

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra strojů průmyslové
dopravy

Školní rok: 1990/91

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

pro Jan Westfal

obor Spalovací motory

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

Název tématu: Autobus městské hromadné dopravy
s plynovým motorem

Zásady pro vypracování:

Za účelem snížení spotřeby nafty a zlepšení životního prostředí v Liberci navrhnete způsob rekonstrukce autobusu KAROSA s motorem LIAZ pro možnost provozu na plynné palivo.

Zaměřte se zejména na úpravy motoru s ohledem na ekologické parametry.

Proveďte rozbor nákladů na rekonstrukci a provozních nákladů při použití autobusů MHD s pohonem na bioplyn v Liberci.

V 111/91 S

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ
Ústřední knihovna
LIBEREC 1, STUDENTSKÁ 5
PSČ 461 17

KSD/SPD

Rozsah grafických prací: **výkresová dokumentace**
Rozsah průvodní zprávy: **cca 40 stran textu**
Seznam odborné literatury:

Studie KÚO Plynoprojekt o převodu dopravních prostředků
na pohon zemním plynem.

Výzkumné zprávy ČVUT a VŠST zaměřené na vývoj plynových
motorů LIAZ.

Návrh předpisu pro pohon silničních vozidel zemním plynem.

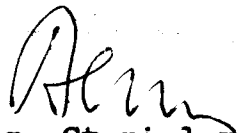
Firemní literatura případně výkresová dokumentace LIAZ,
KAROSA, ČSAO Praha, IMPCO, OMVL aj.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Josef Laurin, CSc.**
Konzultant:

Zadání diplomové práce: **31.10.1990**

Termín odevzdání diplomové práce: **3.5.1991**




Doc. Ing. Stanislav Beroun, CSc.
Vedoucí katedry

Prof. Ing. Zdeněk Kovář, CSc.
Děkan

V Liberci

dne 31. 10. 1990

Vysoká škola strojní a textilní v Liberci
Fakulta strojní
Katedra strojů průmyslové dopravy

Obor 23-20-8
Stroje a zařízení pro strojírenskou výrobu
zaměření
stroje a zařízení pro průmyslovou dopravu

AUTOBUS MĚSTSKÉ HROMADNÉ DOPRAVY
S PLYNOVÝM MOTOREM

KSD - 231
Jan Westfal

Vedoucí práce: Ing. Josef Laurin, CSc.

Rozsah práce a příloh:

Počet stran: 49
Počet obrázků: 9
Počet výkresů: 3

DT

3. 5. 1991

Místopřísežné prohlášení

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

Westfal

V Liberci dne 3. května 1991

1.0	Úvod	6
2.0	Spalovací motory a jejich vliv na ovzduší	8
2.1	Možnosti snižování emisí škodlivin spalovacích motorů	9
2.2	Plynná paliva	10
2.2.1	Zemní plyn	11
2.2.2	Propan-butan	12
2.2.3	Bioplyn /kalový plyn/	13
3.0	Přestavba autobusu MHD Karosa B 731 na provoz plyným palivem	14
3.1	Možnosti přestavby vznětového motoru na plyné palivo	14
3.2	Motor ML 636	17
3.3	Přestavba motoru ML 636 na plynový zážehový	17
3.4	Píst	19
3.5	Hlava válců	19
3.6	Sací potrubí	20
4.0	Palivová soustava	21
4.1	Hlavní části palivové instalace při použití propan-butanu	22
4.2	Popis činnosti palivové instalace pro propan-butan	23
4.3	Hlavní části palivové instalace při použití stlačeného zemního plynu	26
4.4	Popis palivové instalace pro stlačený zemní plyn	26
4.5	Směšovač	28
4.6	Regulátor tlaku plynu	31
4.7	Palivové nádrže	33

5.0	Zapalovací soustava	36
5.1	Svíčky, zápalovací cívka	36
5.2	Rozdělovač, regulace otáček	37
6.0	Návrh plynofikace autobusů MHD v Liberci	40
6.1	Kompresorová stanice	40
6.2	Vozový park Dopravního podniku města Liberce	42
6.3	Ekonomické zhodnocení přestavby autobusů MHD na zemní plyn nebo bioplyn	43
6.4	Posouzení možnosti použití propan-butanu jako paliva pro autobusy MHD Dopravního podniku města Liberce	45
7.0	Závěr	47
8.0	Literatura	48

1.0 ÚVOD

Růst znečišťování životního prostředí je zákonitě spojen s rozvojem průmyslové společnosti. Celková úroveň znečištění životního prostředí přímo souvisí s hustotou osídlení. Nejvýrazněji se to projevuje na znečištění ovzduší ve velkých městských aglomeracích průmyslově vyspělých zemí. Za jeden z hlavních zdrojů se považuje doprava, zvláště pak motorová vozidla, kterých v současné době jezdí po Zemi cca 300 miliónů /1/.

Motorová vozidla produkují v současné době v průmyslově vyspělých zemích přibližně 40 % váhového množství plyných exhalátů, vznikajících činnostmi lidí a znečišťujících volné ovzduší. V některých městech a průmyslových aglomeracích stoupá tento podíl až na 80 % /1/. Hlavními složkami negativního působení dopravy silničními motorovými vozidly na životní prostředí jsou emise, které znečišťují ovzduší a které obsahují značné množství /až několik set/ lidskému zdraví škodlivých látek. Nejpostiženější jsou centra velkoměst, ve kterých se pohybuje vysoká koncentrace vozidel, produkujících značné množství znečišťujících látek. Vedle škodlivosti znečišťujících látek ohrožujících lidské zdraví projevují se i další negativní účinky znečištění ovzduší. Je to například snížení viditelnosti, způsobené absorpcí světla v modré oblasti spektra oxidem dusičitým, a absorpce ultrafialové, biologicky nejúčinnější složky světla. V silně frekventovaných komunikacích dále emise motorových vozidel podmiňují nepříjemné pachy, které i při svých nízkých koncentracích mohou značně obtěžovat chodce i obyvatele domů frekventovaných ulic.

Dalším nezanedbatelným negativním vlivem dopravy na zdraví člověka je hluk. Vysoká hlučnost způsobená vysokou koncentrací dopravy má nepříznivý účinek na zdraví obyvatel měst, může způsobovat poškození sluchu, přispívat ke vzniku stresu, podrážděnosti aj. Podle provedených měření bylo zjištěno, že povolené hodnoty, stanovené hygienickou normou, bývají v centrech soustředění dopravy podél hlavních komunikací překračovány na průměrnou hodnotu, během 24 hodin, 75,5 decibel /1/.

Závažným projevem dopravy je i znečišťování půdy a vody únikem ropných produktů při skladování, dopravě a manipulaci s nimi /počet ropných havárií za rok se neustále zvyšuje/. Dále je to i znečišťování životního prostředí odpady z provozu dopravy /vyjeté oleje, ojeté pneumatiky apod./.

Z důvodů zlepšení životního prostředí ve městech se celosvětově upřednostňuje přestavba městských autobusů pro provoz na plynné palivo, které se jeví ekologicky výhodnější než paliva kapalná /nafta, benzín/. Přestavbou autobusu na plynné palivo se zabývá i tato práce.

2.0 SPALOVACÍ MOTORY A JEJICH VLIIV NA OVZDUŠÍ

Spalovací motory produkují emise, které obsahují značné množství lidskému organismu škodlivých látek. Po emisi do atmosféry zůstávají tyto látky buď nezměněny - látky primární, nebo podléhají změně - látky sekundární. Při provozu spalovacích motorů /vznětových i zážehových/ vznikají produkty dokonalého spalování vodíku a uhlíku obsaženého v palivu, tj. voda H_2O a oxid uhličitý CO_2 . Spolu s nimi vzniká značné množství chemických sloučenin; především jsou to oxidy dusíku NO_x , vznikající částečným spalováním atmosferického dusíku, oxid uhelnatý a organické kyslíkaté sloučeniny /aldehydy/, vznikající nedokonalým spalováním uhlovodíků, oxid siřičitý SO_2 , ketony, nespálené uhlovodíky CH_x , polycyklické aromatické uhlovodíky, olovo /Pb/ a jeho sloučeniny, saze a olejová mlha.

Z hlediska účinků na organismus je možno klasifikovat některé složky výfukových plynů na dráždivé látky SO_x , formaldehydy, NO_x , fotochemické peroxidy/, na antigenně působící látky SO_2 a na toxické látky CO , olovo/.

Emise výfukových plynů motorových vozidel se svým složením značně podobají exhalacím jiného původu /průmysl, domácnost, zemědělství/, tudíž nelze exaktně určit, jaký podíl na znečištění ovzduší představuje právě doprava. Orientačně lze uvést následující čísla, která závisí na jedné straně na industrializaci dané lokality a na straně druhé pak na stupni motorizace.

Podíl dopravy na znečištění ovzduší

NO_x	30 - 50 %
CH_x	30 %
CO	75 %
SO_x	do 1 %
pevný spad	5 - 10 %
Pb a jeho deriváty	- většina/ 1/

Podle posledních provedených výzkumů se ukazuje, že nejhorší účinky na lidský organismus mají látky obsažené v bílém a šedém dýmu a saze. Při jejich emisích ze spalovacích motorů dochází k tvorbě aerosolů, na kterých se sorbuje celá řada organických karcinogenních látek. Jedná se zejména o benzopyrény a aldehydy.

2.1. Možnosti snižování emisí škodlivin spalovacích motorů

Možností snižování emisí škodlivých látek je mnoho. Jsou to například konstrukční úpravy motorů, vedoucí k dokonalejšímu tvoření směsi paliva a vzduchu /úprava sacích potrubí, spalovacích prostorů, karburátorů, vstřikovacích zařízení/. Dále je to spalování chudých směsí, použití elektronicky řízených karburátorů, elektronicky řízeného vstřikování paliva. V neposlední řadě je to i použití katalyzátoru výfukových plynů, ať již řízeného nebo neřízeného.

Jednou z možností snížení emisí je i použití jiných paliv než nafta a benzín, a to především paliv plyných. Podle provedených výzkumů a měření je zjištěno, že

vznětový motor produkuje 10x více emisí než motor poháněný plyným palivem, přičemž splodiny /černý, bílý kouř a saze/ vznětového motoru jsou 1500x více karcinogenní než u motoru plynového /1/. Při použití plyného paliva dochází k poměrně snadnému vytvoření homogenní směsi se vzduchem. Z toho plyne nižší obsah CO ve výfukových plynech. Nespálené uhlovodíky, které jsou obsaženy ve výfukových plynech, se skládají z kratších řetězců. Reaktivita pro utváření smogu z těchto uhlohydrátů je menší než reaktivita u klasických kapalných paliv. Spaliny z plynových motorů dále neobsahují sloučeniny olova a oxidy síry. Kouřivost plynového motoru dosahuje i při vyšších bohatostech palivové směsi velmi malých hodnot, bývá i neměřitelná. Výfukové plyny plynových motorů méně zapáchají a působí méně dráždivě. Na rozdíl od motorů na kapalná paliva jsou škodlivé emise při spouštění a za chodu studeného plynového motoru jen nepatrně vyšší než za provozní teploty.

