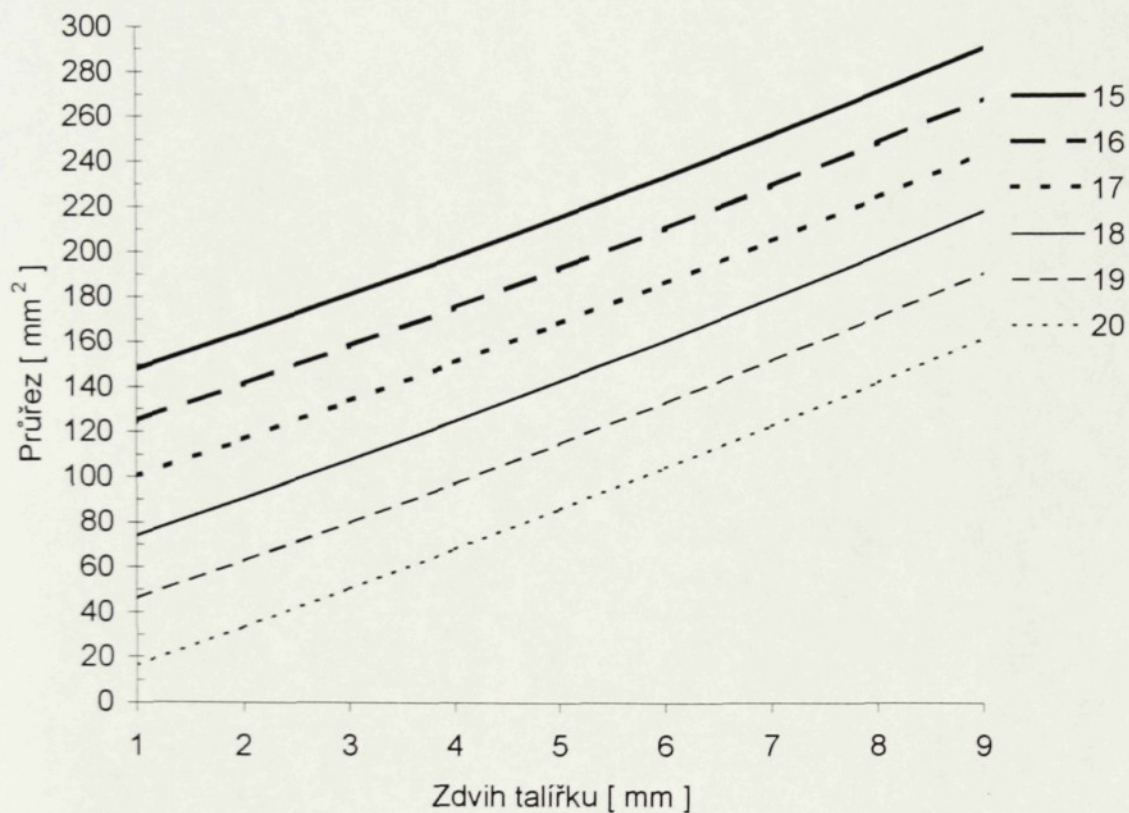
$$A = \frac{D_{sedla} - D_{talírku}}{2 \cdot \tan 15^\circ}$$

Průměr  $D_1$  se vypočítá podle vztahu:

