TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

LUBOMÍR MOC

K problematice rekonstrukce a výfukových emisí vznětových motorů přestavovaných na plynové zážehové

(Soubor prací s komentářem předkládaný jako habilitační práce podle § 2 odst. 3., písm.b vyhlášky 447/90 Sb. MŠMT ČR)

UNIVERZITNÍ KNIHOVNA
TECHNICKÉ UNIVERZITY V LIBERCI
3146071347

Liberec, červen 1998

SOUHRN

U 322

MOC, L. : FOR PROBLEMS OF RECONSTRUCTION AND EXHAUST EMISSIONS OF DIESEL ENGINES REBUILT ON GAS ONES

/ xx / - *citace literárních údajů použitých v habilitační práci jsou uváděny souhrnně v kapitole 7.0 v členění dle jednotlivých kapitol*

P xx - *citace ze souboru publikovaných prací autora, jejichž text je (vždy se stručným úvodem a obsahem) v příloze*

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Univerzitní knihovna
Voroněžská 1329, Liberec 1
PSČ 461 17

V 322 (

SOUHRN

Tento soubor publikovaných prací s komentářem zahrnuje ty z mých publikovaných prací, které jsou zaměřeny na problematiku škodlivých emisí ve výfukových plynech pístových spalovacích motorů.

Jde obecně o naftové motory, převážně pro vozidlový provoz, které byly rekonstruovány pro použití alternativních kapalných a plynných paliv.

Uvádí se koncepční řešení vozidlových motorů AVIA pro provoz na směs propan-butanu a na zemní plyn. Součástí jsou experimentální výsledky realizovaných prototypů motorů, u kterých bylo dosaženo plnění limitů škodlivin dle předpisu EHK 49.

Poslední část souboru tvoří práce zabývající se způsobem statistického vyhodcování a analýzy naměřených souborů objemových koncentrací škodlivých emisí. K této části se uvádí některé výsledky z měření a vyhodnocení emisí motoru Zetor.

Práce je podkladem k jednání při obhajobě při habilitačním řízení.

Poznámka: vysvětlivky k bibliografickým citacím

/ xx / - *citace literárních údajů použitých v habilitační práci jsou uváděny souhrnně v kapitole 7.0 v členění dle jednotlivých kapitol*

P xx - *citace ze souboru publikovaných prací autora, jejichž text je (vždy se stručným úvodem a obsahem) v příloze*

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Univerzitní knihovna
Voroněžská 1329, Liberec 1
PSČ 461 17

OBSAH

1.0	**Úvod**	5
2.0	**Alternativní paliva pro vznětové motory**	8
	2.1 Obecné požadavky na použití alternativních paliv	8
	2.2 Estery mastných kyselin řepkového oleje	9
	2.3 Alkoholová paliva	11
	2.4 Plynná paliva	13
3.0	**Spalovací proces v motorech na plynná paliva**	15
4.0	**Škodlivé emise pístových spalovacích motorů**	18
	4.1 Mechanismus tvorby škodlivých emisí	18
	4.2 Způsoby snížení emisí	22
	4.3 Limity emisí plynných škodlivin	25
5.0	**Rekonstrukce naftového motoru AVIA na plynový zážehový motor**	29
6.0	**Metody statistického vyhodnocování emisí**	32
	6.1 Obecné hodnocení podmínek měření	32
	6.2 Výpočet nejistoty měření emisí spalovacích motorů	34
	6.3 Posouzení časového vývoje objemové koncentrace složek emisí	36
	6.4 Popis měřicí ústředny	37
	6.5 Metody statistické analýzy souborů měření emisí	48
7.0	**Souhrnný přehled literatury**	54

Přílohy: Soubor publikovaných prací P1 až P9

Seznam souboru publikovaných prací

" K problematice rekonstrukce a výfukových emisí vznětových motorů přestavovaných na plynové zážehové"

P 1 Provoz vznětového motoru na dvojí palivo SM 140/75

P 2 Provoz vznětového motoru na dvojí palivo II . SM 150/76

P 3 Provoz vznětového motoru na dvojí palivo III. SM 154/76

P 4 Využití etanolu jako paliva pro motor M 2.4R. SM 233/87

P 5 Alternativní paliva pro vznětové motory v ČSFR

P 6 Škodlivé emise naftového motoru provozovaného na vzorky paliv. SM 278/92

P 7 Zpracování výsledků měření plynných emisí ve výfukových plynech spalovacího motoru. (studijní metodická pomůcka SM 337/97).

P 8 Výzkum a vývoj motorů AVIA na zemní plyn. SM 333/97

P 9 Vývoj motoru AVIA 712 na pohon propan-butanem. SM 276/92

Seznam použitých symbolů, značek, veličin a jednotek

značka	veličina	jednotka
a_o	parametr regresní přímky	
a_1	parametr regresní přímky	
CNG	stlačený zemní plyn	
CH	emise oxidů uhlovodíků přepočtená na na jednouhlíkovou molekulu	ppm, %, g/kWh, g/m^3
CO	emise oxidu uhelnatého	ppm, %, g/kWh, g/m^3
$F_{k1,k2}$	Fischerova náhodná veličina	
$F_{\alpha\ k1,k2}$	α kvantil Fischerovy náhodné veličiny	
K	kouřivost motoru	%
LPG	kapalné plynné palivo	
m	obsah vody ve vzduchu	g/kg
m_{pe}	měrná spotřeba paliva	g/kWh
n	otáčky motoru	1/min
NG	zemní plyn	
NO_x	emise oxidů dusíku	ppm, g/kWh, g/m^3
NHC	emise nemetanových uhlovodíků	ppm, g/kWh, g/m^3
O_2	obsah kyslíku ve výfukových plynech	%
p	náhrada nafty alternativním palivem	%
P_e	efektivní výkon motoru	kW
PB	směs propan-butanu	
$r_{x,jk}$, $r_{y,J}$	korelační koeficient	
s^2_M	rozptyl hodnoty měřené koncentrace	ppm^2
s^2_{Pe}	rozptyl hodnoty měřeného výkonu	(kW)^2
s^2_{Air}	rozptyl hodnoty objemového průtoku vzduchu	(m^3/h)^2
s^2_{Fuel}	rozptyl hodnoty objemového průtoku paliva	(m^3/h)^2
s^2_r	rozptyl koncentrace referenčního plynu	(ppm)^2
s^2_K	rozptyl hodnoty kalibrace	(ppm)^2
s^2_{xi}	rozptyl hodnoty veličiny x_i	
s^2_y	rozptyl hodnoty výstupní veličiny	
s_{vi}	střední směrodatná odchylka souboru naměřených hodnot	
$s_{x,ik}$	kovariance	
T_x	adiabatická teplota plamene	K
t	čas	s
t_i	časové okamžiky měření	s
t_{sm}	teplota směsi	^{o}C
THC	součet emisí uhlovodíků	ppm, g/kWh, g/m^3
Q_1, Q_2, Q_{res} Q_{celk}	součty čtverců odchylek	

u	nejistota měření
v_{ij}	naměřené hodnoty
x_i	odhad skutečné hodnoty veličiny X_i
X_i	vstupní veličina
y_{ij}	náhodná proměnná
Y	regresní přímka , výstupní veličina

ε	kompresní poměr
λ	součinitel přebytku vzduchu
λ_{O2}	součinitel přebytku vzduchu stanovený z obsahu O_2 ve výfukových plynech
χ_k	náhodná veličina chí^2

1.0 ÚVOD

Vzhledem k současnému hodnocení posledního období, kdy se v našem státě provoz motorových vozidel stal jedním z hlavních zdrojů znečišťování ovzduší, je jednou z možností částečně snížit emisní zatížení ovzduší použití alternativních paliv v provozu spalovacích motorů. Výrazné snížení výfukových emisí, zejména pro území s vysokou zátěží, lze dosáhnout použitím plynných paliv. Plynná paliva, především pak u motorů vznětových, patří proto k perspektivním palivům a to také pro jejich snadnou dostupnost a relativně nízkou cenu.

Motory na plynná paliva se zpravidla nevyrábějí jako motory speciální konstrukce, ale obvykle se vychází se seriově vyráběných naftových nebo benzinových motorů. Oba typy motorů však s ohledem na odlišný průběh spalování plynných paliv, ve srovnání s původním palivem, vyžadují některé konstrukční úpravy (např. změnu spalovacího prostoru, sacího traktu aj.). Především pak odlišný způsob tvorby plynové palivové směsi vyžaduje použití jiného palivového příslušenství.

Snížení emisního zatížení ovzduší lze při vhodném seřízení dosáhnou i jinými alternativními palivy, jako jsou alkoholová paliva (etanol , metanol) a paliva na bázi rostlinných olejů či jejich metylesterů, v našich podmínkách metylester řepkového oleje. Tato kapalná paliva mohou být používána jako směsi různých složek. Rekonstrukce motorů při aplikaci těchto paliv bývá zpravidla méně náročná (např. jiné seřízení původního palivového příslušenství motoru).

Výzkumu spalovacího procesu čtyřdobých plynových motorů, konstrukci plynových motorů a vývoji příslušenství je již řadu let věnována pozornost na katedře strojů průmyslové dopravy Technické univerzity v Liberci. Výsledky těchto prací jsou obsaženy v publikacích, ověřené výsledky na prototypech plynových motorů byly předány v řadě případů k praktickému využití výrobcům a uživatelům. Rovněž v rámci činnosti Státní zkušebny č. 232 (AO 232) provádí pracoviště autorizovaná měření emisí stacionárních zdrojů znečišťování i měření motorů v mobilních zástavbách.

V předkládaném souboru publikovaných prací jsou uvedeny příspěvky k problematice používání alternativních paliv u vznětových motorů, se zaměřením na popis jejich škodlivých

emisí, plnění předepsaných limitů a je navržen způsob vyjadřování složek škodlivých plynných emisí ve výfukových plynech s využitím statistických metod..

Prvé vlastní práce k této problematice se uskutečnily a byly publikovány již v roce 1975. Uváděná řešení pojednávají o realizacích dvoupalivového provedení vznětového motoru při provozu na směs nafta-propan,butan (LPG) event. nafta-etylalkohol.

Projekt a technické realizace prototypů přestavby dvou provedení motorů AVIA na provoz se stlačeným zemním plynem (NG) , na kterých se autor podílel jako spoluřešitel, jsou z období 1996-97. V současné době se řešení ověřuje v provozních podmínkách u zadavatele úkolu (Slovenský plynárenský priemysl š.p. Bratislava). Realizovaný projekt zaručuje plnění stávajících limitů dle předpisu EHK 49 R.02 a to až do výhledu nově předpokládaných limitů v roce 2010. Navržené prototypy motorů byly úspěšně dle předpisu EHK homologovány.

V předloženém souboru prací se dále uvádějí poznatky z variantního řešení přestavby stejných typů motorů AVIA při použití směsi propan-butanu (LPG).

Podstatnou součástí habilitační práce, která je koncipována jako komentář a výklad, je soubor devíti publikovaných prací autora, které jsou v příloženy. Soubor je tematicky zaměřen na:

- vlastnosti plynných a kapalných alternativních paliv,
- výzkum provozních vlastností motorů při použití alternativních paliv, zejména na úroveň škodlivých emisí,
- rekonstrukci naftového motoru AVIA pro provoz na stlačený zemní plyn (CNG),
- rekonstrukci naftového motoru AVIA pro provoz na směs propan-butan (LPG),
- postup při statistickém vyhodnocování emisí.

2.0 Alternativní paliva pro vznětové motory

2.1 Obecné požadavky na použití alternativních paliv

Úroveň škodlivých emisí ve výfukových plynech spalovacího motoru je, kromě technického řešení motoru, zvoleného způsobu spalování, úrovně příslušenství motoru, určována také vlastnostmi použitého paliva. Vedle ropného produktu, který bude ještě dlouhou dobu převládajícím palivem, se hledají i jiná vhodná alternativní paliva. Snahy o využití těchto paliv vychází z pohledů ekonomických, ekologických a z hledání perspektivního paliva , jako náhrady za naftu po vyčerpání ropných zdrojů.

Za alternativní paliva, která připadají v úvahu pro současné naftové motory, včetně paliv, která vyžadují významnější rekonstrukci původního vznětového motoru na zážehový, lze považovat následující:

a) plynná paliva - metanová paliva (zemní plyn a upravený kalový či skládkový plyn),
- tekuté rafinované plyny (propan, butan a jejich směsi),

b) kapalná paliva - alkoholová (etanol a metanol),
- metylester řepkového oleje,
- směsi s původním naftovým palivem.

Zvýšený zájem o použití alternativních paliv lze zjistit počátkem 70 let. Řešení z tohoto období je charakterizováno požadavkem minimálních konstručních úprav vznětového motoru se zachováním možnosti provozování motoru na naftu, jednalo se o dvojpalivové řešení např. nafta-propan,butan /17/. V současné době prováděné rekonstrukce vznětových motorů vychází z požadavků maximálního využití výhodných podmínek při spalování plynných paliv a vznětové motory jsou rekonstruovány na motory zážehové. Rozhodujícím kriteriem pro použití alternativního paliva jsou ekologické parametry motoru. Tento nový přístup však vyžaduje doplnění příslušenství motorů např. katalyzátory, systémy elektronického řízení tvorby palivové směsi a její stability v provozních podmínkách. Z uvedeného hlediska jsou vysoké nároky na používaná zařízení pro motory pro mobilní použití /1, 2, 3, 4/ , u motorů stacionárních (kogenerační jednotky) je řešení částečně snazší s ohledem na režim konstantních otáček motoru.

Varianty technického řešení vznětových motorů při provozu na alternativní palivo z hlediska splnění limitů škodlivých emisí udává pro nejčastější paliva tab. 1.

Problematice použití zejména plynných paliv je na TU věnována pozornost již řadu let. Vlastní práce uváděné v příloze jsou zaměřeny na použití propan,butanu v dvoupalivovém uspořádání motoru -náhrada do 30% nafty /17/ , použití etanolu /12, 13, 14, 15,18/ a výzkum kapalných paliv na bázi metylesteru řepkového oleje a směsí / 19, 20, 21, 22, 23/ jsou z předcházejícího období. Současná výzkumná činnost zaměřená na využití zemního plynu a propan butanu pro pohon rekonstruovaných zážehových motorů AVIA se uvádí v kap. 5.0 a dále v / 25, 26, 27, 28/.

Tab. 1 Přehled variant řešení vznětového motoru pro alternativní paliva

	nafta	metanol	metylester řepkového oleje	zemní plyn bioplyn	tekuté rafinované plyny *(propan-butan)*
pracovní způsob motoru	vznětový přeplňovaný mezichladič	zážehový	vznětový	zážehový přeplňovaný	zážehový přeplňovaný
Zařízení k dávkování paliva	vstřikovací jednotka	vstřikovací čerpadlo	vstřikovací čerpadlo	směšovač event.řízený lambda sondou	směšovač event. řízený lambda sondou
Redukce škodlivin	-	Oxidační katalyzátor	-	oxidační nebo třísložkový katalyzátor	oxidační nebo třísložkový katalyzátor
Stav paliva	kapalina	kapalina	kapalina	plyn tlak 20 MPa	kapalina tlak 1,8 MPa
Dolní vyhřevnost $MJ.kg^{-1}$	41,8	15,6	37,0	47,7	46,0

2.2 Estery mastných kyselin řepkového oleje

Zdrojem paliva je v našich podmínkách ozimá řepka. Vlastnosti rafinovaného řepkového oleje jsou uvedeny v tab. 2. Nevýhodou základní suroviny při přímém použití ve spalovacím motoru, je vysoká vizkozita při nižších teplotách, která nedovoluje použití v naftovém motoru s přímým vstřikem paliva. Kromě vysoké vizkozity vznikají při spalování řepkového oleje ve spalovacím prostoru značné úsady karbonu a klesá startovatelnost motoru / 9, 30/.

Za vhodné palivo pro naftový motor s přímým vstřikem se považuje řepkový olej upravený esterifikací na metylester nebo metylester nasycených mastných kyselin řepkového oleje.
Z hlediska omezení škodlivých emisí ve výfukových plynech má velký význam kyslík obsažený v esterech, neboť zlepšuje průběh oxidačních reakcí při přípravě směsi a spalování, což vede ve srovnání s naftou k výrazně nižší tvorbě pevných částic (výrazně nižší stupeň kouření vznětového motoru). Nižší tvorbu částic podporuje rovněž velmi nízký obsah síry v metylesteru. Výrazně se zkracuje průtah vznícení proti průtahu vznícení při spalování motorové nafty.

Údaje z hodnocení tvorby plynných škodlivin z literatury formulují rozdílné údaje o změnách v hodnocení jednotlivých složek emisí, což je způsobeno jednak vlastnostmi použitého metylesteru, v závislosti na původu a složení rostlinného oleje, tak i podmínkami spalování v konkrétním typu motoru. Z hlediska rekonstrukce původního naftového motoru přechod na použití metylesteru řepkového oleje nevyžaduje žádnou konstrukční úpravu ani

je pouze nutné, s ohledem na nižší výhřevnost náhradního paliva, zvýšení velikosti vstřikované dávky paliva.

Tab.2 Porovnání základních vlastností paliv

parametr	motorová nafta	řepkový olej	metylester řepkového oleje
Hustota [kg/m^3]	800-860	910-940	870-880
Vizkozita [mm/s^{-1}] při 20°C	2,5-6,0	65-100	6,3-8,1
Výhřevnost [MJ/kg]	41,8	37,4	37,1-40,7
Bod tuhnutí °C	-4 až -22	0 až -18	-7
Hmotnostní [%] podíl C	87	77,5	77,5
Hmotnostní [%] podíl H_2	13	12,1	12,1
Hmotnostní [%] podíl O_2	0	10,4	10,4
Hmotnostní [%] podíl S	0,15	0,002	0,002
Cetanové číslo [1]	min 45	35-50	53-55

Pro ověřování vlastností metylesteru vyráběného v tuzemsku byl použit čtyřdobý, vzduchem chlazený řadový čtyřválec, s přímým vstřikem paliva SLAVIA 4S90A o základních parametrech: vrtání/zdvih 90/90 mm, kompresní poměr 17,3:1 , jmenovité otáčky 3000 min^{-1}, jmenovitý výkon 30 kW. Výsledky viz příloha P6 a další vlastní výsledky /19, 20, 21, 22, 23/, kde jsou uvedeny ověřování i směsí různých kapalných paliv, či v lit. /9, 30/.

Významný přínos v použití uvedeného typu alternativního paliva je ve snížení kouřivosti motoru ovšem za cenu částečného zvýšení obsahu NO_x. Z hlediska provozní využití nachází uplatnění i řešení pouze s částečnou náhradou nafty metylesterem ve směsi paliv. Porovnání velikosti emisí pro dva typy metylesteru a nafty na zkušebním motoru jsou v tab. 3.

Tab.3 Porovnání emisí dle EHK 49 a stupně kouření*(palivo: nafta, metylester)*

Palivo	složka emise			stupeň kouření v rozmezí otáček 1700-3000 [min^{-1}]
	CO	CH	NO	
	[g/kWh]	[g/kWh]	[g/kWh]	[%]
nafta	4,1	1,0	13,5	33 - 40
metylester I	4,7	0,5	14,2	21 - 26
metylester II	4,6	0,6	15,2	17 - 22

2.3 Alkoholová paliva

Pro spalování alkoholových paliv (etanol, metanol,směsi s dalším palivem) lze použít různá konstrukční uspořádání palivové soustavy motoru. Jedná se o následující varianty:
- jednopalivový provoz vznětového motoru na alkoholové palivo se zlepšenou vznětlivostí pomocí přísad /31/,
- dvoupalivový provoz nafta-etanol s oddělenými vysokotlakými vstřikovacími systémy (směs je vytvářena ve válci motoru) /5, 6, 8/,
- dvoupalivový provoz se směsí vzduch-alkohol a se zapalovací dávkou nafty (směs je částečně vytvářena v průběhu sacího zdvihu vstřikováním nebo karburací) /7, 33/,
- dvoupalivový provoz s jedním vstřikovacím systémem na směs nafta-alkohol. /11/.

Nejjednodušší použití alkoholu z hlediska konstrukce vznětového motoru je řešení s úpravou cetanového čísla alkoholů přísadami. Nutnou úpravou motoru pro zachování původní velikosti výkonu při použití alkoholu je pouze úprava velikosti vstřikované dávky paliva na cykl, což je dáno nižší výhřevností alkoholů. Používané přísady (např. MTBE, AVOCET) již obsahují mazací přísady a nejsou nutné úpravy původní vstřikovací soustavy.

Výhodou provozu na alkoholová paliva je výrazné snížení emise pevných částic. V literatuře uváděná hodnocení o změnách úrovně emisí lze stručně shrnout takto:
(pro motor bez katalyzátoru , ve vztahu k původně naftovému provozu)
- oxid uhelnatý — zvýšení až o 65% ,
- nespálené uhlovodíky — výrazné zvýšení o 140 až 200%, zejména při nižším tepelném zatížení motoru,
- oxidy dusíku — pokles o 10 až 90 %.

Mezi problematické vlastnosti alkoholů patří především:
- nízké cetanové číslo,
- nízká výhřevnost,
- malá mazací schopnost
- agresivita metylalkoholu vůči pryži, hliníku a jeho slitinám,
- toxicita metylalkoholu.

Tab. 4 Porovnání základních vlastností paliv

parametr	motorová nafta	metylalkohol	etylalkohol
Hustota $[kg/m^3]$	800-860	793	795
Výhřevnost $[MJ/kg]$	41,8	19,7	26,8
Bod varu ^{o} C	-	65	78
Hmotnostní [%] podíl C	87	37,5	52,2
Hmotnostní [%] podíl H	13	12,5	13,1
Hmotnostní [%] podíl O	0	50	34,7
Cetanové číslo [1]	min 45	5	8

Vlastní vývojové a výzkumné práce k posouzení vhodnosti použití těchto alternativních paliv byly uskutečněny v rámci programu výzkumu paliv / 19, 21/ a dále při návrzích uspořádání pro motory LIAZ řady M1 (M634) a M2 (M 2.4 R) viz příloha P4, P5 a výsledky byly rovněž publikovány / 12, 13, 14, 15/.

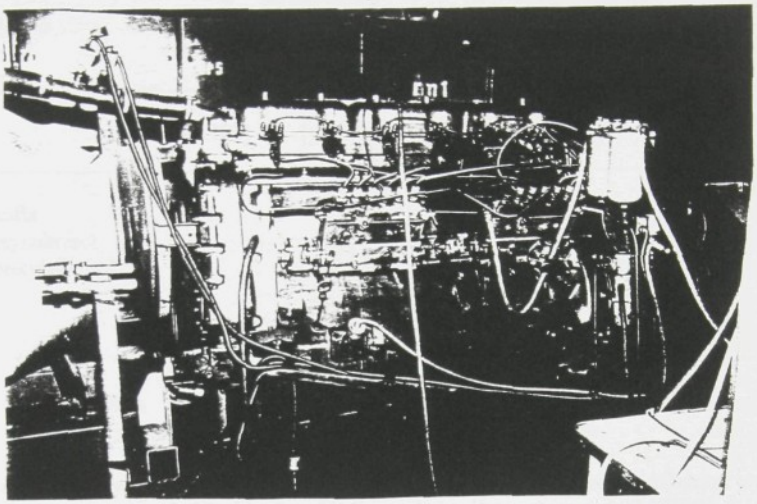
Pro motor M 634 byly navrženy dvě varianty uspořádání a to:
- vysokotlaké vstřikování směsi etanolu a nafty do spalovacího prostoru jedním společným vstřikovačem, s oddělenými vstřikovacími čerpadly,
- spalování směsi vzduch-etanol vytvářené karburátorem ve střední části sacího potrubí motoru se zapalováním směsi sníženou dávkou nafty dodávanou původní vstřikovací soustavou motoru. Výsledky uvádí příloha / P5/ event. /32/.

Uspořádání varianty s vysokotlakým vstřikováním etanolu, při náhradě až 40 % původní dávky nafty je na obr. 1 a obr.2 jsou průběhy parametrů pro otáčky motoru n=1000 a 1500 min^{-1} a střední zatížení motoru.

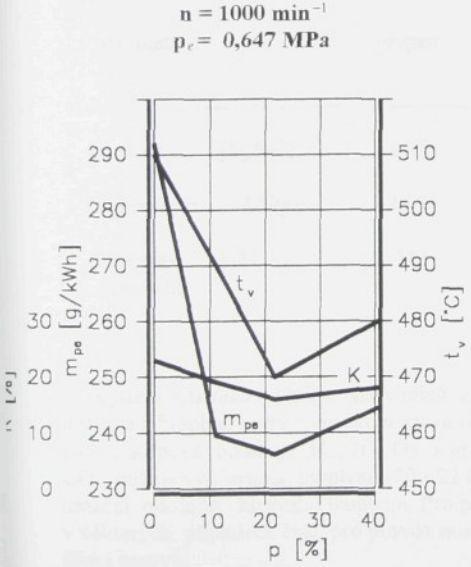
Pro motor M 2.4 R byly ověřovány rovněž dva způsoby spalování etanolu zaměřené na posouzení vlivu na pracovní oběh motoru (vnitřní chlazení přeplňovaného motoru). Výsledky jsou uvedeny v příloze P4 .

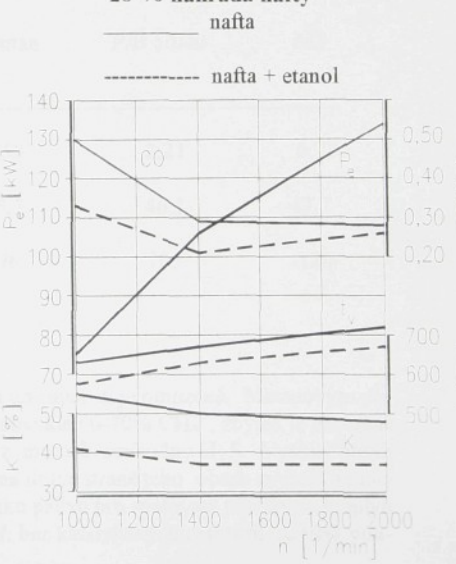
Porovnání emisí výfukových plynů pro variantu použití alkoholu s upravenou vznětlivostí přísadou AVOCET v testu EHK 49 na zkušebním motoru 4S90A je v tab. 5.

Obr. 1 Upravený motor M 634 pro provoz na současný vstřik nafty a etanolu



Obr. 2 Parametry motoru M 634





Tab.5 Porovnání emisí dle EHK 49 a stupně kouření*(palivo: nafta, alkohol)*

Palivo	složka emise			stupeň kouření v rozmezí otáček
	CO	CH	NO	1700-3000
	[g/kWh]	[g/kWh]	[g/kWh]	[%]
nafta	4,1	1,0	13,5	33 - 40
etylalkohol	3,4	2,6	12,1	1 - 3
metylalkohol	3,2	2,7	9,9	1 - 4

2.4 Plynná paliva

Jako alternativní plynná paliva pro použití ve vznětových motorech přichází v úvahu:
- metanová paliva (zemní plyn, bioplyn-skládkový, kalový) označovaná NG (CNG),
- tekuté rafinované plyny (propan, butan a vyšší uhlovodíky či jejich směsi) označované LPG.

Tab. 6 Porovnání základních vlastností paliv

parametr		propan	n-butan	P/B 60/40	NG
Hustota	[kg/m^3]	1,96	2,59	2,21	0,73
Výhřevnost	[MJ/kg]	46,3	45,7	46,1	47,7
Oktanové číslo VM	[1]	111	96	105	120

Využití ostatních vyšších uhlovodíků z hlediska dostupnosti je omezené. Metanovým palivem je i bioplyn, který v surovém stavu obsahuje obvykle 60-70% CH_4 , zbytek je převážně CO_2 . Stopově obsahuje H_2, N_2, O_2 a pro provoz motorů nevhodný H_2S. Vysoký obsah CO_2 snižuje výhřevnost bioplynu (20 - 22 MJ/kg), na druhé straně jeho obsah zvyšuje antidetonační odolnost surového bioplynu. Pro použití jako palivo pro spalovací motory se bioplyn v některých případech čistí, pro provoz motorů např. bez katalytických reaktorů se však používá i surový.

Přestavbu vznětového motoru na provoz s plynným palivem je možné provést odlišnými způsoby přípravy a zapálení směsi a to jako:

a) plynový vznětový motor, nasávaná směs plynného paliva je vzduchem je zapalována vstřikováním malého množství paliva (8-12 % původní jmenovité dávky),
b) plynový motor se zvětšenou dávkou kapalného paliva, kdy plynné palivo v oblastech vyšších zatížení nahrazuje cca 50 % původní dávky,
c) vznětový motor se vstřikováním zkapalněného plynu,
d) plynový motor zážehový .

Rekonstrukce vznětového motoru dle a), b), c) zpravidla nevyžaduje změny kompresního poměru a spalovacího prostoru motoru a spočívá v doplnění plynového palivového příslušenství, nedosahuje se s ní dostatečného využití výhodných vlastností plynných paliv z hlediska emisí motoru. V současné době, jak dokazují i zkušenosti našeho pracoviště / 1/, /2/, /3/, /4/, /24/, /25/ se rekonstrukce vznětového motoru na plynový provádí jako motor zážehový. Podrobněji o tomto způsobu rekonstrukcí, kdy lze motor provozovat v režimech spalování stechiometrické směsi, či s přebytkem vzduchu $\lambda > 1,0$ (chudá směs) je pojednáno v kap. 5.0. Podmínky pro provozování motoru dle bodu b) pro spalování směsi propan-butanu jsou v příloze P1, P2 , P3. Experimentálně byla varianta plynového vznětového motoru ověřována na jednoválcovém motoru 120/130 a na plnorozměrovém motoru Liaz M 634. Uváděné výsledky z hlediska poznatků o škodlivých emisích, vzhledem k tehdy dostupnému vybavení pracoviště, jsou pouze informativní (neobsahují údaje o obsahu NO_x, HC).

3.0 Spalovací proces v motorech na plynná paliva

Spalování plynných uhlovodíkových paliv lze obecně charakterizovat následujícím procesem. Vlivem vysoké teploty a hustoty vzduchu ve válci motoru se molekuly paliva, které jsou ve styku s kyslíkem, mění na peroxidy, tj. dostávají přesycenou kyslíkovou vazbu. Tento proces je možno vyjádřit vztahem

$$C_xH_y + O_2 \rightarrow ROOH.$$

Peroxidy jsou stabilní pouze v úzkém rozsahu teplot a hustoty vzduchové náplně válce. Mimo tyto meze se peroxidy rozpadají a jejich rozpad může probíhat podle dvou rozdílných postupů. Určujícím faktorem rozpadu je místní koncentrace paliva ve vzduchu /1/ :

a) nízká místní koncentrace paliva- při rozpadu vznikají aktivované částice dle postupu

$$ROOH \rightarrow RO^o + O^oH$$

b) zvýšená místní koncentrace paliva v oblastech předoxidačních reakcí - rozpad peroxidů s vytvářením relativně neaktivních aldehydů, ketonů a olefinů dle postupu

$$ROOH \rightarrow (R^o - CHO) + (R^o - CO - R^o) + (R^o - CH - CH - R^o).$$

Po iniciaci spalovacího procesu následují reakce jednotlivých složek paliva a vzduchu, probíhající s jednoduchými nebo rozvětvenými řetězci chemických změn až do konečných produktů hoření. Z míst vzniku plamene se oxidační proces šíří působením tepelných i chemických stránek jevu, přičemž vznikají další aktivované částice , které pronikají do nespálené směsi. Celý oxidační proces probíhá formou jednoduchých elementárních reakcí s charakteristickým rozvětvením a vazbou na jednotlivé pochody. Oxidaci vodíku lze popsat chemickými reakcemi:

1. $H_2 \rightarrow 2H^o$
2. $H^o + O_2 \rightarrow OH + O^o$
3. $O^o + H_2 \rightarrow OH + H^o$
4. $OH + H_2 \rightarrow H_2O + H^o$

Výsledek reakcí je molekula konečného produktu tj. H_2O a tři aktivované částice, které prodlužují a rozvětvují průběh řetězových reakcí.