Dalším přínosem plynového motoru je i jeho nižší hlučnost. Přestavbou vznětových motorů na plyné palivo dojde ke snížení hlučností o 4 - 5 decibelů /1/. Nezanedbatelná je při přestavbě motorů na plyná paliva i úspora klasických kapalných paliv.

2.2. Plyná paliva

V současné době se používají jako plyná paliva tři druhy plynu; zemní plyn, směs propanu a butanu, bioplyn /kalový plyn/.

2.2.1. Zemní plyn

Použití zemního plynu v dopravě lze realizovat dvěma způsoby:

a/ zkapalněný zemní plyn

Použití zkapalněného zemního plynu představuje jeho přepravu jako zásoby paliva v kryogenních nádobách při teplotě -161°C a při přetlaku do $0,4\text{ MPa}$ /l/. Tato forma použití plynu v dopravě je perspektivní, je však nutno si uvědomit, že investiční náklady pro její zavedení jsou řádově vyšší než při použití stlačeného zemního plynu /zkapalňovací stanice jsou dražší než kompresorové stanice/. Aplikaci zkapalněného zemního plynu také brzdí vysoká cena kryogenních nádrží a vyšší energetická náročnost na zkapalnění. Svou roli hrají i provozní hlediska /např. odpařování plynu vlivem nedokonalé teplotní izolace hryogenních nádrží/, proto se zkapalněný zemní plyn nepoužívá v dopravě ani v zemích, které jej nakupují již ve zkapalněné formě.

b/ stlačený zemní plyn

Při aplikaci stlačeného zemního plynu je ve světě používáno několika provozních tlaků. Můžeme rozlišit dva způsoby přepravy stlačeného zemního plynu ve vozidlech:

- stlačený zemní plyn v tlakových nádobách při přetlaku $2,2 - 5\text{ MPa}$ /bezkompresorové plnění/
- stlačený zemní plyn uskladněný v tlakových lahvích při přetlaku $20 - 25\text{ MPa}$

Použití zemního plynu při bezkompresorovém plnění vyžaduje podstatně menší nároky na kvalitu materiálu používaného pro zhotovení tlakových nádob /z toho vy-

plývá nižší cena/. Princip plnění vozidel stlačeným plynem spočívá v přepouštění plynu z vysokotlakého potrubí přímo do tlakových nádrží vozidel. Velkou nevýhodou tohoto způsobu je výrazně omezený akční rádius vozidla.

Přeprava zásoby stlačeného zemního plynu v tlakových lahvích při přetlaku 20 - 25 MPa je dosud nejrozšířenějším způsobem zajištění provozuschopnosti vozidla pohonem na zemní plyn. Z hlediska parametrů vozidla je hlavní nevýhodou velká hmotnost tlakových nádob paliva. V současné době jsou vyvíjeny nové technologie výroby tlakových nádob z kompozitních materiálů, avšak výroba těchto nádob je nákladná. Pro plnění vozidel stlačeným zemním plynem /20 MPa/ je nutno vybudovat síť plnicích kompresorových stanic, které jsou připojeny na vysokotlaký, případně střednětlaký plynovod. Vybudování kompresorové stanice je výhodné v místě soustředění většího počtu vozidel provozovaných na zemní plyn s menším akčním rádiusem, např. autobusy MHD, komunální vozidla.

2.2.2. Propan - butan

Směs propan - butanu se vyznačuje snadným zkapalněním při použití poměrně malých tlaků. Ve zkapalněném stavu zaujímá malý objem, a proto může být ve srovnání s ostatními plyny snadno usklaňován a přepravován. V současné době se propan-butan vyrábí ve dvou složeních - letní a zimní. V letním období obsahuje směs menší procento propanu, naopak v zimě se obsah propanu zvyšuje. Pro použití ve spalovacím motoru

je výhodnější vyšší obsah propanu, protože i při nízkých teplotách má tlak vyšší než atmosferický. Při použití čistého butanu by nádrže při teplotě pod 0 °C ztratily tlakovost. Nevýhodou použití propan-butanu je poměrně značné kolísání složení směsi.

2.2.3. Bioplyn /kalový plyn/

Bioplyn vzniká v klasických mechanicko-biologických čistírnách odpadních vod při vyhnívání zbytkového kalu v kalových vyhnívacích věžích. Surový bioplyn obsahuje asi 30 % CO_2 /2/, proto se čistí v pračce CO_2 , která snižuje obsah CO_2 a tím se zvyšuje obsah metanu až na 96 % /2/. Po vyčištění se bioplyn svými vlastnostmi /vysoký obsah metanu/ značně přibližuje vlastnostem zemního plynu. Proto můžeme vozidla používající jako palivo stlačený zemní plyn provozovat i na bioplyn.

3.0 PŘESTAVBA AUTOBUSU MHD KAROSA B731 NA PROVOZ PLYNNÝM PALIVEM

Při používání plynného paliva pro pohon motorových vozidel se celosvětově upřednostňuje přestavba již existujících vozidel a jejich motorů pracujících na klasická kapalná paliva. Prakticky nikde se nevyrábějí vozidla přímo pro použití plynného paliva. Přestavbu na plynné palivo lze provést jak u motoru zážehového, tak i vznětového.

3.1. Možnosti přestavby vznětového motoru na plynné palivo

Přestavbu vznětového motoru lze provést třemi způsoby:

a/ Přestavba motoru na dvojpalivový provoz

Princip přestavby motoru na dvojpalivový provoz spočívá v zachování původní palivové soustavy a v provozu motoru v nižších zatíženích, volnoběhu a při startování pouze na naftu. Jen při vyšších zatíženích se plynné palivo přivádí do sání motoru a nahrazuje část nafty, přičemž poměr plynného paliva a nafty bývá přibližně 1:1. Palivová směs je v celém rozsahu zapalována vstříknutou naftou. Toto řešení umožňuje snížit spotřebu nafty její částečnou náhradou plynným palivem. U takto přestavěných motorů bývá zajištěna možnost provozu pouze na naftu. Nevýhodou tohoto způsobu přestavby je nutná montáž ještě jedné palivové soustavy, která při zachování původní snižuje nosnost vozidla. Ani ekologický přínos tohoto řešení není příliš velký z důvodu jen částečného omezení spaliv vznikajících spalováním nafty.

b/ Motor se zapalovacím vstřikem nafty

U motoru se zapalovacím vstřikem nafty se plyné palivo přivádí do sání motoru a tvoří se vzduchem palivovou směs, která se ve válci zapaluje malou dávkou vstřikované nafty /asi 8 - 15 %/ /2/. Při tomto řešení se buď ponechá původní vstřikovací čerpadlo, nebo se použije čerpadlo s písty o menším průměru. Použití původního čerpadla a vstřikovacích trysek by umožnilo poměrně snadný přechod k nouzovému provozu motoru na naftu. Problematická by pak ale byla přesnost odměřování malých dávek nafty pro zapalovací vstřík. Čerpadlo s menším průměrem pístu dobře splní požadavek odměřování malých dávek paliva, určité problémy mohou však vzniknout při zajištění dávky pro spouštění motoru. Celkově by se nároky na palivovou soustavu motoru se zapalovacím vstřikem nafty daly shrnout do těchto požadavků:

- spouštění motoru na naftu,
- volnoběh a ohřátí motoru /na provozní teplotu/ na naftu,
- provoz při nízkých středních efektivních tlacích na naftu,
- při zvyšování zatížení motoru od určitého středního efektivního tlaku plynulý přechod na provoz na plyn se zapalovací dávkou nafty,
- plynulá regulace dodávky plynu při všech režimech chodu motoru,
- při vysokých středních efektivních tlacích zvýšení dávky nafty,
- přerušování přívodu plynu do motoru při překročení jmenovitých otáček, při činnosti motorové brzdy, při výkonu volnoběžném a nižším, kdy je motor provozován pouze na naftu /tedy i při spouštění/.

Při volbě vstřikovacího čerpadla je nejvhodnější kompromis, tzn. zvolit písty o takovém průměru, aby byly splněny požadavky na přesnost odměření malých zapalovacích dávek i na velikost dávky při spouštění a provozu na naftu.

Nevýhody tohoto řešení zůstávají obdobné jako u dvojpalivového provozování motoru. I když podíl nafty na provozu je již nižší, přesto zůstávají ve výfukových plynech obsaženy emise vzniklé přítomností nafty ve spalovacím procesu.

c/ Vznětový motor přestavěný na plynový zážehový

Při tomto řešení se používá pouze plyného paliva, které je přiváděno do sání motoru. Vzniklá palivová směs je potom zapalována ve válci motoru elektrickou jiskrou. Původní vznětový motor se musí vybavit elektrickou zapalovací soustavou a musí být snížen kompresní poměr. Výhodou přestavby vznětového motoru na plynový zážehový je pouze jedna palivová soustava /původní palivová soustava je odstraněna/ a úplné vyloučení spalin nafty ve výfukových plynech motoru. Nevýhodou je při omezení provozu motoru pouze na plyné palivo snížený dojezd vozidla, což takto upravená vozidla předurčuje k místnímu použití /není vybudována síť plnicích stanic/. Další nevýhodou jsou nutné konstrukční zásahy do původního vznětového motoru /snížení kompresního poměru, montáž zapalovacích svíček místo vstřikovačů, .../. Dále se budu zabývat pouze touto variantou přestavby vznětového motoru na plynový.

3.2. Motor ML 636

Motor ML 636 je čtyřdobý kapalinou chlazený přeplňovaný řadový šestiválec s přímým vstřikem paliva. Motor je ležatého provedení.