$$D_1 = D_{talírku} + 2 \cdot l_p \cdot \cos 15^\circ$$

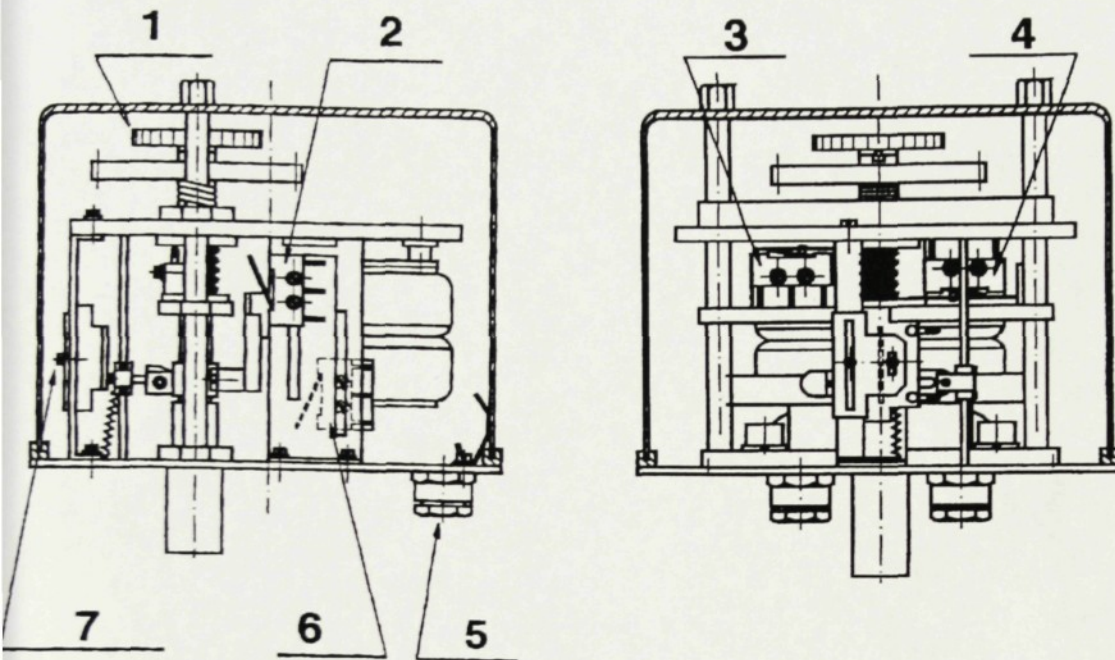
Je-li  $D_{talírku} = D_{sedla}$  potom platí:  $A = 0$ .