Spalování metanu, který tvoří převážnou část zemního plynu event. bioplynu lze popsat základní stechiometrickou rovnicí oxidace

$$CH_4 + 2O_2 = CO_2 + 2H_2O.$$

Skutečný průběh oxidace je složitější a uskutečňuje se v řetězovém vytvářením radikálů dle schematu:

1. $CH_4 + O_2 \rightarrow CH_3^o + HO_2^o$
2. $CH_3^o + O_2 \rightarrow HCHO + OH^o$
3. $OH^o + CH_4 \rightarrow CH_3 + H_2O$
4. $OH^o + HCHO \rightarrow H_2O + HCO^o$
5. $HCHO + O_2 \rightarrow HCO^o + HO_2^o$
6. $HCO^o + O_2 \rightarrow CO + HO_2^o$
7. $CH_4 + HO_2^o \rightarrow H_2O_2 + CH_3^o$
8. $HCHO + HO_2^o \rightarrow H_2O_2 + HCO^o$

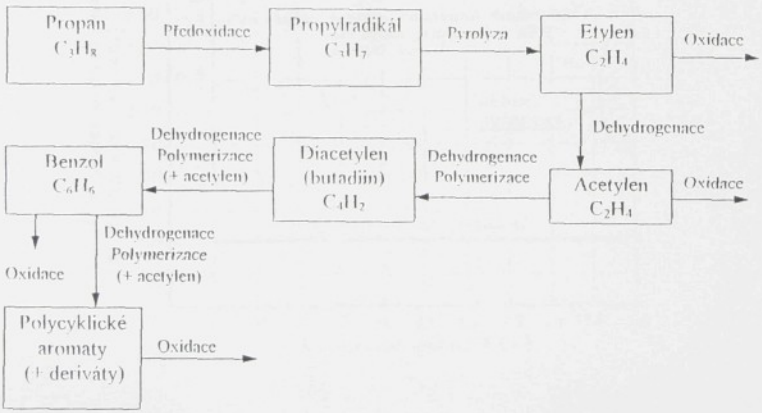
V průběhu řetězové reakce vznikají radikály molekul CH_3^o a HO_2^o v důsledku srážek molekul metanu CH_4 a kyslíku O_2. V následných elementárních procesech vstupují do reakce radikály OH^o a HCO^o, vznikající v současně probíhajících řetezových reakcích a relativně stabilní meziprodukty HCHO (formaldehyd) a H_2O_2 (peroxid vodíku). Naznačený postup oxidace je charakterizován malým počtem větvení reakcí, což vysvětluje postupný a klidný průběh hoření metanových směsí. Vzniklá složka nedokonalého spalování uhlíku se dále oxiduje:

1. $CO + OH^o \rightarrow CO_2 + H^o$
2. $H^o + O_2 \rightarrow OH^o + O^{oo}$
3. $CO + O^{oo} \rightarrow CO_2$

Z uvedených rovnic vyplývá, že k oxidaci CO je nutná přítomnost radikálů OH^o, které se mohou vytvářet pouze tehdy, když ve směsi CO a kyslíku nebo vzduchu se nachází vodík či vodní pára. Rovnice chemické rovnováhy pro cyklus reakcí metanu se zapisuje také ve tvaru

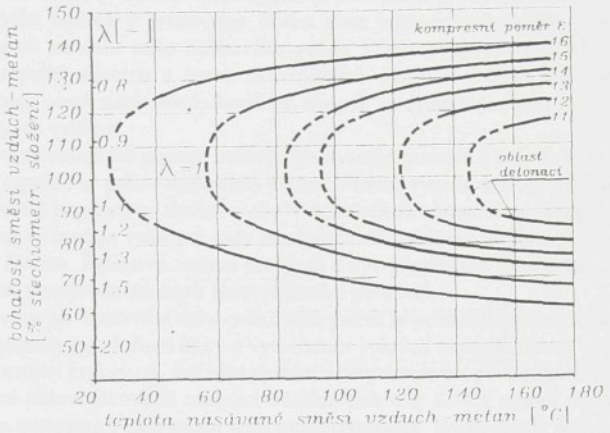
$$2\,OH^o + 2\,CH_4 + 4\,O_2 \rightarrow 4\,H_2O + 2\,CO_2 + 2\,OH^o$$

Popis oxidace vyšších typů uhlovodíků je složitější a obecný postup vycházející z hypotézy tzv. acetylénové cesty /2/ je naznačen v kap. 4.0. Schema spalování propanu je uvedeno dle /1/ na obr. 3

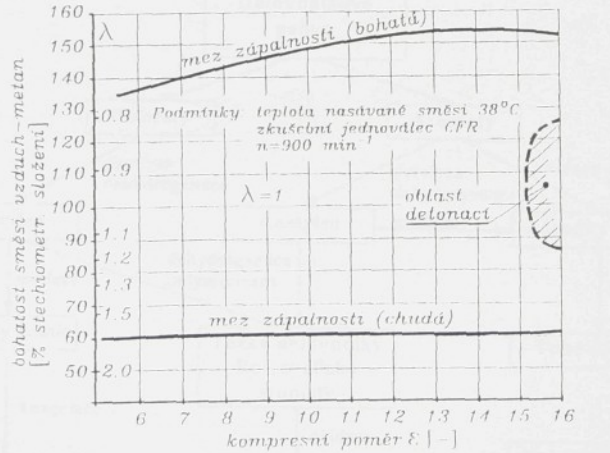


Obr. 3 Schema spalování propanu (hlavní produkty a pochody)

Výhodou plynných paliv je jejich vysoká antidetonační odolnost, schopnost snadno tvořit homogenní směs ve válci motoru a široké pole zápalnosti pro různou bohatost směsi. Tyto vlastnosti umožňují spalování směsi v motoru s poměrně vysokým kompresním poměrem a s předpokladem dosažení vhodné celkové účinnosti motoru. Pracovní oblasti pro metan jsou zřejmé z obr. 4 a 5 a pro propan jsou obdobné průběhy v P1.



Obr. 4 Oblast detonačního hoření pro směs vzduch-metanu v závislosti na t_{sm} a kompresním poměru ε.



Obr. 5 Pracovní oblast směsi vzduch-metan pro t_{sm} =38°C a různé hodnoty kompresního poměru ε .

4.0 Škodlivé emise pístových spalovacích motorů

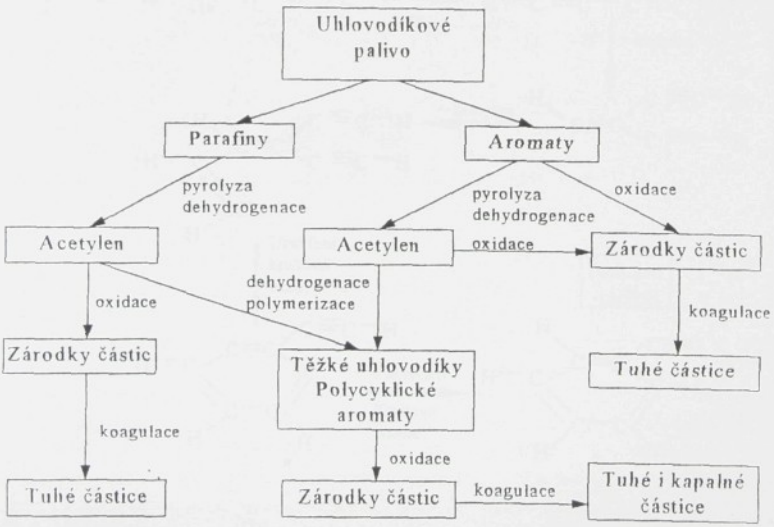
4.1 Mechanismus tvorby škodlivých emisí

Spalování paliva v pístových spalovacích motorech je složitý fyzikálně-chemický proces, který závisí na typu pracovního oběhu (zážehový, vznětový), vlastnostech použitého paliva, způsobu tvoření směsi a její kvalitě (homogenitě a součiniteli přebytku vzduchu), vstupní teplotě a maximální teplotě v pracovním oběhu a na iniciaci spalovacího procesu (zážeh, vznícení). K popisu oxidace uhlovodíkového paliva v pístových spalovacích motorech se přijímají teorie tepelné iniciace s teorií aktivovaných částic a řetězových reakcí. Průběh spalovacího procesu nemá stacionární charakter, naopak se vyznačuje často i větší variabilitou po sobě následujících cyklech.

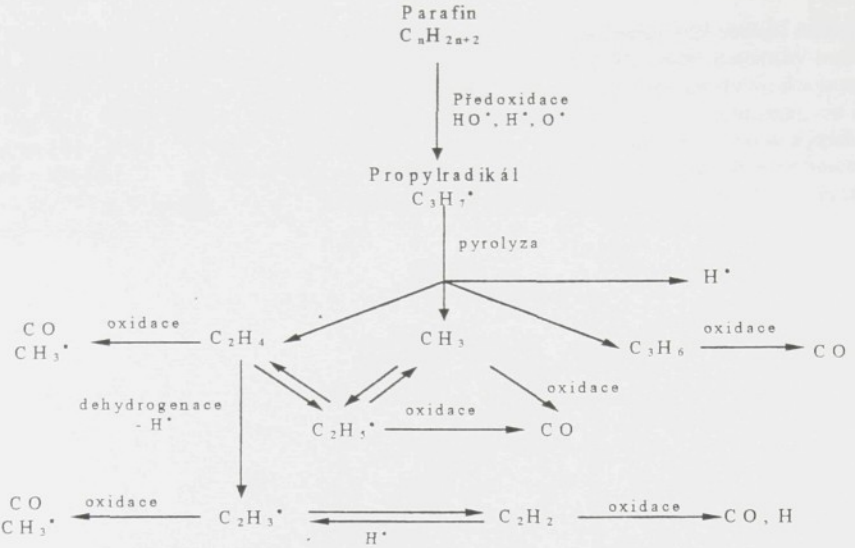
Teorií řetězových reakcí lze popsat průběh spalovacího procesu s tím, že konečného stavu produktů hoření (spalin) se palivo nedostává přímo. Vlivem vysoké teploty a hustoty vzduchu ve válci a spalovacím prostoru se složité vazby v molekulách uhlovodíkového paliva rozpadají a spalovací proces vyznačuje vznikem řady meziproduktů, přičemž určující pro postup hoření mají aktivované částice. Řetězové reakce probíhají s vytvářením jak aktivovaných částic, tak relativně stabilních meziproduktů např. aldehydů nebo peroxidů.

Za hlavní procesy při spalování uhlovodíkového paliva se považují tepelné reakce, spočívající v disociaci (homolyze) výchozí látky s vytvářením volných radikálů, které vyvolávají další reakce a pak navazující krakovací, dehydrogenační a polymerizační pochody /4/.

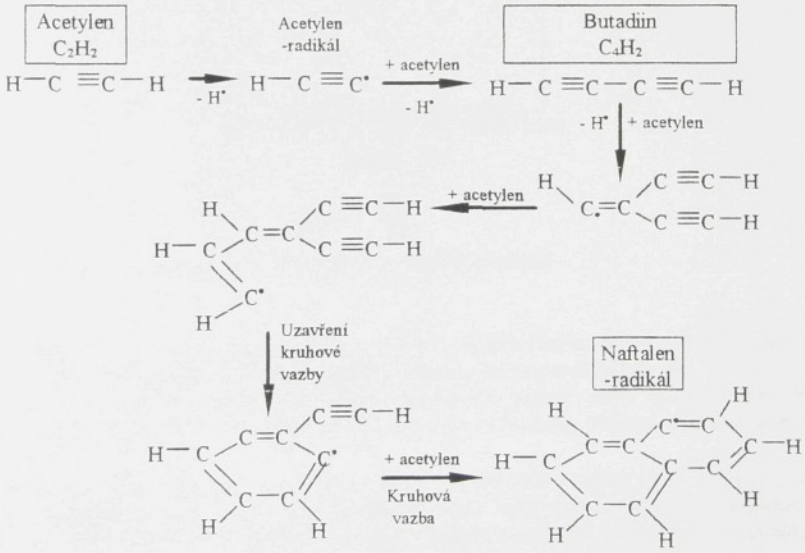
Při spalování uhlovodíkových molekul obsahujících dvě a více atomů uhlíku se proces popisuje vznikem acetylenu s ethylenem jako meziproduktem krakovacích reakcí. Z ethylenu pak následnou hydrogenací vznikne acetylen, který za vhodných podmínek je základem následných dehydrogenačních a polymerizačních reakcí. Výsledkem je vznik těžkých polycyklických aromatických uhlovodíků (naftalin, pyren a další). Tento proces je znázorněn na obr. 6, 7, 8.



Obr. 6 Schema základních reakcí při spalování uhlovodíkového paliva /4/

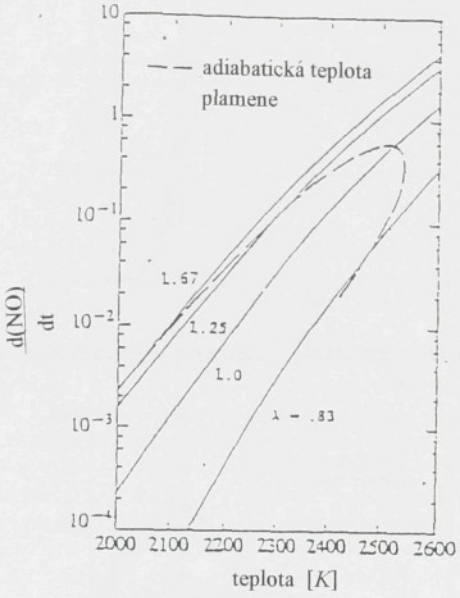


Obr. 7 Chemické pochody podle hypotézy „acetylénové cesty s produkcí acetylénu



Obr. 8 Strukturální schéma vytváření PAH

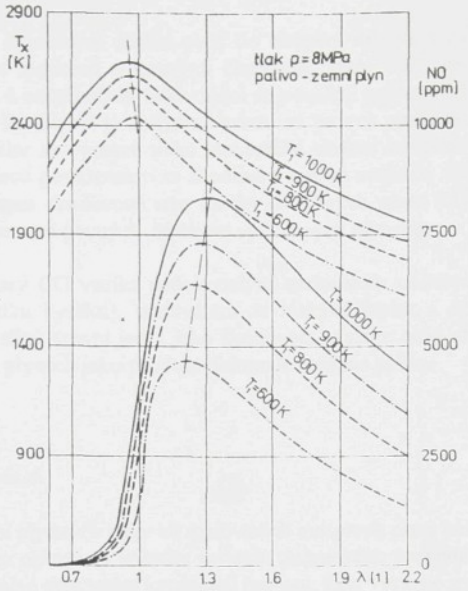
Vedle reakce paliva s atmosferickým kyslíkem probíhají při spalování další vedlejší reakce mezi dusíkem a kyslíkem vzduchové náplně válce. Při těchto reakcích vzniká netoxický oxid dusný N_2O a oxid dusičitý NO_2 a oxid dusnatý NO, které jsou toxické. Oxidy dusíku jsou tvořeny cca z 95 % oxidem dusnatým NO, který vzniká vazbou dusíku s molekulárním, ale i atomárním kyslíkem. Vznik uvedených oxidů je podmíněn vysokou teplotou a tlakem a jejich podíl v emisích je rozhodujícím množstvím vytvořen v počáteční části oxidace paliva na frontě plamene. Rozhodující pro vznik je adiabatická teplota spalování směsi /4/ viz obr. 9 (pro kompresní poměr 16:1).



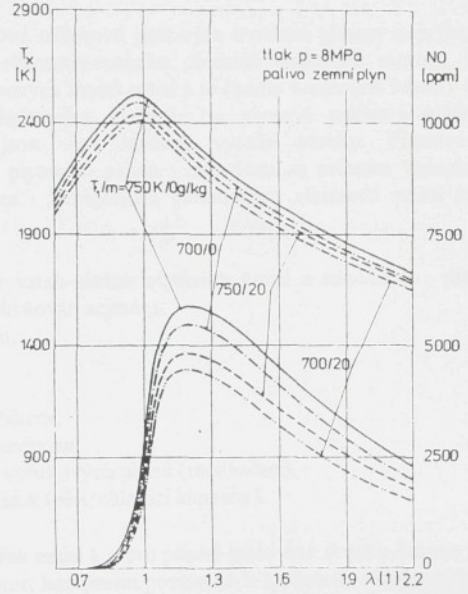
Obr. 9 Rychlost vzniku NO na λ a adiabatické teplotě plamene

Adiabatické teplota plamene závisí na počáteční teplotě reakce a pro případ spalování metanu při tlaku 8 MPa jsou vypočtené průběhy teplot a koncentrací NO na obr. 10 dle /5/. Pro stejné podmínky spalování snížením adiabatické teploty, např. využitím vnitřního chlazení při různé vlhkosti nasávaného vzduchu, lze ovlivnit hodnoty objemových koncentrací NO dle obr. 11 /5/.

Nespálené uhlovodíky HC tvoří směs různých skupin uhlovodíků, které vstupují jako palivo do oxidačního procesu nebo vznikají jako produkty spalování. Ve výfukových plynech jsou nespálené uhlovodíky obsaženy jednak jako důsledek předčasně zastavených oxidačních reakcí v určitých částech spalovacího prostoru (nejčastěji u chladnějších stěn),jednak jako produkt tepelných reakcí uhlovodíkového paliva, které byly přerušeny dříve než proběhl celý proces jejich oxidace.Škodlivost HC je různá, větší škodlivost vykazují uhlovodíky, které vznikly jako meziprodukty oxidace původní uhlovodíkové molekuly paliva.



Obr. 10 Závislost adiabatické teploty plamene a koncentrace NO na součiniteli přebytku vzduchu λ



Obr. 11 Závislost adiabatické teploty plamene a koncentrace NO na součiniteli přebytku vzduchu λ a vlhkosti vzduchu

Některé meziprodukty oxidačních reakcí patří do skupiny rakovinotvorných látek a jejich škodlivost je uplatní ve spojitosti s pevnými částicemi, které tvoří další složku emisí. Za nejnebezpečnější složku z nespálených uhlovodíků se považují polycyklické uhlovodíky (např. 3,4 benzpyren), jejichž škodlivost je zesílena vazbou na povrch emitovaných pevných částic. Při použití plynných paliv se výrazně mění stukturální složení nespálených uhlovodíků HC (některé dle předisů nejsou považovány za škodlivé a nejsou součástí limitů např. metan). U plynových motorů význam škodlivosti této složky škodlivých emisí klesá i tím, že plynové motory emitují nízkou úroveň pevných částic ve výfukových plynech.

Složka oxid uhelnatý CO vzniká nedokonalým spalováním uhlovodíkových paliv (i při pouze místním nedostatku kyslíku), spalováním za nízkých teplot a disociací produktů při spalování. Působí jako silný krevní jed a jeho škodlivost zvyšuje oxid uhličitý CO_2, který je obsažen ve výfukových plynech jako produkt dokonalé oxidace paliva.

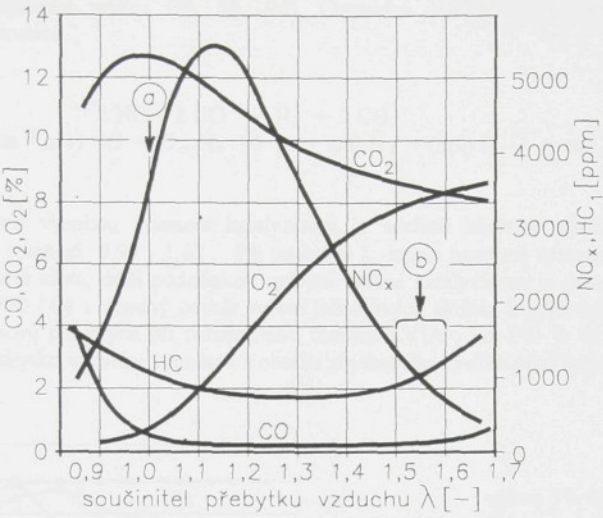
4.2 Způsoby snížení emisí

Výhodou spalování plynných paliv ve spalovacích motorech proti použití klasických (kapalných paliv) je, bez ohledu na volenou variantu technického provedení motoru:
- podstatné snížení až úplné odstranění kouřivosti motoru, tedy výrazné snížení pevných částic ve výfukových plynech,
- nižší úroveň plynných složek emisí,
- snížení hlučnosti motoru.

Pro motory plynové zážehové jsou výše uvedené přínosy nejvýhodnější. Při vhodném uspořádání a seřízení rekonstruovaného původně naftového motoru, lze dosáhnout tímto způsobem plnění stanovených limitů emisí a to (podle zvolených řešení) i při event. zachování původního výkonu vznětového motoru. Na plynové palivové příslušenství plynového zážehového motoru jsou však kladeny vysoké nároky. Příprava směsi se provádí odměřováním průtoku plynného paliva v závislosti na průtoku vzduchu do motoru a jeho směšování se vzduchem. Hodnotícím parametrem vlastností směsi je součinitel přebytku vzduchu λ.

Obecně platný vztah složek plynných emisí a součinitele přebytku vzduchu je u zážehového motoru ovlivňován zejména:
- kompresním poměrem,
- předstihem zážehu,
- otáčkami,
- středním efektivním tlakem,
- teplotou nasávaného vzduchu,
- obsahem zbytkových výfukových plynů (recirkulací),
- teplotou provozních látek (olej, chladicí kapalina).

Vztah jednotlivých složek emisí a λ pro případ spalování propan-butanu je na obr. 12 (plynový zážehový motor: kompresní poměr 12,5:1, předstih zážehu 10^{o} před HÚ, otáčky motoru 1800 min^{-1}) dle /7/, /8/.



Obr. 12 Závislost objemových koncentrací plynných škodlivin na součiniteli přebytku vzduchu λ (plynový zážehový motor: kompresní poměr 12,5:1, předstih zážehu 10° před HÚ, otáčky motoru 1800 min)

Je zřejmé, že nízkých emisí škodlivin ve výfukových plynech zážehového plynového motoru lze dosáhnou seřízením motoru a s využitím katalytického konvertoru na event. snížení složky , která se vyskytuje s vysokou objemovou koncentrací. Motor lze provozovat na:

- směs se stechiometrickým složením ve všech provozních režimech při použití třísložkového katalyzátoru / 9/,
- extrémně chudou směs se součinitelem přebytku vzduchu λ = 1,5 až 1,6 při použití oxidačního katalyzátoru /10/.

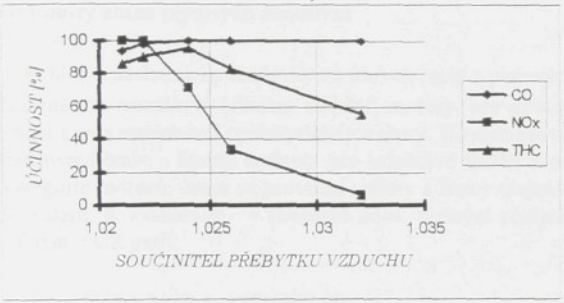
Při seřízení motoru na provoz se stechiometrickou směsí je nutné plynové palivové příslušenství vybavit elektronickým palivovým systémem s lambda sondou a zařízením na ochranu katalyzátoru pro případ nesprávné funkce lambda sondy či palivového systému a zapalování (možnost poškození katalyzátoru). V uspořádání se dosahuje provoz o původním jmenovitém výkonu, limitujícím pro provoz je teplota výfukových plynů.

Provoz s extrémně chudou směsí je zpravidla spojen se zvýšenou objemovou koncentrací nespálených uhlovodíků, což se řeší oxidačním katalyzátorem. Pro zachování původní velikosti výkonu vznětového motoru tato řešení vedou na uspořádání v přeplňované verzi motoru.

Třísložkový katalyzátor zajišťuje konverzi výfukových plynů redukčně-oxidační chemickou reakcí, probíhající ve spalinách při jejich průtoku úzkými průřezy s pórovitým povrchem (nosič - kovový, keramický), který je nasycen kovy s katalytickými účinky pro probíhající chemické reakce (Pt, Rh, Pd). Chemické děje uvnitř katalyzátoru popisují schematické rovnice

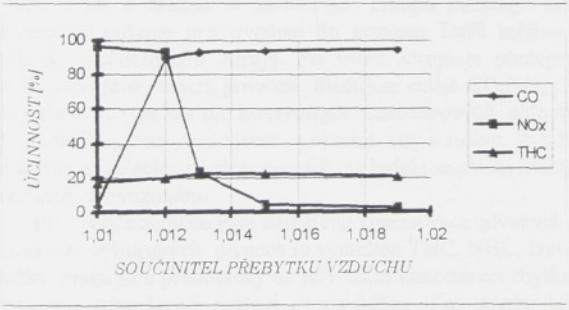
$$2\,NO + 2\,CO \rightarrow N_2 + 2\,CO_2$$
$$2\,(m + n/4)\,NO + C_m\,H_n \rightarrow (m + n/4)\,N_2 + (n/2)\,H_2O + m\,CO_2$$

Podmínkou pro vysokou účinnošt katalyzátoru je udržení hodnoty součinitele přebytku vzduchu λ v rozmezí 0,99 - 1,02 . Při odchylce λ mimo uvedené rozmezí účinnost katalyzátoru výrazně klesá, další podmínkou správné funkce katalyzátoru je dostatečná pracovní teplota (nad 300 °C) a vhodný poměr sycení jednotlivých složek. Porovnání účinnosti dvou typů katalyzátorů použitých při rekonstrukci motorů AVIA , viz P8 je na obr. 13 (Součinitel přebytku vzduchu vypočten z obsahu zbytkového kyslíku před katalyzátorem).



výkon 37- 40 kW
otáčky motoru 1800 min⁻¹

katalyzátor KARSIT CNG
(metan)



katalyzátor sycení pro
benzinový motor

Obr. 13 Závislost účinnosti katalyzátoru na λ

Důležitou podmínkou pro vysokou účinnost a životnost katalyzátoru je čistota paliva (zejména obsah síry, fosforu, chloru a těžkých kovů). U plynných paliv je proto problematické použití katalyzátorů pro spalování surových bioplynů (obsah síry). Výhodou plynných paliv je naopak malé zanášení činných ploch katalyzátoru, neboť emise pevných částic je velmi malá. Životnost katalyzátorů je dále podmíněna dosahovanou max. teplotou uvnitř katalyzátoru, která souvisí s dodržením vhodného pracovního bodu lambda sondou a elektronicky řízeným palivovým příslušenstvím.

Oxidační katalyzátor (dvousložkový) snižuje ve výfukových plynech koncentrace nespálených uhlovodíků HC a oxidu uhelnatého CO. Probíhající reakce jsou oxidační dle schematických rovnic

$$2\ CO + O_2 \rightarrow 2\ CO_2$$
$$C_m H_n + (m + n/4)\ O_2 \rightarrow m\ CO_2 + (n/2)\ H_2 O$$

Výsledky z ověřování různých typů katalyzátorů pro rekonstrukci motorů AVIA na plynná paliva jsou uvedeny v lit. /11/, /12/, /13/.

4.3 Limity emisí plynných škodlivin

Pohled a následně i požadavky na úroveň emisí z pístových spalovacích motorů se vyvíjejí odděleně pro vozidlové (silniční mobilní) motory, pro dráhové motory, motory nesilničních vozidel a pro stacionární (průmyslové) motory. Rovněž provozní režimy, způsob zjišťování a vyjadřování emisí a limitní hodnoty pro jednotlivé složky škodlivin jsou stanoveny podle typu a kategorie motorů, často se provozní režimy a limity (zejména u silničních motorů) odlišují i podle států. K základním, v současné době platným předpisům omezujícím emise plynných škodlivin v ČR patří:

a) vyhláška MŽP č. 117/1997 Sb.

Jedná se o předpis, který stanovuje emisní limity a další podmínky pro provozování stacionárních zdrojů znečišťování a ochrany ovzduší, ve smyslu ochrany životního prostředí dle § 3 odst. 2 pís. d zákona č. 389/91 Sb. Předpis požaduje měření koncentrací škodlivin při schvalování zařízení pro uvedení do provozu. Další měření jsou stanovena v závislosti na velikosti znečišťujícího zdroje. Po velké zdroje je předepsáno kontinuelní monitorování škodlivých emisí během provozu. Sledují se emise **CO,NO_x, THC** a u motorů plynových a dvojpalivových se sledují koncentrace nemetanových uhlovodíků **NHC**. Koncentrace **SO_2** se určuje nepřímo výpočtem z obsahu síry v palivu. Zvláštní režimy pro stanovení obsahu škodlivin exhalacích předpis neuvádí, vyžaduje se plnění limitů ve všech režimech, ve kterých je zařízení provozováno.

Při vyhodnocování jsou naměřené koncentrace plynných škodlivin porovnávány s limity v suchých výfukových plynech (s výjimkou THC, NHC, které se uvádí ve vlhkých plynech). Složky emisí jsou přepočteny na referenční koncentraci zbytkového kyslíku v exhalacích 5%. Emise pro jednorázová měření jsou uváděny jako střední hodnota , variabilita se vyjadřuje střední směrodatnou odchylkou. Pro vyhodnocování kontinuelního měření vyhláška požaduje využití metod statistického zpracování výsledků měření.

Ke stacionárním zdrojům znečišťování z oboru spalovacích motorů patří kogenerační jednotky s pístových spalovacím motorem, pro které jsou stanoveny limity:

emise	vznětový motor tepelný příkon do 5 MW	nad 5 MW	zážehový motor
NO_x	4,00	2,0	0,50
CO	0,65		0,65
NHC	0,15 *)		0,15 *)

Pozn: platí pro celkový hmotnostní tok větší než 3 kg/h

Limity koncentrací jsou stanoveny v jednotkách: [g/m^3] při uvažování hustoty škodliviny při normálních podmínkách okolí (atmosferický tlak 101,325 kPa a teplota okolí 273,15 K). Koncentrace nemetanových uhlovodíků platí pro celkový hmotnostní tok vyšší než 3 kg/h. Výše poplatků za znečišťování ovzduší jsou stanoveny emisním faktorem, množstvím použitého paliva v motoru a jednotkovou sazbou Kč/t emise (při neplnění limitu je zvýšení poplatku za emisi o 50%).

b) předpis TA Luft 86

Jedná se předpis SRN, který byl i v ČR používán jako základní předpis pro stanovení limitů pro posuzování provozu stacionáních zdrojů znečišťování. Jeho obsah i stanovené limity emisí jsou stejné jako ve vyhlášce č. 117/1997 Sb., odlišnost je pouze v měření emisí THC, které předpis nepřepočítává na smluvní obsah 5% zbytkového kyslíku ve výfukových plynech Předpis je postupně doplňován o tzv. dynamizační klauzuli, vycházející ze zásady, že ke snižování výfukových škodlivin je nutné využívat všech dostupných technických opatření (přídavných či doplňkových). Podle těchto zásad se postupně mění limity pro nově uváděná zařízení do provozu (event. i rekonstruovaná). Pro plynové motory vznětové (dvojpalivové motory) jsou stanoveny cílové limity pro složku NO_x = 0,50 g/m^3.
Limity koncentrací jsou stanoveny v jednotkách: [g/m^3]

c) směrnice EHK 91/441, EHK 83

Předpis EU se vztahuje na všechna motorová vozidla vybavená zážehovým motorem a na motorová vozidla kategorie M1 (osobní automobily) a N1 (nákladní automobily) se vznětovým motorem, na který se nevztahují směrnice EHK- R 49. Směrnice obsahuje 5 typů testů určených pro jednotlivé typy vozidel. Testy provádí ověření: průměrných výfukových emisí po studenem startu , emisí CO při volnoběhu, emisí plynů z klikové skříně motoru, výparných emisí u vozidel se zážehovými motory a životnosti protizněčisťujících zařízení vozidla.
Dle EHK 83 se emisní vlastnosti vozidel kategorie M1 a N1 zjišťují jízdním testem, simulovaným na zkušebním válcovém dynamometru při stanovených režimech a délce testu. Současně platné limity jsou:

složka emise		schvalování typu	serie
$HC + NO_x$	[g/km]	0,14	0,18
CO	[g/km]	2,72	3,16

Limity koncentrací jsou stanoveny v jednotkách: [$g/test, g/km$].

d) směrnice EHK 49 R. 02

Předpis EU, který omezuje emise plynných škodlivin ve výfukových plynech vznětových motorů určených pro užitková silniční vozidla s hmotností větší než 3,5 t. (kategorie M2, M3, N2, N3). Měření koncentrací plynných škodlivin se provádí při 13 režimech, ke kterým jsou přiřazeny váhové koeficienty určující závažnost provozního režimu pro emise a výkon motoru.