Základní parametry motoru ML 636 /4, 5/

Vrtání	130 mm
Zdvih	150 mm
Zdvihový objem	11,94 dm ³
Rozvod	OHV
Kompresní poměr	15,6:1
Jmenovitý výkon	145 kW
Jmenovité otáčky	2000 1/min.
Max. krouticí moment	845 Nm při 1200 1/min.
Min. měrné spotřeba paliva	217 g/kWh
Typ turbodmychadla	K36 3566-25.21 ČZM Strakonice

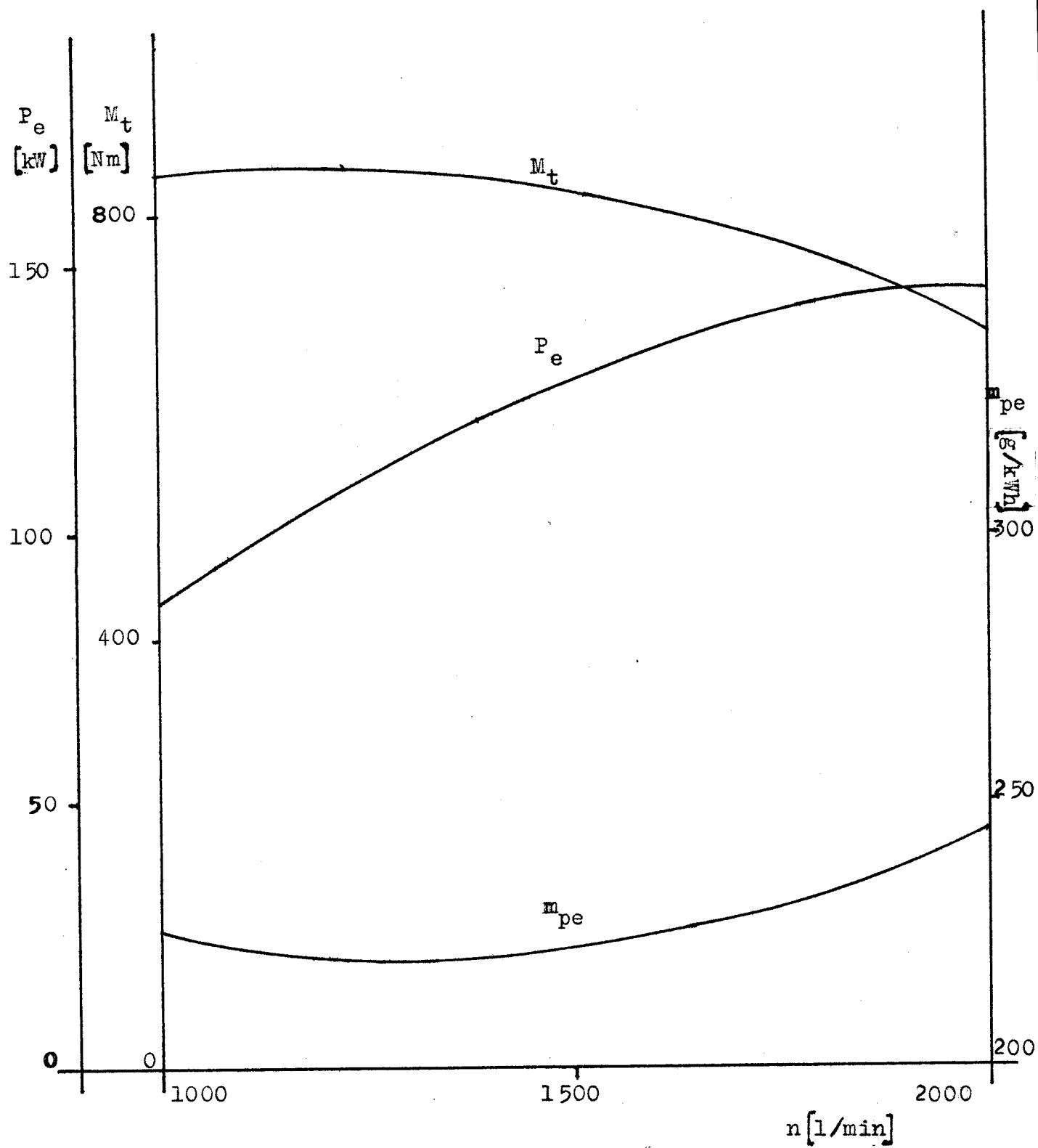
Vnější rychlostní charakteristika motoru ML 636 je znázorněna v grafu 1.

3.3. Přestavba motoru ML 636 na plynový zážehový *žalé palivo?*

Přestavba vznětového motoru na plynový zážehový je spojena s náhradou původní palivové soustavy novou soustavou pro použití plynného paliva, s montáží zapalovací soustavy a některými konstrukčními úpravami motoru. Jedná se o konstrukční úpravy těchto dílů motoru:

- a/ píst
- b/ hlava válců
- c/ sací potrubí

Graf 1: Rychlostní charakteristika motoru ML 636



3.4. Píst

Konstrukční úprava pístu spočívá ve zvětšení spalovacího prostoru za účelem snížení kompresního poměru. Snížení kompresního poměru motoru je spojeno s jeho přestavbou na plynový zážehový. U motorů ML 636 je potřeba snížit kompresní poměr na hodnotu 9,5-10:1. Navržená úprava pístu spočívá ve vytvoření jednoduchého miskovitého spalovacího prostoru. Tvar a velikost spalovacího prostoru jsou znázorněny na přiloženém výkresu.

Kompresní poměr:

$$\epsilon = \frac{V_{z1}}{V' + V_s} + 1 = \frac{1990,8}{18,92 + 201,79} + 1 = 10,0$$

pro jiné podmínky

V_{z1} ... zdvihový objem jednoho válce

V' ... objem válce mezi pístem a hlavou válce na konci zdvihu

V_s ... objem spalovacího prostoru /stanoven podle Guldenovy věty/

3.5. Hlava válců

Úprava hlavy válců spočívá v přizpůsobení otvorů pro vstřikovače k umístění zapalovacích svíček. Rozsah konstrukčních úprav hlavy válců je tedy závislý na typu použitých svíček. Automobilové svíčky běžně vyráběné v Československu mají závit M14x1,25. Jejich radiální rozměry jsou spolu s montážním přípravkem větší než otvor pro vstřikovač, a bylo by proto nutné tento průměr zvětšit, což by vedlo k neúměrnému zeslabení stěny, růstu namáhání a k nebezpečí vzniku trhlin. Jejich použití by bylo možné pouze při úpravě odlitku hlavy válců.

Mnohem výhodnější je použití svíčky se závitem M12x1,25. Při použití těchto svíček je potřeba upravit otvor pro vstřikovače na závit M12 a upravit dosedací plochu svíčky tak, aby elektrody svíčky zůstaly v rovině se spodní plochou hlavy válců.

Vzhledem k tomu, že převrtáním otvoru pro trysku na závit M12 dojde k zeslabení stěny mezi tímto otvorem a sedly ventilů, což může být příčinou vzniku trhlin a následného uvolnění sedel ventilů, lze uvažovat o alternativním provedení vývrtu pro zapalovací svíčku. Toto řešení spočívá ve změně původní osy otvoru vstřikovače. Výhodou je právě zesílení můstku mezi otvorem pro svíčku a vloženými sedly ventilů. Tato úprava je spolu se znázorněním umístění svíčky v hlavě válců zakreslena na přiložených výkresech.

Při umístění zapalovací svíčky do otvoru vstřikovače je potřebné zajistit krytí otvoru, aby se zabránilo vnikání nečistot a vody do montážního otvoru svíčky. Dále bude potřebné zajistit speciální klíče na svíčky, které jsou ve srovnání s benzínovými motory umístěné velmi hluboko v hlavě válců.

3.6. Sací potrubí

Potřebné úpravy sacího potrubí jsou dány nutností přizpůsobit sání pro montáž směšovače na přípravu palivové směsi a pro montáž škrťací klapky, která slouží k regulaci množství palivové směsi přiváděné do motoru. Plynné palivo se do směšovače přivádí z regulátoru tlaku, který přizpůsobuje tlak plynu přicházejícího z nádrže tlakovým poměrům

ve směšovači. Protože se v případě motoru ML 636 jedná o motor přepřínovaný, může být směšovač umístěn buď před anebo za turbodmychadlo. V současné době se upřednostňuje umístění směšovače před turbodmychadlo a umístění škrticí klapky za turbodmychadlo. Umístění škrticí klapky za dmychadlo je podmíněno snahou zabránit přisávání mazacího oleje ze skříně turbodmychadla. K tomuto přisávání by mohlo dojít při vzniku podtlaku v dmychadle, jestliže by škrticí klapka byla umístěna před turbodmychadlo. Nevýhodou umístění škrticí klapky za dmychadlo je větší počet otáček turbodmychadla při částečném zatížení motoru a možnost nestabilního chodu turbodmychadla při rychlém zavření škrticí klapky z důvodu snížení průtočného množství a zvýšení poměrného stlačení.

4.0 PALIVOVÁ SOUSTAVA

Palivová instalace je část, kterou je nutno při přestavbě vozidla na pohon plyným palivem za použití zážehového motoru zcela rekonstruovat. Z původní verze vozidla se odstraní naftové nádrže, palivové potrubí, čističe nafty, podávací čerpadlo, vstřikovací čerpadlo, vstřikovací potrubí a vstřikovače. Tyto součásti jsou nahrazeny plynovou palivovou soustavou.

Vzhledem k tomu, že větší část instalace pracuje s výbušnou látkou o vysokém tlaku, je nutno při konstrukci a umisťování částí dbát na specifické podmínky, při kterých budou v silničním provozu pracovat. Celé zařízení musí odolávat otřesům, změnám teplot, vlivu povětrnostních podmínek, ale také musí být

dostatečně chráněno proti mechanickému poškození při případné havárii vozidla. Konstrukce musí zaručovat spolehlivou funkci všech zařízení při minimální údržbě ve všech provozních podmínkách.

Bezpečnost a bezporuchovost bude záviset nejen na konstrukci a kvalitě jednotlivých dílů, ale i na pravidelné kontrole a dodržování platných předpisů určených pro zařízení tohoto druhu. Celá palivová instalace musí především splňovat podmínky určené vyhláškou Federálního ministerstva dopravy ze dne 21. prosince 1990 „O podmínkách provozu silničních motorových vozidel poháněných stlačeným plynem“.

Palivová instalace se ve své skladbě bude odlišovat podle druhu použitého plynného paliva. Jedná se především o rozdíly mezi palivovou soustavou při použití stlačeného zemního plynu nebo bioplynu /dále budu uvádět pouze zemní plyn/ a mezi palivovou soustavou při použití propan-butanu. Tyto rozdíly jsou dány především rozdílnými pracovními tlaky a rozdílným skupenstvím paliva při skladování v nádržích /propan-butan je v nádrži zkapalněný/.