### Závislost průřezu na zdvihu talířku - vrcholový úhel $30^\circ$



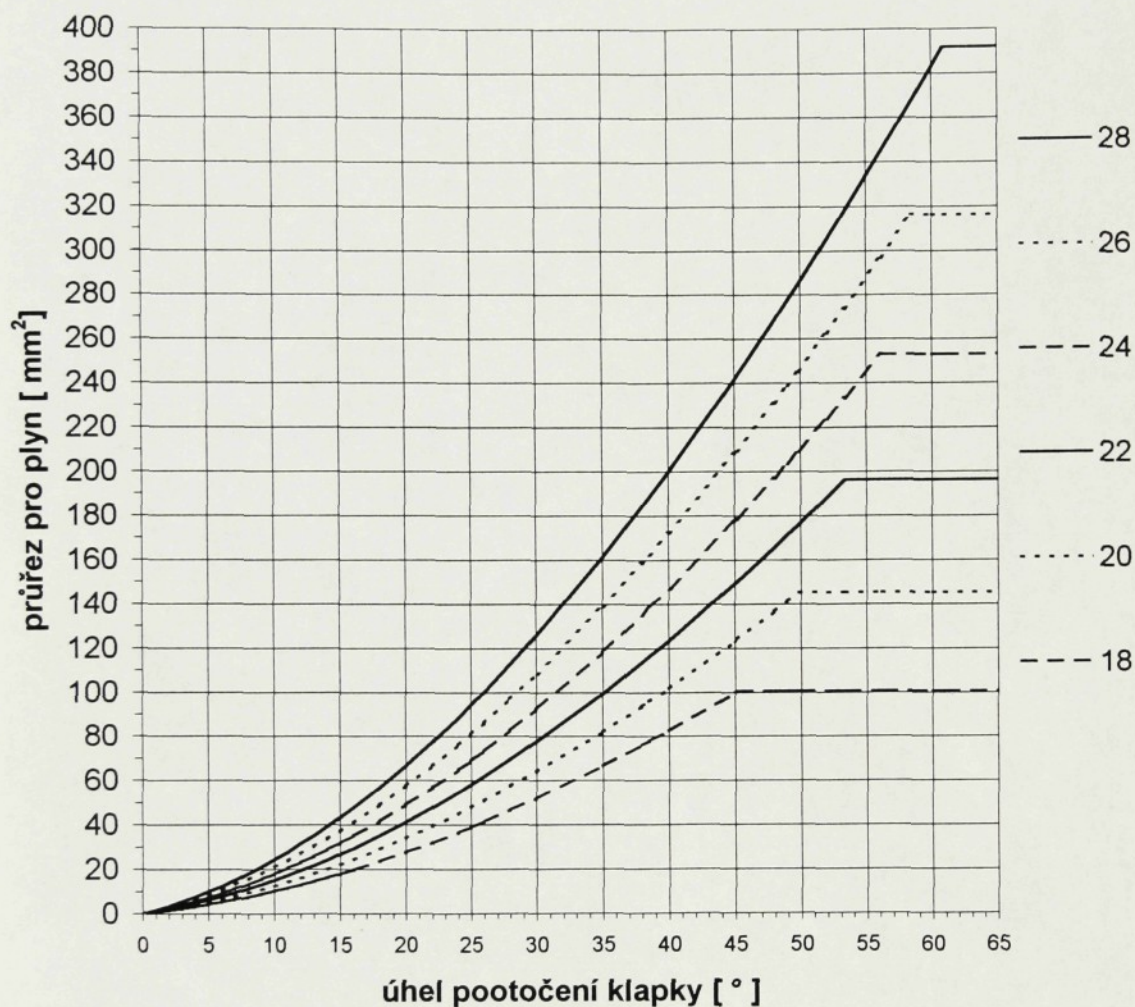
Graf znázorňuje závislost změny průřezu proudícího plynu na zdvihu talířku s vrcholovým úhlem  $30^\circ$ . Malé průměry talířků jsou 15 - 20 mm. Vnitřní průměr sedla je 20 mm. Zdvih = 1 mm označuje základní polohu.

## Schéma servomotoru MIKRO.



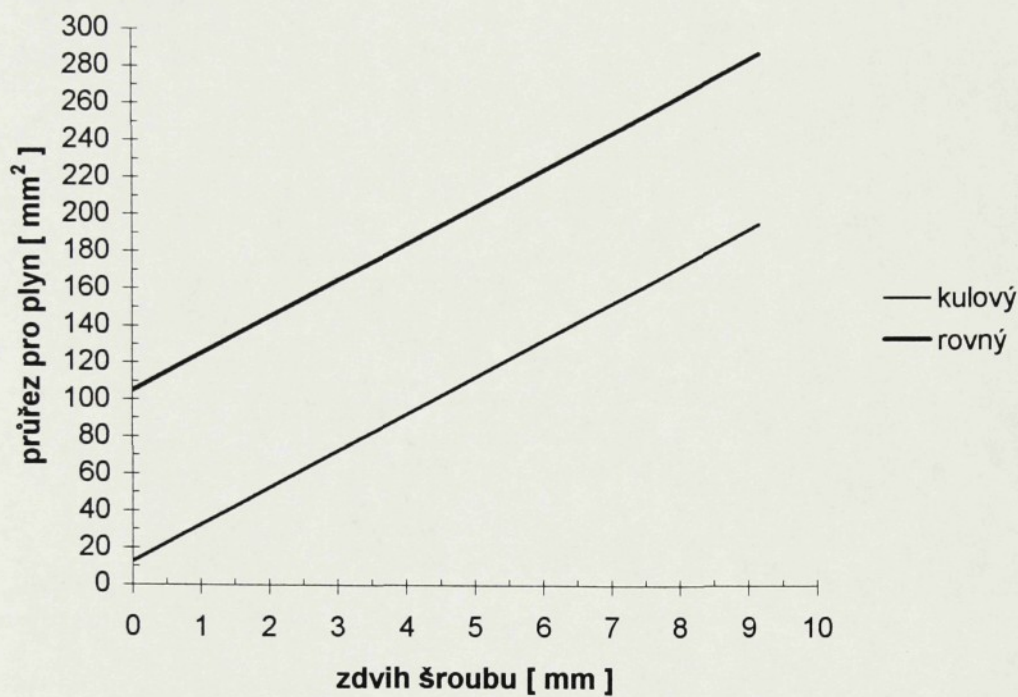
- 1...Ruční kolo
- 2...Signalizační vypínač SO
- 3...Momentový vypínač MO
- 4... Momentový vypínač MZ
- 5... Vývodky BP 13,5x12
- 6...Signalizační vypínač SZ
- 7...Odporový vysílač polohy