Stávající limity emisí	EURO II (1996)	EURO III (1999) návrh	EURO IV (2005) návrh
NO_x	7,0	4,50 (5,00)	2,50
CO	4,0	2,0	1,0
THC	1,1	0,6	0,5

Limity koncentrací jsou stanoveny v jednotkách: [*g/kWh*].
K vyhodnocení se používají průměrné hodnoty koncentrací zjištěné vyhodnocením průběhu kontinuálního měření 6.minuty každého režimu testu.

e) předpis TRANS/SC1/WP 29/GRPE/R.216

Předpis používaný pro traktorové motory. Limity emisí jsou stanoveny pro tři třídy motorů dle výkonu v rozmezí (18 - 560) kW. Měření koncentrací se provádí dle obdobné metodiky jako u EHK - R 49.02, zkušební režim je 8 bodový.

emise	výkon motoru (kW)		
	35-75	75-130	130-560
NO_x	9,2	9,2	9,2
CO	6,5	5,0	5,0
THC	1,3	1,3	1,3

Limity koncentrací jsou stanoveny v jednotkách: [*g/kWh*].

f) norma ISO 8178

Určuje metodiku měření koncentrací škodlivých emisí podle použití spalovacího motoru (charakteristické provozní podmínky - skupina C1 až G3). Zkušební režimy jsou stanoveny hodnotou otáček (střední a jmenovité) a zatížení motoru (10, 25, 50, 75 a 100 %). K jednotlivým zkušebním režimům jsou přiřazeny váhové koeficienty pro emise a výkon motoru.

g) vyhláška UIC 623

Určuje postup měření a vyhodnocení emisí ve výfukových plynech drahových motorů při homologaci. Ověřuje se nejen úroveň škodlivých emisí při zkušebním testu, ale také

absolutní hodnoty emisí v závislosti na střední efektivním tlaku a otáčkách motoru. Postup měření je obdobný jako u předpisu EHK R 49, počet měřených bodů je větší.
Limity koncentrací jsou stanoveny v jednotkách: [*g/kWh*] .

h) norma ČSN 28 0107

Dle normy se při typových zkouškách důlních lokomotiv provádí měření složek CO a NO_x při jmenovitých parametrech motoru a při otáčkách naprázdno.
Hodnoty koncentrací se uvadějí : .[*g/kWh*].

5.0 Rekonstrukce naftového motoru AVIA na plynový zážehový motor

Naftové motory Avia jsou čtyřdobé, řadové, kapalinou chlazené stojaté vznětové čtyřválce, s přímým vstřikem paliva. Jsou vyráběny ve dvou základních provedeních :
- typ AVIA 712.18 nepřeplňovaný motor,
- typ AVIA D 407 přeplňovaný motor .

Uvedené typy motorů byly postupně od roku 1991 rekonstruovány pro různé uživatele pro provoz na směs propan-butanu a provoz na stlačený zemní plyn. Rekonstrukce byly prováděny s cílem snížení škodlivých emisí motorů tak, aby motory splňovaly platné limity postupně EURO I event. EURO II.

Z průběhu závislosti koncentrací plynných škodlivin ve výfukových plynech na součiniteli přebytku vzduchu λ vyplývá, že při spalování směsi s vysokým přebytkem vzduchu (1,4 - 1,6) jsou koncentrace CO a NO_x relativně nízké a použitím oxidačního katalyzátoru se sníží i obsah CH. Této skutečnosti využívá koncepce provozu plynového spalovacího motoru na velmi chudou palivovou směs. Při spalování této palivové směsi u nepřeplňovaných motorů se zpravidla výrazně sníží původní jmenovitý výkon motoru.

Pokud se použije, z hlediska náročnosti na palivové příslušenství a způsob řízení jeho provozních stavů složitější zařízení, provozem na stechiometrickou palivovou směs ($\lambda = 1,0$) s následnou úpravou výfukových plynů třísložkovým katalyzátorem, lze dosáhnout u rekonstruovaného motoru původní jmenovitý výkon.

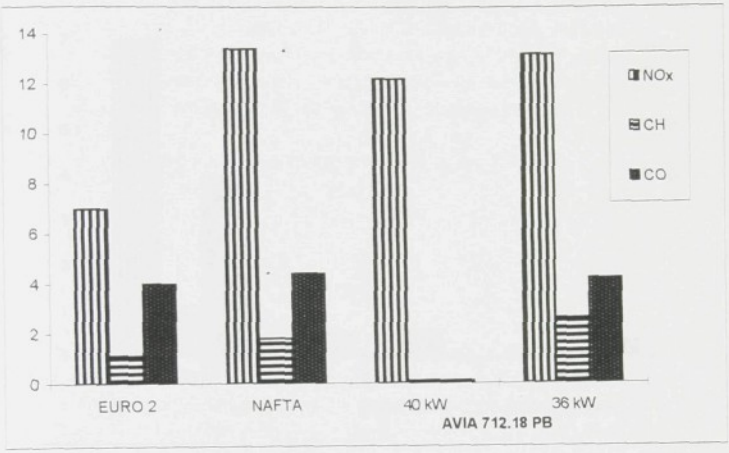
Řešení jednotlivých rekonstrukcí motorů, popis plynového palivového příslušenství a výsledky ověřování parametrů a měření škodlivých emisí jsou uvedena pro:

a) *přestavby na pohon propan butanem* v P 9 a lit. /1/, /2/. Vždy se jednalo o rekonstrukci nepřeplňovaného motoru na provoz s $\lambda > 1,0$. Základní parametry motorů jsou v tabulce:

typ motoru	výkon [kW]	otáčky [min^{-1}]	kompresní poměr	směšovač	katalyzátor
ČSAO Praha	38	3000	10,0	Motorpal	-
VK Program Praha	36	3000	12,5	Stargas	-
VK Program Praha	40	3000	12,5	Stargas	TAZ 50

Výsledky měření emisí dle předpisu EHK 49 R.02 uvádí obr. 14.

PLYNNÉ EMISE	LIMIT PODLE EHK 49 EURO 2	NAFTOVÝ MOTOR	PLYNOVÝ MOTOR	PLYNOVÝ MOTOR
CO /g.kWh^{-1}/	4	4,4	0,1	4,2
CH /g.kWh^{-1}/	1,1	1,8	0,1	2,6
NO_x /g.kWh^{-1}/	7	13,4	12,2	13,2
		AVIA 712.18	AVIA 712.18 PB KATALYZÁTOR	AVIA 712.18 PB



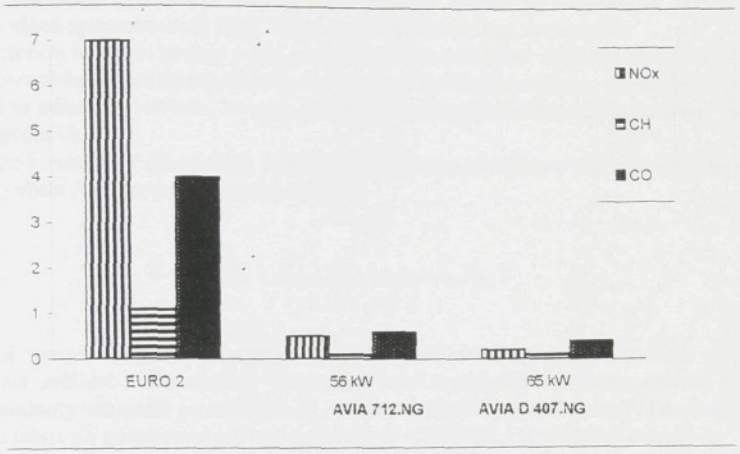
Obr. 14 Výsledky testů EHK 49 motorů AVIA na propan-butan

b) přestavbu na pohon stlačeným zemním plynem v P 8. Tato zpráva uvádí souhrnně možná konstrukční řešení a podrobně parametry optimálních variant řešení přeplňovaného a nepřeplňovaného plynového zážehového motoru provozovaného při $\lambda = 1,0$. Základní parametry motorů dle tabulky:

typ motoru	výkon [kW]	otáčky [min^{-1}]	kompresní poměr	směšovač	katalyzátor
AVIA 712 NG	56	3000	10,5	O.M.V.L	Karsit AVIA CNG
AVIA D 407 NG	65	2600	10,1	O.M.V.L.	Karsit AVIA CNG

Výsledky měření emisí dle předpisu EHK 49 R.02 dle obr. 15 a porovnání s platnými limity

PLYNNÉ EMISE	LIMIT PODLE EHK 49 EURO 2	PLYNOVÝ MOTOR	PLYNOVÝ MOTOR
CO /g.kWh^{-1}/	4	0,6	0,5
CH /g.kWh^{-1}/	1,1	0,2	0,1
NO_x /g.kWh^{-1}/	7	0,5	0,2
		AVIA 712 NG	AVIA D 407 NG



Obr. 15 Výsledky testu EHK 49 motorů AVIA na stlačený zemní plyn

Obě provedení plynových motorů splňují předpokládané limity EURO IV, které budou v platnisti od roku 2005

6.0 Metody statistického vyhodnocování emisí

6.1 Obecné hodnocení podmínek měření

Nejistota měření představuje odhad části výsledků měření, které charakterizuje rozmezí hodnot, v němž se nachází skutečná hodnota měřené veličiny vzhledem k relativně stálým podmínkám při měření. Kvantifikaci nejistoty měření provedeme až po vyloučení hrubých a všech systematických chyb, které se při měření mohou vyskytnout.

S ohledem na velmi obtížný popis relativně stálých podmínek měření a rovněž složité posouzení vlivu těchto jednotlivých složek na zjišťovaný (měřený) parametr, považujeme výsledky měření za **náhodné veličiny**, které se při měření realizují jednotlivými hodnotami náhodných proměnných.

Měřená veličina **Y** představuje **výstup či výslednou hodnotu** a závisí na určitém počtu vstupních veličin $\mathbf{X_i}$. a je proto popsána funkcí:

$$Y = f(X_1 , X_2 , X_3 \ ..... , X_n).$$

Za vstupní proměnné považujeme zejména údaje z kalibračních protokolů etalonů použitých při kalibraci měřidel a dále všechny proměnné, které se uplatnily v průběhu měření. Protože skutečné hodnoty vstupních proměnných X_i nejsou ve většině případů známé , používají se jako vstupní údaje při posuzování celkové nejistoty ve výsledcích měření jejich odhady $\mathbf{x_i}$.

Za míru nejistoty odhadů x_i lze použít experimentálně stanovený rozptyl s^2_{xi} nebo jeho druhou odmocninu - střední směrodatnou odchylku . V případě, že v souboru relativně stálých podmínek měření existují vstupní veličiny např. X_i, X_j, které jsou na sobě vzájemně závislé, je nutné za další část nejistoty považovat odhad kovariance těchto vstupních veličin.

Pokud se měření opakuje za relativně stálých podmínek a je prováděno s dostatečným rozlišením, zjistí se v naměřených hodnotách určitá variabilita. Pro **n** nezávislých měření je odhad x_i skutečné hodnoty veličiny X_i dán aritmetickým průměrem jednotlivých naměřených hodnot $v_{i,j}$ pro j = 1, 2, ..., n tedy vztahem:

$$x_i = v_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^{n} x_{i,j}$$

Odhad střední směrodatné odchylky s_{vi} souboru naměřených hodnot $v_{i,j}$, popisující variabilitu střední hodnoty, je :

$$s_{vi} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n} (v_{i,j} - v_i)^2$$

Odhad rozptylu střední hodnoty veličiny x_i (výběrového rozptylu) je pak určen vztahem:

$$s^2_{xi} = \frac{1}{n} s^2_{vi} .$$

Pro výpočet hodnotících parametrů je nutný dostatečný počet hodnot, při jejich malém počtu může dojít k podhodnocení nejistoty měření. Výsledek měření y (odhad skutečné hodnoty výstupní veličiny **Y**) dostaneme nahrazením vstupní veličiny X_i odhady jejich hodnot x_i z měření :

$$y = f (x_1, x_2 , ..., x_n).$$

Velikost rozptylu výstupní veličiny pro nekorelované vstupní veličiny je dle vztahu:

$$s^2_y = \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{\partial f}{\partial X_i} \right)^2 s^2_{x\,i}$$

kde $(\partial f / \partial X)$ je parciální derivace funkce f(x) podle proměnné X_i . Za tuto hodnotu použijeme odhad hodnoty x_i . Rozptyl výsledku měření je určen součtem rozptylů, které vyjadřují nejistotu měření od jednotlivých vstupních veličin, násobených čtverci příslušných parciálních derivací. Velmi často můžeme předpokládat, že funkce f(x) je lineární funkcí všech vstupních veličin X_i (případ většiny přímých měření), v tomto případě mají parciální derivace hodnotu jedna. Obdobný případ je i při použití relativních rozptylů nebo pokud je funkce f(x) ve tvaru násobků, resp. podílů vstupních veličin. Pak má předchozí vztah zjednodušený tvar:

$$s^2_y = \sum_{i=1}^{n} s^2_{x\,i}$$

Pro korelované vstupní veličiny (veličiny na sobě vzájemně do jisté míry závislé) je nutné stanovit odhadem velikost kovariance $s_{x\,ik}$

$$s_{x\,ik} = s_{x\,i} \; s_{x\,k} \; r_{x\,ik}$$

kde $r_{x\,ik}$ je korelační koeficient určující těsnost vztahu mezi veličinami v mezích (-1 až 1). Rozšířená nejistota měření doporučená v rámci WECC Doc. 19/1990 vychází ze spolehlivostních záruk ve vyjadřování možných výsledků výstupní veličiny. Za předpokladu platnosti normálního (Gaussova) rozdělení je volena hodnota spolehlivostního koeficientu cca 95 % a proto rozšířenou nejistotu měření ve tvaru **u** získáme :

$$u = 2 . s_y .$$

Tímto způsobem zaručujeme, že skutečná hodnota (ze základního souboru) se bude nacházet s pravděpodobností cca 95% v mezích **u** kolem odhadnuté střední hodnoty výstupní veličiny.

6.2 Výpočet nejistoty měření emisí spalovacích motorů

Měření emisí plynných škodlivin je ovlivňováno řadou činitelů, jak podmínkami při měření (vliv okolí), tak i proměnlivostí okamžitých provozních stavů motoru. Uvedené směrnice a postupy měření přesněji nespecifikují požadavky na přesnost jednotlivých veličin použitých dále ve vyjádření úrovně škodlivých emisí. Pro objektivní měření je tedy nutné vycházet z obecných požadavků na přesnost měření parametrů spalovacích motorů event. z obecného postupu k vyjádření nejistoty měření dle předpisu WECCDoc.1990 Západoevropského kalibračního sdružení.

Ovlivňujícími vstupními veličinami při měření emisí ve výfukových plynech spalovacích motorů je zejména:

- soubor vlivů způsobující odlišnost jednotlivých pracovních oběhů (provozní podmínky motoru),
- soubor vlivů způsobující odlišnost v indikaci zjištěných koncentrací analyzátory (provozní podmínky analyzátorů),
- nejistota parametrů referenčních plynů používaných při kalibraci analyzátorů.

Způsob vyjádření nejistoty měření je rovněž závislý na použitých jednotkách k vyjádření emisí, tj. zpravidla v $[g/m^3]$, $[g/kWh]$ nebo jiných, neboť tím jsou ze skupiny provozních podmínek motoru přesněji vyjádřeny vstupní ovlivňující veličiny (veličiny, u kterých vlivy přesněji vyjádříme, ze souboru relativně stálých podmínek při měření emisí). Při měření emisí pro jednotlivé podmínky měření doporučuje následující postup k vyhodnocení nejistoty měření emisí:

a) **měření emisí v jednotkách** $[g/m^3]$ *(spalovací motor jako stacionární zdroj znečištění ovzduší)*

Do vybraných vstupních ovlivňující veličin uvažujeme:
- nejistotu hodnoty objemové koncentrace referenčního plynu pro kalibraci. Jako referenční plyny jsou používany plyny a.s. LINDE-TECHNOPLYN, pro plyn je dodáván certifikát se zaručovaným údajem o nejistotě koncentrace. . Tato hodnota je považována za hodnotu rozšířené nejistoty u a vyjadřuje se v % či v ppm.
Střední směrodatná odchylka veličiny je označena s_R ,

- nejistotu kalibrace analyzátoru, která charakterizuje parametry analyzátoru (reprodukovatelnost ,drift, linearitu) a ovlivnění údajů analyzátoru okolními podmínkami (teplota, atmosferický tlak, relativní vlhkost a další). Nejistota kalibrace se určí vyhodnocením souboru dat získaných snímáním měřici ústřednou při kalibraci analyzátoru referenčním plynem. Vyhodnocená střední hodnota , ze souboru údajů analyzátoru v průběhu kalibrace, odpovídá objemové koncentraci referenčního plynu. Nejistotu měření určíme jako střední směrodatnou odchylku v získaném souboru měření.
Střední směrodatná odchylka je označena s_K ,

- nejistotu vlastního měření objemových koncentrací emisí .Tato složka nejistoty obsahuje působení vlivů souhrnně označovaných provozní podmínky motoru. Jednotlivé složky provozních podmínek se přesněji nespecifikují , a posuzují se souhrnně. Kvantifikují se velikosti střední směrodatné odchylky stanovené vyhodnocením souboru vlastního měření objemo-

vých koncentrací emisí. Datový soubor je zaznamenáván ve zvoleném měřicím intervalu v délce **1 - 5 min,** při frekvenci snímání **1 s** , t.j. s četností souboru **60** až **300** hodnot.
Střední směrodatná odchylka je označena s_M

Výslednou základní nejistotu určíme v tomto případě vztahem:

$$s_E = \sqrt{s^2_R + s^2_K + s^2_M}$$

b) **měření emisí v jednotkách** . [*g/kWh*] *(spalovací motor v mobilní zástavbě)*

Do vybraných vstupních veličin uvažujeme:
- nejistotu hodnoty objemové koncentrace referenčního plynu pro kalibraci. Hodnocení stejné jako v předchozím případě.
Střední směrodatná odchylka veličiny je označena s_R ,

- nejistotu kalibrace analyzátoru. Hodnocení stejné jako v předchozím případě.
Střední směrodatná odchylka je označena s_K ,

- nejistotu vlastního měření objemových koncentrací emisí . Hodnocení stejné jako v předchozím případě.
Střední směrodatná odchylka je označena s_M

- nejistoty provozních veličin motoru přesněji specifikované, které se přímo podílí ve výpočtu emisí (v použitých vztazích). Jedná se následující veličiny:
  a) **výkon motoru** (závislost na dvou vstupních veličinách, otáčky a točivý moment motoru),

  b) **celkový objem výfukových plynů** V_{Exh} (závislost na dvou vstupních veličinách, objem nasátého vzduchu V_{Air} a objem paliva V_{Fuel}.

Pro vyhodnocení velikosti nejistot se nepředpokládá korelace vstupních veličin v bodu a), b) přičemž použité měřicí zařízení musí splňovat obecné požadavky na nejistotu (přesnost) měření uvedených veličin, dle předpisů pro měření emisí např. EHK 49, či obecných požadavků pro obor spalovacích motorů dle ČSN 09 0722, ČSN 30 2008, ČSN ISO 2288 či . ve smyslu Metodiky zkoušek MPAL 009/96/2. Obecně musí být dodrženy následující velikosti nejistot měření v jednotlivých oborech použití spalovacího motoru:

	průmyslové lodní, dráhové	automobilové	traktorové
- pro výkon motoru	± 2,5 %	± 0,7%	± 1,1 %
- pro objemový , hmotnostní průtok vzduchu	± 5,0 %	± 2,5%	± 2,5 %
- pro objemový, hmotnostní průtok paliva	± 1,0 %	± 1,0 %	± 1,0 %

Velikosti nejistot uvedené v tabulce jsou považovány za hodnoty rozšířené nejistoty u_i jednotlivých vstupních vlivů. Hodnoty střední směrodatné odchylky jsou tudíž poloviční a jsou pro vstupní veličiny označeny:

- **střední směrodatná odchylka výkonu motoru** s_{Pe},
- **střední směrodatná odchylka objemového průtoku vzduchu** s_{Air},
- **střední směrodatná odchylka objemového průtoku paliva** s_{Fuel}.

Výslednou základní nejistotu určíme ze vztahu:

$$s_E = \sqrt{s^2_R + s^2_K + s^2_M + s^2_{Pe} + s^2_{Air} + s^2_{Fuel}} .$$

6.3 Posouzení časového vývoje objemové koncentrace složek emisí

Kromě uvedeného postupu posouzení nejistoty měření emisí se provádí analýza hodnot sejmutého datového souboru z hlediska časového vývoje objemové koncentrace emise měřené analyzátory. Toto posouzení se provádí při měření v ustálených provozních režimech. Pro analýzu je proveden výpočet korelačního součinitele $r_{Y,t}$ a koeficientů lineární regrese.

Průběh závislosti objemové koncentrace emise na čase se předpokládá ve tvaru

$$Y = a_o + a_1 t$$

kde a_o, a_1 jsou bodové odhady parametrů regresní přímky
(pro nezávislou veličinu **t** - čas snímání datového souboru při frekvenci 1 s).

Bodové odhady hodnot koeficientů regresní přímky určíme ze vztahů:

$$a_o = \frac{\sum_{i=1}^{n} y_i - a_1 \sum_{i=1}^{n} t_i}{n}$$

$$a_1 = \frac{n \sum_{i=1}^{n} t_i y_i - \sum_{i=1}^{n} t_i \sum_{i=1}^{n} y_i}{n \sum_{i=1}^{n} t_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{n} t_i\right)^2}$$

kde : y_i jsou jednotlivé hodnoty emisí z datového souboru,
t_i jsou jednotlivé okamžiky měření v mezích 1 - 60 event 300.

Pro vyhodnocení ustálených podmínek měření slouží vypočtené parametry regresní přímky zejména koeficient a_1, jehož hodnota musí být blízká nule, v mezích 0,010 až 0,10 (regresní přímka nemá prakticky rostoucí ani klesající charakter a v měřeném časovém úseku velikost velikost emise odpovídá odhadnuté střední hodnotě). Pro posouzení míry těsnosti naměřených objemových koncentrací emisí s předpokládanou regresní přímkou se stanoví korelační koeficient ze vztahu:

$$r_{y,t} = \frac{n \sum_{i=1}^{n} t_i y_i - \sum_{i=1}^{n} t_i \sum_{i=1}^{n} y_i}{\left(n \sum_{i=1}^{n} t_i^2 - \left/ \sum_{i=1}^{n} t_i \right/^2\right) \cdot \left(n \sum_{i=1}^{n} y_i^2 - \left/ \sum_{i=1}^{n} y_i \right/^2\right)}$$

Hodnota korelačního koeficientu musí být pro měření v ustálených podmínkách 0,90 a vyšší.

Způsob snímání datových souborů měření koncentrací složek emisí rovněž umožňuje zjišťování závislostí vývoje emisí na vybraných parametrech (teplota okolí, teplota chladicí kapaliny, mazacího oleje apod.). V tomto případě pro experimentálně zjištěný průběh volíme vhodnou teoretickou nelineární závislost a vypočteme parametry regresní funkce.

6.4 Popis měřicí ústředny

Pro vyhodnocování škodlivých emisí ve výfukových plynech spalovacích motorů způsobem popsaným v předcházející části je nutné získat vhodné datové soubory. Proto byla v rámci řešení úkolu plánu rozvoje zkušebnictví navržena, zhotovena a ověřena měřicí ústředna s příslušným programovým vybavením. Celkové uspořádání a popis měřicí ústředny pro průběžné snímání koncentrací emisí je uveden v příloze P8.

Navržený způsob časového záznamu koncentrací emisí dále umožňuje provést případné podrobnější posouzení formou analýzy výsledků. Zejména se jedná o posouzení a vyjádření významnosti variability v měřených koncentracích sledovaných při vybraném ovlivňujícím faktoru (nalezení optimálního bodu nastavení elektronického řízení, posuzování vlivu dílčích parametrů na úroveň emise-vliv teploty, předstihu zapalování apod.). Popsaný způsob vyhodnocení objemových koncentrací emisí je ilustrativně uveden dále pro měření emisí plynového zážehového motoru ZETOR 7801.61

Na tab.7 jsou specifikovány podmínky měření, další vyhodnocení je pouze pro bod 5 - točivý moment motoru 200 Nm, otáčky 1000 min^{-1}, měření je provedeno s časovým krokem snímání 1s po dobu 1 minuty (odpovídá době měření v režimu dle EHK 49).

Záznam objemových koncentrací škodlivých složek a kyslíku pro analyzovaný bod 5 měření je na tab. 8 a průběhy charakterizující variabilitu složek CO, NO_x a CH jsou na obr. 18, 19, 20. Z údajů v tab. 9 lze usuzovat o dodržení podmínek pro ustálené měření emisí. Průběhy pro bod 5 charakterizují typickou variabilitu průběhu objemových koncentrací zážehového plynového motoru. U jednotlivých složek hodnocené parametry dosahují velikostí:

složka emise	střední hodnota [*ppm*]	střední směrodatná odchylka [*ppm*]	relativní odchylka [%]
CO	501,4	1,5	0,3
NO_x	3511,5	30,5	0,8
CH	693,7	5,3	0,7

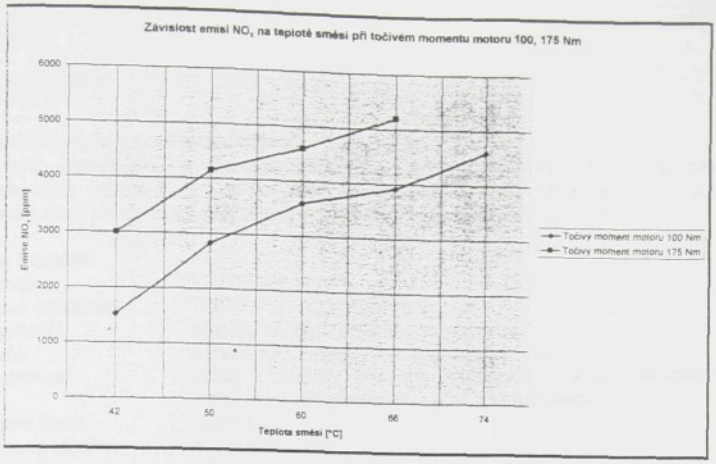
Kontrola časové stálosti objemových koncentrací provedená podle odhadů parametrů regresní přímky $Y = a_o + a_1 . t$, které v daném případě mají hodnoty

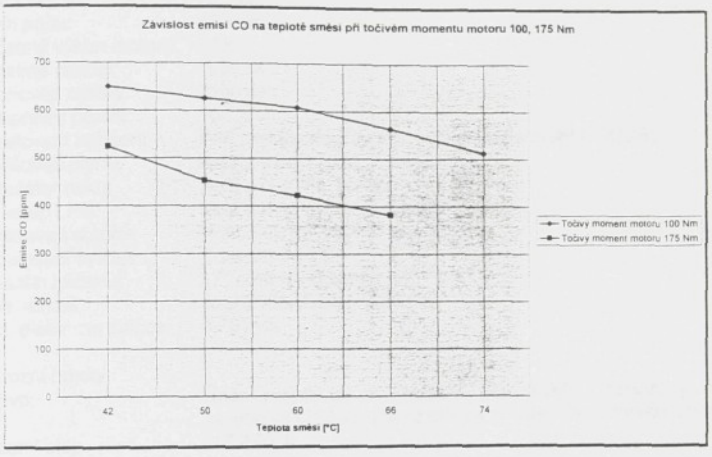
složka emise	parametr a_o	parametr a_1
CO	501,1	0,010
NO_x	3546,0	-1,129
CH	686,3	0,209

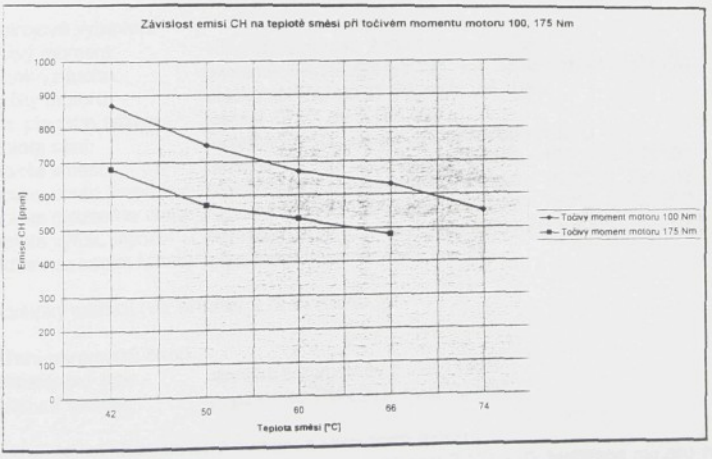
svědčí o dobré stálosti pro složky CO a CH, u složky NO_x je hodnota a_1 větší. Vzhledem k velikosti relativní směrodatné odchylky lze i objemové koncentrace složky NO_x považovat z hlediska jejich zjištění za vyhovující.