4.1. Hlavní části palivové instalace při použití propan-butanu

- 1/ Nádrže na kapalný propan-butan /1, 2, 3/
- 2/ Armatury na nádržích a/ odběrový ventil kapalného propan-butanu /4/
 b/ odběrový ventil pro studený start /pouze nádrž č. 1/ /5/

- c/ elektromagnetický ventil
- d/ zařízení pro měření množství paliva v nádrži /7/
- e/ zařízení pro měření hloubky /8/
- f/ plnicí hrdlo se zpětným ventilem
- 3/ Směšovací zařízení
 - a/ regulátor tlaku s tepelným výměníkem /10, 11/
 - b/ směšovač /12/
- 4/ Palivové čističe /20/
- 5/ Rozvodný panel
 - a/ plnicí koncovka s ručně ovládaným ventilem /13/
 - b/ ovládání odběrových ventilů /14/
 - c/ kontrolní žárovka maximálního naplnění nádrží /15/
- 6/ Ovládací panel v kabině řidiče
 - a/ ukazatel množství paliva /16/
 - b/ spínače elektromagnetických ventilů /17/
 - c/ tlakoměr /18/
 - d/ nouzový uzávěr plynu /19/

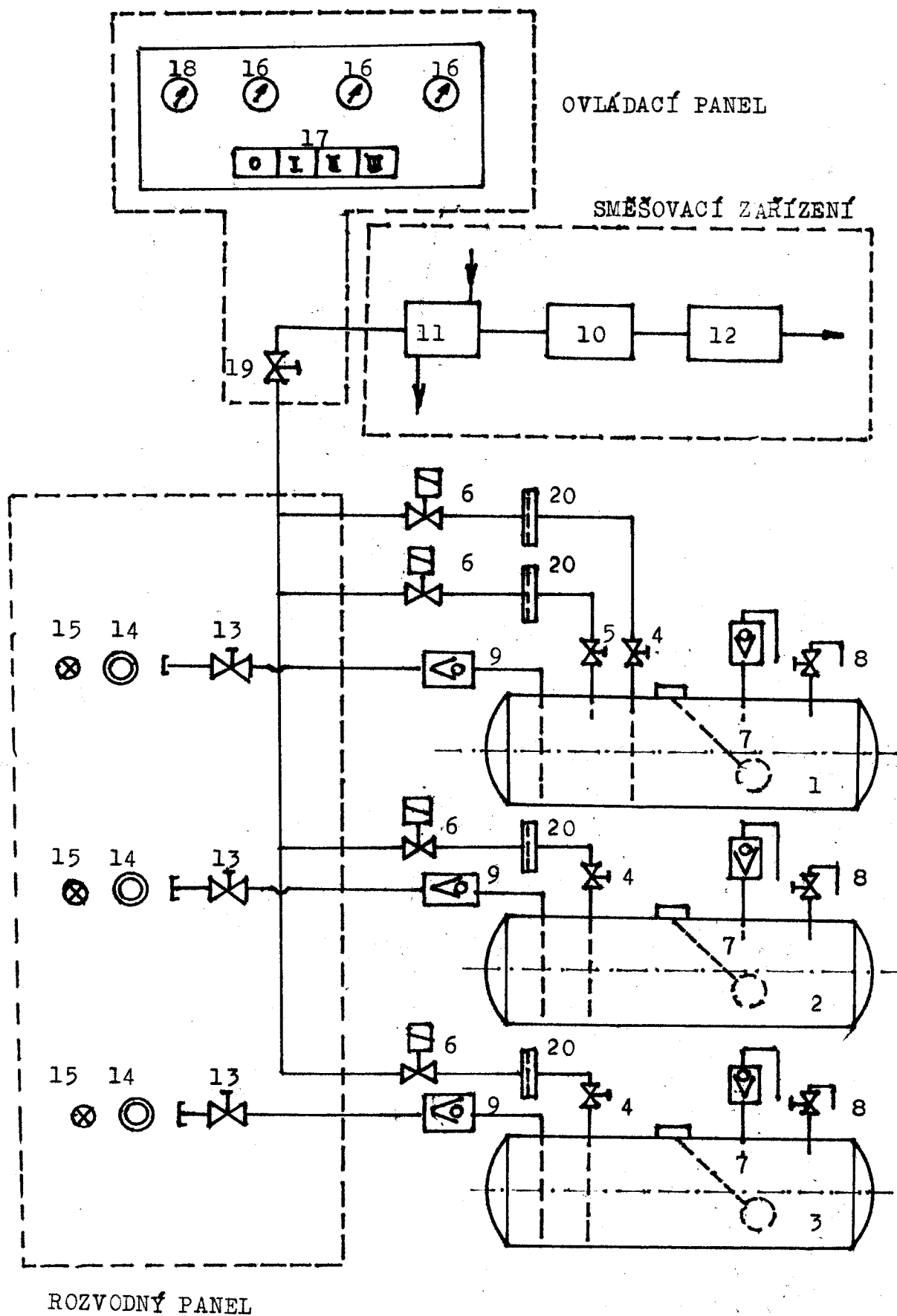
Schema palivové instalace na propan-butan je znázorněno na obr. 1.

4.2. Popis činnosti palivové instalace pro propan-butan

Každá z nádrží s příslušenstvím je samostatným funkčním celkem schopným dodávat palivo pro chod motoru.

Při teplotách okolo 0 °C a nižších je nutno startovat pomocí odběrového ventilu plynného propan-butanu na nádrži 1. Ten přivádí k směšovacímu zařízení již odpařený propan-butan. Po stisknutí tlačítka O na ovládacím

Obr. 1



panelu otevře elektromagnetický ventil a je možno nastartovat. Přepnutí na normální odběr kapalného propan-butanu z kterékoli nádrže je možné až po prohřátí chladicí kapaliny motoru na teplotu 50 - 60 °C. Toto opatření je nutné hlavně v zimním provozu, kdy výměníkem tepla protéká chladicí kapalina nízké teploty, která není schopná zaručit odpařování kapalného propan-butanu. Již při teplotách blízkých 0 °C může docházet k zamrznutí regulátoru tlaku a tím k poruchám jeho funkce.

Jestliže se během jízdy spotřebuje palivo v jedné z nádrží, obsluha vozidla přepne odběr na nádrž další. Stisknutím tlačítka pro odběr z nové nádrže se automaticky uzavře přívod z nádrže předchozí. Tím je zajištěn odběr vždy pouze z jedné z nádrží. Po skončení jízdy řidič uzavře nouzový ventil a vypne zapalování. Tím je přívod paliva ke směšovacímu zařízení přerušen dvěma na sobě nezávislými uzávěry. Jestliže bude vozidlo odstavené na delší dobu, je nutno uzavřít ještě ruční ventily na rozvodném panelu.

4.3. Hlavní části palivové instalace při použití stlačeného zemního plynu

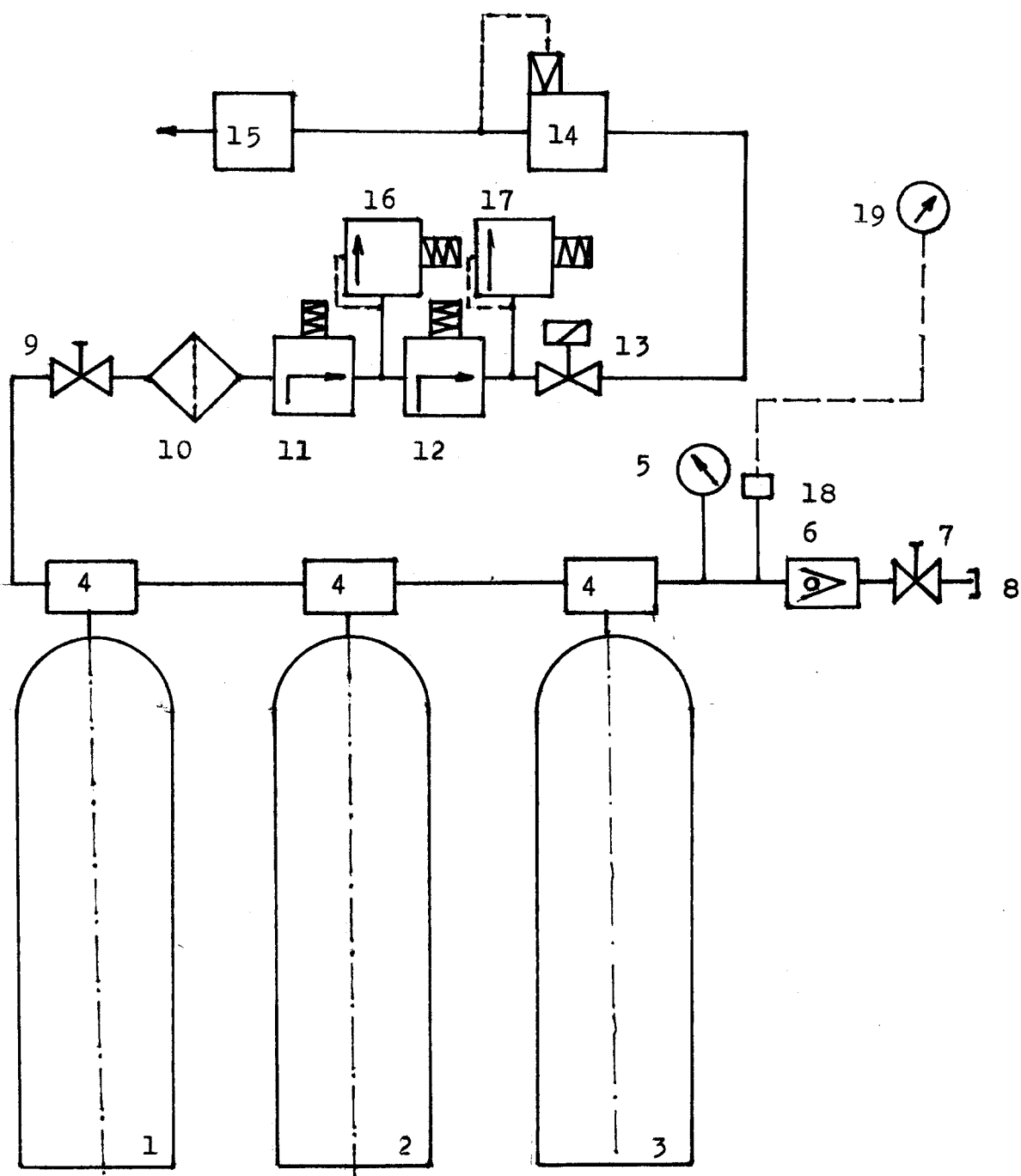
- 1/ Nádrže na stlačený zemní plyn /1, 2, 3/
- 2/ Uzavírací ventily nádrží s průtokovou pojistkou /4/
- 3/ Plnicí hrdlo
 - a/ kontrolní manometr /5/
 - b/ jednosměrný ventil /6/
 - c/ uzavírací ventil /7/
 - d/ uzavírací zátka /8/
 - e/ snímač tlaku pro ukazatel v kabině /18/
- 4/ Kabina řidiče
 - a/ uzavírací ventil /9/
 - b/ ukazatel tlaku v nádržích /19/
- 5/ Palivový čistič /10/
- 6/ Redukční část
 - a/ redukční ventil z 20 MPa na 2 MPa /11/
 - b/ redukční ventil z 2 MPa na 0,2 MPa /12/
 - c/ pojistné ventily /16, 17/
- 7/ Směšovací zařízení
 - a/ elektromagnetický ventil /13/
 - b/ regulátor tlaku /14/
 - c/ směšovač /15/

Schema palivové instalace pro stlačený zemní plyn je znázorněno na obr. 2.