Závislost změny průřezu pro plyn na pootočení škrťací klapky



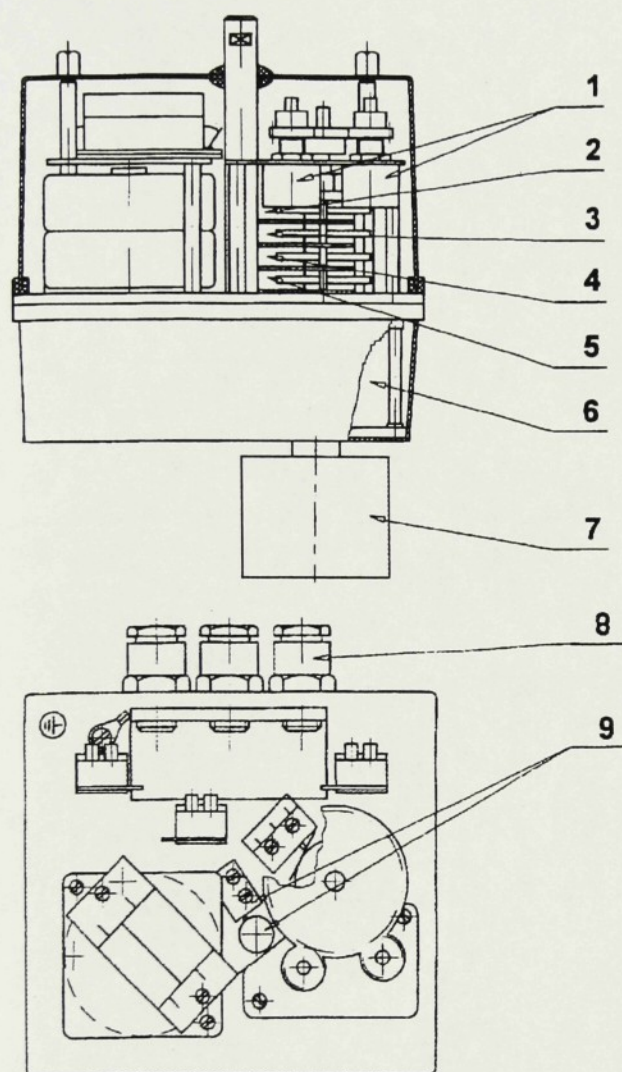
Graf znázorňuje závislost změny průřezu pro plyn na pootočení škrťací klapky pro průměry otvorů 18 – 28 mm.

Závislost změny průřezu na zdvihu šroubu M20x1,5



Graf znázorňuje závislost změny průřezu pro plyn na zdvihu šroubu pro průměr otvoru 22 mm. Nulovým zdvihem se rozumí zatočení šroubu až na stěnu otvoru. V této poloze má průřez nejmenší plochu.