K vyhodnocení vlivu vybraných parametrů na emise a stanovení závislostí lze provést metodou regresní analýzy. K určení parametrů regresních funkcí jsou používány údaje získané vyhodnocením datových souborů z měřicí ústředny, které splňují parametry ustálených podmínek měření. Příklad posouzení vlivu teploty směsi na emise motoru Zetor je na obr. 21 a vypočtené regresní funkce jsou pro otáčky $n=1000 min^{-1}$ a točivý moment 100Nm:

		korelační koeficient
NO_x	$[ppm] = -6922,96 + 267,29\ t_{sm} - 1,523\ t^2_{sm}$	0,992
CO	$[ppm] = 485,31 + 8,39\ t_{sm} - 0,108\ t^2_{sm}$	0,992
CH	$[ppm] = 1540,8 - 19,99\ t_{sm} + 0,09\ t^2_{sm}$	0,993







Obr. 21 Vliv teploty nasávané směsi na složky emisí motoru ZETOR 7801

ZETOR 7801.61

1.1. Základní údaje a podmínky měření

Měření bylo prováděno na plynovém zážehovém motoru ZETOR 7801.61 při provozu na zkapalněnou směs propan-butan (LPG), které se uskutečnilo v laboratoři pístových spalovacích motorů katedry stojů průmyslové dopravy strojní fakulty Technické univerzity v Liberci.

a) údaje o motoru

- Výrobce: ZETOR a.s. Brno
- Typové označení: 7801.61
- Provedení: plynový zážehový nepřeplňovaný motor
- Určení: pohonná jednotka vysokozdvižných vozíků
- Konstrukce: vodou chlazený, čtyřdobý, čtyřválcový, řadový zážehový plynový motor (motor je přestavěn z původně naftového)
- Výrobní číslo: 78002002
- Zdvihový objem: 4,156 dm^3
- Vrtání válce: 105 mm
- Zdvih pístu: 120 mm
- Seřízený výkon motoru: 37 kW
- Seřízené otáčky: 1950 min^{-1}
- Jmenovité otáčky: 2150 min^{-1}
- Kompresní poměr: 10
- Zapalovací zařízení: PAL (typ Škoda-Favorit), systém zapalování COUBAL
- Směšovač plynu: Nolff's NCA 125 M, č. 01401
- Regulátor tlaku: Nolff's N-J, v.č. 63495
- VF vstup LPG: Nolff's N-VFF-302, č. 54685
- Omezovač otáček: Hoof S 201, v.č. 96071A
- Zapalovací svíčka: Brisk DR 14 YC
- Předstih zážehu: 17° před HÚ (konstantní)
- Vůle ventilů: sací 0,30/výfukový 0,40 mm
- Vzd. elektr. na svíčce: 0,70 mm

b) provozní hmoty

- Palivo: směs propan-butan (složení cca 60/40), odebíraný z tlakového zásobníku (250 kg, plyn z plnírny Dopravního podniku Litvínov)
- Mazací olej: M 7 ADS II

c) přístrojové vybavení

- Točivý moment: vířivý dynamometr 2 VD 110, č. 20265
- Průtok vzduchu: plynoměr GASELAN typ 131, v.č. 6738, rozsah 250 m^3/h
- Otáčky motoru: otáčkoměr Paltest JT 50, ev.č. DP 106
- Dyn. předstih zážehu: Paltest JT 50, ev.č. DP 106
- Teplota sání: teploměr Pt 100, ukazovací přístroj 0 ÷ 150°C
- Teplota směsi: teploměr Pt 100, ukazovací přístroj 0 ÷ 100°C, č. 521184
- Teplota chlad. kapaliny: teploměr Pt 100, ukazovací přístroj 0 ÷ 150°C, č. 521202
- Teplota mazacího oleje: teploměr Pt 100, ukazovací přístroj 0 ÷ 150°C, č. 521200
- Teplota výfuk. plynů: termočlánek Fe-Co, ukazovací přístroj 0 ÷ 800°C, č. 1750837
- Podtlak za sacím filtrem: kapalinový tlakoměr H_2O

d) podmínky měření (viz příloha 2, 3, 4, strana 1)

e) měření parametrů okolí

- Atmosférický tlak: staniční barometr ev.č. DP 1148/3
- Relativní vlhkost: psychometr PM 821L, ev.č. 024/88

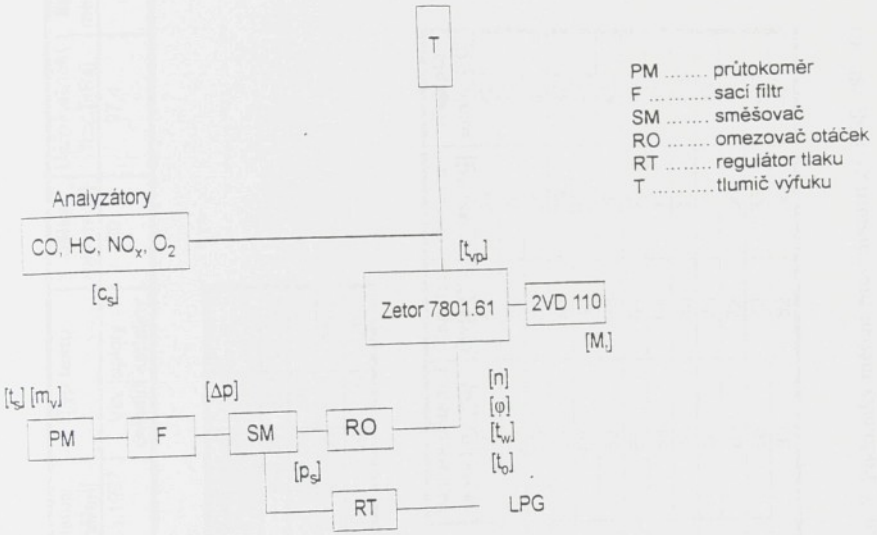
1.2. Uspořádání zkoušeného motoru a vlastnosti měření

Motor Z 7001.61 byl připojen k vířivému dynamometru 2 VD 110. Instalace motoru na stanovišti byla provedena v zástavbě přibližně odpovídající uspořádání ve vysokozdvižném vozíku Desta (tj.

sací filtr, tlumič výfuku, chlazení motoru). K sacímu potrubí bylo připojeno objemové měřidlo pro zjišťování průtoku vzduchu. Celkové uspořádání zkušebního stanoviště je na obr. a specifikace použitých měřidel je uvedena ve výše uvedené kapitole.

Vlastní odečet hodnot se uskutečnil vždy po dosažení ustálených provozních teplot motoru. Měření koncentrací emisí ve výfukových plynech bylo zaznamenáváno měřicí ústřednou, krokem snímání 1 (s) délka měření 60 sekund.

Odběr vzorku výfukových plynů z výfukového potrubí je ve vzdálenosti 300 mm za výstupní přírubou sběrného výfukového potrubí. K analyzátorům byl vzorek veden potrubím délky cca 6 m a světlosti 6 mm přes chladničku a filtry a byl dopravován membránovým čerpadlem s předepsaným tlakem k analyzátorům. Provedená analýza vzorku výfukových plynů odpovídá měření v suchých výfukových plynech. Měření koncentrací nespálených uhlovodíků bylo provedeno bez vyhřívaného potrubí.



1.3. Kalibrace přístrojů

Kalibrace přístrojů pro měření škodlivých emisí byla provedena bezprostředně před měřením následujícími kalibračními plyny:

- Složka CO: plynná směs CO + N_2
  složení: CO (892 ppm), zbytek N_2
  certifikát č. 1173/95 fy Linde AG - Technoplyn
- Složka HC: propan v syntetickém vzduchu
  složení: C_3H_8 (903 ppm), zbytek syntetický vzduch
  certifikát č. 488/96 fy Linde AG - Technoplyn
- Složka NO_x: plynná směs NO + N_2
  složení: NO (890 ppm), zbytek N_2
  certifikát č. 1405/96 fy Linde AG - Technoplyn
- Složka O_2: plynná směs O_2 + N_2
  složení: O_2 (9,99%), zbytek N_2
  certifikát č. 362/96 fy Linde AG – Technoplyn

Podmínky měření

Typ motoru	Výrobní číslo motoru	Výrobce	Datum měření	Typ testu	Délka měření [s]	Barometrický tlak [kPa]	Interval měření [s]	Teplota okolí [°C]	Relativní vlhkost [%]
Z 7801.61	78002	ZETOR a.s. Brno	14.3.1997	Vliv teploty chladící kapaliny	60	97,4	1	18	55

Použité analyzátory

Složka emise	Jednotky	Typ	Výrobní číslo	Kalibrační plyn	x	σ
CO	ppm	URAS 3E	31577874	892,00	892	0,0515
NO_x	ppm	CLA 150	850236011	890,00	890	0,5491
CH	ppm	FIA 321K	851023021	903,00	903	0,0169
O_2	%	OXYMAT 5E	D5-558	9,99	10	0,0102

Naměřené hodnoty

Měřené body	Točivý moment [Nm]	Výkon motoru [kW]	Otáčky [1/min]	Teplota chladící kapaliny [°C]	Teplota oleje [°C]	Teplota směsi [°C]	Teplota spalin [°C]
1	100	10,47198	1000	30	54	24	420
2	150	15,70796	1000	29	56	24	453
3	175	18,32596	1000	29	57	24	462
4	200	20,94395	1000	29	58	23	473
5	200	20,94395	1000	53	62	29	473
6	175	18,32596	1000	52	63	30	463
7	150	15,70796	1000	53	64	30	453
8	100	10,47198	1000	54	64	31	419
9	100	15,70796	1000	80	66	32	416
10	150	18,32596	1000	80	70	36	451
11	175	18,32596	1000	80	72	36	461
12	200	20,94395	1000	80	73	36	471
13	200	20,94395	1000	80	82	36	472

Tab. 7 Podmínky měření emisí motoru ZETOR 7801.61

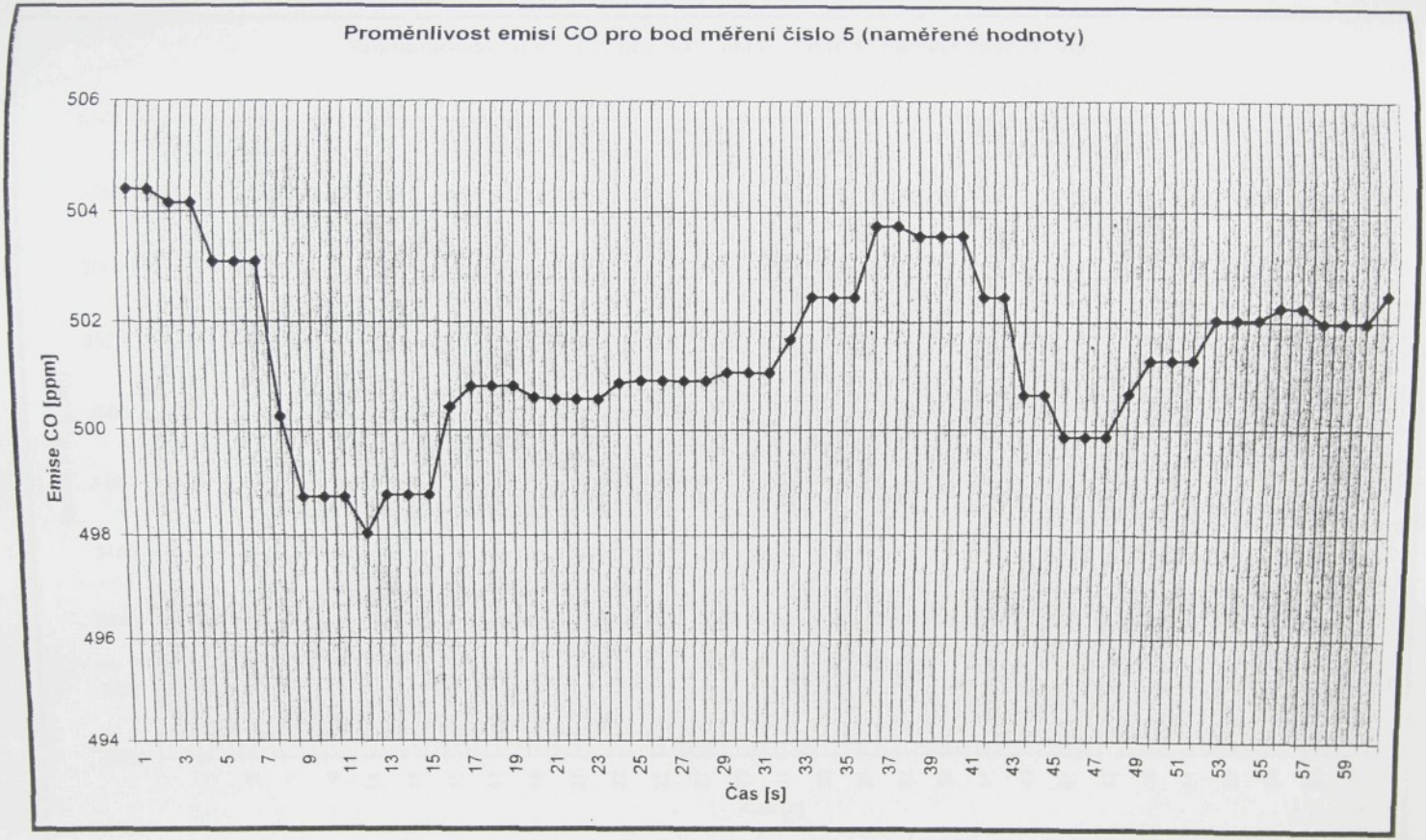
Čas [s]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Emise CO [ppm]	504,40	504,40	504,16	504,16	503,10	503,10	503,1	500,23	498,73	498,73	498,73	498,03	498,77	498,77	498,77
Emise NO_x [ppm]	3505,32	3518,29	3518,29	3563,69	3563,69	3563,69	3558,7	3558,70	3529,27	3529,27	3530,76	3530,76	3563,19	3563,19	3565,69
Emise CH [ppm]	699,29	699,29	699,29	691,69	688,50	688,50	688,5	689,29	689,29	690,69	690,69	689,29	689,29	687,10	687,10
Emise O_2 [%]	5,00	4,98	4,98	4,98	4,98	4,98	5,0	5,00	5,00	5,10	5,10	5,10	5,10	5,00	5,00

Čas [s]	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Emise CO [ppm]	500,43	500,81	500,81	500,81	500,61	500,57	500,57	500,57	500,87	500,91	500,91	500,91	500,91	501,07	501,07
Emise NO_x [ppm]	3565,69	3527,27	3500,33	3500,33	3514,80	3514,80	3514,80	3505,32	3505,32	3513,30	3513,30	3542,74	3542,74	3542,24	3542,24
Emise CH [ppm]	686,70	686,70	687,10	687,10	685,50	685,50	685,50	687,10	687,10	687,90	687,50	687,50	690,29	690,29	692,09
Emise O_2 [%]	4,99	4,99	4,98	4,98	4,99	4,99	4,99	4,99	4,99	4,99	4,99	5,00	5,00	5,00	5,10

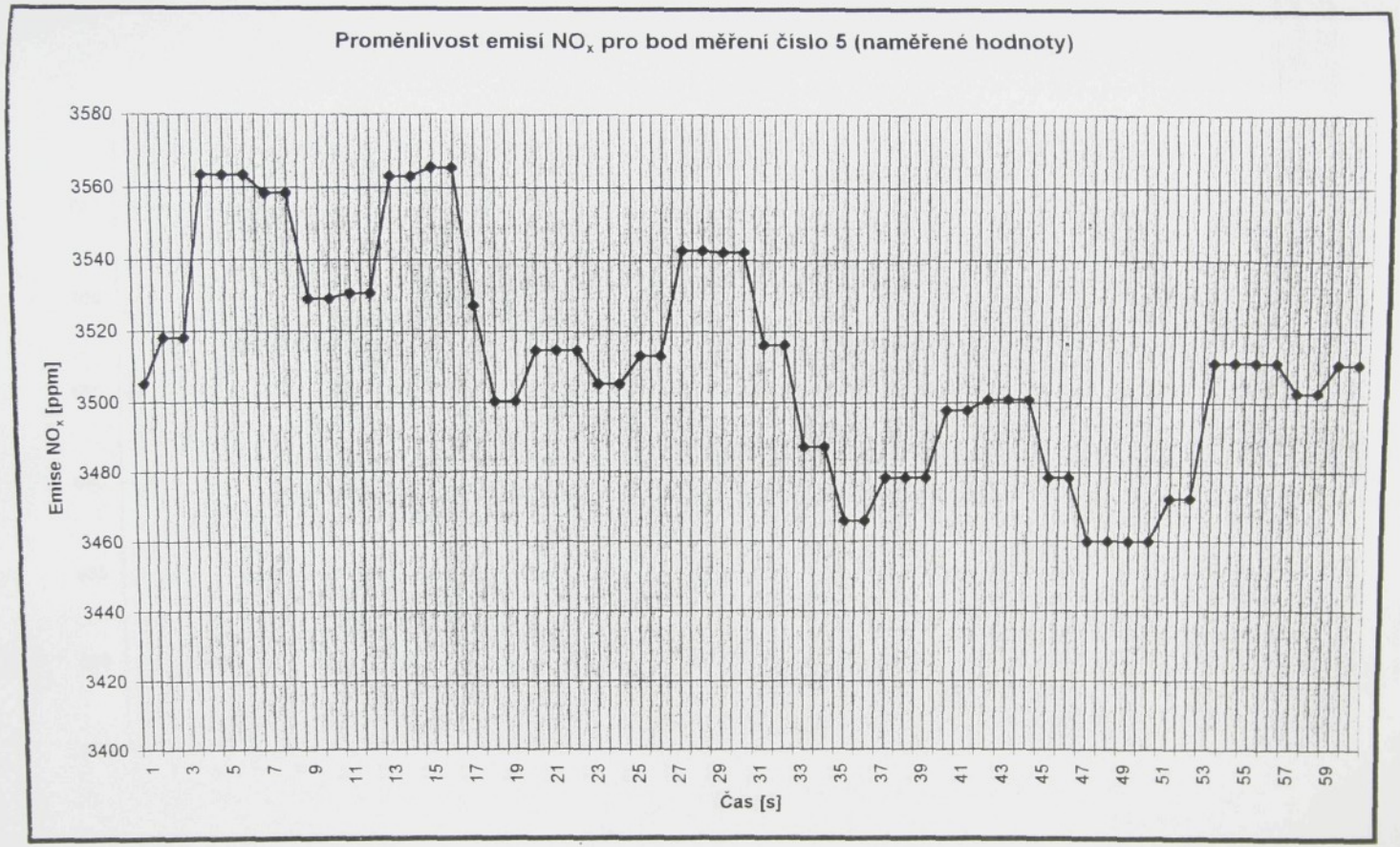
Čas [s]	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
Emise CO [ppm]	501,07	501,68	502,46	502,46	502,46	503,74	503,74	503,56	503,56	503,56	502,46	502,46	500,65	500,65	499,87
Emise NO_x [ppm]	3516,30	3516,30	3487,36	3487,36	3465,91	3465,91	3478,38	3478,38	3478,38	3497,84	3497,84	3500,83	3500,83	3500,83	3478,38
Emise CH [ppm]	692,09	694,49	694,49	697,09	697,09	699,09	699,09	699,09	697,89	697,89	697,29	697,29	697,29	697,29	697,29
Emise O_2 [%]	5,10	5,10	5,10	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	4,99	4,99	5,00	5,00	5,20	5,20

Čas [s]	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
Emise CO [ppm]	499,87	499,87	500,67	501,29	501,29	501,29	502,04	502,04	502,04	502,26	502,26	501,98	501,98	501,98	502,50
Emise NO_x [ppm]	3478,38	3459,92	3459,92	3459,92	3459,92	3472,39	3472,39	3511,31	3511,31	3511,31	3511,31	3502,83	3502,83	3510,81	3510,81
Emise CH [ppm]	698,49	698,49	699,29	699,29	699,29	699,29	696,49	696,49	696,49	696,49	699,29	699,29	702,49	702,49	703,69
Emise O_2 [%]	5,20	5,20	5,20	5,20	5,20	5,20	5,20	5,20	5,20	5,20	5,20	5,20	5,30	5,30	5,30

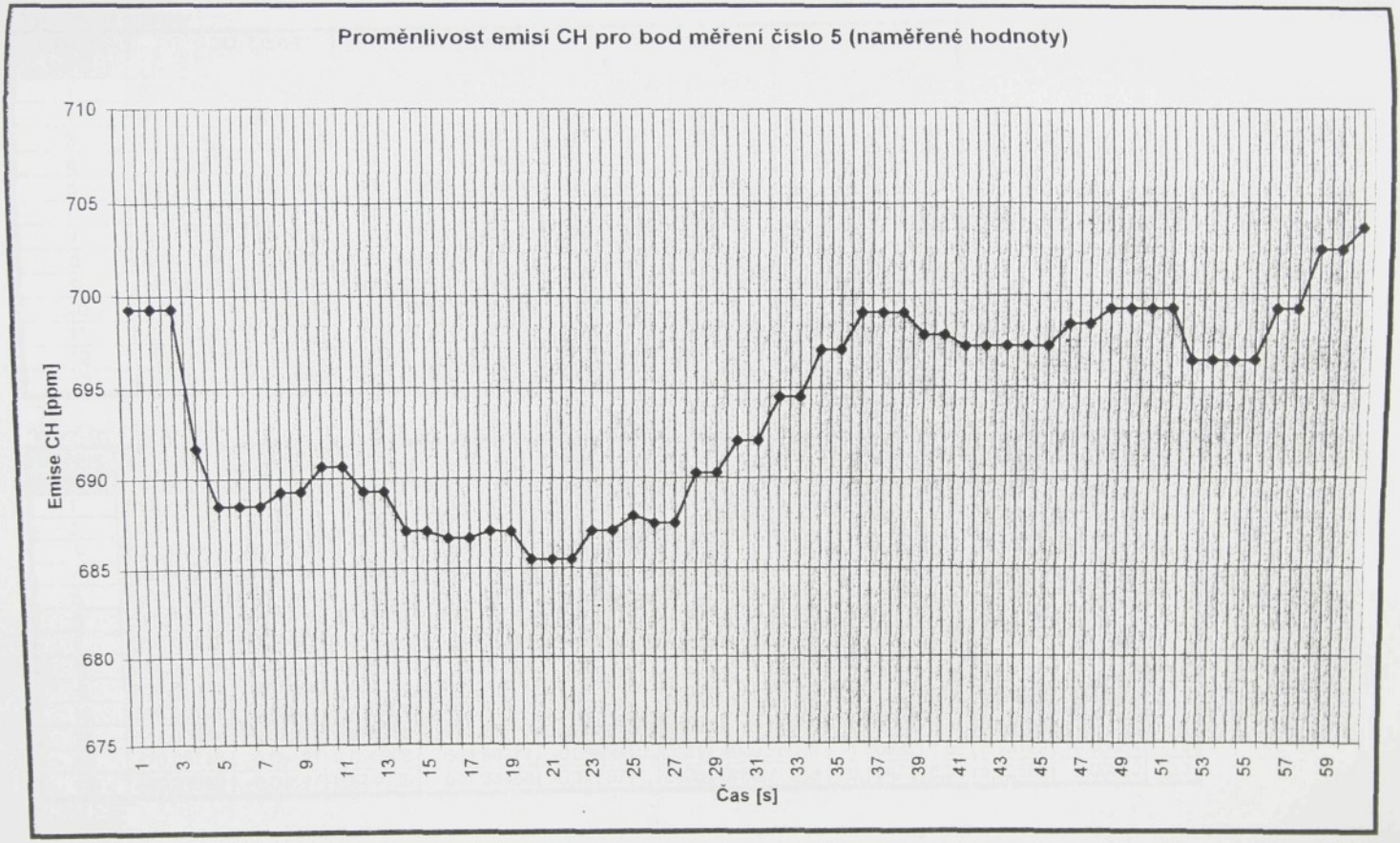
Tab. 8 Naměřené hodnoty objemových koncentrací pro bod 5



Obr. 18 Proměnlivost emisí CO pro bod 5



Obr. 19 Proměnlivost emisí NO_x pro bod 5



Obr. 20 Proměnlivost emisí CH pro bod 5

Vypočítané hodnoty

Měřené body	CO [ppm]		CH [ppm]		NO_x [ppm]		O_2 [%]	
	x	σ	x	σ	x	σ	x	σ
1	620,11150	1,14035	1071,07983	5,16569	1582,26600	19,56735	4,88050	0,02070
2	546,74450	2,33310	912,49583	7,19329	2630,91850	21,50335	4,64467	0,02213
3	511,11817	5,37042	827,57500	9,32121	3348,87067	18,99153	4,49733	0,01205
4	493,52733	4,15337	766,22117	5,90868	3658,22617	17,26815	4,58033	0,01134
5	501,44583	1,57940	693,72950	5,37506	3511,56517	30,59398	5,00333	0,01446
6	531,76450	2,28172	815,84483	7,13564	2778,14683	25,06360	5,23933	0,01604
7	561,56050	5,35199	904,57933	9,85892	2361,75017	50,01023	5,19250	0,02518
8	644,75867	3,64592	1032,42383	7,66734	1355,02267	43,43617	5,41900	0,01704
9	663,79383	3,34239	950,22000	3,78593	1400,87983	32,69883	5,65950	0,06212
10	563,34317	3,03552	823,96600	3,50248	2186,25917	22,52941	5,61133	0,01631
11	545,05283	1,73806	752,46167	2,88763	2516,91867	36,79285	5,19630	0,01473
12	468,28100	1,90099	603,77133	4,21128	4016,67417	34,55012	5,11250	0,02160
13	478,61467	1,79586	643,51983	5,55832	3772,71633	39,53572	5,21967	0,02099

Vypočítané hodnoty

Měřené body	CO			CH			NO_x			O_2		
	a_0	a_1	$\lvert\varepsilon\rvert$	a_0	a_1	$\lvert\varepsilon\rvert$	a_0	a_1	$\lvert\varepsilon\rvert$	a_0	a_1	$\lvert\varepsilon\rvert$
1	619,21475	0,02940	0,284877	1067,78866	0,10791	0,60636	1563,61403	0,61154	2,35	4,84871	0,00104	1,29
2	550,42758	-0,12076	1,316358	903,25545	0,30296	2,01245	2619,91388	0,36081	0,83	4,67962	-0,00115	1,47
3	520,15640	-0,29634	3,418280	842,96703	-0,50466	3,59203	3351,55007	-0,08785	0,16	4,51503	-0,00058	0,77
4	488,67415	0,15912	1,953695	763,72390	0,08188	0,64327	3633,69262	0,80438	1,33	4,56991	0,00034	0,45
5	501,12859	0,01040	0,124519	687,34786	0,20923	1,82641	3546,02007	-1,12967	1,91	4,98438	0,00062	0,75
6	533,20254	-0,04715	0,530568	812,58723	0,10681	0,78867	2804,16315	-0,85299	1,83	5,21798	0,00070	0,80
7	568,10992	-0,21473	2,267836	916,14238	-0,37912	2,48293	2415,79223	-1,77187	4,40	5,24212	0,00026	0,30
8	642,57728	0,07152	0,667811	1043,92733	-0,37716	2,16774	1297,86780	1,87393	8,66	5,41776	0,00004	0,04
9	659,81474	0,13046	1,186333	949,99051	0,00752	0,04750	1447,52960	-1,52950	6,34	5,57761	0,00268	2,88
10	566,85721	-0,11521	1,219461	827,40568	-0,11278	0,81783	2191,93414	-0,18606	0,51	5,61937	-0,00026	0,28
11	547,30171	-0,07373	0,808293	754,21777	-0,05758	0,45806	2521,78138	-0,15943	0,38	5,62234	0,00025	0,27
12	470,25778	-0,06481	0,826908	604,89777	-0,03693	0,36631	4049,28840	-1,06932	1,58	5,13192	-0,00064	0,75
13	480,01689	-0,04597	0,574605	647,33454	-0,12507	1,15925	3766,77738	0,19472	0,31	5,22582	-0,00020	0,23

Tab. 9 Odhady parametrů regresních přímek složek emisí

6.5 Metody statistické analýzy souborů měření emisí

Pro ověření hypotézy, že vliv sledovaných faktorů působících na velikost objemové koncentrace emise při časovém vyhodnocování vývoje, je při některých faktorech statisticky významný, lze aplikovat metody analýzy rozptylu.

Při vyhodnocování se vychází z předpokladu, že podmínky pro získávání posuzovaných souborů měřených emisí jsou homogenní a představují vždy relativně stálé podmínky, zejména bez ohledu na časové období, kdy byly údaje získány. Ke zpracování byly použita metoda analýzy rozptylu a to pro:

- **jednoduché třídění** při vyhodnocení výběrových souborů posuzovaného parametru, při jednom rozlišovacím faktoru, který se vyskytuje v různých úrovních,
- **dvojné třídění** při volbě dvou rozlišovavacích faktorů v různých úrovních.

6.5.1 Analýza rozptylu při jednoduchém třídění

Cílem statistického postupu je posoudit významnost odlišností vyskytujících se při měření objemových koncentrací emisí vzhledem ke sledovaným parametrům (vybraným rozlišujícím znakům). Tato vysvětlující proměnná se označuje jako faktor. Schematicky můžeme uvedený stav znázornit tabulkou:

faktor	četnost	posuzovaný parametr (jednotlivé hodnoty)	Součet Y	střední hodnota y	stř.směrodatná odchylka
1	n_1	y_{11} , y_{12} , ...	Y_1.	y_1	s_1
2	n_2	y_{21} , y_{22}, ...	Y_2.	y_2	s_2
3	n_3	y_{31} , y_{32}	Y_3	y_3	s_3
.	.				
i	n_i	y_{i1} , y_{i2}	Y_i	y_i	s_i
			Y..	y..	

Obecně lze jednotlivé realizace sledovaného parametru označit y_{ij}

kde i = 1, 2,.... k určuje jednotlivou úroveň faktoru
j = 1, 2, .. n_j určuje jednotlivou realizaci náhodné veličiny v rámci úrovně faktoru.

Vypočteme výběrové charakteristiky ve skupinách:

celkový součet hodnot $Y_{i.}$, výběrový průměr $y_{i.}$ a střední směrodatnou odchylku s_i. ze vztahů:

$$Y_{i.} = \sum_{j=1}^{n_j} y_{ij} \quad , \quad y_{i.} = \frac{Y_{i.}}{n_i} \quad , \quad s_i = \sqrt{1/(n-1)\sum_{j=1}^{n_i}(y_{ij} - y_{i.})^2} \quad .$$

Výběrové charakteristiky pro celý výběrový soubor hodnot:

celkový součet $Y_{..}$, střední hodnota $y_{..}$

$$Y_{..} = \sum_{i=1}^{k}\sum_{j=1}^{n_j} y_{ij} \qquad y_{..} = \frac{Y_{..}}{n}$$

Vyhodnocení odlišností ve výběrovém souboru se provede v tabulce analýzy rozptylu ve tvaru dále uvedeném:

součet čtverců odchylek	stupeň volnosti	podíl
Mezi úrovněmi faktorů Q_1	k - 1	$Q_1 / (k-1)$
Reziduální Q_2	n - k	$Q_2 / (n-k)$
Celkový Q_{celk}	n - 1	

kde jednotlivé součty čtverců odchylek jsou dle vztahů:

$$Q_1 = \sum_{i=1}^{k} \frac{Y^2_{i.}}{n_i} - \frac{Y^2_{..}}{n}$$

$$Q_2 = \sum_{i=1}^{k}\sum_{j=1}^{n_k} y_{ij} - \sum_{i=1}^{k} \frac{Y^2_{i.}}{n_i} \quad .$$

Za posuzovací kriterium (testovací kriterium) pro vyhodnocení statistické významnosti odchylek je volena veličina

$$T = \frac{Q_1 / (k-1)}{Q_2 / (n-k)},$$

která je náhodnou veličinou a je popisována rozdělením náhodné veličiny $F_{(k-1),(n-k)}$

Mezní hodnota testovacího kriteria nesmí být větší než hodnota $F_{0,05\ ,(k-1),(n-k)}$, kterou určíme ze statistických tabulek /2/ .

Variabilita v posuzovaných souborech je rovněž ovlivňována velikostí střední směrodatné odchylky event. rozptylů souborů při jednotlivých úrovních faktorů. Je proto nutná platnost statistické hypotézy, že rozptyly při jednotlivých úrovních faktorů jsou stejné event. jejich odlišnosti jsou statisticky nevýznamné. K prověření lze použít Bartlettova testu či testu F, pokud budeme porovnávat pouze dva výběrové soubory (např. dvě odlišná seřízení bohatosti směsi, dvě různé teploty nasávaného vzduchu, seřízení předstihu zážehu apod.).

Bartlettův test slouží k ověření statistické hypotézy tvaru:

$H_o : \sigma^2_1 = \sigma^2_2 = ...$ proti hypotéze $H_1 : \sigma^2_1 \neq \sigma^2_2 \neq .....$

K rozhodnutí o platnosti základní nulové hypotézy stanovíme testovací kriterium dle vztahu:

$$T = \frac{1}{C} [(n-K)\ln s - \Sigma(n-1)\ln s^2]$$

které nesmí být větší než kritická hodnota $\chi_{0,05,\ (K-1)}$.

Ve vztahu je s^2 vážený průměr z výběrových rozptylů posuzovaných souborů

$$s^2 = \frac{\sum_{k=1}^{K} s^2_k \ (n_k - 1)}{n - K}$$

kde s^2_k jsou výběrové rozptyly souborů pro jednotlivé úrovně posuzovaných faktorů.

Konstantu C, zajišťující lepší aproximaci výběrového rozdělení rozdělením chí-kvadrát určíme z výrazu:

$$C = 1 + \frac{1}{3\,(K-1)} \left(\sum_{k=1}^{K} \frac{1}{n_k - 1} - \frac{1}{n - K} \right).$$

6.5.2 Analýza rozptylu při dvojném třídění

Cílem tohoto statistického postupu je posoudit významnost odlišností při měření úrovně škodlivých emisí při dvou rozlišujících faktorech a jejich různé úrovni např:

- faktor A typ paliva (velikost kompresního poměru, zatížení motoru, otáčky motoru...),
- faktor B velikost přebytku vzduchu (teplota směsi, předstih zážehu....)