4.4. Popis palivové instalace pro stlačený zemní plyn

Tlakové nádoby /palivové nádrže/ jsou opatřeny lehvovými ventily s průtokovou pojistkou. Průtoková pojistka zabrání náhlému úniku plynu při ulomení nebo prasknutí potrubí. Tlakové lahve jsou propojeny sériově. Soustava tlakových nádob je z jedné strany opatřena

Obr. 2



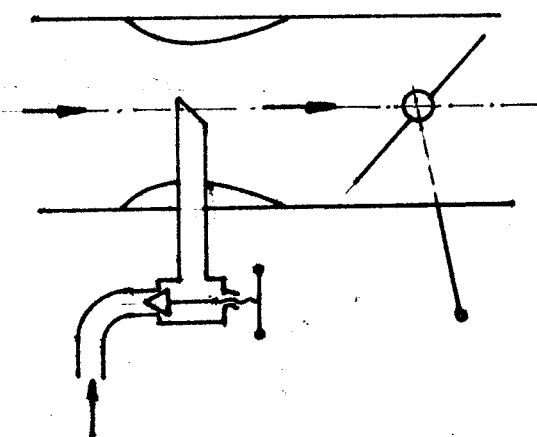
plnicím hrdlem a z druhé strany uzavíracím ventilem, umístěným v kabině řidiče, kterým obsluha uzavírá přívod plynu z nádrží. Pro redukci výstupního tlaku z nádrží jsou použity dva redukční ventily, z nichž jeden na redukci tlaku plynu z 20 MPa na 2 MPa a druhý na redukci tlaku z 2 MPa na 0,2 MPa. K redukční části jsou připojeny pojistné ventily chránící instalaci před nebezpečným vzrůstem tlaku, vyvolaným např. netěsností v redukčním ventilu. Elektromagnetický ventil slouží k uzavření přívodu plynu do motoru při vypnutí zapalování. Při skončení jízdy řidič ještě uzavře uzavírací ventil v kabině. Při delším odstavení vozidla je potřeba navíc uzavřít ventily na palivových nádržích.

4.5. Směšovač

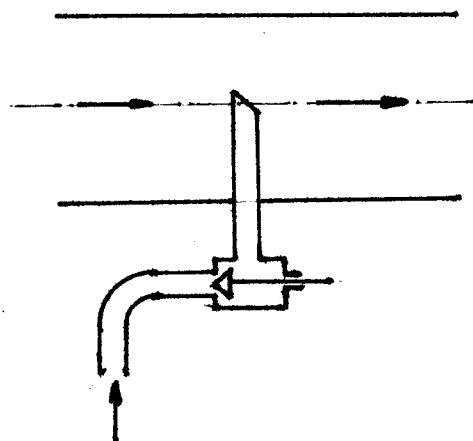
Konstrukční řešení směšovače je dáno způsobem regulace. Při kvantitativní regulaci musí mít směšovač odměřovací průřezy pro vzduch a plyn a škrticí orgán pro ovládání množství nasávané směsi /obr. 3/. Při kvalitativní regulaci je regulačním orgánem směšovače odměřovací průřez pro plyn; odměřovací průřez pro vzduch se vytvoří automaticky v tom průřezu sacího potrubí, kde je nejmenší průtokové číslo /obr. 4/.

Pro plynový zážehový motor je třeba použít výhradně regulace kvantitativní, aby bylo zachováno určité rozmezí bohatosti směsi. Při nadměrném ochuzení směsi by nemuselo dojít k jejímu zapálení jiskrou. Směšovače pro kvantitativní regulaci mohou být konstruovány buď s pevným difusorem a proměnným odměrným průřezem

pro plyn, nebo proměnným difusorem s proměnným odměrným průřezem pro plyn, který je otevírán v závislosti na množství nasátého vzduchu.



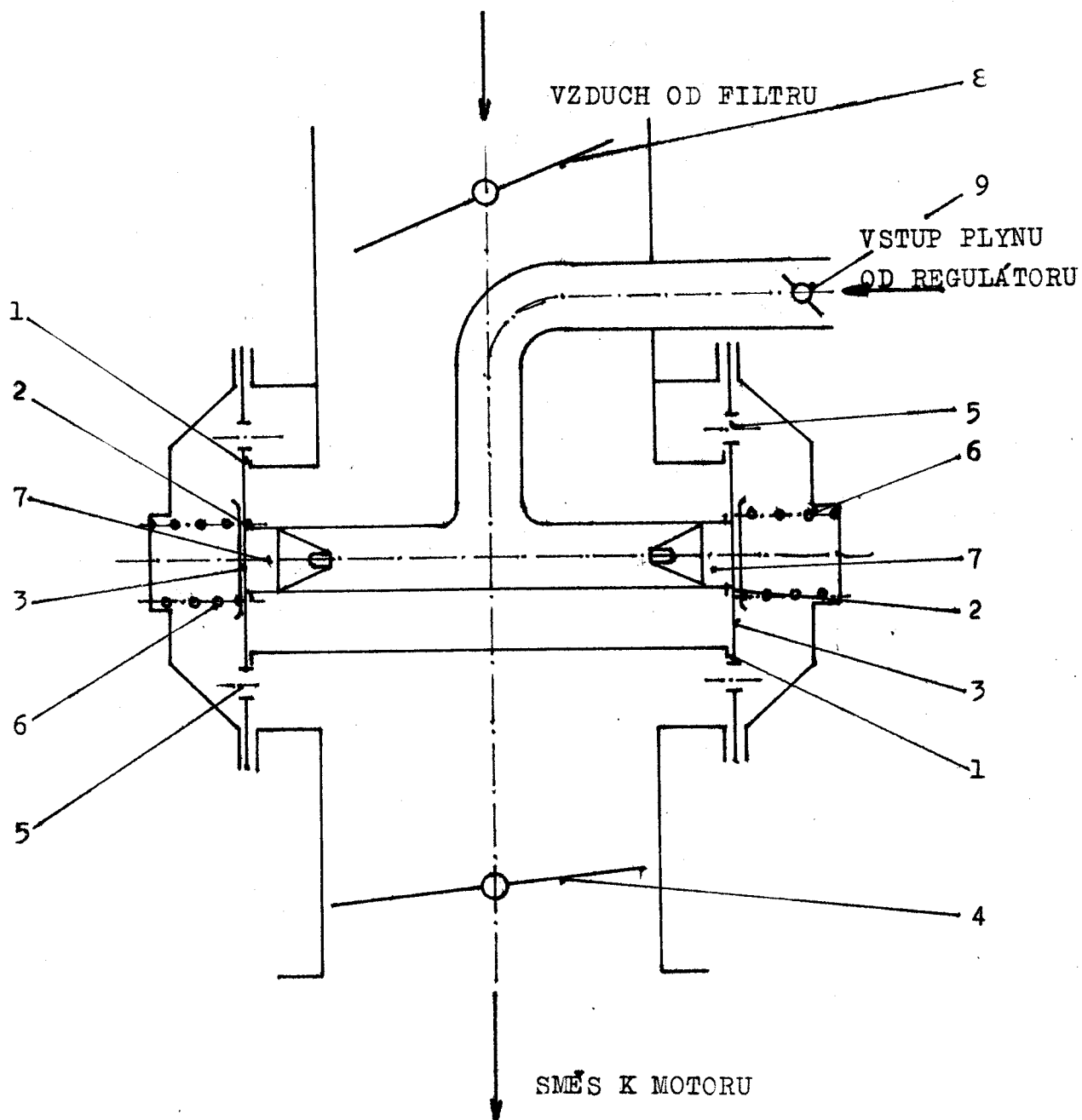
Obr. 3



Obr. 4

Při přestavbě motoru ML 636 na plynový zážehový je možné použít směšovač od firmy IMPCO CARBURATION /USA/. Směšovač /obr. 5/ pracuje na principu rovnotlakového karburátoru /tj. karburátoru s proměnným difusorem/. Za klidu motoru jsou průřezy pro vzduch 1 a plyn 2 uzavřeny membránami 3. Za chodu motoru vzniká nad škrtníci klapkou 4 podtlak, který vstupuje otvory 5 nad membrány 3. Ty překonávají tlak pružin 6 a průřezy pro plyn 2 i vzduch 1 se plynule odkrývají. Regulace množství nasátého plynu je řízena zdvihem tvarované jehly 7. Vstupní průře-

Obr. 5



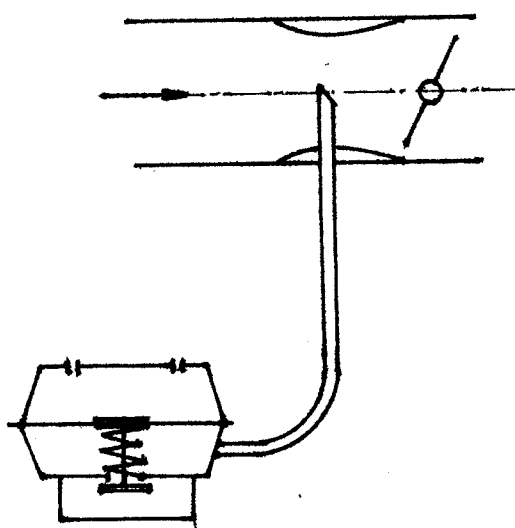
zy pro vzduch a plyn jsou seškrcceny ručně seřiditelnými klapkami 8 a 9 /6/.

Tento směšovač je vhodný pro použití propen-butanu i zemního plynu jako plynného paliva.

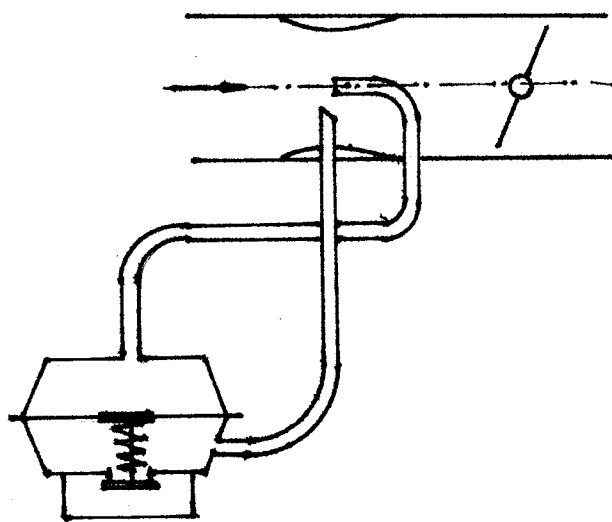
4.6. Regulátor tlaku plynu

Regulátor slouží k přizpůsobení tlaku plynu tlakovým poměrům ve směšovači. Na obr. 6 je schematicky znázorněno zapojení regulátoru bez snímání srovnávacího tlaku. Aby byl zajištěn konstantní směšovací poměr, musí být úbytek tlaku plynu v propojení regulátoru a směšovače roven úbytku celkového tlaku vzduchu při průchodu čističem vzduchu a sacím potrubím až ke směšovači.