# Schéma pákového servomotoru.



- 1... Otočné potenciometry
- 2... Signalizační vypínač SZ
- 3... Koncový polohový vypínač KPZ
- 4... Signalizační vypínač SO
- 5... Koncový polohový vypínač KPO
- 6... Převodovka
- 7... Vřeteno
- 8... Ucpávková vývodka BP 9
- 9... Kostka a hřídel ručního ovládání

## Rozmístění konektorů na regulátoru ORSS.

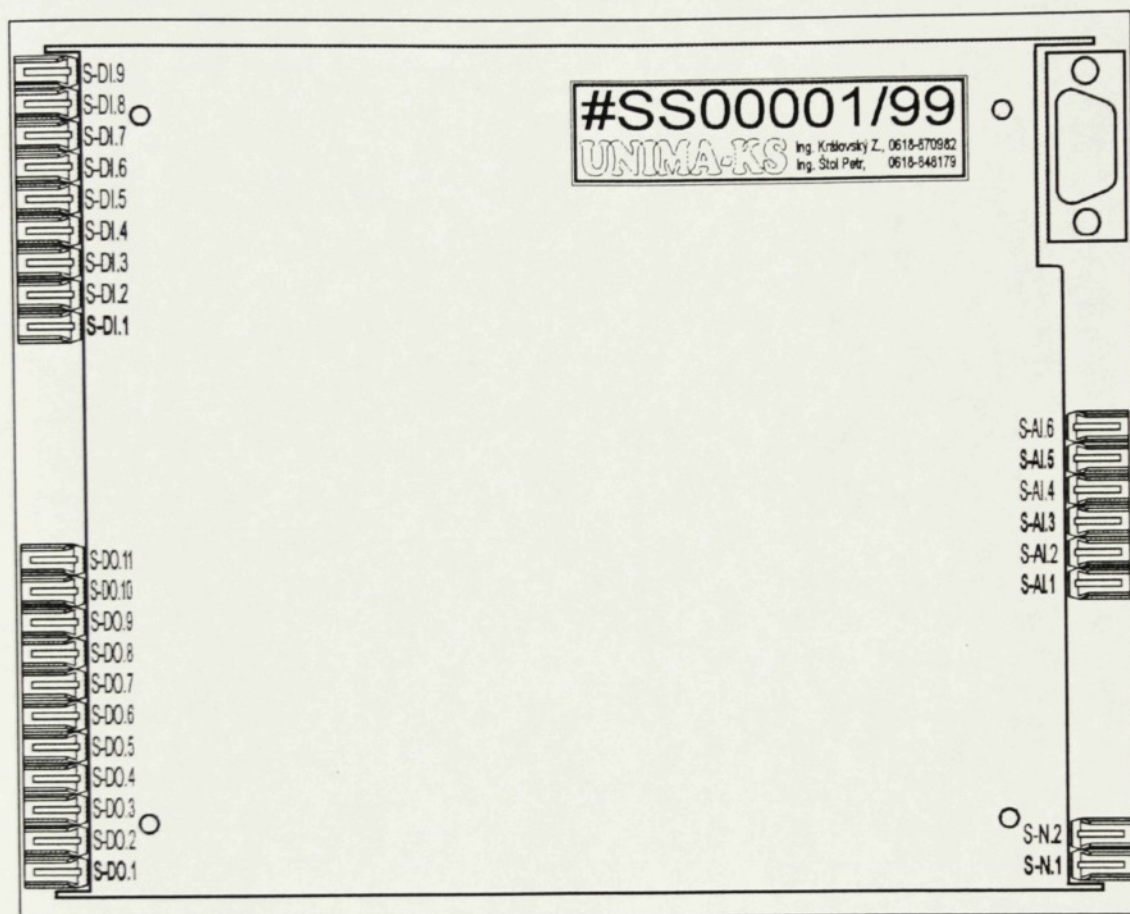


Schéma zapojení řídicího systému ORCHS.