Schematicky můžeme uvedený stav znázornit tabulkou:

	POSUZOVANÝ PARAMETR (složka emise) faktor B				
	B_1	B_2	B_j		
faktor A				Součet $Y_{i.}$	střední hodnota $y_{i.}$
1	y_{11}	y_{12}	y_{1j}	$Y_{1.}$	$y_{1.}$
2	y_{21}	y_{22}	y_{2j}	$Y_{2.}$	$y_{2.}$
3	y_{31}	y_{32}	y_{3j}	$Y_{3.}$	$y_{3.}$
i	y_{i1}	y_{i2}	y_{ij}	$Y_{i.}$	$y_{i.}$
Součet	$Y_{.1}$	$Y_{.2}$	$Y_{.j}$	$Y_{..}$	
Střední hodnota	$y_{.1}$	$y_{.2}$	$y_{.j}$	$y_{..}$	

Obecně lze jednotlivé kombinace realizací sledovaných faktorů označit y_{ij}

kde i = 1, 2,.... k určuje jednotlivou úroveň faktoru A
j = 1, 2, ... m určuje jednotlivou úroveň faktoru B.

Vypočteme výběrové charakteristiky ve skupinách dle faktorů a celkového souboru bez rozlišení:

- parametry pro faktor A (po řádcích), součty a střední hodnota

$$Y_{i.} = \sum_{j=1}^{m} y_{ij} \qquad y_{i.} = \frac{Y_{i.}}{m}$$

- parametry pro faktor B (po sloupcích), součty a střední hodnota

$$Y_{j} = \sum_{i=1}^{k} y_{ij} \qquad y_{j} = \frac{Y_{j}}{k}$$

- parametry bez rozlišení hodnoceného souboru, celkový součet a střední hodnota

$$Y_{..} = \sum_{i=1}^{k} \sum_{j=1}^{m} y_{ij} \qquad y_{..} = \frac{Y_{..}}{k \cdot m}$$

K posouzení odlišností mezi zjištěnými hodnotami posuzovaného výběrového souboru vypočteme součty čtverců odchylek dle vztahů:

- pro faktor A

$$Q_1 = k \cdot \sum_{i=1}^{m} (y_{i.} - y_{..})^2 = \frac{\sum_{j=1}^{k} Y^2_{i.}}{m} - \frac{Y^2_{..}}{k \cdot m}$$

- pro faktor B

$$Q_2 = m \cdot \sum_{j=1}^{k} (y_{j} - y_{..})^2 = \frac{\sum_{i=1}^{m} Y^2_{j}}{k} - \frac{Y^2_{..}}{k \cdot m}$$

- celkový součet čtverců

$$Q_{celk} = \sum_{i=1}^{k} \sum_{j=1}^{m} (y_{ij} - y_{..})^2 = \sum_{i=1}^{k} \sum_{j=1}^{m} y^2_{ij} - \frac{Y^2_{ij}}{k \cdot m}$$

- residuální součet čtverců

$$Q_{res} = Q_{celk} - Q_1 - Q_2 .$$

Z vypočtených hodnot sestavíme tabulku analýzy rozptylu.

	součet čtverců odchylek	stupeň volnosti	podíl
Faktor A	Q_1	k-1	Q_1 / k-1
Faktor B	Q_2	m-1	Q_2 / m-1
Faktor A + B	Q_{res}	(k-1).(m-1)	Q_{res} / (k-1).(m-1)
Celkový	Q_{celk}	(k . m -1)	

Posouzení statistické významnosti jednotlivých faktorů se provede prostřednictvím následujících statistických testů:

Vliv faktoru A je významný pokud

$$T = \frac{Q_1 / k\text{-}1}{Q_{res} / (k\text{-}1).(m\text{-}1)} \quad \text{je větší než} \quad F_{0,05,\ k-1,\ (k-1).(m-1)} .$$

Vliv faktoru B je významný pokud

$$T = \frac{Q_2 / m\text{-}1}{Q_{res} / (k\text{-}1).(m\text{-}1)} \quad \text{je větší než} \quad F_{0,05,\ m-1,\ (k-1).(m-1)} .$$

7.0 Souhrnný přehled literatury

Přehled literatury je uveden dle citací v jednotlivých kapitolách předložené práce.

Kapitola 2.0

/1/ BARTONÍČEK, L.: Motor M 636 na metanové palivo. In.: Sborník 24. konference kateder a pracovišť spalovacích motorů. VŠST Liberec, 1993.

/2/ BARTONÍČEK, L.: Plynový motor ŠKODA LIAZ ML 637 NG. (Výzkumná zpráva). TU Liberec, 1998.

/3/ BEROUN, S.-SCHOLZ, C.: Plynový zážehový motor ML 636 PB EM-M1.2C. (Výzkumná zpráva). TU Liberec, 1997.

/4/ BEROUN, S.-SCHOLZ, C.: Plynový zážehový motor ML 636 PB EM.W-M1.2C. (Výzkumná zpráva). TU Liberec, 1998.

/5/ BERG, P.S.: Verwerdung verschieeedener Kraftstoffe im Dieselmotor mit zwei Einspritzsystemen. MTZ 7, 1981. .

/6/ ECKLUND, E.E.-BECHTOLD, R.L.: State of the Art Report on the Use of Alcohols in Diesel Engine. SAE Tech, Pap. Ser., 1984, č. 840118.

/7/ GOERING, C.E.: Overfueling a Diesel Engine with carbureted Etanol. Trans. ASAE 25, č.3, 1982.

/8/ ISIZU. G.: Diesel Injection Systems Mixes Fuel. Automotive Engeneering, 9., 1981.

/9/ HRACH. V.: Praktické zkušenosti s palivem na bázi metylesteru řepkového oleje. In:Sborník 24. konference kateder a pracovišť stalovacích motorů. VŠST Liberec, 1993.

/10/JOHNSON, R.T: Performance of Stabilized Diesel Fuesl Cintaining Alcohols and Water in Single and Multicylinder Direct Injection Engines. SAE Tech. Pap. Ser. , 1983, č. 830557.

/11/ KŘEPELKA, V.: Možnosti použití směsi nafta-etanol v provozu traktorových motorů. In.: Sborník 20, konference kateder a pracovišť spalovacích motorů. VŠZ Brno, 1989.

/12/ MOC, L.-LAURIN, J.: Použití etanolu jako alternativního paliva pro vznětové motory Liaz. In: Sborník vědeckých prací Vysoké školy strojní a textilní v Liberci. Sv. 18. Liberec, VŠST 1985, s. 279-286.

/13/ MOC, L.: Vliv spalování etanolu na parametry přeplňovaného vznětového motoru. In: Sborník vědeckých prací Vysoké školy strojní a textilní v Liberci. Sv. 19. Liberec, VŠST 1986, s. 255-262.

/14/ MOC, L.: Snížení teploty plnicího vzduchu u přeplňovaných motorů. In: Sborník 18. konference kateder a pracovišť spalovacích motorů čsl. vysokých škol. Brno, VUT 1987.

/15/ MOC, L.: Vliv spalování etanolu na parametry pracovního oběhu přeplňovaného vznětového motoru. In.: Sborník vědeckých prací Vysoké školy strojní a textilní v Liberci. Sv. 21. Liberec, VŠST 1988, s. 347-354.

/16/ MOC, L.-LAURIN, J.: Alternativní paliva pro vznětové motory ČSFR. In.: Sborník 22. konference kateder a pracovišť spalovacích motorů čsl. vysokých škol. Praha, ČVUT 1991.

/17/ MOC, L.: Provoz vznětového motoru na dvojí palivo. (Výzkumná zpráva SM 140/75). Liberec, VŠST 1975.

/18/ MOC, L.-LAURIN, J.: Emise motoru Z 7701 na alternativní paliva. (Výzkumná zpráva SM 274/92). VŠST 1992.

/19/ MOC, L.-LAURIN, J.: Škodlivé emise naftového motoru provozovaného na vzorky paliv z VÚPM Benzina. (Výzkumná zpráva SM 278/93). VŠST 1993. 8 s., příl 22.
/20/ MOC, L.-LAURIN, J.: Výzkum škodlivých emisí naftového motoru provozovaného s palivy na bázi metylesteru řepkového oleje z VÚPM Benzina. (Výzkumná zpráva SM 281/93). VŠST 1993. 7 s., příl 9.
/21/ MOC, L.-LAURIN, J.: Výzkum škodlivých emisí naftového motoru provozovaného se vzorky paliv z VÚPM Benzina. (Výzkumná zpráva SM 285/93). VŠST 1993. 7 s., příl. 8.
/22/ MOC, L.-LAURIN, J.:. Vývoj paliv pro vznětový motor. (Výzkumná zpráva SM 288/93). VŠST 1993.
/23/ MOC, L.-LAURIN, J.: Výzkum škodlivých emisí naftového motoru provozovaného se vzorky paliv ze Sdružení pro výrobu bionafty. (Výzkumná zpráva SM 291/94). TU 1994.
/24/ MOC, L.-LAURIN, J.: Vývoj motoru AVIA 712 na pohon propan-butanem. (Výzkumná zpráva SM 276/92). VŠST 1992.
/25/ MOC, L.-BARTONÍČEK, L.-LAURIN, J.: Motor Avia na zemní plyn. (Výzkumná zpráva SM 311/96). TU 1996.
/26/ MOC, L-BARTONÍČEK, L.-LAURIN, J.: Motor Avia na zemní plyn. (Výzkumná zpráva SM 313/96). TU 1996.
/27/ MOC, L-BARTONÍČEK, L.-LAURIN, J.: Zážehový motor Avia 712 NG na zemní plyn. (Výzkumná zpráva SM 331/97). TU 1997.
/28/ MOC, L-BARTONÍČEK, L.-LAURIN, J.: Výzkum a vývoj motorů Avia na zemní plyn. (Výzkumná zpráva SM 333/97). TU 1997.
/29/ PALKOSKA, K.: Provoz vznětového motoru na směs paliv. (Diplomová práce). VŠST Liberec, 1983.
/30/ PODOLÁK, A.: Rostlivé oleje-alternativní palivo pro vznětový spalovací motor. In:. Sborník 24. konference kateder a pracovišť spalovacích motorů. VŠST Liberec, 1993.
/31/ SHRAPSHIRE, G.J.: Etanol Injection into a Diesel Engine. Trans.ASAE, 25 č.3.,1982.
/32/ SLÁDEČEK, J.: Provoz motoru při dopravě etanolu do sacího potrubí. (Diplomová práce). VŠST Liberec, 1985.

Kapitola 3.0

/1/ BEROUN, S.: Výfukové emise pístových spalovacích motorů. Liberec TU, 1997.
/2/ HIERETH, H. a kol.: Erarbeitung einer Russbildingshypothese am gefeueten Motor. Daimler-Benz AG, Stuttgart, 1984.
/3/ KOŽOUŠEK, J.: Spalovací motory. Praha, SNTL 1956

Kapitola 4.0

/1/ BEROUN, S.-SCHOLZ, C.: Ekologické efekty náhrady nafty plynným palivem. In.: Sborník 3. mezinárodního sympozia Motorová paliva 98, Vyhne, 1998.
/2/ BEROUN, S.: Výfukové emise pístových spalovacích motorů. Liberec TU, 1997.
/3/ BECK, N.J.-JOHNSON, W.P.-PETERSON, P.W.: Optimized E.F.I. for Natural Gas fueled Engines. SAE Tech. Pap. Ser., 1991, č. 911650.
/4/ HIERETH, H. a kol.: Erarbeitung einer Russbildingshypothese am gefeueten Motor.

/5/ MELTZER, M.: Emise oxidů dusíku plynového přeplňovaného motoru řady 150. In: Sborník 20. konference kateder a pracovišť spalovacích motorů. VŠZ Brno, 1989.
/6/ TRNKA, J.-URBAN, J.: Spalovacie motory. Alfa, Bratislava 1992.
/7/ MOC, L.: Protokol P 07/03/97 o měření plynných emisí ve výfukových plynech motoru AVIA 712.18. Liberec, SZ 232, 1997.
/8/ MOC, L.: Protokol P 08/03/97 o měření plynných emisí ve výfukových plynech motoru AVIA 712.18 s katalyzátorem. Liberec, SZ 232, 1997.
/9/ MOC, L.: Protokol P 12/04/96 o měření plynných emisí ve výfukových plynech motoru 6S 160 G. Liberec, SZ 232, 1996
/10/ MOC, L.: Protokol P 17/07/96 o měření plynných emisí ve výfukových plynech motoru 6S 160 GK. Liberec, SZ 232, 1996.
/11/ MOC, L-BARTONÍČEK, L.-LAURIN, J.: Hodnocení katalyzátorů VINID. (Výzkumná zpráva SM 332/97) . TU 199
/12/ MOC, L.-BARTONÍČEK, L.-LAURIN, J.: Hodnocení katalyzátorů Cherox. (Výzkumná zpráva SM 321/96). TU 1996.
/13/ MOC, L.-BARTONÍČEK, L.-LAURIN, J.: Hodnocení katalyzátorů Cherox. (Výzkumná zpráva SM 323/97). TU 1997.

Kapitola 5.0

/1/ MOC, L.-LAURIN, J.: Vývoj motoru AVIA 712 na pohon propan-butanem. (Výzkumná zpráva SM 276/92). VŠST 1992.
/2/ MOC, L.: Protokol P 07/03/97 o měření plynných emisí ve výfukových plynech motoru AVIA 712.18. Liberec, SZ 232 1997 .
/3/ MOC, L.-BARTONÍČEK, L.-LAURIN, J.: Motor Avia na zemní plyn. (Výzkumná zpráva SM 311/96). TU 1996.
/4/ MOC, L-BARTONÍČEK, L.-LAURIN, J.: Motor Avia na zemní plyn. (Výzkumná zpráva SM 313/96). TU 1996.
/5/ MOC, L-BARTONÍČEK, L.-LAURIN, J.: Zážehový motor Avia 712 NG na zemní plyn. (Výzkumná zpráva SM 331/97). TU 1997.

Kapitola 6.0

/1/ CIBULKA, M.: Přesnost měření výfukových emisí. (Bakalářský projekt). TU Liberec, 1997.
/2/ HEBÁK, P.-HUSTOPECKÝ, J.: Průvodce moderními statistickými metodami. Praha, SNTL, 1990.
/3/ LIKEŠ, J.: Navrhování průmyslových experimentů. Praha, SNTL, 1968.
/4/ MOC, L.: Statistické zpracování souborů měření. (Metodika MPAL 022/91). Liberec, VŠST, 1991.
/5/ MOC, L. a kol.: Projekt automatizovaného sběru a zpracování výsledků měření plynných emisí ve výfukových plynech spalovacího motoru. (Výzkumná zpráva SM318/96). TU Liberec, 1996.
/6/ MOC, L.: Protokol P 06/03/97 o měření plynných emisí motoru Z 7801.61. Liberec, SZ 232 1997.

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

LUBOMÍR MOC

K problematice rekonstrukce a výfukových emisí vznětových motorů přestavovaných na plynové zážehové

(Soubor prací s komentářem předkládaný jako habilitační práce podle § 2 odst. 3., písm.b vyhlášky 447/90 Sb. MŠMT ČR)

PŘÍLOHY

Liberec, červen 1998

Seznam souboru publikovaných prací

" K problematice rekonstrukce a výfukových emisí vznětových motorů přestavovaných na plynové zážehové"

P 1 Provoz vznětového motoru na dvojí palivo SM 140/75

P 2 Provoz vznětového motoru na dvojí palivo II . SM 150/76

P 3 Provoz vznětového motoru na dvojí palivo III. SM 154/76

P 4 Využití etanolu jako paliva pro motor M 2.4R. SM 233/87

P 5 Alternativní paliva pro vznětové motory v ČSFR

P 6 Škodlivé emise naftového motoru provozovaného na vzorky paliv. SM 278/92

P 7 Zpracování výsledků měření plynných emisí ve výfukových plynech spalovacího motoru. (studijní metodická pomůcka SM 337/97).

P 8 Výzkum a vývoj motorů AVIA na zemní plyn. SM 333/97

P 9 Vývoj motoru AVIA 712 na pohon propan-butanem. SM 276/92

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Univerzitní knihovna
Voroněžská 13, 461 17
PSČ 461 17

Příloha P 1

Provoz vznětového motoru na dvojí palivo
I. část

Souhrn: Zpráva obsahuje přehled možných realizací provozování vznětového motoru v dvojpalivovém provedení. V rešeršní části jsou sledovány některé parametry ovlivňující spalování plynných paliv (metanu a směsi propan-butanu). Ověření možností bylo provedeno na jednoválcovém motoru 120/130 a následně na plnorozměrovém motoru Liaz M 634, pro který bybylo navrženo z tehdy dostupných tuzemských dílů plynové palivové příslušenství. Součástí zprávy jsou zpracované výsledky z měření pro až 70%náhradu nafty směsi propan-butanu u jednoválce a cca 40% náhrady pro plnorozměrový motor. Vzhledem k přístrojovému vybavení pracoviště se při experimentu sledovaly pouze emise CO (infračervený analyzátor IREX), o ostatních složkách emisí se usuzovalo podleprůběhu jiných parametrů motoru (teplota výfukových plynů). Ve zprávě jsou uvedeny výsledky vysokotlaké indikace ve válci jednoválcového motoru a posouzení pracovních oběhů podle max. spalovacích tlaků pracovních oběhů motoru.

VÝZKUMNÉ A ZKUŠEBNÍ PRACOVIŠTĚ SPALOVACÍCH MOTORŮ
Vysoké školy strojní a textilní
v Liberci

Provoz vznětového motoru na dvojí palivo

1

Vedoucí úkolu:
Ing.Oldřich Červinka,CSc

Řešitel úkolu:
Ing. Lubomír Moc

Číslo úkolu:
E-13-124-005

Ředitel pracoviště:
Ing. Oldřich Červinka, CSc.

Číslo zprávy:
SM 140/75

Liberec, listopad 1975

S o u h r n

Ve zprávě jsou uváděny výsledky z provozu vznětového motoru na dvojí palivo nafta-směs uhlovodíků propan, butan prováděné na jednoválcovém zkušebním motoru 120/140 a na motoru LIAZ M 634.

Provoz vznětového motoru při různé velikosti náhrady nafty směsí zkapalněných uhlovodíků a různém seřízení, různé velikosti geometrického počátku dodávky zapalovací dávky kapalného paliva byl sledován dle průběhu hlavních parametrů motoru a z hlediska množství některých škodlivin ve výfukových plynech.

Ruch Liberec

O b s a h

		str.
1.0	Úvod	5
2.0	Spalování plynného paliva ve vznětovém motoru	7
2.1	Způsoby realizace dvojpalivového provozu	7
2.2	Směs zkapalněných plynných uhlovodíků jako palivo pro vznětový motor	8
2.3	Spalování plynného paliva ve vznětovém motoru - rešerše	13
3.0	Provoz naftového motoru na směs propan,butan	29
3.1	Základní uspořádání a úpravy motoru	29
3.2	Experimentální zkoušky na jednoválcovém zkušebním motoru	33
3.2.1	Příprava zkušebního stanoviště	33
3.2.2	Směšovací zařízení a rozvod plynu	35
3.2.3	Výsledky měření na zkušebním jednoválci	35
3.3	Výsledky experimentálních zkoušek na M 634	37
3.3.1	Uspořádání měřicího zařízení	37
3.3.2	Rozvod a regulace přívodu plynu	38
3.3.3	Měřicí zařízení	42
3.3.4	Návrh směšovacího zařízení pro M 634	44
3.3.5	Výsledky měření	45
4.0	Závěr	49

xxx

Příloha: - tabulky 1 - 7
- grafy G1 - G14

Použitá označení

V_z	- zdvihový objem motoru	m^3
V_s	- množství směsi	m^3/hod
V_k^{teor}	- teoretické množství O_2 pro dokonalé spálení m^3 plynných uhlovodíků	m^3/m^3
V_{vz}^{teor}	- teoretické množství vzduchu pro dokonalé spálení m^3 plynných uhlovodíků	m^3/m^3
V_{vz}^{t1}	- teoretické množství vzduchu na spálení 1 kg kapalného paliva	m^3/kg
V_{vz}^{t2}	- teoretické množství vzduchu na spálení 1 m^3 směsi propan, butan	m^3/m^3
V_p	- množství plynného paliva	$cm^3/cykl$ m^3/hod
V_n	- váhové množství kapalného paliva	$mm^3/cykl$
p_e	- střední užitečný tlak	MPa
p_{max}	- max. tlak při spalování	MPa
n	- otáčky motoru	1/min
T_v	- teplota výfukových plynů	^oC
k	- stupeň kouření motoru	%
c	- průtoková rychlost	m/s
H_n	- střední výhřevnost nafty	J/kg
H_{pb}	- střední výhřevnost směsi propan, butan	J/kg
η_o	- objemová účinnost	%
ε	- kompresní poměr	
μ	- součinitel přebytku vzduchu	
k_l	- součinitel provozu na kapalné palivo	%

1.0 Úvod

Rozvoj automobilové dopravy a související rozvoj výroby spalovacích motorů způsobuje znečišťování ovzduší zplodinami výfukových plynů. V posledních letech se v mnoha zemích začínají stále více prosazovat snahy o ozdravění ovzduší a patří k nim i řada opatření k omezení obsahu škodlivin v exhalacích především u zážehových, ale i u vznětových motorů. Tato situace je závažná zejména u motorů používaných jako hnací jednotky u prostředků městské hromadné dopravy.

Řešení problémů snížení obsahu škodlivin ve výfukových plynech vznětových motorů je ve snížení obsahu sloučenin dusíku a podílu nespálených uhlovodíků ve formě sazí. Jednou z mnoha možností snížení škodlivin je použití dvojího paliva při provozu vznětového motoru. V této zprávě jsou uvedeny výsledky ze zkoušek provozu vznětového motoru na směs uhlovodíků propan, butan při současně snížené vstřikované dávce nafty. Ve vlastním provedení bylo přihlíženo k požadavku, aby prováděné úpravy na sériovém vznětovém motoru byly minimální a původní velikost jmenovitého výkonu motoru byla zachována. Jednalo se tudíž o provedení úpravy na sacím traktu, ovládacím a regulačním zařízení motoru. Celé řešení vychází z předpokladu, že se jedná pouze o řešení současného stavu obsahu škodlivin ve výfukových plynech pomocí nejnižších nákladů, tj. do doby zvtvoření vhodného spalovacího prostoru, vstřikovacího čerpadla atd. zabezpečujícího provoz s předpokládaným povoleným stupněm škodlivin v exhalacích pro nejbližší období.

Ruch Libe

Ve zprávě jsou uvedeny výsledky prováděných zkoušek v roce 1975 na pracovišti Výzkumného a zkušebního pracoviště spalovacích motorů na jednoválcovém motoru 1ST120 a na motoru M 634, který v ležatém provedení je používán jako pohonná jednotka u autobusu ŠM 11.

2.0 Spalování plynného paliva ve vznětovém motoru

2.1 Způsoby realizace dvojpalivového provozu

V dnešní době existují motory, které spalují různé druhy kapalných i plynných paliv, event. jejich směsi bez ohledu na jejich složení, viskozitu, destilační rozmezí, oktanové nebo cetanové číslo. Z evropských jsou to zejména motory Deutz, MAN, MWM a pod. Konstrukční řešení těchto motorů je zpravidla jako motory s komůrkou vhlavě, existují však i řešení s přímým vstřikem (se spalovacím prostorem v pístu).

Přestavbu vznětového motoru na provoz s dvojím palivem lze realizovat vzájemně odlišnými způsoby zapálení směsi ve válci motoru a to:

a) plynový vznětový motor - nasávaná směs plynného paliva se vzduchem je zapalována vstřikováním malého množství paliva (8 - 12 % původní jmenovité dávky), které se vznítí kompresním teplem. Regulace chodu motoru se uskutečňuje kvalitativní změnou směsi. Plynné palivo musí být oktanové číslo umožňující bezdetonační spalování za podmínek existujících ve válci motoru (vhodná paliva na bázi metanu - zemní plyn, generátorový plyn apod.)

b) plynový motor se zvětšenou dávkou kapalného paliva - tento motor pracuje jako předchozí, ale v režimech částečných zatíženích (cca 50 %) spaluje pouze naftu. Při zvyšování zatížení se přisává plynné palivo v množství, které zajišťuje srovnatelný výkon motoru. Při max. zatížení je nasávaná

směs do válce motoru chudá, takže při použití propan, butanu nedochází k detonačnímu chodu ani k samovznícení a k zapálení dochází až po vstříknutí dávky kapalného paliva. Regulace je obdobná jako u motoru předchozího typu.

c) vznětový motor zážehový - zapalování plynovzdušné směsi je prováděno elektrickou jiskrou. Tento způsob vyžaduje rozsáhlejší rekonstrukci motoru a zpravidla i změnu kompresního poměru. Pro zajištění spolehlivého chodu motoru je třeba regulovat výkon motoru kvalitativní změnou nasávané směsi, tj. množství vzduchu a plynu a zajišťovat hodnotu směšovacího poměru v poměrně úzkých mezích vhodných pro daný typ motoru a použitý druh paliva.

d) vznětový motor se vstřikováním zkapalněného plynu řešení spočívá v přimíšení malého množství zapalovací dávky nafty do vstřikované dávky propan, butanu. Uvedený způsob však vyžaduje montáž dvou vstřikovacích čerpadel (v daném případě pro naftu a směs propan, butan) s vyřešením problému odpařování zkapalněného plynu v nízkotlaké části vstřikovacího čerpadla.

2.2 Směs zkapalněných plynných uhlovodíků jako palivo pro vznětový motor

Jedním z hlavních předpokladů pro realizaci dvojpalivového provozu je kvalitní plynné palivo se stálými chemicko-fyzikálními vlastnostmi a dostatečnou antidetonační odolností. Velmi dobrých vlastností v tomto směru vykazují plynná uhlovodíková paliva

Ruch Lib

metan, propan, butan, etan, propylen a jejich směsi, neboť oktanové číslo těchto paliv je větší než 100. Vysoká antidetonační odolnost plynného paliva umožňuje pak spolu s malým součinitelem přebytku vzduchu (vyplývá z dokonalého promíšení plynu se vzduchem) a vytvořením dostatečně homogenní směsi pro spalování provozovat motor při stejných nebo i vyšších zatíženích než u normálního vznětového motoru na naftu při stejném nebo nižším obsahu škodlivin v exhalacích.

V praxi přichází v úvahu použití (vedle metanu, zemního a kalového plynu) jako paliva vznětového motoru těžších zkapalněných uhlovodíků získaných při rafinaci ropy převážně propan C_3H_8 a butan C_4H_{10}. Jejich výhodou je především to, že se dají zkapalnit poměrně nízkým tlakem již při normální teplotě. Propan se zkapalňuje při 20°C tlakem cca 840kPa, n-butan při téže teplotě pod tlakem cca 340kPa a izobutan při tlaku cca 230kPa.

Směs uvedených uhlovodíků obsahuje zpravidla 50 % propanu, 40 % butanu a izobutanu a zbytek je hlavně etan a pentan. V současné době však dodavatel nezajišťuje stálé složení směsi. Výhřevnosti a základní fyzikální vlastnosti těchto uhlovodíků při tlaku 98,1 kPa a teplotě 20°C jsou uvedeny na tab. 1

Zkapalněný plyn je nutno ve směšovačích redukovat na tlak 100 - 400 Pa, tzn. že dochází ke změně kapalného skupenství na plynné. Výhodou plynného paliva je především to, že se velmi snadno mísí se vzduchem a vytváří směs, která při uvažování podmínek ve válci motoru při kompresním zdvihu je velmi dobře zápalná v poměrně širokém rozsahu směšovacího poměru.

Palivo	Měrný objem /kg/m³/	Teoret. spotřeba vzduchu /m³/m³/	Výhřevnost plynu /MJ/m³/	Výhřevnost směsi se teoretickým kyslíkem /MJ/m³/	Výhřevnost směsi se vzduchem /MJ/m³/
nafta	0,84	12,16	$35,17 \cdot 10^3$	$14,17 \cdot 10^3$	$3,43\ 10^3$
propan	1,82	23,80	84,45	14,07	3,41
butan	2,44	31,00	111,54	14,86	3,48
etan	1,22	16,70	58,07	12,90	3,27

Tabulka 1 - Základní fyzikální vlastnosti uhlovodíků při tlaku 98,1 kPa a teplotě 20°C (dle 5)

Rychlost a charakter hoření mimo dalších parametrů závisí na velikosti směšovacího poměru, přičemž je účelné přihlížet k množství vodíku obsaženého v pracovní náplni válce. U motoru střední velikosti má pracovní náplň obsahovat 6 - 10 % vodíku. Obsah vodíku v různých palivech je na tab. 2.

Palivo	C /%/	H_2 /%/	O_2 /%/	α
střední nafta	87,00	12,60	0,40	1,418
propan	81,80	18,20	-	1,666
butan	82,70	17,30	-	1,625
směs 50/50	82,35	17,65	-	1,642
60 % nafty 40 % směs 50/50	85,14	14,62	0,24	-

Tabulka 2 - Obsah složek v palivu ve váhových procentech při tlaku 98,1 kPa a teplotě 20°C

Množství vodíku ve směsi při provozu na dvojí palivo, jak vyplývá z tabulky 2, je větší.

Charakter hoření u všech plynných uhlovodíků je podobný jako na obr. 1 a je do značné míry závislý na vstupní teplotě nasávané směsi. Charakter hoření směsi ve válci vznětového motoru při použití plynných paliv je dále závislý na způsobu zapálení směsi. Při zapálení směsi jiskrovém (bodovém) bude optimální hoření dosaženo pouze v blízkosti teoretického směšovacího poměru. U ostatních způsobů zapálení (např. zapalovací dávkou nafty), kdy jsou ohniska prostorově rozložena v celém obsahu válce se velikost směšovacího poměru projevuje na charakteru hoření v menší míře.

Teoretický směšovací poměr pro uvedenou směs plynného paliva lze určit ze základních slučovacích rovnic pro plynná paliva (5).

$$C_n H_m + \left(n + \frac{m}{4}\right) O_2 = n\,CO_2 + \frac{m}{2} H_2O + Q\,\frac{J}{kmol}$$

U předpokládaného složení směsi uhlovodíků používaných při zkouškách, tj. 50 % propanu, 40 % butanu a izobutanu a 10 % etanu lze potřebné množství kyslíku, event. vzduchu pro dokonalé hoření určit ze vztahu:

propan C_3H_8

$$C_3 H_8 + \left(3 + \frac{8}{4}\right) O_2 = 3\,CO_2 + \frac{8}{2} H_2O + Q\,cal$$

Teoretické množství kyslíku pro 1 m^3 směsi je:

$$V_k^{teor.} = n + \frac{m}{4} = \left(3 + \frac{8}{4}\right) \cdot 0{,}5 = 2{,}5\ m^3$$

Butan C_4H_{10}

$$C_4H_{10} + \left(4 + \frac{10}{4}\right) O_2 = 4CO_2 + \frac{10}{2} H_2O + \frac{J}{kmol}$$

Teoretické množství kyslíku pro 1 m^3 směsi je:

$$V_k^{teor.} = \left(4 + \frac{10}{4}\right) \cdot 0{,}4 = 2{,}6\ m^3$$

Etan C_2H_6

$$C_2H_6 + \left(2 + \frac{6}{4}\right) O_2 = 2CO_2 + \frac{6}{2} H_2O + Q\ \frac{J}{kmol}$$

Teoretické množství kyslíku pro 1 m^3 směsi je:

$$V_k^{teor.} = \left(2 + \frac{6}{4}\right) \cdot 0{,}1 = 0{,}35\ m^3$$

Celková potřeba vzduchu pro spalování při teoretickém směšovacím poměru

$$V_{vz}^{t_z} = \frac{\Sigma\left(n + \frac{m}{4}\right)}{0{,}21} = \frac{2{,}5 + 2{,}6 + 0{,}35}{0{,}21} = 25{,}95\ m^3/m^3\ směsi$$

Potřebné množství plynného uhlovodíkového paliva je dáno zdvihovým objemem motoru, provozními režimy a směšovacím poměrem. S využitím předcházejících vztahů pro spalování směsi lze určit množství plynného paliva:

množství nasáté směsi do válců motoru za 1 hod.

$$V_s = V_z \cdot \frac{n}{2} \cdot 60 \cdot \eta_o \qquad m^3/hod$$

Směšovací poměr, resp. součinitel přebytku vzduchu nasáté směsi při uvažování provozu na dvojí palivo

$$\mu = \frac{V_s - V_p}{G_n \; V_{vz}^{t_1} + V_p \cdot V_{vz}^{t_2}}$$

Hodinové množství plynného paliva

$$V_p = \frac{V_z \cdot \frac{n}{2} \cdot 60 \cdot \eta_o - \mu \, G_n \, V_{vz}^{t_1}}{1 + \mu \cdot V_{vz}^{t_2}}$$

Promíšení plynného paliva se vzduchem a vytvoření pracovní směsi lze u vznětových motorů středních výkonů, tj. velikosti motoru LIAZ M 634 vyřešit bez zvláštních nároku na směšovací zařízení. Realizaci lze uskutečnit směšovačem v sacím potrubí difuzorového nebo ejektorového provedení. Vlivem existujícího víření náplně ve válci před vlastním zapálením směsi dojde k dostatečné homogenizaci plynného obsahu v motoru.