Provedení podle obr. 7 používá jako srovnávacího tlaku celkového tlaku vzduchu v odměřovacím průřezu. Pro zajištění konstantního směšovacího poměru by měl být úbytek celkového tlaku plynu v potrubí od regulátoru minimální. Pro oba případy je výhodné seřídít regulátor tak, aby v plynovém prostoru za membránou byl za chodu motoru tlak nižší než porovnávací. Při zastavení motoru pak regulátor automaticky přeruší dodávku plynu.

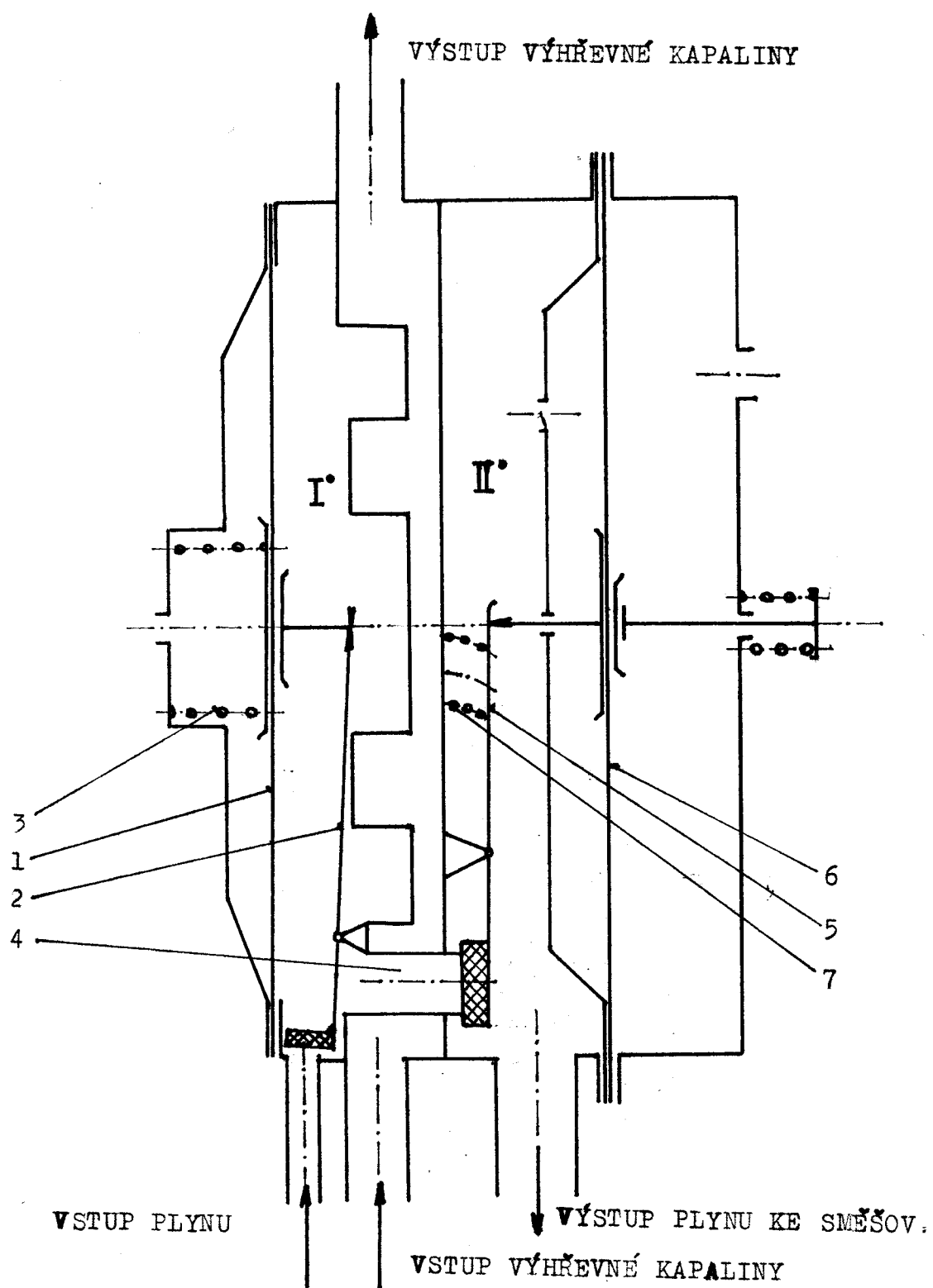


Obr. 6



Obr. 7

Obr. 8



Při použití propan-butanu, který je skladován v palivových nádržích v kapalném stavu, je nutné zařadit do palivové soustavy výměník tepla. U motoru ML 636 je možné pro propan-butan použít regulátor tlaku s odpařovačem od firmy IMPCO CARBURATION. Regulátor tlaku /obr. 8/ je dvojstupňový membránového typu. První stupeň snižuje přetlak kapalného plynu na hodnotu přibližně 0,05 MPa. Snižování tlaku je realizováno membránou 1, pružinou 3 a pákovým mechanismem 2. Vyhřívání prvního stupně zajišťuje nucený oběh chladicí kapaliny motoru. Vlivem poklesu tlaku a ohřevem dochází k úplnému odpaření kapalného propan-butanu, přiváděného z nádrže. Druhý stupeň obdobné konstrukce reguluje přetlak plynu z 0,05 MPa na hodnotu mírně zápornou /mírný podtlak/. To znamená, že za klidu motoru uzavírá páka 5 vstupní průřez do druhého stupně. Za chodu motoru vstupuje podtlak ze směšovače otvorem 4 pod membránu 6 a ta působí na páku 5 s pružinou 7. Vstupní průřez do druhého stupně se postupně otevírá.

Při přestavbě motoru ML 636 na zemní plyn je možné použít regulátoru tlaku plynu od italské firmy OMVL, který pracuje na obdobném principu jako již popsany regulátor IMPCO.

4.7. Palivové nádrže

Umístění palivových nádrží u autobusu MHD Karosa B 731 je možné do prostoru pod podlahou mezi přední nápravou a prostředními dveřmi. Schematicky je umístění palivových nádrží naznačeno na obr. 9.

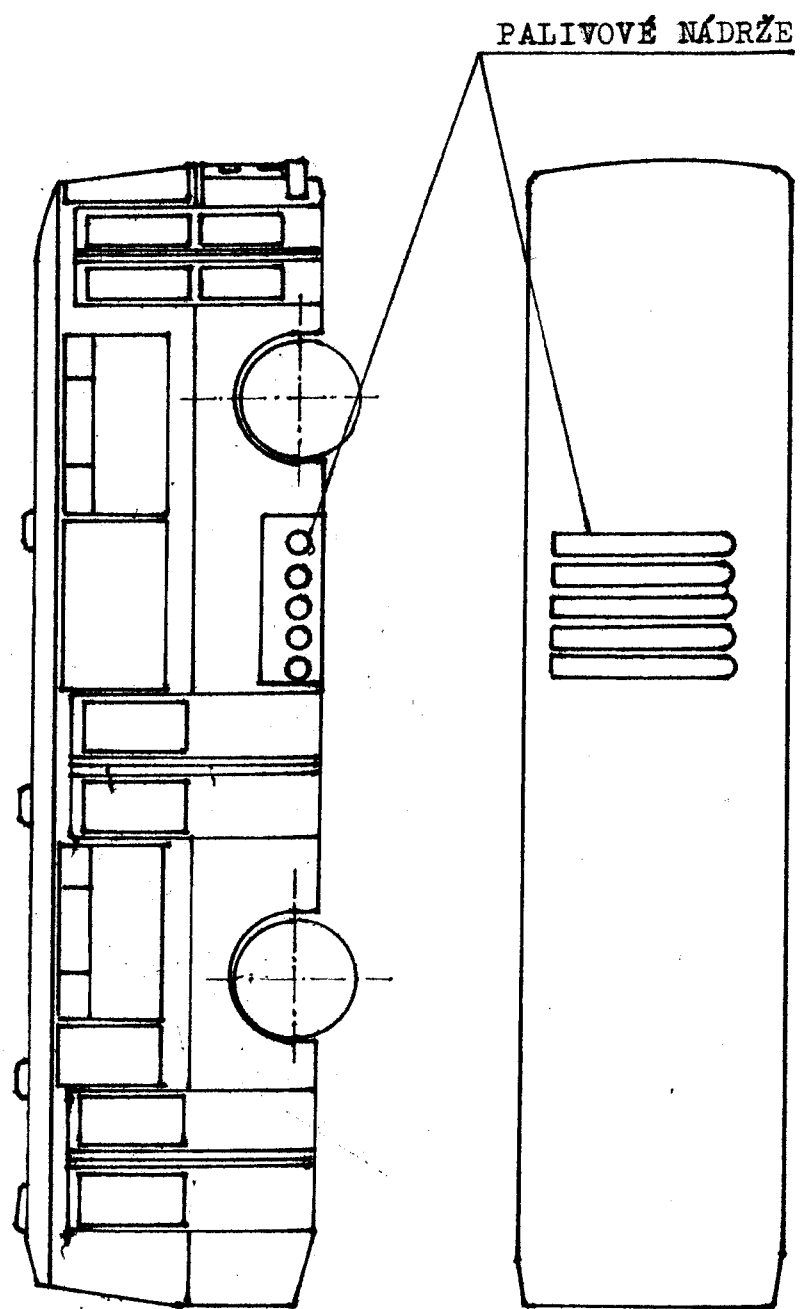
Nádrže, řešené jako tlakové nádoby, se budou od sebe lišit svou konstrukcí a velikostí v závislosti na druhu použitého plynného paliva. Odlišnost vyplývá především z rozdílnosti tlaku skladovaného plynného paliva. Pro zajištění potřebného dojezdu autobusu je potřeba použít u propan-butanu nádrže o celkovém objemu cca 500 dm^3 /6/. Při použití stlačeného zemního plynu činí potřebný objem palivových nádrží cca 430 dm^3 , což představuje zásobu cca 85 Nm^3 zemního plynu /7/. 2204

Prostor, ve kterém jsou umístěny palivové nádrže, musí být spolehlivě odvětrán, aby se zabránilo případnému hromadění plynu v uzavřeném prostoru. To lze zabezpečit vytvořením otvorů pro vstup a výstup větracího vzduchu v podlaze. Při jízdě pak dochází k ventilaci celého prostoru. Otvory, kterými prochází potrubí, táhla a elektrické vedení, musí být těsněny gumovými průchodkami, aby nedocházelo k pronikání plynu do prostoru cestujících.

Plnicí hrdlo palivové nádrže musí zajistit bezpečné a bezztrátové tankování plynného paliva. Plnicí hrdlo musí být vybaveno uzavíracím ventilem a uzavírací zátkou, která musí být zajištěna proti ztrátě, např. řetízkem pevně spojeným s konstrukcí. Plnění musí být kontrolovatelné manometrem umístěným na vozidle, který může sloužit zároveň jako ukazatel množství plynu v nádrži. Před vlastním plněním palivových nádrží je potřeba ještě uzemnit vozidlo uzemňovacím kabelem.

Palivové nádrže jako tlakové nádoby na hořlavý plyn musí odpovídat speciálním předpisům, zejména vyhláše Federálního ministerstva dopravy ze dne 21. prosince 1990 „O podmínkách provozu silničních

Obr. 9



motorových vozidel poháněných stlačeným plynem" a platným československým normám /ČSN 07 8304 a ČSN 07 8305/.

5.0 ZAPALOVACÍ SOUSTAVA

Při přestavbě motoru ML 636 na plynový zážehový je potřeba vybavit ho vhodnou zapalovací soustavou, která musí vzhledem k poměrně vysokým hodnotám kompresních tlaků dodávat napětí alespoň 22 kV. Energie jiskry by měla být větší než 0,9 mJ /8/. Zapalovací svíčky musí mít vysokou tepelnou hodnotu. Motor je nutné vybavit zařízením zabraňujícím překročení maximálních otáček motoru. Konstrukčně je nutné vyřešit náhon rozdělovače a úpravy hlav válců pro umístění zapalovacích svíček.

5.1. Svíčky, zapalovací cívka

Z konstrukčních důvodů, které byly popsány v kapitole 3.5., není vhodné použít běžné svíčky vyráběné v Československu se závěrem M14x1,25 /nutnost změny odlitku hlavy válců/. Je možné použít letecké svíčky PAL 22-62 se závitem M12x1,25 a s délkou závitu 13 mm. U těchto svíček však podle vyjádření výrobce není možné přesně určit jejich tepelnou hodnotu /3/. Jako vhodnější se jeví použití svíček z dovozu; např. svíček BOSCH X260 TL se závitem M12x1,25 s délkou závitu 12 mm,

BOSCH X4A nebo CHAMPION P7G.

Pro spolehlivé zapálení palivové směsi je potřebná dostatečná energie elektrické jiskry a její dostatečné napětí. Z těchto hledisek je nutná volba vhodné zapalovací cívky. Zapalovací cívka použitá pro plynový zážehový motor by měla mít zvýšený výkon oproti běžným zapalovacím cívkám, používaným u benzínových zážehových motorů.

5.2. Rozdělovač, regulace otáček

V současné době nejsou v Československu vyráběny automobilové šestiválcové zážehové motory, a proto se nevyrábí ani potřebná zapalovací souprava, především rozdělovač. Je tedy potřebné použít rozdělovače z dovozu, např. od firmy BOSCH.

Náhon rozdělovače může být proveden od stávajícího náhonu vstřikovacího čerpadla prostřednictvím převodové skříňky osazené šnekovým soukolím.

S použitím vhodné zapalovací soustavy souvisí i použití vhodné regulace otáček motoru, především omezení maximálních otáček motoru. Lze použít například tyto způsoby regulace:

- a/ ovládní od regulátoru vstřikovacího čerpadla
- b/ elektronická regulace.

ad a/ Při tomto řešení je škrtkící klapka směšovače ovládána prostřednictvím částečně demontovaného původního vstřikovacího čerpadla. Regulátor zasahuje při překročení maximálních otáček motoru. Škrtkící klapka je jednoduchým kloubovým mechanismem spojena s regulační tyčí čerpadla.

a) b/ Princip elektronického omezovače spočívá v přivření další škrtkové klapky umístěné v potrubí mezi směřovačem a motorem při překročení maximálních otáček motoru. Osa škrtkové klapky je pevně spojena s osou krokového motorku, který je ovládán elektronickým obvodem. Snímání otáček může být navrženo tak, že se pro řízení elektronického omezovače odebírají impulsy ze zapalování, jejichž frekvence je úměrná otáčkám motoru.

Elektronický omezovač otáček by měl plnit následující požadavky:

- počátek omezování dodávky paliva při otáčkách 2000 l/min. /motor ML 636/
- úplné uzavření přívodu paliva při otáčkách motoru 2200 l/min.
- uzavření přívodu paliva při klidovém stavu motoru
- uzavření přívodu paliva při přerušení dodávky elektrické energie do omezovače.

V praxi tyto požadavky znamenají pro činnost omezovače to, že v oblasti do otáček 2000 l/min. bude škrtková klapka omezovače v poloze odpovídající plnému průtoku plynu, v intervalu od 2000 do 2200 l/min. se bude přivírat, až při otáčkách 2200 l/min. a případně vyšších bude úplně zavírat přívod paliva ze směřovače do motoru. Aby mohly být splněny další dva požadavky, je nutno udržovat klapku v uzavřeném stavu pružinou. Důvodem pro toto opatření je skutečnost, že je-li krokový motorek bez proudu, je jeho rotor volně otočný. Při vedení proudu do omezovače při startování a během chodu motoru dojde k pootočení osy krokového motorku

a tím i klapky do polohy „otevřeno“. Krokový motorek přitom překonává tah pružiny, která při vypadnutí proudu do motorku vrací klapku do zavřeného stavu. Je-li napájecí napětí omezovače a krokového motorku odebíráno z týchž svorek jako je napájení zapalování, je splněn i požadavek uzavření přívodu paliva při klidovém stavu motoru, neboť dojde k přerušení dodávky elektrické energie do omezovače a škrtící klapka uzavře přívod paliva.

6.0 NÁVRH PLYNOFIKACE AUTOBUSŮ MHD V LIBERCÍ

Vedle ekologického přínosu, který by přinesla přestavba autobusů MHD v Liberci a který by se projevil ve snížení znečištění ovzduší především v centru města /velká koncentrace autobusů - autobusové nádraží MHD/, hovoří pro plynofikaci vozového parku MHD i skutečnost, že v Liberci je již vybudována kompresorová stanice pro plnění palivových nádrží vozidel používajících pro svůj pohon plynného paliva. Svou roli hraje i nezanedbatelná úspora motorové nafty.

Kompresorová stanice je vybudována v areálu čistírny odpadních vod podniku Severočeské vodovody a kanalizace. V současné době je v Liberci plynofikováno asi 30 vozidel, používajících ke svému pohonu stlačený bioplyn. Jedná se o vozidla patřící podniku Severočeské vodovody a kanalizace a jsou to tyto typy vozidel: Škoda 1203, ARO 240 a Avia 31.

6.1. Kompresorová stanice

V současné době je kompresorová stanice v Liberci využívána pouze z malé části, a to pro nedostatečný vývin bioplynu v čistírně odpadních vod, což souvisí s její rekonstrukcí a s výstavbou přípojky odpadních vod z Jablonce nad Nisou, a pro malé využití stlačeného bioplynu /malý počet plynofikovaných vozidel/. Z těchto důvodů je provoz kompresorové stanice omezen na jednosměnný provoz a je využíván pouze jeden kompresor stanice.

Kompresorová stanice je složena ze dvou kompresorů. Jedná se o pětistupňové kompresory se vzduchovým mezi-

chlazením švýcarské firmy SULZER BURCKHART, se zdvojeným prvním stupněm. Maximální výstupní tlak kompresoru je až 45 MPa. V současnosti pracuje kompresor s výstupním přetlakem 20 MPa.

Přetlaky jednotlivých stupňů kompresoru

1. stupeň	0,23 MPa
2. stupeň	0,9 MPa
3. stupeň	3,1 MPa
4. stupeň	7,5 MPa

Mezi druhým a třetím stupněm kompresoru je zařazena pračka CO_2 , která snižuje obsah CO_2 v bioplynu. Jeden kompresor je schopen stlačit $180 \text{ Nm}^3/\text{hod.}$ surového bioplynu, což po vyčištění představuje cca $150 \text{ Nm}^3/\text{hod.}$ To představuje stlačení $3\,600 \text{ Nm}^3$ bioplynu za 24 hodin při třísměnném provozu. Toto množství odpovídá předpokládanému množství vyvíjeného bioplynu v čistírně odpadních vod po plánovaném dokončení výstavby v roce 1994. O využití druhého kompresoru kompresorové stanice se uvažuje v souvislosti s plánovaným zavedením přípojky zemního plynu do Liberce v roce 1992. U stlačování zemního plynu odpadá praní CO_2 , z toho důvodu by stlačené objemové množství činilo $180 \text{ Nm}^3/\text{hod.}$, což představuje $4\,320 \text{ Nm}^3$ za 24 hodiny při třísměnném provozu. Při současném provozu obou kompresorů, z nichž jeden by stlačoval bioplyn a druhý zemní plyn, by tedy denní objemové množství stlačeného plynu bylo cca $8\,000 \text{ Nm}^3$.

Ke kompresorové stanici ještě patří dva tlakové zásobníky na stlačený plyn o tlaku 20 MPa s kapacitou

na 2 400 Nm³ /jeden 1 200 Nm³/ a dva plnicí stojany pro plnění vozidel stlačeným plynem.

6.2. Vozový park Dopravního podniku města Liberce

V současné době provozuje Dopravní podnik města Liberce 86 autobusů městské hromadné dopravy. Všechny autobusy MHD jsou umístěny v jedné lokalitě /Vilová ulice, Liberec 10/. Autobusy parkují na nekryté odstavné ploše. Toto umístění se jeví výhodné v souvislosti s umístěním kompresorové stanice /Norská ulice, Růžodol 1/, která je od parkovacích prostor autobusů MHD vzdálena cca 3,5 km.

Denní průměrný proběh jednoho autobusu je cca 150 km.

Spotřeby pohonných hmot a najeté kilometry:

- 1,7 mil. l pohonných hmot za rok
- 4,6 tis. l pohonných hmot za den
- 4,3 mil. km za rok
- 12,1 tis. km za den

Vzhledem k celkovému počtu autobusů, jejich dennímu proběhu, spotřebě pohonných hmot a ke skutečnosti, že 1 l spotřebované nafty přibližně odpovídá 1 Nm³ zemního plynu nebo bioplynu /l/, a vzhledem k dennímu výkonu kompresorové stanice, jeví se kompletní přestavba autobusů MHD v Liberci jako realizovatelná. Přispívá k tomu i výhodné položení kompresorové stanice.