2.3 Spalování plynného paliva ve vznětovém motoru - rešerše

V této části jsou uvedeny některé získané podklady ze sledování hoření plynného paliva různého složení zaměřené zejména na charakter spalování, tvrdost chodu motoru a exhalace. Ve zkouškách prováděných dle (1) na jednoválcovém motoru o kompresním poměru ε = 14,5 a 11,6 při otáčkách 1000 l/min byly zjištěny tyto základní poznatky. Složení směsi se měnilo podle potřeby plynného paliva a vzduchu, přičemž se směs předehřívala až do teploty 160°C Plynná směs paliva byla tvořena metanem, propanem, acetylenem, etylenem a jejich vzájemnými směsmi. Bylo zjiš-

těno, že jestliže množství plynného paliva ve směsi se vzduchem neodpovídá teoretickému směšovacímu poměru, pak jeho značná část neshoří ve válci. Spodní hranice vznícení směsi odpovídá samovznícení.

Obsah kysličníku uhelnatého CO ve výfukových plynech při spalování chudých směsí je větší než při provozu vznětového motoru na kapalné palivo.

Hranice plamene, který vychází z několika ohnisek vznícení se nerozšíří na celý obsah plynného paliva. V prvé fázi hoření hranice plamene přechází velkou rychlostí oblastí, kde obsah plynného paliva dosahuje určité koncentrace. Toto hoření je charakterizováno velkým stupněm vydělování tepla a růstem tlaku, při dalším obohacení směsi již dochází k detonacím. Při značně chudých směsích využití energie zápalného paliva pro vznícení plynného obsahu je nižší než u vznětového motoru. Druhá část hoření je charakterizována dohořením obsahu ve válci motoru. Při plynném palivu se mění velikost průtahu vznícení kapalné části zápalného paliva. Při zvětšení obsahu plynu se průtah v oblasti teoretického směšovacího poměru zpočátku zvětšuje a při bohatých směsích opět zmenšuje, což vyplývá z detonačního hoření obsahu ve válci. Zvětšení průtahu vznícení oblasti teoretického směšovacího poměru je větší než předpokládané zvětšení způsobené snížením parciálního tlaku kyslíku na úkor tlaku plynného paliva nebo snížení teploty obsahu válce v blízkosti horní úvrati.

Při větším průtahu vznícení se projeví nepravidelný chod motoru. K zajištění správné funkce motoru při částečném zatížení je nutné, přemístit spodní hranici vznícení do oblasti velmi chudých směsí. Uvedený požadavek je možno zajistit:

1) Zvětšením množství zápalné dávky paliva - tj. vytvořením velkého počtu ohnisek vznícení. Podmínkou je však to, že při větších zatíženích se velikost zápalné dávky paliva musí opět snížit.

2) Snížením otvíracího tlaku vstřikovací trysky.

3) Zvětšením geometrického počátku paliva - tím se zvětší doby oxidačních reakcí zápalného paliva. Pro větší zatížení je požadavek opět GPD paliva zmenšit.

4) Ohřevem plynovzdušné směsi na vstupu do válce pro zmenšení procenta nereagujících částí plynu(viz obr. 1).

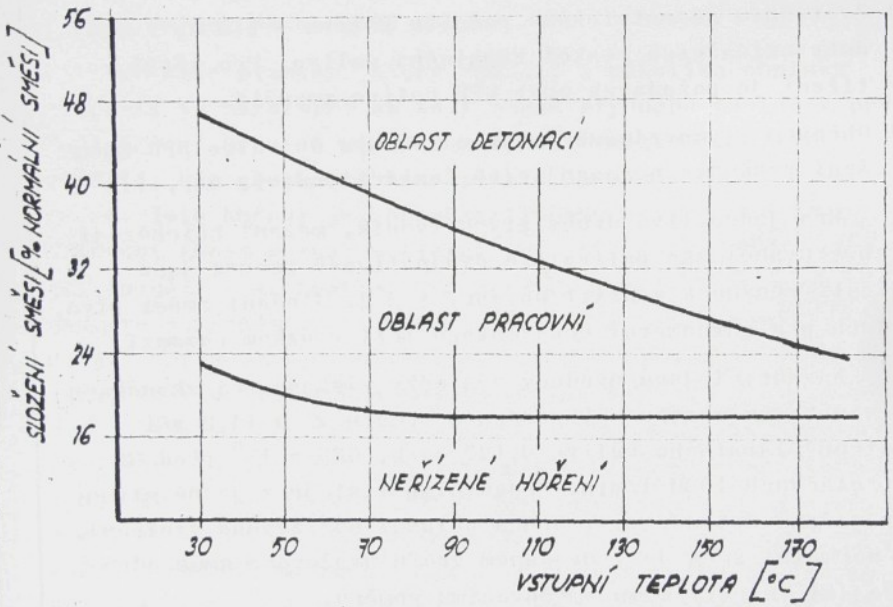
Pro jednotlivé druhy plynů (vodík, metan) přicházejících v úvahu jako paliva pro dvojpalivový provoz jsou oblastí vhodné k využití na obr. 1 a 2. Složení směsi plyn, vzduch pro rovnoměrný chod motoru leží v úzkém rozmezí.

Na obr. 1 jsou uvedeny výsledky získané při zkouškách na vznětovém motoru o kompresním poměru $\varepsilon = 11{,}2$ při spotřebě zápalného paliva 0,127 kg/h, GPD = 15^{0} před HÚ při otáčkách 1900 1/min. Pracovní oblast je z jedné strany ohraničena detonacemi z druhé oblastí neřízeného vznícení. Za normální směs je v uvedeném grafu uvažována směs odpovídající teoretickému směšovacímu poměru.

Přechod od normálního hoření k hoření detonačnímu je doprovázen s výraznou změnou tlaku a odpovídajícím změnami ve vydělování tepla. Dalším poznatkem zkoušek dle (1) je, že vliv cetanového čísla zápalného paliva na vznik detonací je velmi malý a detonace jsou způsobeny pouze velikostí cetanového, event. oktanového čísla plynného paliva a počátečními podmínkami náplně válce.

Jestliže se uvažuje okolí obklopující malé částice na hranicích vstřikovaného paprsku, může se konstatovat,

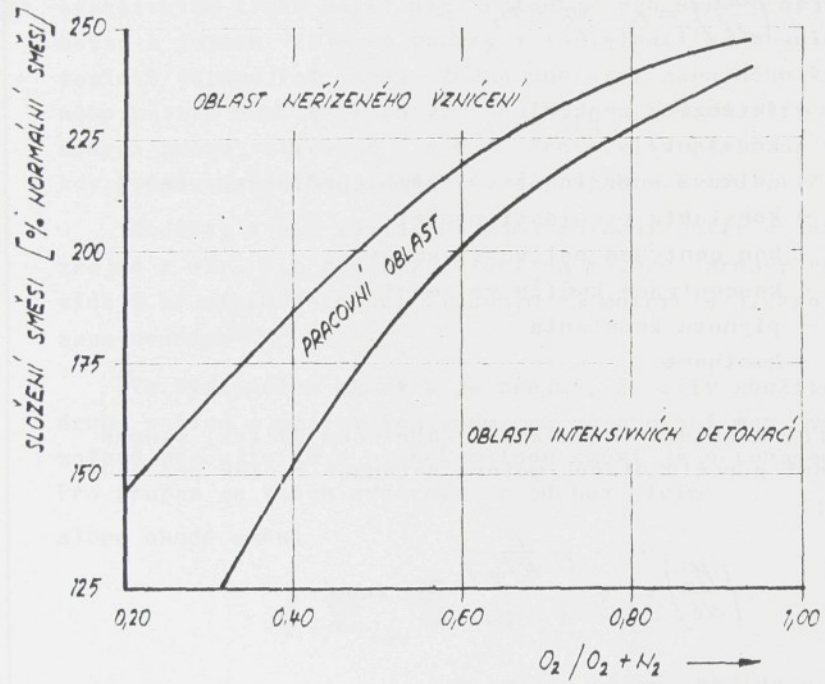
že při stejné bohatosti směsi ke vznícení dochází ve větší vzdálenosti od těchto částic a je určováno vznícením plynného paliva. Proto charakter detonace v plynovzdušných směsích je charakterizován samovznícením plynné směsi na-



Obr.1 Změna hranice detonací a řízeného hoření v závislosti na vstupní teplotě náplně palivo:vodík-vzduch

cházející se v blízkosti ohnisek vznícení.

Na obr. 2 je uvedena závislost jednotlivých oblastí na změně bohatosti směsi pro palivo ve složení: CH_4 – 50,7 %, CO_2 – 6,3 %, O_2 – 0,8 %, N_2 – 42,2 %.



Obr.2 Změna bohatosti směsi ve vztahu k poměrnému obsahu $O_2 / O_2 + N_2$ v pracovní náplni válce -palivo: metan - vzduch

Pro reakce předcházející samovznícení paliva je možné použít vztah kinetiky hoření typu /1/

$$\left(\frac{dm_p}{dt}\right)^3 = k \cdot m_p^a \cdot m_o^b \cdot \rho^{a+b} \cdot e^{\left(-\frac{E}{RT_{ig}}\right)}$$

$\left(\frac{dm_p}{dt}\right)^3$ - intenzita reakce
a, b - konstanty
E - celková energie aktivičních chemických reakcí
k - konstanta rychlosti reakcí
m_p - koncentrace paliva ve směsi
m_o - koncentrace kyslíku ve směsi
R - plynova konstanta
ρ - hmotnost

Při konstantním množství zápalného paliva, stupně stlačení a počtu otáček motoru detonace začíná při podmínce:

$$\left(\frac{M_p}{dt}\right)^a \cdot e^{\left(-\frac{E}{RT_{ig}}\right)} \cong konst$$

M_p - celková hmota paliva
T_{ig} - střední absolutní teplota části, kde dochází ke vznícení

Uvedená závislost může být upravena do vztahu

$$lg(výkonu)_{det} = A + \frac{B}{T_o}$$

A - charakteristika výkonu při etalonových podmínkách
B - funkce pracovních podmínek a obecná energie aktivačních reakcí před samovznícením
T_o - teplota směsi před stlačením

Lineární závislost je použitelná prakticky pro všechna plynná paliva z uhlovodíků a jejich směsi ve velkém rozsahu změny množství zápalného paliva.
Na obr. 3 je typická lineární závislost změny středního efektivního tlaku na hranici detonace pro směs propan, metan a jejich vzájemné poměry v závislosti na absolutní teplotě vstupující směsi. Změna množství zápalného kapalného paliva mění teplotu vznícení T_{ig} a tím má vliv na lineární změnu veličin A^{-1} a B^{-1}. Tento vliv platí až do doby, kdy počátek vstřiku je menší než průtah vznícení, viz obr. 1.

Hodnoty A a B závisí na samovznícení paliv a jak je zřejmé z obr. 5 a podle zjištění na motoru Gardner odpovídají hranicím detonací získaným na motoru s jiskrovým zapalováním.

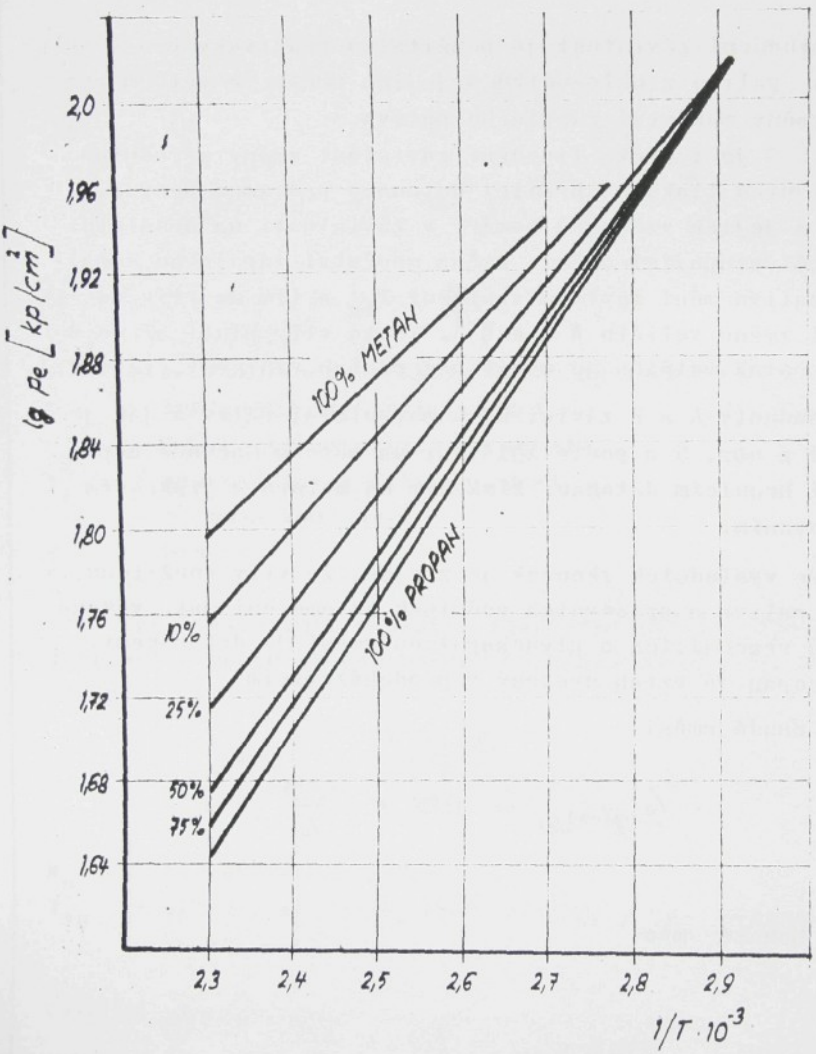
Ve výsledcích zkoušek je zřejmé, že vliv použitého druhu paliva a pracovních podmínek na omezení max. výkonu motorů pracujících s plynokapalnou směsí je detonacemi. Pro propan je vztah uvedený v předcházejícím

a) pro chudé směsi

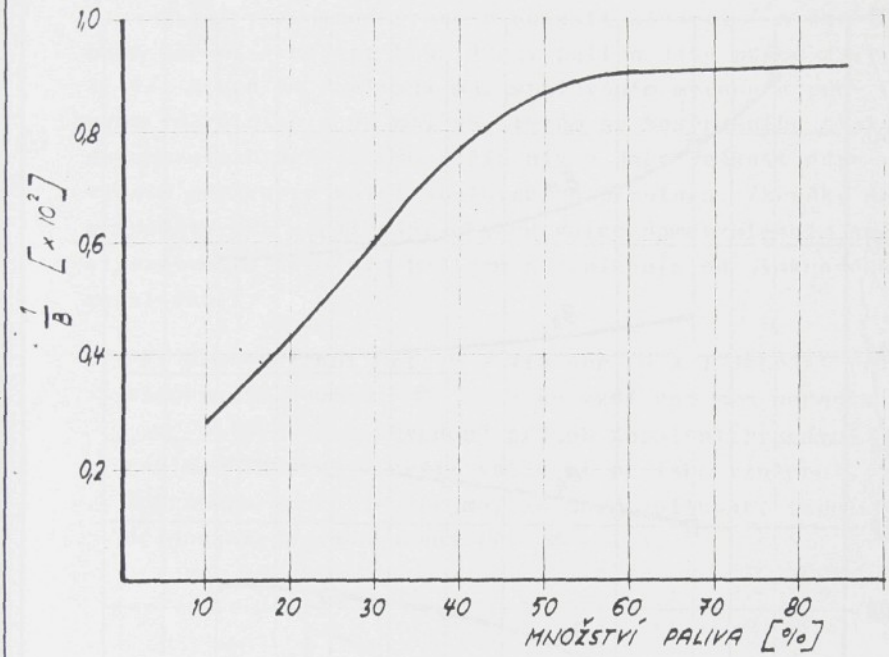
$$\ell g\,(\text{výkon})_{det} = 0{,}25 + \frac{575}{T_o}$$

b) pro bohaté směsi

$$\ell g\,(\text{výkon})_{det} = 1{,}20 + \frac{270}{T_o}$$



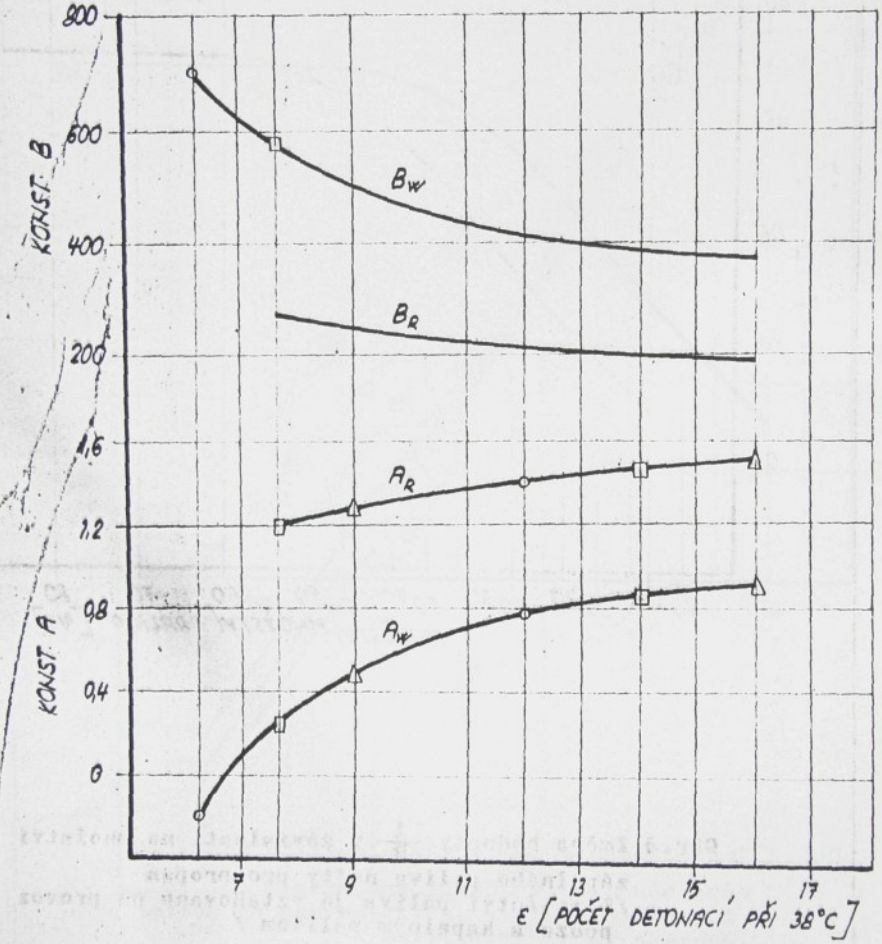
Obr.3 Závislost zatížení na hranici detonace a teploty nasávaného obsahu pro směs propan metan



Obr. 4 Změna hodnoty $\frac{1}{B}$ v závislosti na množství zápalného paliva nafty pro propan /% množství paliva je vztahovano na provoz pouze s kapalným palivem /

Ruch Libor

Obr.5 Závislost konstant A,B na druhu paliv



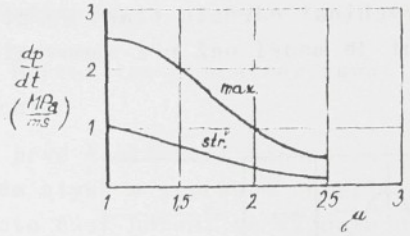
○ Etylen
□ Propan
△ Metan

△ 35% propan + 65% metan
○ 12% propan + 88% metan
□ 6% propan + 94% metan

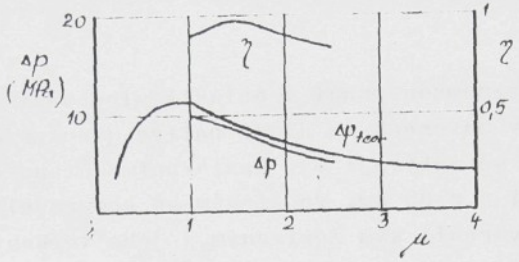
w - chudá směs
R - bohatá směs

Další významnou prací v oblasti sledování a rozboru hoření v motorech na dvojí palivo jsou práce /2, 3, 4/, které se zabývají mj. spalováním metanu a propanu ve válci o ⌀ 80 mm, ve kterém se kompresního tlaku dosahovalo hydraulickým zařízením a jeho velikost odpovídala poměru ve válci spalovacího prostoru. Zkoušky se prováděly při zapalování obsahu válce samovznícením směsi, vznícením zápalným palivem a vznícením od jiskrového zapalování.

1) Při samovznícení metanu - viz obr. 6 a 7 dochází při kompresním poměru ε = 15 ke vznícení pro hodnoty α = 1,0 - 2,5. Uvedený způsob zapálení pracovní náplně neumožňuje určit velikost průtahu vznícení. Z průběhu grafů je zřejmé, že max. velikosti tepelné účinnosti je dosahováno při α = 1,5.

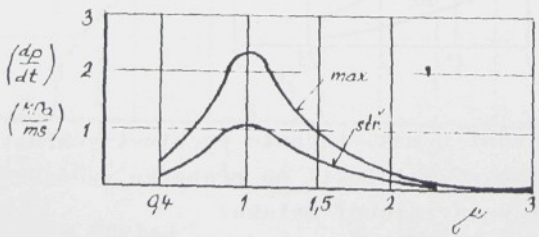


Obr. 6 Střední a max. hodnota rychlosti narůstání tlaku v závislosti na přebytku vzduchu při samovznícení metanu

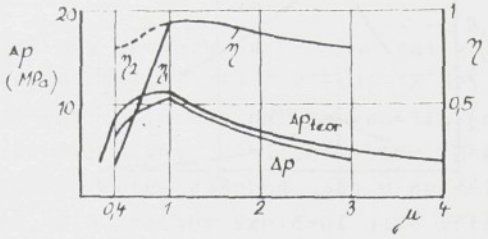


Obr. 7 Průběh Δp a účinnosti hoření při samovznícení metanu

2) Při vznícení metanu jiskrou - zkoušky se prováděly pro α^{μ} = 0,4 - 3,0, kdy hranice vznícení a rozptyl bodu byl malý, neboť v uvedeném rozsahu součinitele přebytku vzduchu se směs vyznačovala velkou homogenností. Při α^{μ} = 0,6 a 1,2 na konci hoření dochází k detonačnímu charakteru hoření. V tomto bodě je také dosahováno min. velikosti průtahu vznícení. Při chudších směsích je průtah vznícení větší než u směsí bohatých. Střední rychlost nárůstu tlaků dp/dt při jiskrovém vznícení je menší než při samovznícení metanu.



Obr. 8 Změna rychlosti nárůstu tlaku dp/dt v závislosti na součiniteli přebytku vzduchu



Obr. 9 Změna nárůstu tlaku a tepelné účinnosti při vznícení metanu jiskrou

3) Vznícení metanu zápalným kapalným palivem - uváděné výsledky byly získány při podmínkách: kompresní poměr $\varepsilon = 15 : 1$ při zapalovací dávce $V_p = 20\ mm^3/cykl$ Paprsek zápalného paliva vytváří větší počet ohnisek vznícení, a proto spalování je pravidelné. Pro bohaté směsi velikost průtahu vznícení narůstá více než u směsí chudých.

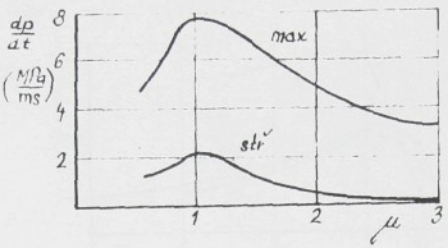
Hoření lze charakterizovat jako hoření ve dvou fázích:

a) V prvé části hoří zápalné palivo a část plynu v přímém styku s paprskem rozptýleného kapalného paliva. Tato část hoření se vyznačuje velkých nárůstem tlaku.

b) V druhé části je hoření charakterizováno snížením rychlosti narůstání tlaku neboť probíhá dohořívání zbývající plynné části směsi.

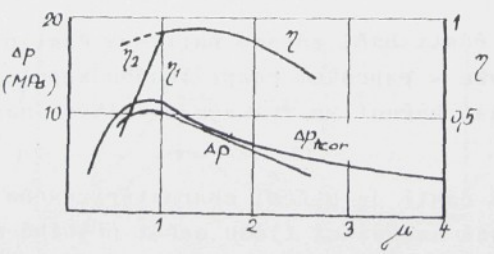
Závislost narůstání tlaku a tepelné účinnosti při tomto způsobu vznícení je na obr. 10.

Ruch Liberec



Obr. 10 Střední a max. velikost rychlosti narůstání tlaku v závislosti na součiniteli přebytku vzduchu při vznícení metanu kapalným palivem

Charakter křivek je obdobný jako v předcházejících případech s tím, že absolutní velikost dp/dt je větší. Uvedený stav odpovídá hoření paliva ve vznětovém motoru při provozu pouze na kapalné palivo. Max. velikost dp/dt je přibližně při teoretickém složení směsi.
Na obr. 11 je uvedena závislost narůstání tlaku a průběh tepelné účinnosti na součiniteli přebytku vzduchu.

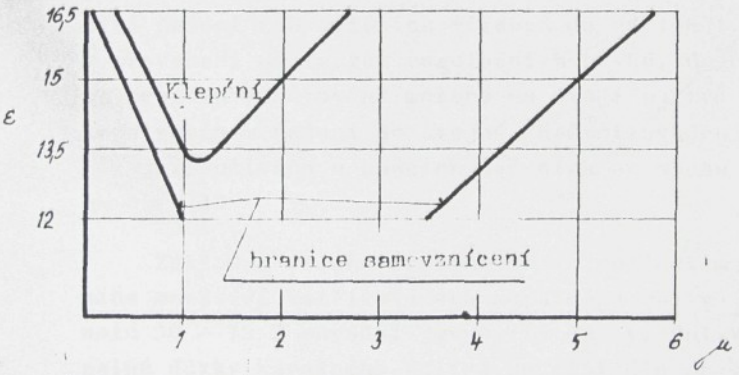


Obr. 11 Změna narůstání tlaku a tepelné účinnosti při vznícení metanu kapalným palivem v závislosti na součiniteli přebytku vzduchu

Při velmi chudých plynových směsích tepelná účinnost vznětového motoru při provozu na plynokapalnou směs je

je nižší než při provozu na kapalné palivo. Uvedenou záležitost lze vysvětlit dle /1/ tím, že při chudých směsích značná část plynného paliva ve válci neshoří a odchází výfukovými plyny z válce motoru. Hoření těchto chudých směsí probíhá podobně jako u normálního vznětového motoru, ale průtahy vznícení jsou větší. Při obohacení pracovní náplně je charakter hoření obdobný jako při samovznícení, přičemž ke vznícení dochází na konci paprsku zápalného paliva.

4) Zkoušky s propanem - byly prováděny při vznícení zápalným palivem a při samovznícení. Hranice pro jednotlivé pracovní oblasti dle velikosti kompresního poměru a součiniteli přebytku vzduchu jsou na obr. 12.



Obr. 12 Pracovní oblasti pro směs propan-vzduch

Sklon k detonacím je u propanu větší než u metanu, což vyplývá z většího obsahu vodíku. Ze zkoušek s různým množstvím zápalného paliva je zřejmé, že na velikost prů-

tahu vznícení má značný vliv hodnota součinitele přebytku vzduchu. Pro bohaté směsi, tj. $\alpha < 1,0$ průtah vznícení značně roste. Rovněž tak zmenšováním velikosti kompresního poměru se zvětšuje velikost průtahu vznícení, což je způsobeno zejména velikostí max. teplot dosahovaných při kompresním zdvihu. Vliv množství vstřikovaného zápalného paliva se více projevuje při nižších kompresních poměrech, kde průtah vznícení vzrůstá v důsledku poklesu doby hoření směsi.

3.0 Provoz naftového motoru na směs propan, butan

3.1 Základní uspořádání a úpravy motoru

Z předchozích poznatků spalování plynného paliva vyplývají možnosti použít ve vznětovém motoru, konstruovaném pro provoz na kapalné palivo, plynné palivo. Pro zajištění provozu je však nutné provést úpravu některých dílů motoru. Jako nejjednodušší řešení provozu na dvojí palivo při použití směsi uhlovodíků propan, butan je řešení dle bodu b) - vznětový motor na dvojí palivo se zvětšenou dávkou zápalného kapalného paliva. V tomto případě se vytváří směs uhlovodíku se vzduchem před vstupem do válce, tj. v sacím potrubí. Součástí instalace na motoru jsou dále regulační a bezpečnostní zařízení. Jednotlitá řešení zahraničních výrobců se odlišují zejména v provedení některých regulačních prvků. Obecné schema provozu vznětového motoru na dvojí palivo tímto konstrukčním řešení je stejné. Řešení uváděné dle /6/ je používáno u hnacích jednotek autobusu a je na obr. 13

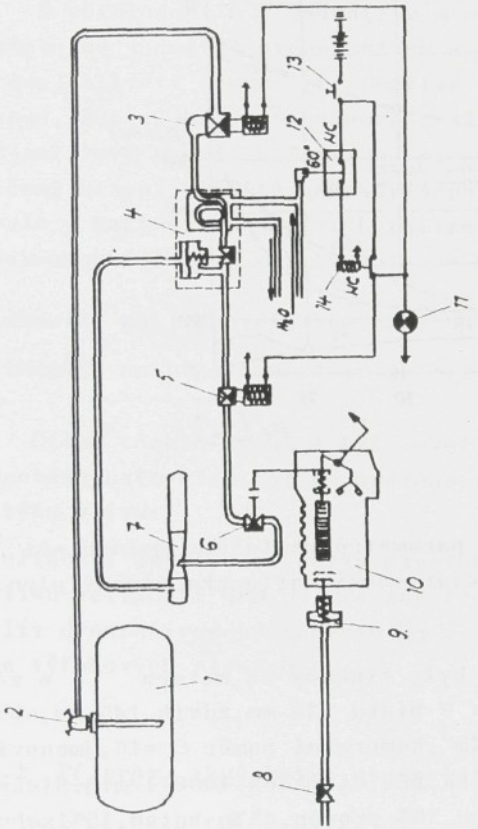
Základem celého systému je ve snížení maximálního množství vstřikovaného kapalného paliva na hodnotu 50 - 75 % původní jmenovité dávky. Velikost zapalné dávky kapalného paliva se liší dle provedení a konstrukčního uspořádání motoru. Zbývající část paliva je do motoru pro dosažení stejného výkonu v motoru dodávána v homogenní směsi plyn-vzduch. Homogenní směs je vytvářena v sacím potrubí před ventilem. Tímto řešením se uplatňují některé přednosti plynného

paliva, především se snižuje stupeň kouření motoru, který je dán stupněm kouření motoru při snížené dávce nafty. Jednotlivé díly instalace dle schematu na obr. 13 jsou:

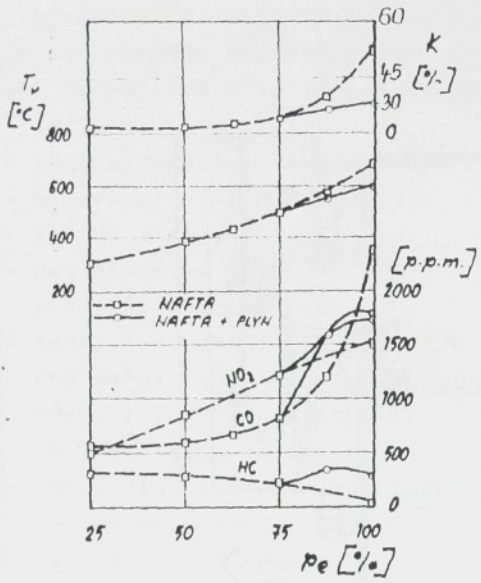
1 - tlaková nádrž se zkapalněným plynem
2 - uzavírací elektromagnetický ventil
3 - zpětný a pojišťovací ventil
4 - dvojstupňový redukční ventil s regulací a předehříváním paliva
5 - kontrolní ventil
6 - regulační ventil zatížení dle velikosti dávky zápalného paliva
7 - směšovač v sacím potrubí
8 - ruční řízení dorazu regulační tyče
9 - pneumatický zesilovač
10 - vstřikovací čerpadlo
11 - indikátor provozu na dvojí palivo
12 - termostat pro výparník
13 - spínač provozu na dvojí palivo
14 - řídící relé

Uvedené zařízení realizuje provoz naftového motoru do určité polohy regulační tyče vstřikovacího čerpadla pouze na naftu a v dalším provozu pro max. zatížení na dvojí palivo. U tohoto zapojení je využíváno ve značné míře prvků řízených elektricky, existují však i řešení s mechanickým řízením regulace provozu.