Je však nutné zabezpečit plynulé plnění palivových nádrží autobusů, což si vyžádá vybudování dalších plnicích míst v areálu kompresorové stanice. Vyplývá

to z nutného objemu palivových nádrží, který je dán potřebným dojezdem autobusu. Při denním proběhu autobusu průměrně 150 km a s požadavkem určité rezervy by dojezd autobusu měl být cca 200 - 250 km. Tomuto odpovídá nádrž na cca 85 Nm³ zemního plynu nebo bioplynu /1 l nafty odpovídá 1 Nm³; letní spotřeba autobusu Karosa B 731 je 36,7/100 km a zimní 40,3 l/100 km nafty - normovaná/. Při tomto objemu bude doba plnění nádrží autobusu cca 30 minut. Dále bude nutno vybudovat v místě kompresorové stanice další zásobníky stlačeného plynu pro pokrytí požadavků na množství stlačeného plynu v době zvýšeného počtu plnění. Tyto zásobníky by byly plněny přebytkem stlačeného plynu plnění částečně v průběhu druhé a převážně v průběhu třetí směny, kdy by byl počet plnění omezen.

6.3. Ekonomické zhodnocení přestavby autobusů MHD na zemní plyn nebo bioplyn

Kromě zlepšení životního prostředí a úspor motorové nafty přináší použití stlačeného zemního plynu nebo bioplynu jako paliva pro autobusy MHD i úspory ekonomické. U ekonomického zhodnocení použití plynného paliva lze vyjít z nákladů na přestavbu vozidel, z ceny nafty, ceny zemního plynu a bioplynu, z nákladů na jejich stlačení a ze spotřeby pohonných hmot.

Náklady na přestavbu jednoho autobusu na pohon zemním plynem nebo bioplynem se v současné době odhadují na 177 - 182 tis. Kčs. Z této částky připadá:
80 tis. Kčs na komponenty palivové instalace z dovozu
/směšovač, regulátor tlaku,..../
45 - 50 tis. Kčs na provedení přestavby /mzdové náklady, výrobní náklady,..../

15 tis. Kčs na zapalovací soustavu

37 tis. Kčs na clo a dovozní přírážku

Náklady na komponenty z dovozu jsou vypočteny ze současného kurzu devizových prostředků /údaje z ČSAO Praha/.

Současné ceny zemního plynu a bioplynu a náklady na jejich stlačení:

a/ zemní plyn

cena surového plynu	3,35 Kčs/Nm ³
náklady na stlačení	6,50 Kčs/Nm ³
celkem	9,85 Kčs/Nm ³

b/ bioplyn

cena surového plynu	2,40 Kčs/Nm ³
náklady na stlačení a čištění	6,80 Kčs/Nm ³
celkem	9,20 Kčs/Nm ³

Při přestavbě všech autobusů MHD Dopravního podniku města Liberce na pohon plyným palivem vznikne roční úspora cca 1,7 mil. l motorové nafty, což při současné ceně jednoho litru motorové nafty 15 Kčs činí 25,5 mil. Kčs. Za předpokladu, že jednomu litru spotřebované motorové nafty odpovídá 1 m³ zemního plynu nebo bioplynu, za normálních podmínek a při stávajících cenách zemního plynu a bioplynu lze vypočíst náklady na pohonné hmoty, které tedy jsou 16,7 mil. Kčs při použití zemního plynu a 15,6 mil. Kčs při použití bioplynu. Roční úspora by tedy činila 8,8 mil. Kčs u zemního plynu a 9,9 mil. Kčs u bioplynu. Při celkovém počtu autobusů MHD v Liberci, který je 86 autobusů, by roční úspora činila 115 tis. Kčs při použití bioplynu a 102 tis. Kčs při použití zemního plynu. Návratnost nákladů na přestavbu autobusu pro pohon plyným palivem maximálně dva roky se jeví jako vysoce efektivní.

pro 1 autobus

V tomto rozboru nejsou zahrnuty investiční náklady na vybudování dalších plnicích míst a vybudování dalších zásobníků stlačeného plynu v areálu kompresorové stanice. Stanovení těchto nákladů by bylo značně složité a jejich rozbor by přesahoval rámec této práce. Pro stanovení nákladů se dále neuvažuje se zvýšením počtu vozidel v důsledku snížení celkové nosnosti o hmotnost tlakových nádob na plynné palivo. Tento předpoklad lze podepřít způsobem přestavby motoru /jednopalivový systém/, kdy od zvýšené hmotnosti vozidla o komponenty plynové instalace je nutno odečíst hmotnost výstroje /palivová nádrž, vstřikovací čerpadlo apod./ pro kapalné palivo. U autobusů MHD se předpokládá zvýšení o cca 350 kg, přičemž hmotnost plné nádrže na naftu činí 270 kg /l/. Absolutní rozdíl 80 kg reprezentuje 1 přepravovanou osobu, resp. 1 % z obsaditelnosti vozidla, což můžeme považovat za zanedbatelné.

6.4. Posouzení možnosti použití propan-butanu jako paliva pro autobusy MHD Dopravního podniku města Liberce

Jako další vhodné palivo pro pohon autobusů MHD v Liberci se jeví propan-butan. Jeho výhodou oproti zemnímu plynu a bioplynu je menší tlak při jeho skladování, což se projevuje v menších nárocích na kvalitu materiálu pro palivovou soustavu, především pro palivové nádrže. Zásobování propan-butanem v takovém množství, aby se pokryla spotřeba, která by vznikla přestavbou všech autobusů MHD, by se muselo řešit dovozem autocisternami z Chemických závodů v Záluží.

Současná cena propan-butanu je podle informací z Plynárny Satalice 7050 Kčs za jednu tunu. K této ceně je potřeba ještě přičíst náklady na dopravu propan-butanu ze Záluží, které se při použití autocisteren o nosnosti 15 tun k dopravě plynu, odhadují na cca 300 Kčs na jednu tunu. Měrná spotřeba /g/kWh/ vznětového motoru přestavěného na plynový zážehový motor za použití propan-butanu jako paliva se přibližně rovná měrné spotřebě motorové nafty původního vznětového motoru /3/. Lze tedy předpokládat, že roční spotřebu motorové nafty všech autobusů je možno nahradit stejným hmotnostním množstvím propan-butanu, které by činilo při měrné hmotnosti nafty $0,84 \text{ g/cm}^3$ cca 1 430 tun propan-butanu. Náklady na pohonné hmoty by při přestavbě všech autobusů a při započtení ceny propan-butanu a nákladů na dopravu představovaly částku 10,5 mil. Kčs. Roční úspora nákladů na pohonné hmoty by tedy činila /viz kap. 6.3./ 15 mil. Kčs. Na jeden autobus by potom připadala roční úspora ve výši 174 tis. Kčs. Návratnost investice na přestavbu autobusu pro pohon propan-butanem by byla přibližně jeden rok /lze předpokládat stejné náklady na přestavbu autobusu jako při použití zemního plynu nebo bioplynu/ a byla by kratší než při použití zemního plynu nebo bioplynu.

Je ovšem nutno počítat s poměrně vysokou investicí na výstavbu speciální čerpací stanice pro plnění nádrží autobusů propan-butanem a na výstavbu dostatečně velkého zásobníku paliva. S přihlédnutím i ke zhoršeným provozním podmínkám, které jsou podmíněny značným kolísáním složení propan-butanu, v závislosti na ročním období, jeví se zavedení propan-butanu jako paliva pro autobusy MHD v Liberci méně výhodné než použití zemního plynu a bioplynu.

7.0 ZÁVĚR

Ekonomické předpoklady pro plynofikaci autobusů Dopravního podniku města Liberce jsou i přes značné počáteční investice velmi dobré. Teprve provoz upravených vozidel by však předběžné ekonomické zhodnocení uvedené v této práci doplnil a upřesnil. Práce se nemohla podrobněji zabývat přesným stanovením investic, které by byly spojeny s nutností vybudovat některá zařízení, nutná pro zabezpečení provozu. Předběžně se zdá výhodnější použití zemního plynu nebo bioplynu jako plynného paliva než použití propan-butanu, a to především z důvodu existence plnicí kompresorové stanice v areálu čistírny odpadních vod v Liberci.

Vedle ekonomické výhodnosti a úspor motorové nafty hovoří pro přestavbu autobusů MHD v Liberci na plynné palivo její přínos k ozdravení ovzduší, především v centru města, kde dochází k velké koncentraci autobusů, znepříjemňujících svým provozem život obyvatel. Výfukové plyny plynových motorů méně zapáchají, působí méně dráždivě a neobsahují některé složky, které obsahují výfukové plyny naftových motorů.

Lze ovšem očekávat, v souvislosti se stále přísnějšími limity škodlivých emisí, že při provozu plynových motorů bude nutné využívat dalších způsobů snižování emisí výfukových plynů; např. spalování chudých palivových směsí a použití oxidačních katalyzátorů nebo spalování stechiometrických palivových směsí připravených směšovacími zařízeními řízenými sondou a použití trojcestných katalyzátorů, což si vyžadá další výzkum v této oblasti.

8.0 LITERATURA

- /1/ Tománek, J.: Převod dopravních prostředků na pohon zemním plynem v čs. národním hospodářství /studie/, Praha, Plynoprojekt, 1988.
- /2/ Laurin, J.: Studie o využití kalového plynu pro pohon spalovacích motorů /studie/. Liberec, Katedra strojů průmyslové dopravy VŠST, 1981.
- /3/ Laurin, J.: Zkoušky funkčních vzorků motorů ML 634 /Výzkumná zpráva/, Liberec, Katedra strojů průmyslové dopravy VŠST, 1980.
- /4/ Kolektiv: Motor ML 636 na alternativní pohon NAFTA nebo STLAČENÝ ZEMNÍ PLYN /závěrečná zpráva/, Praha, ČVUT, Fakulta strojní, ČSAO, 1988.
- /5/ Kliment, V.: Teoretický návrh turbodmychadla pro motor LIAZ ML 636.NG /Výzkumná zpráva/, Praha, Katedra automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel, ČVUT, 1988.
- /6/ Knežbl, Z.: Úprava městského autobusu KAROSA pro zástavbu motoru na propan-butan /diplomová práce/, Liberec 1978, VŠST, Fakulta strojní.
- /7/ Svoboda, Z.: Přestavba autobusu KAROSA na pohon zemním plynem. In: Zborník přednášek z Dní nové techniky. Bratislava 1987.
- /8/ Kolektiv: Využití zemního plynu pro přeplňované motory LIAZ /studie/, Liberec, Katedra strojů průmyslové dopravy, VŠST 1986.

- /9/ Skolický, P.: Hygienické nebezpečí výfukových plynů automobilů a možnosti jeho snížení, Avicentrum, Praha 1973.
- /10/ Vyhláška federálního ministerstva dopravy ze dne 21. prosince 1990 o podmínkách provozu silničních motorových vozidel poháněných stlačeným plynem.