Dle uvedeného uspořádání při použití směsi propan, butan se při zachování původního výkonu motoru dosahuje snížení hodnot některých škodlivin ve výfukových plynech. Průběh těchto veličin je na obr.14.



Obr. 13 Schema uspořádání palivové soustavy motoru na dvojí palivo nafta - plyn.



Obr.14 Změna parametrů naftového motoru při spalování směsi nafta-zkapalněný plyn

Uvedené výsledky byly získány na motoru o základních parametrech: Ø pístu 130 mm, zdvih 145 mm, obsah motoru V_m=11,55 dm^3, kompresní poměr ε =16, jmenovitý výkon motoru 127 kW při otáčkách 1900 1/min. Složení zkapalněného plynu 20% propan, 45%n-butan, 15%isobutan 20% propylén-butén /6/

3.2 Experimentální zkoušky na jednoválcovém zkušebním motoru

S přihlédnutím k jednotlivým možnostem přestavby zkušebního jednoválcového motoru i motoru M 634 na dvojpalivový provoz při použití směsi uhlovodíků propan, butan, bylo rozhodnuto realizovat a ověřit dvojpalivový provoz naftového motoru dle bodu b), přičemž hlavní těžiště náhrady kapalného paliva spočívalo v režimech nejvyšších zatížení motoru. Ověření tohoto uspořádání se realizovalo ve dvou etapách a to:

a) zkoušky na jednoválcovém zkušebním motoru 120/130

b) zkoušky na plnorozměrovém motoru

Cílem těchto zkoušek bylo ověřit zkušenosti z provozu naftových motorů uváděné v literatuře, pokud se týká vlivu:

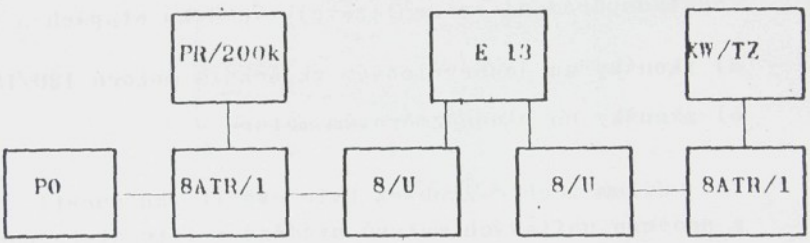
- velikosti zapalovací dávky kapalného paliva
- vlivu velikosti GPD paliva zapalovací dávky
- vliv dvoupalivového provozu na velikost škodlivin ve výfukových plynech

3.2.1 Příprava zkušebního stanoviště

Pro zkoušky byl použit jednoválcový upravený motor Slavia typ 1S120 s vodním chlazením. Uvedený motor byl instalován na elektrickém střídavém dynamometru KS-47-4. Pro měření množství vzduchu bylo sání motoru provedeno přes plynoměr Gazelan s potrubím o světlosti 50 mm délky cca 1 m. Výfuk přes tlumič do společného výfukového systému zkušebny. Měření otáček plynoměru

bylo provedeno pomocí fotoelektrického snímače BP 3260 ve spojení s elektrickým čítačem. Na motoru byla instalována měřicí čidla pro kontrolu teploty chladicí vody, mazacího oleje a teploty výfuku.

Vzhledem k tomu, že v průběhu zkoušek se předpokládalo provádění indikace tlaku ve válci motoru, byl v hlavě válců proveden vývrt umožňující umístění snímače tlaku ve válci typu PR/200K. Zapojení indikační aparatury Vibrometer je blokově na obr. 15.



Cejchování snímače bylo prováděno za podmínek odpovídajících provozu motoru před každým snímáním tlaku.

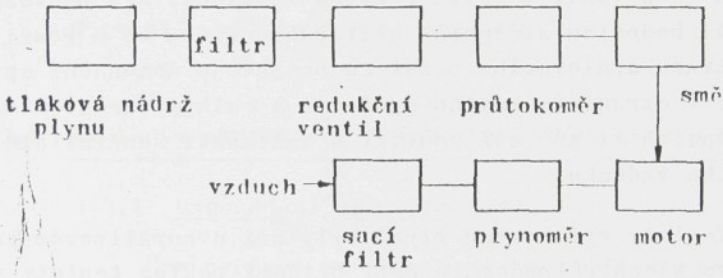
Základní parametry zkušebního motoru 1S1120:

Pracovní způsob	čtyřdobý
Rozvod	OHV
Vrtání	120 mm
Zdvih	130 mm
Obsah motoru	1,47 dm^3
Kompresní poměr	16,2:1
Výkon	12,5 kW
Jmenovité otáčky	1800 1/min
Vstřikovací tryska	DOP 140S530
Vstřikovací čerpadlo	PC 1B8L 211o

3.2.2 Směšovací zařízení a rozvod plynu

Směšování a příprava směsi byla prováděna před sacím ventilem. Směšovací zařízení bylo difuzorového provedení o ø difuzoru 27 mm s přívodem směsi uhlovodíků propan, butan do společného směšovacího prostoru potrubím o světlosti 6 mm. Ve vlastním difuzoru bylo provedeno 8 otvorů o průměru 2,5 mm. Směšovací difuzor byl umístěn před přírubou na hlavě válce.

Přívod směsi uhlovodíků z tlakové láhve o obsahu 10 kg byl veden k redukčnímu ventilu Plynokov, dále přes plynoměr Prema (rozsah měření 0,1 - 3,4 m^3/hod) do směšovače. Schema uspořádání je na obr. 16.



V prvé etapě zkoušek byla regulace směšovacího poměru prováděna pouze změnou celkového množství vzduchu přivedeného do motoru. Další regulace byla zajišťována škrtící klapkou v sacím potrubí a nebyla využívána vlastní podtlaková regulace redukčního ventilu Plynokov.

3.2.3 Výsledky měření na zkušebním jednoválci

Při zkouškách byly ověřovány vlivy:

- velikostí zapalovací dávky kapalného paliva

- vlivy velikosti GPD paliva zapalovací dávky

Vzhledem k celkovému stavu zkušebního jednoválce byly zkoušky prováděny při otáčkách 1000 a 1200 1/min, snímáním zatěžovacích charakteristik při provozu na naftu a provozu s dvojím palivem při konstantní zapalovací dávce paliva. Naměřené výsledky jsou uvedeny na grafech G1 - G7 a některé záznamy z provedené vysokotlaké indikace ve válci motoru jsou na fotografiích v příloze zprávy. Podrobné výsledky, zejména vyhodnocení průběhu spalování, jsou uvedeny v /14/. Závislosti jednotlivých parametrů na velikosti náhrady kapalného paliva plynem, zjištěné při obou velikostech otáček motoru, jsou podobné - viz grafy G1 - G3. Max. tlaky spalování při dvojpalivovém provozu při zachování původní velikosti GPD kapalného paliva jsou vyšší v celém rozsahu zatížení. Při provozu s vyšší hodnotou středního užitečného tlaku se u použitého tvaru spalovacího prostoru projevuje detonační spalování v expanzním zdvihu společně s velkým vzrůstem max. spalovacích tlaků, což souvisí s velikostí součinitelů přebytku vzduchu.

Teploty výfukových plynů byly při dvoupalivovém provozu ve všech případech nižší, přičemž pokles teploty výfukových plynů závisí na velikosti náhrady nafty plynem. Se zmenšováním velikosti zápalné dávky kapalného paliva je pokles větší.

Obdobný průběh byl zjištěn i v průběhu stupně kouření motoru. Při nižších zatíženích velikost stupně kouření přibližně odpovídá stupni kouření při provozu naftového motoru na sníženou dávku kapalného paliva. U větších hodnot středního užitečného tlaku stupeň kouření motorů vzrůstá a je závislý na velikosti součinitele přebytku vzduchu.

Z uvedeného grafu G4 a dalších výsledků /14/ lze konstatovat, že snížením velikosti GPD zápalného kapalného paliva při dvojpalivovém provozu lze dosáhnout částečného snížení max. spalovacích tlaků. Snížení max. spalovacích tlaků však způsobí, že pokles teploty výfukových plynů, event. stupně kouření motoru, není tak výrazný jako při zachování původní velikosti GPD zápalného kapalného paliva. Snížením GPD zapalného paliva se však dosahuje příznivějšího průběhu obsahu CO ve výfukových plynech, kde pro max. zatížení je dosahováno hodnot nižších než při provozu na naftu.

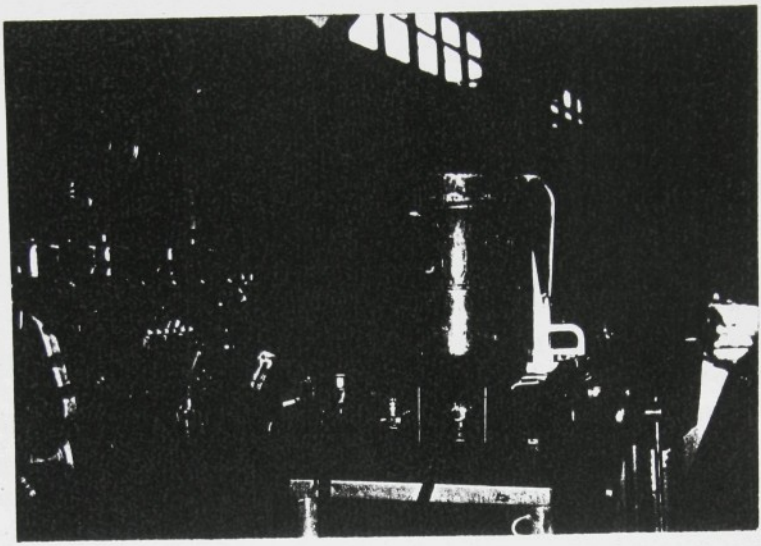
Závislost jednotlivých parametrů motoru na velikosti náhrady nafty směsí propan, butanu je na grafu G5 - G7 a příslušných tabulkách.

3.3 Výsledky experimentálních zkoušek na motoru M 634

3.3.1 Uspořádání měřicího zařízení

Pro ověření způsobu spalování při dvojpalivovém provozu na plnorozměrovém motoru byly zkoušky provedeny na motoru M 634 (při provedení s kompresním poměrem ε = 11,6:1 - tvar pístů a spalovacího prostoru pro přeplňovaný motor M 638).

Uspořádání zkušebního stanoviště je patrné na obr.17. Pro zjišťování jednotlivých motorových veličin byla instalována čidla na měření teploty oleje, vzduchu, teploty vstupujícího plynu a teploty výfukových plynů.



Obr.17Měřící stanoviště motoru M 634

Základní parametry motoru M 634

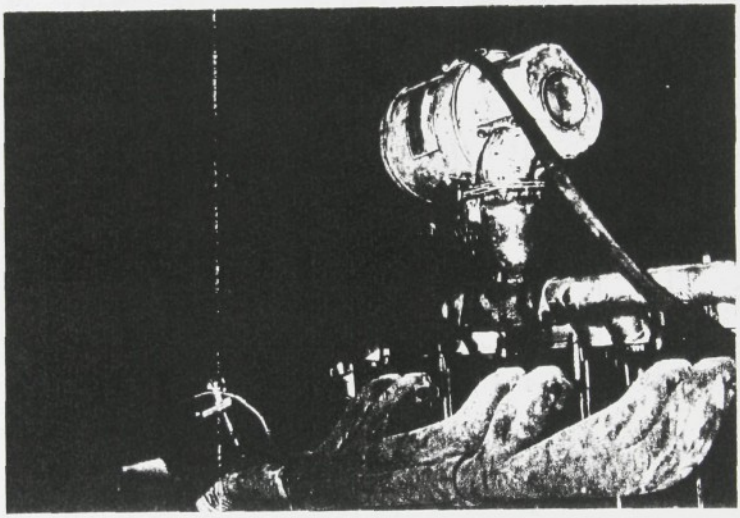
Pracovní způsob	čtyřdobý
Rozvod	OHV
Vrtání	120 mm
Zdvih	150 mm
Počet válců	6 v řadě
Obsah motoru	11,94 dm^3
Kompresní poměr	14,6 : 1
Výkon	154,5 kW $\pm$ 3%
Jmenovité otáčky	2000 1/min
Vstřikovací čerpadlo	PW6B9P 215g
Vstřikovací trysky	DOP 140S330

3.3.2 Rozvod a regulace přívodu plynu

Směšovací zařízení umístěné na společné sací rouře Ø 85 mm umožňovalo regulovat množství dodávaného

plynu do motoru v rozsahu 0 - 80 cm^3/cykl. Regulace množství byla provedena škrticí klapkou v přívodním plynovém potrubí před vlastním difuzorem směšovače.

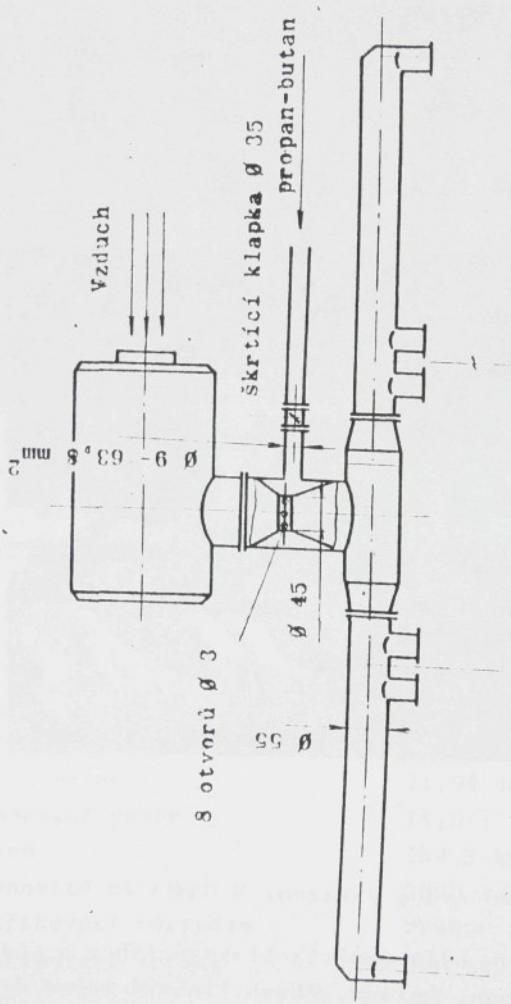
Směšovací zařízení navržené pro motor M 634 je schematicky s uvedením základních rozměrů na obr. 18 a na obr. 19 ve skutečném provedení na motoru.



Obr. 19 Směšovací zařízení M 634

Jako zdroje plynu byla použita tlaková láhev o obsahu 10 kg směsi propan, butanu. Obsah tlakové láhve dostatečně zajišťoval dodávku plynu do motoru při měření jednotlivých charakteristik motoru.

Motor je opatřen sacím potrubím společným vždy pro tři válce s vyústěním do středu motoru (sací potrubí



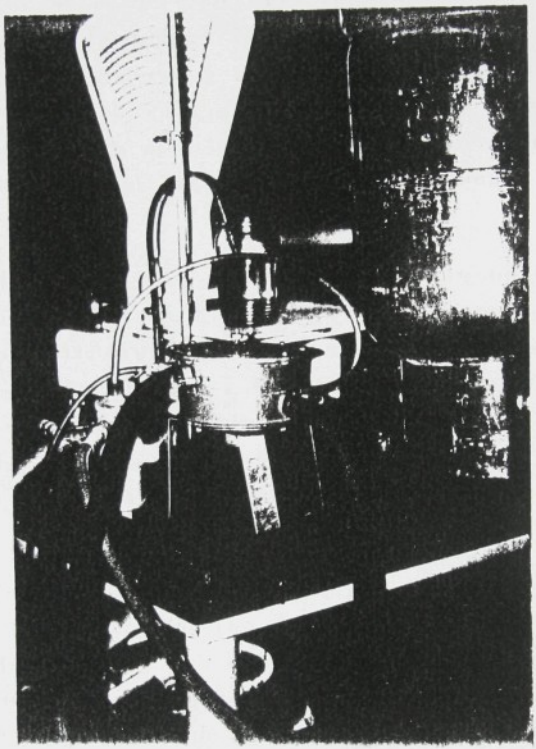
Obr. Uspořádání směšovacího zařízení na motoru M 634 - schema

přeplňovaného motoru M 638). Při návrhu směšovacího zařízení se vycházelo ze zkušeností získaných při provozu motoru M 634 na kalový plyn /11/. Z uvedeného směšovacího zařízení byla rovněž použita škrtící klapka ø 35 mm. V tomto případě, vzhledem ke skutečnému průtoku plynu, byla touto klapkou zajištěna jen velmi hrubá regulace plynu.

Celý rozvod plynu byl proveden pryžovými hadicemi o světlosti 14 mm v nízkotlaké části rozvodu a přívod kapalného plynu do regulátoru vysokotlakou hadicí o světlosti 6 mm. Regulátor zajišťoval v uvedeném zapojení jen konstantní výstupní tlak plynu a vlastní regulace (podtlaková) nebyla v této části zkoušek používána. Přívod plynu za škrtící klapkou k difuzoru byl proveden potrubím o ø 9 mm.

Regulátor použitý při zkouškách byl výrobkem n. p. Plynokov, Ihustopeče (původní určení pro motor M 1203). Ohřev kapalného plynu v regulátoru byl proveden chladicí vodou v motoru zapojením do větve pro chlazení kompresoru motoru. Teplota vstupující vody do výměníku regulátoru byla zajišťována v rozmezí 75 - 84°C. Zapojení regulátoru je patrné na obr. 20.

Měření množství spotřebovaného plynu bylo provedeno plynoměrem zn. Prema o měřicím rozsahu 0,1 - 3,1 m^3/hod zapojeného v nízkotlaké části rozvodu plynu za regulátorem. Současně byla měřena i teplota plynu nasávaného do motoru. Měření množství spotřebovaného kapalného paliva bylo prováděno vážením.



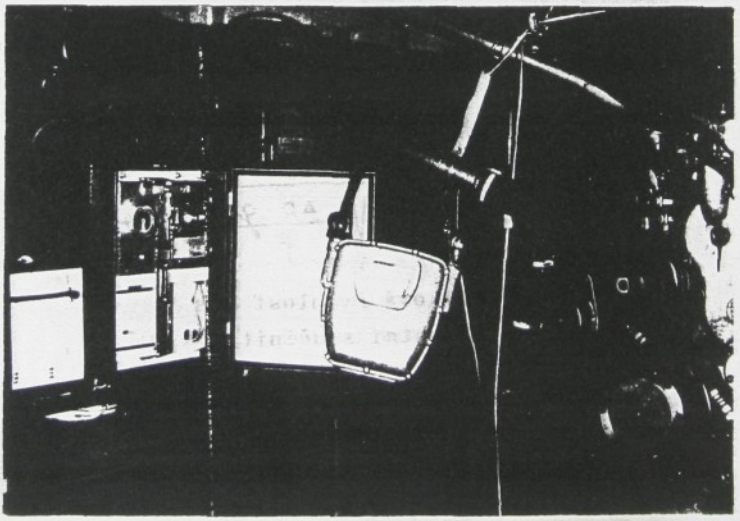
Obr. 20 Pohled na zadní část motoru

3.1.2 Zkoušky motoru

Zkoušky byly provedeny na dynamometru VD 110. Při snímání charakteristik se zjišťovaly parametry motoru, dále teploty výfukových plynů, oleje, chladicí vody, na-

sávaného vzduchu a teplota plynu v difuzoru. Z dostupných možností měření škodlivin výfukových plynů byl zjišťován údaj stupně kouření motoru a obsah CO ve výfukových plynech. Měření obsahu CO ve výfukových plynech se provádělo infra-analyzátorem IREX 2 (rozsah stupnice 0 - 0,5 % CO). Sonda pro odběr vzorků výfukových plynů pro analyzátor byla umístěna za tlumičem výfuku, tj. 1 m za příruběm litinového výfukového potrubí motoru. Připojení k analyzátoru bylo provedeno měděnou trubkou délky cca 1 m, která zajišťovala ochlazení vzorku plynu a dále pryžovou hadicí. Vzhledem k přetlaku ve výfukovém potrubí byl konstantní tlak vzorku výfukových plynů před analyzátorem zajišťován škrcením odběrové hadice tak, aby na zabudovaném průtokoměru analyzátoru byl konstantní průtok. Před měřením bylo provedeno cejchování stupnice analyzátoru cejchovním plynem 0,32 % CO.

Sonda pro odběr vzorků stupně kouření motoru byla provedena dle ČSN 09 0866.



Obr. 21 Měření plynu a obsahu CO

3.3.4 Návrh směšovacího zařízení pro motor M 634

Návrh zařízení vychází z následujících obecných podmínek a požadavků ze zjištěných výsledků zkoušek na jednoválcovém motoru, jakož i výsledků provozu motoru M 634 na kalový plyn, tj.:

1) tvoření homogenní zápalné směsi se provádí před sacím ventilem

2) stávající sací trakt motoru M 634 se nemění, motor nasává čistý vzduch o atmosferickém tlaku z okolí motoru. Za sacím filtrem je podle pracovního režimu podtlak cca 100 - 300 Pa.

3) max. náhrada nafty směsí propan, butanu se předpokládá 30 % vzhledem k vlastnostem uvedené směsi. Odběr propan, butanu je zajišťován z tlakové láhve redukcí na dvojstupňovém regulátoru a v místě odběru lze uvažovat tlak 50 - 250 Pa.

Vlastní provedení směšovače je difuzor umístěný ve společné sací rouře pro obě větve sacího potrubí.

Průtoková rychlost plynu v místě skrtící klapky

$$c = \varphi \sqrt{\frac{\Delta p \cdot g}{\rho}} = 44,50 \text{ m/s}$$

kde: c - průtoková rychlost m/s
φ - rychlostní součinitel 0,9
Δp - tlakový spád /Pa/
g - tíhové zrychlení /m/s^2/
ρ - měrná hmotnost směsi propan, butanu 50/50 2,01 kg m^3

Nahrazované množství nafty při předpokladu 50 % provozu na směs propan, butan - 390 mm^3/cykl při jmenovitých otáčkách motoru 2000 1/min

$$V_n^+ = V_{n_{max}} \cdot 0{,}5n \cdot 60 = 2{,}34\ dm^3/hod$$

při uvažování výhřevnosti nafty 41,86 MJ/kg, ρ = 0,82 kg/dm^3 se jedná o náhradu 92,4 MJ/hod.

Za předpokladu přibližně stejné celkové účinnosti tepelného oběhu při provozu na dvojí palivo a výhřevnosti plynného paliva 92,62 MJ/kg, tj. cca 46,3 MJ/m^3 při 20°C se jedná o zajištění průtoku plynu

$$V_p = V_n^+ \cdot \frac{H_n}{H_{p,b}} = 1{,}73\ m^3/hod$$

Určení velikosti průtokové klapky ve směšovači a v přívodním potrubí nízkotlaké části

$$F = \frac{V_p}{c \cdot 3600} = 10{,}8 \cdot 10^{-6}\ m^2$$

tj. průměr potrubí 3,7 mm. Průměr přívodního potrubí škrticí klapky proveden 9 mm. Při zkouškách byly použity dvě velikosti otvorů ve směšovači 2,0 a 3,1 mm. Volba plochy provedena s ohledem na vyšší vstupní teplotu plynu.

3.3.5 Výsledky měření na motoru

Program měření a ověřování provozu motoru M 634 na dvojí palivo byl rozdělen na dvě etapy. V prvé části byly zjišťovány a ověřovány charakteristiky při provozu na naftu:

Ruch Liberec

- vnější rychlostní charakteristika při seřízení výkonu motoru 132,4 kW při otáčkách 2000 1/min
- zatěžovací charakteristiky při otáčkách motoru 1000, 1200 a 1400 1/min

V druhé části pak byly snímány obdobné charakteristiky při provozu na dvojí palivo. Měření byla vždy pro jednotlivé otáčky motoru prováděna při stejných barometrických podmínkách. Přitom byly zjišťovány charakteristiky při náhradě kapalného paliva max. 40 % směsí propan, butanu a v zatěžovacích charakteristikách byly používány různé hodnoty nastavení zapalné dávky paliva v rozsahu cca 400 - 650 mm^3/cykl. Měření zatěžovacích charakteristik bylo prováděno v rozsahu velikosti středního efektivního tlaku 0,45 - 0,80 MPa.

Všechna měření byla prováděna se seriovým vstřikovacím čerpadlem při nastavení GPD paliva 29° před HÚ. Hodnoty množství paliva kapalného i plynného jsou uvažovány na celý cykl motoru, tj. 6 válců. Rovněž použité vstřikovače byly seriového provedení.

Přechod na provoz s dvojím palivem se u motoru neprojevil nepravidelností v chodu. Poněvadž nebyla prováděna indikace tlaku ve válci motoru, nelze objektivně posoudit změnu v tvrdosti chodu motoru. Ve vnějším projevu hlučnosti motoru nebyla znatelná změna.

Při snímání uvedených charakteristik byly posuzovány následující parametry motoru a údaje obsahu škodlivin výfukových plynů v porovnání provozu na naftu.

Teplota výfukových plynů

Ve všech případech provozu na dvojí palivo je teplota výfukových plynů nižší než při provozu na naftu. Při náhradě 20 % propan, butanu je pokles teploty výfukových plynů

cca 50° C. Obdobné výsledky byly zjištěny i u zatěžovacích charakteristik, kde se významněji projevuje pokles při vyšších zatíženích, viz grafy G 9 - 11 . Pokles teploty výfukových plynů závisí na velikosti náhrady nafty propan, butanem - viz graf G12-14 a je v rozsahu středních užitečných tlaků p_e = 0,6 - 0,75 MPa přibližně stejný.

Obsah CO ve výfukových plynech

Při provozu na naftu obsah CO je závislý na otáčkách motoru. Při nízkých otáčkách motoru dosahuje obsah CO hodnoty až 0,5 % CO a klesá na min. hodnotu 0,220 % při otáčkách 1800 1/min. se vzrůstem na hodnotu 0,300 % při jmenovitých otáčkách motoru a max. výkonu.

Při provozu na dvojí palivo (obsah 20 % propan, butanu) je charakter v průběhu obsahu CO obdobný s tím, že absolutní hodnota CO je nižší než při provozu na naftu. Výrazněji se projevuje tento pokles při nižších otáčkách motoru - viz graf G8 .

Při hodnocení sejmutých zatěžovacích charakteristik je průběh obsahu CO obdobný jako při provozu na naftu. Při nižších zatíženích u dvojpalivového provozu obsahují výfukové plyny větší množství CO a naopak při max. zatíženích obsah CO je menší než při provozu na naftu (od hodnot středního užitečného tlaku cca 0,7 MPa).

Obsah NO_x ve výfukových plynech

Vzhledem k tomu, že obsah těchto plynů závisí do značné míry na teplotě spalování, lze předpokládat, že s poklesem teploty výfukových plynů klesá obsah NO_x , zejména v oblasti max. výkonu motoru. Měření obsahu této složky škodlivin nebylo prováděno.

Ruch Libere

Stupeň kouření motoru

Při spalování propan, butanu ve všech měřeních prováděných na motoru M 634 byl zjištěn pokles stupně kouření motoru. Charakter průběhu stupně kouření se nemění (u rychlostní charakteristiky), jsou však dosahovány nižší obsolutní hodnoty - viz graf G 8 , kde činí pokles 10 % stupně kouření proti provozu na naftu při zachování stejné hodnoty výkonu. Z grafů G 12-14 dále vyplývá větší hodnota poklesu stupně kouření v závislosti na velikosti náhrady nafty. Stupeň kouření u dvoupalivového provozu naftového motoru je do značné míry určován stupněm kouření motoru při snížené dávce nafty.

4.0 Závěr

Výsledky motorových zkoušek v této etapě prokázaly možnost provozu motoru M 634 na směs nafta - propan,butan. Výhodnost uvedeného provozu se jeví především v poklesu teplot výfukových plynů a stupně kouření motoru. Ostatní parametry motoru zůstávávají na stejné úrovni, event. jejich zhoršení není závažné vzhledem k předpokládaným závazným hodnotám velikosti škodlivin v nejbližším období (zvýšení obsahu CO při nižších středních užitečných tlacích).

Dle provedené tlakové indikace ve válci jednoválcového zkušebního motoru 120/130 s podobným spalovacím prostorem lze předpokládat, že cca do 30 % náhrady jmenovité dávky nafty směsí propan, butanu nedochází k výraznému zvýšení max. spalovacích tlaků, event. hluku, jak bylo subjektivně poslechem u motoru zjištěno. Provoz motoru M634 byl pravidelný, bez příznaků detonací i při středním užitečném tlaku 0,8 MPa při 1400 l/min.

V následujícím období řešení spočívá v návrhu vhodné regulace mezi vstřikovacím čerpadlem a směšovačem, event. provedení úprav ve tvaru spalovacího prostoru, jakož i provedení optimalizace (určení vhodné velikosti GPD kapalného paliva, velikost otvíracího tlaku vstřikovače).

Rozsah zkoušek odpovídá objektivním možnostem časového řešení úkolu při zkouškách na brzdovém stanovišti.

L i t e r a t u r a

/1/ Karim - SAE Preprints, S.a., č. 680768

/2/ Pischinger, R.: Bombenversuche über Gasverbrennungen, MTZ, roč. 30, č. 5, 1969

/3/ Boldt: LP - gas for engines, EI, č. 31, 1968

/4/ Pischinger, A.: Bombenversuche über die Dieselverbrennung unter Motorischen Bedingungen, MTZ, roč. 20, č. 1, 1959

/5/ Košťál, Suk: Pístové spalovací motory, ČSAV, 1963

/6/ Antonucci: Heavy-duty dual-fuel diesel engines for smoke reduktion in city bus service, EI, č. 2, 1975

/7/ Machuňko: Způsoby převodu spalovacích motorů na plynové motory, Transželeznodorog, 1954

/8/ Kollerov: Plynová zařízení, Mašgiz, 1951

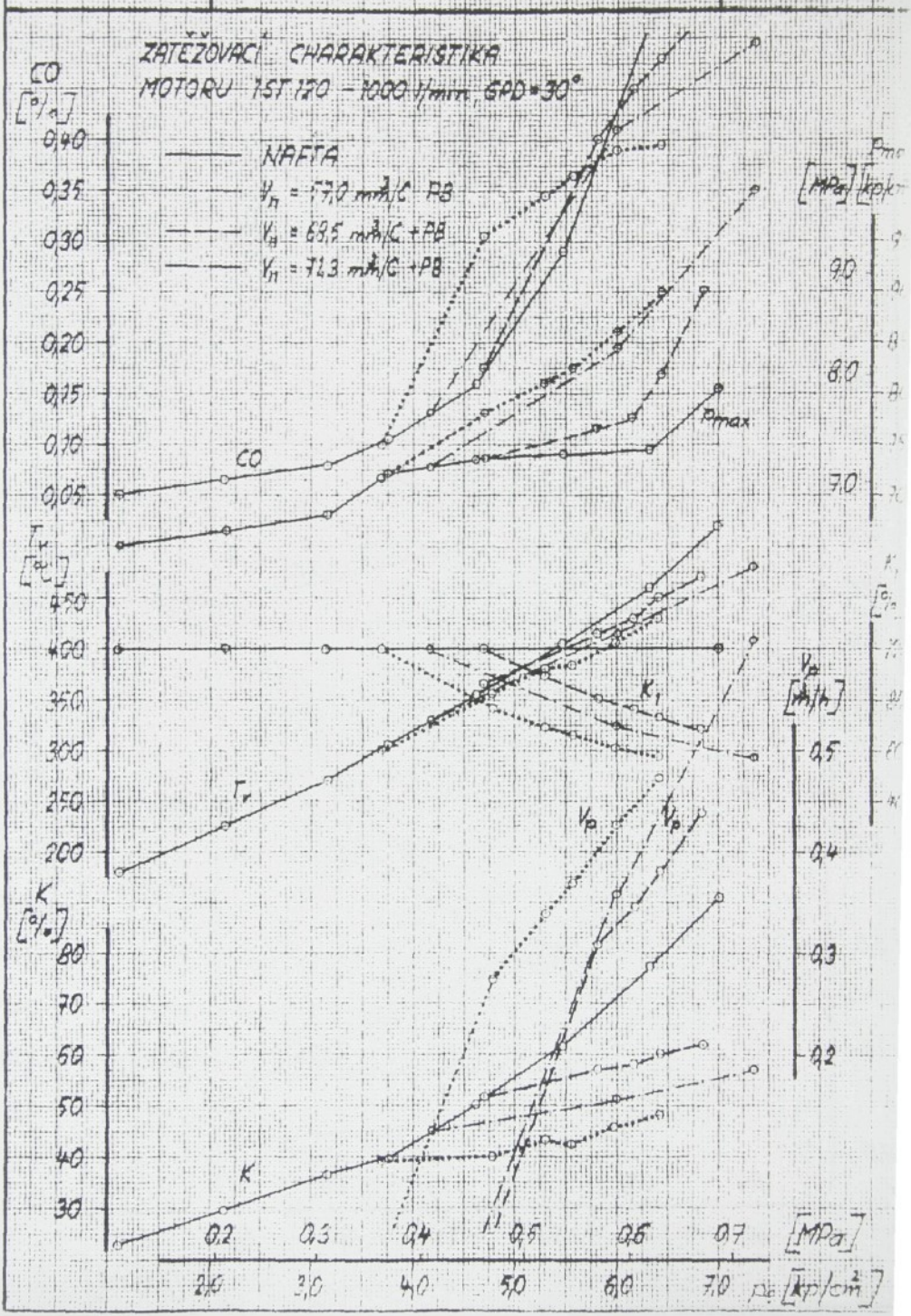
/9/ Beroun: Dvojpalivový provoz motoru, Výzkumná zpráva ZM 108/71, VŠST Liberec, 1971

/10/ Bazika: Vliv přeplňování na obsah škodlivin v exhalacích naftových motorů, Sborník konference o spalovacích motorech, Žilina, 1974

/11/ Beroun: Stacionární rychloběžný motor pro dvojpalivový provoz, Sborník konference o spalovacích motorech, Žilina, 1974

/12/ Takats: Neobvyklý způsob použití propan, butanu pro vznětové motory, Sborník konference o spalovacích motorech, Žilina, 1974

/13/ Záhora: Provoz vznětového motoru s užitím propan, butanu jako hlavního paliva, Diplomová práce, VŠST Liberec, 1975

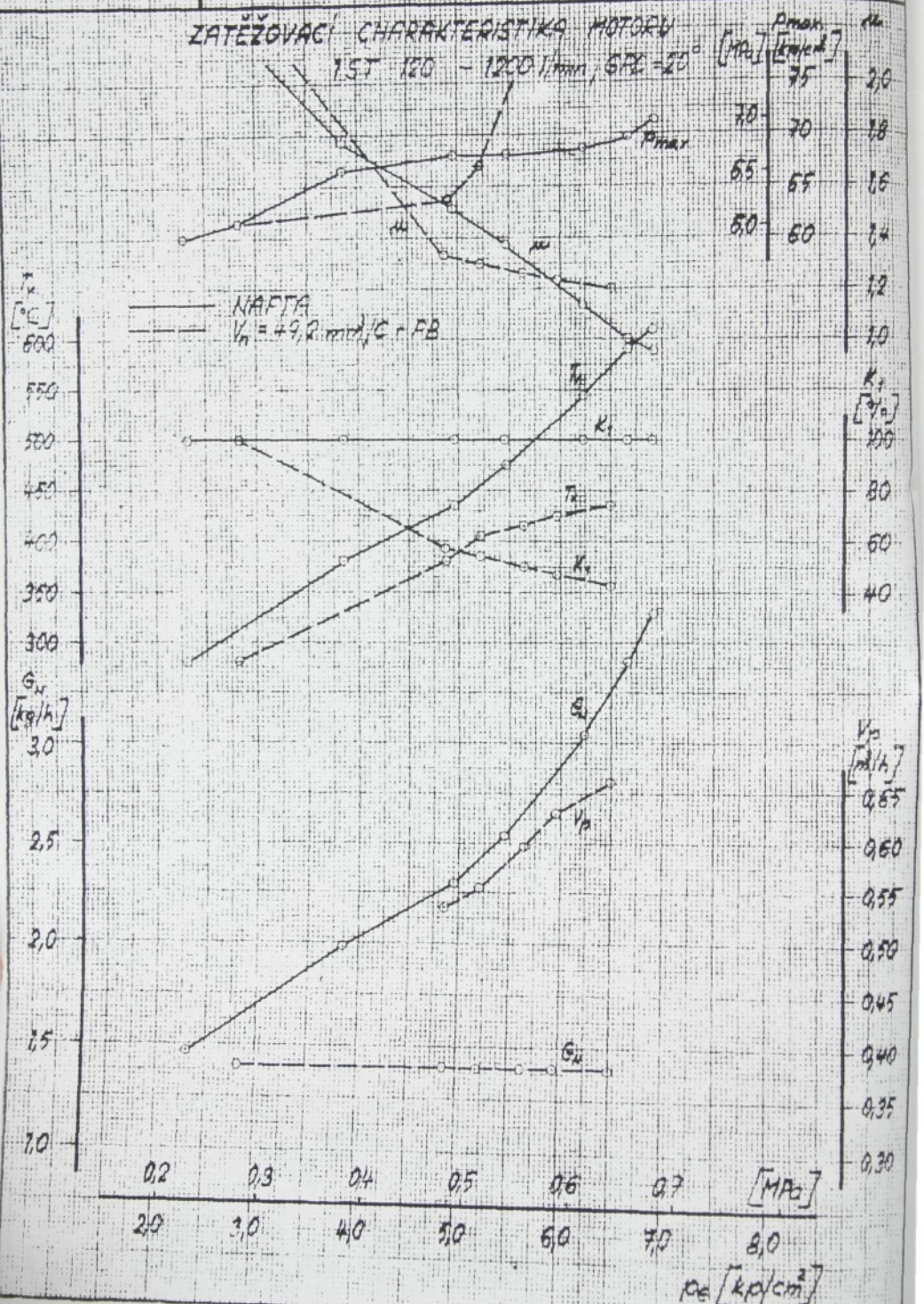

ZATĚŽOVACÍ CHARAKTERISTIKA
MOTORU 1ST 170 - 1000 1/min, GPD = 30°
NAFTA
V_h = 77,0 mm³/C PB
V_h = 69,5 mm³/C + PB
V_h = 71,3 mm³/C + PB
CO
[%]
0,40
0,35
0,30
0,25
0,20
0,15
0,10
0,05
p_{max}
[MPa]
9,0
8,0
7,0
Γ_r
[°]
450
400
350
300
250
200
K_1
V_p
[m³/h]
0,5
0,4
0,3
0,2
K
[%]
80
70
60
50
40
30
0,2
0,3
0,4
0,5
0,6
0,7
[MPa]
2,0
3,0
4,0
5,0
6,0
7,0
[kp/cm²]

Provoz vznětového motoru na dvojí palivo

G 2

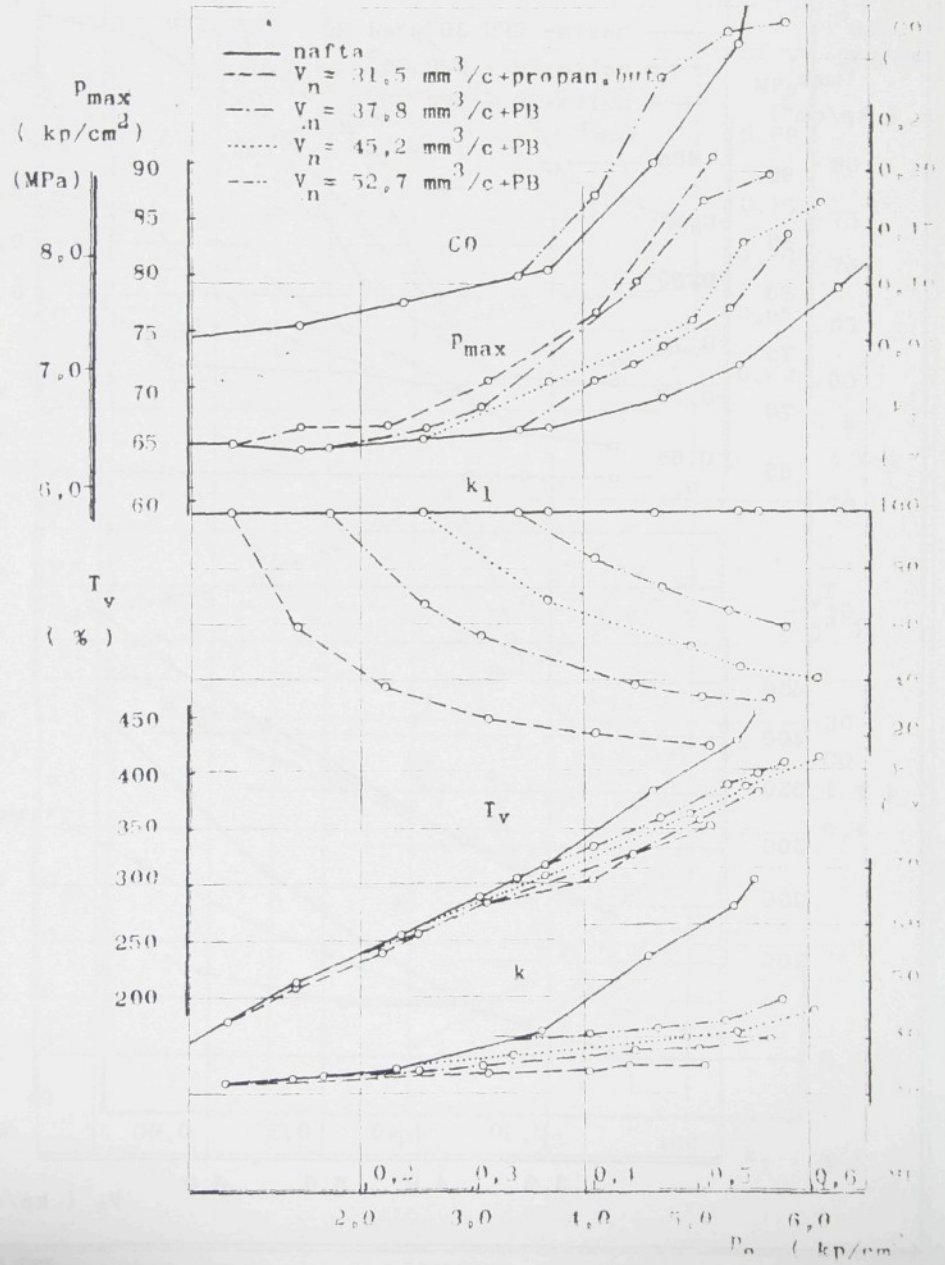
ZATĚŽOVACÍ CHARAKTERISTIKA MOTORU

1,5T 120 – 1200 l/min, GAZ = 20°



Zatěžovací charakteristika motoru 1 ST 120

otáčky motoru n= 1200 1/min GPD paliva 30° před HÚ

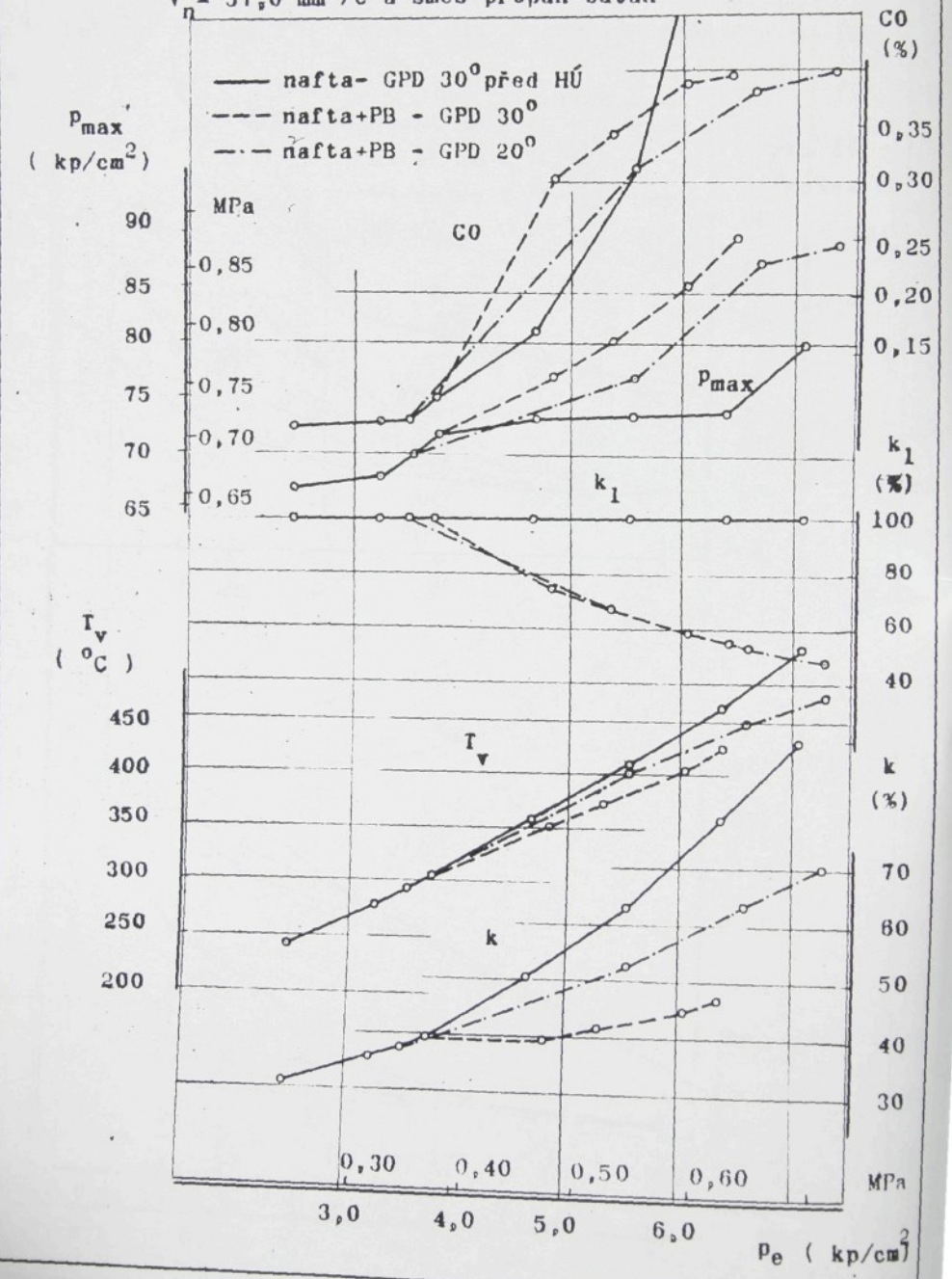


VŠST
VÝZKUMNÉ A ZKUŠEBNÍ PRACOVIŠTĚ SPALOVACÍCH MOTORŮ

Provoz vznětového motoru na dvojí palivo

G4

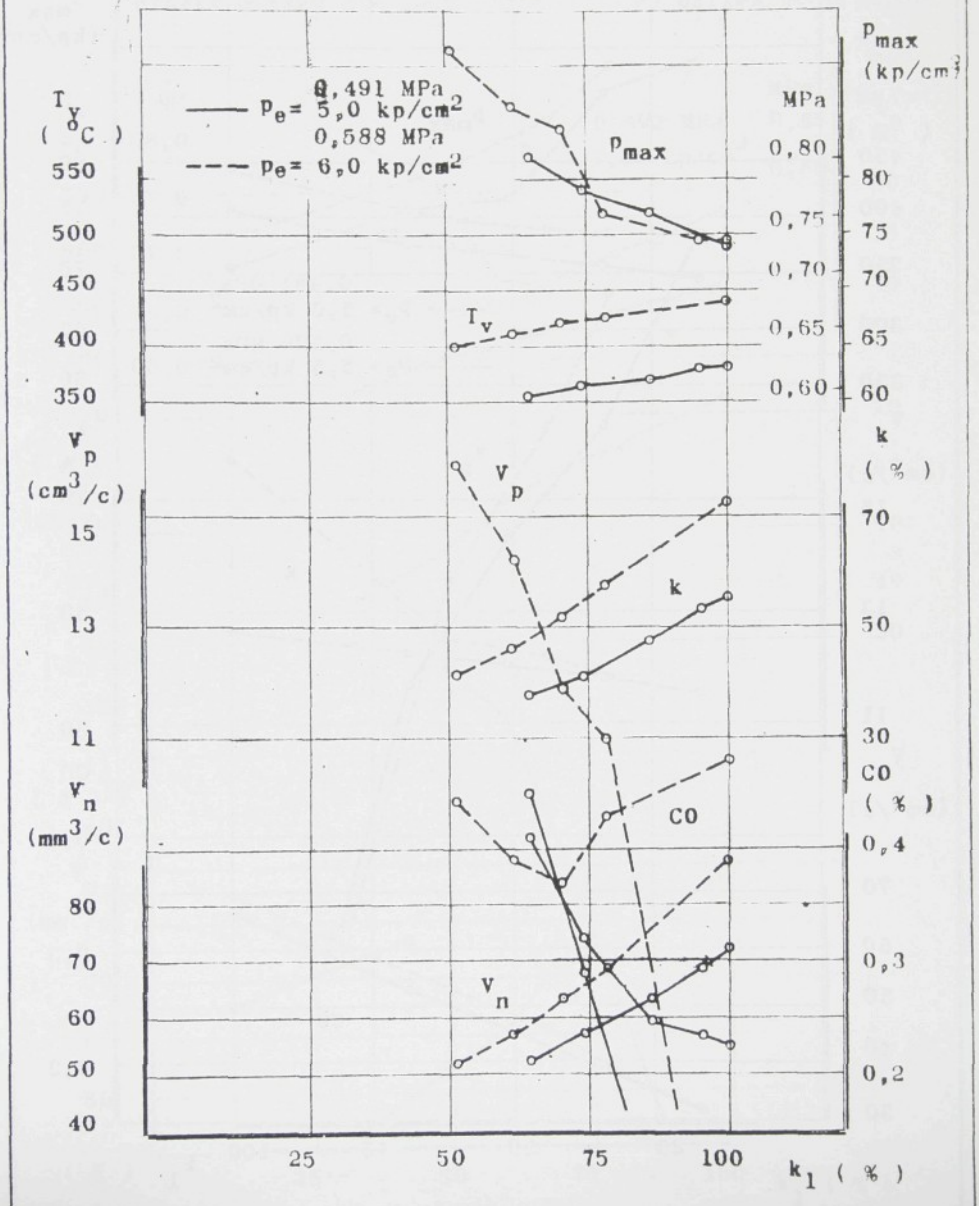
Závislost parametrů motoru 1 ST 120 na velikosti GPD paliva při provozu na dvojí palivo:
V_n = 57,0 mm³/c a směs propan-butan



Ruch Liberec

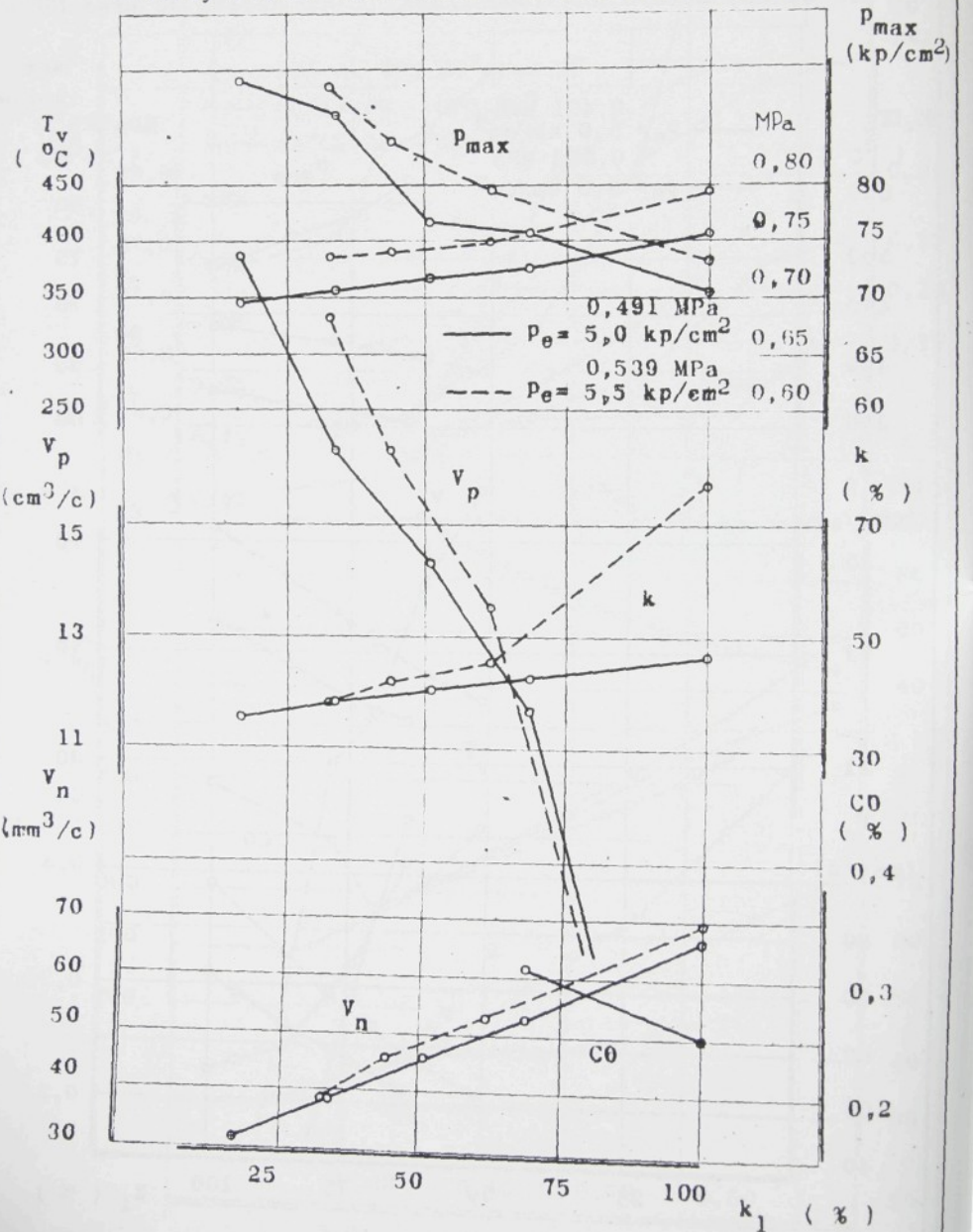
Závislost paramatrů motoru 1 ST 120 na náhradě nafty směsí propan - butan

otáčky motoru n = 1000 1/min GPD paliva 30° před HÚ

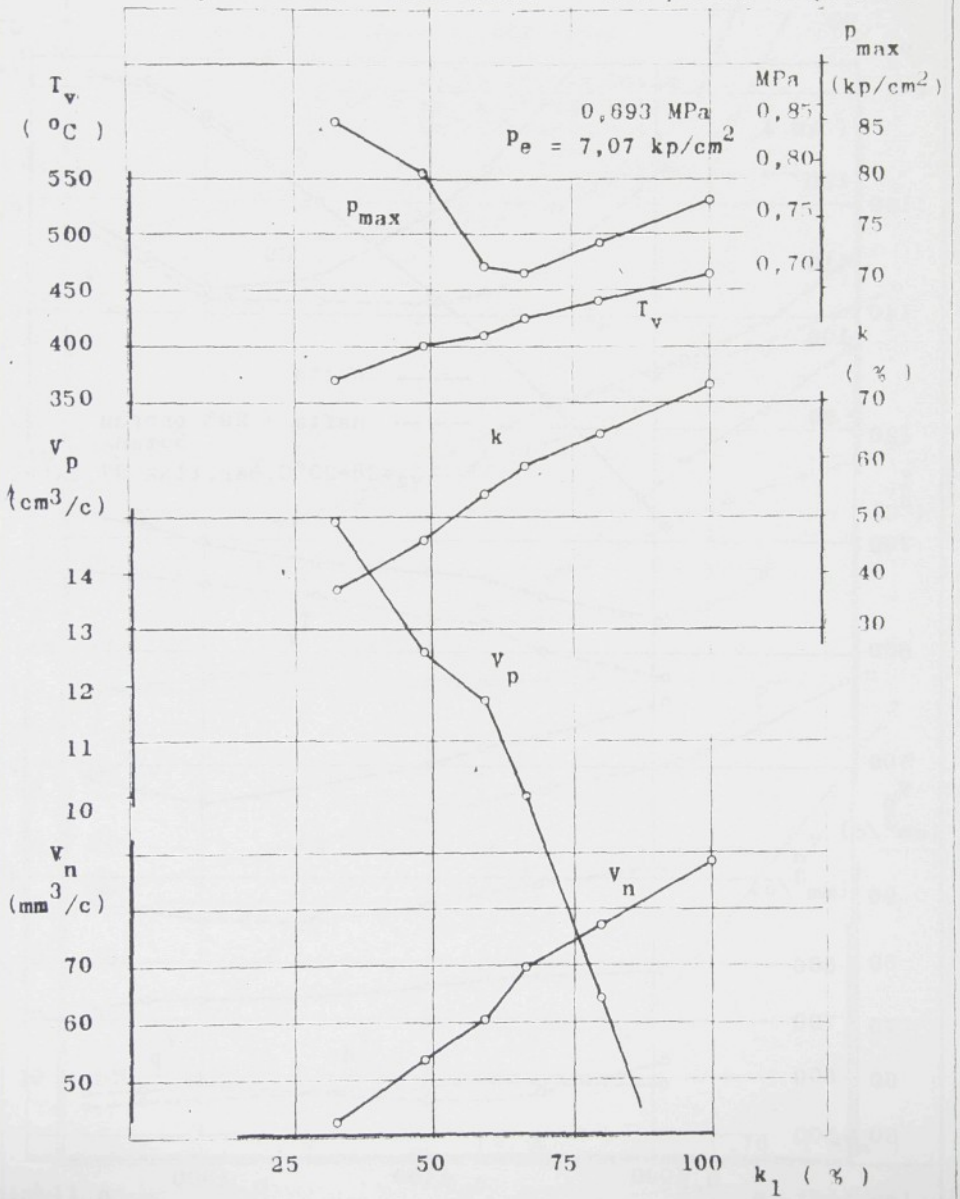


VŠST VÝZKUMNÉ A ZKUŠEBNÍ PRACOVIŠTĚ SPALOVACÍCH MOTORŮ	Provoz vznětového motoru na dvojí palivo	G6.

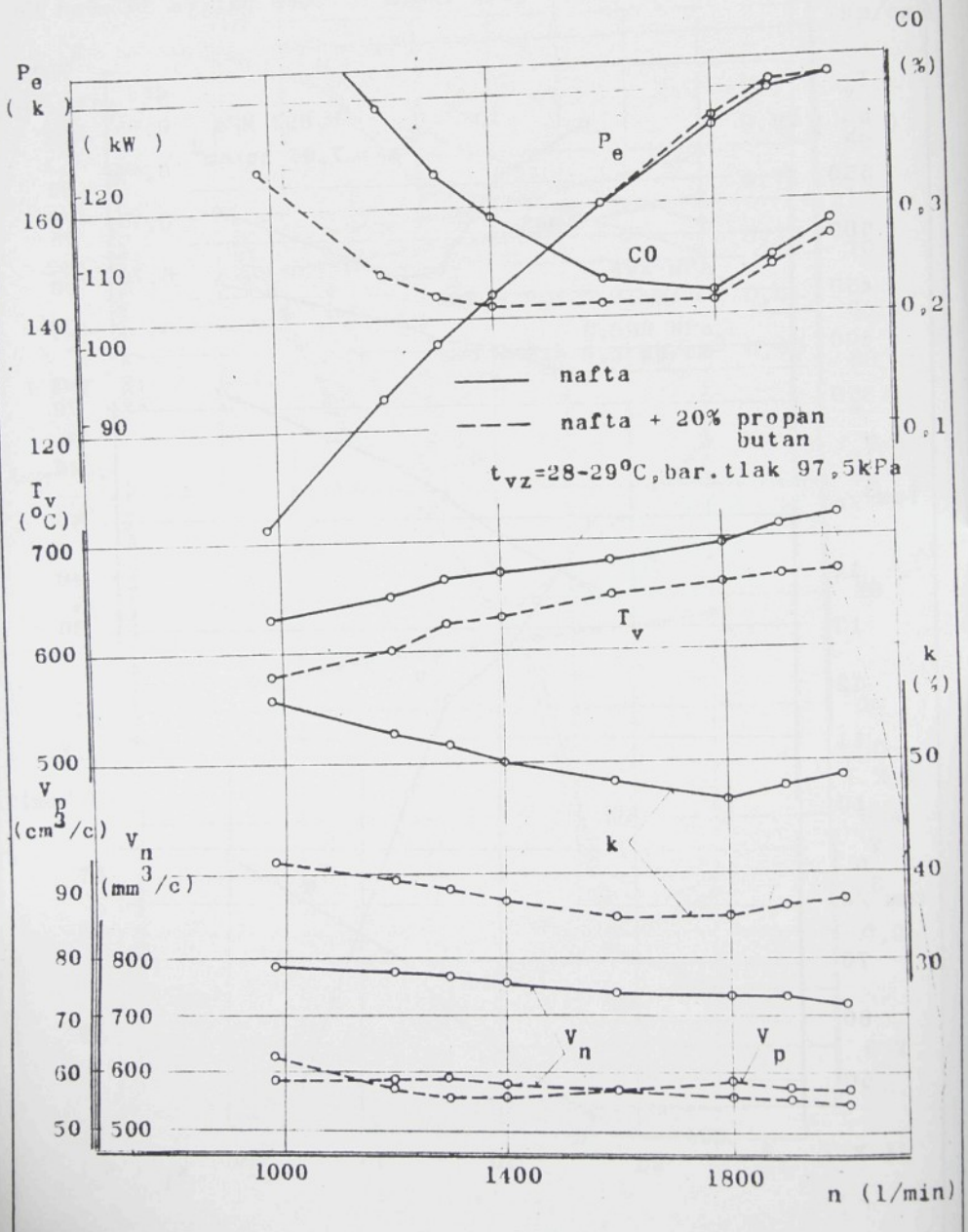
Závislost parametrů motoru 1 ST 120 na náhradě nafty směsí propan - butan
otáčky motoru 1200 1/min GPD paliva 30° před HÚ

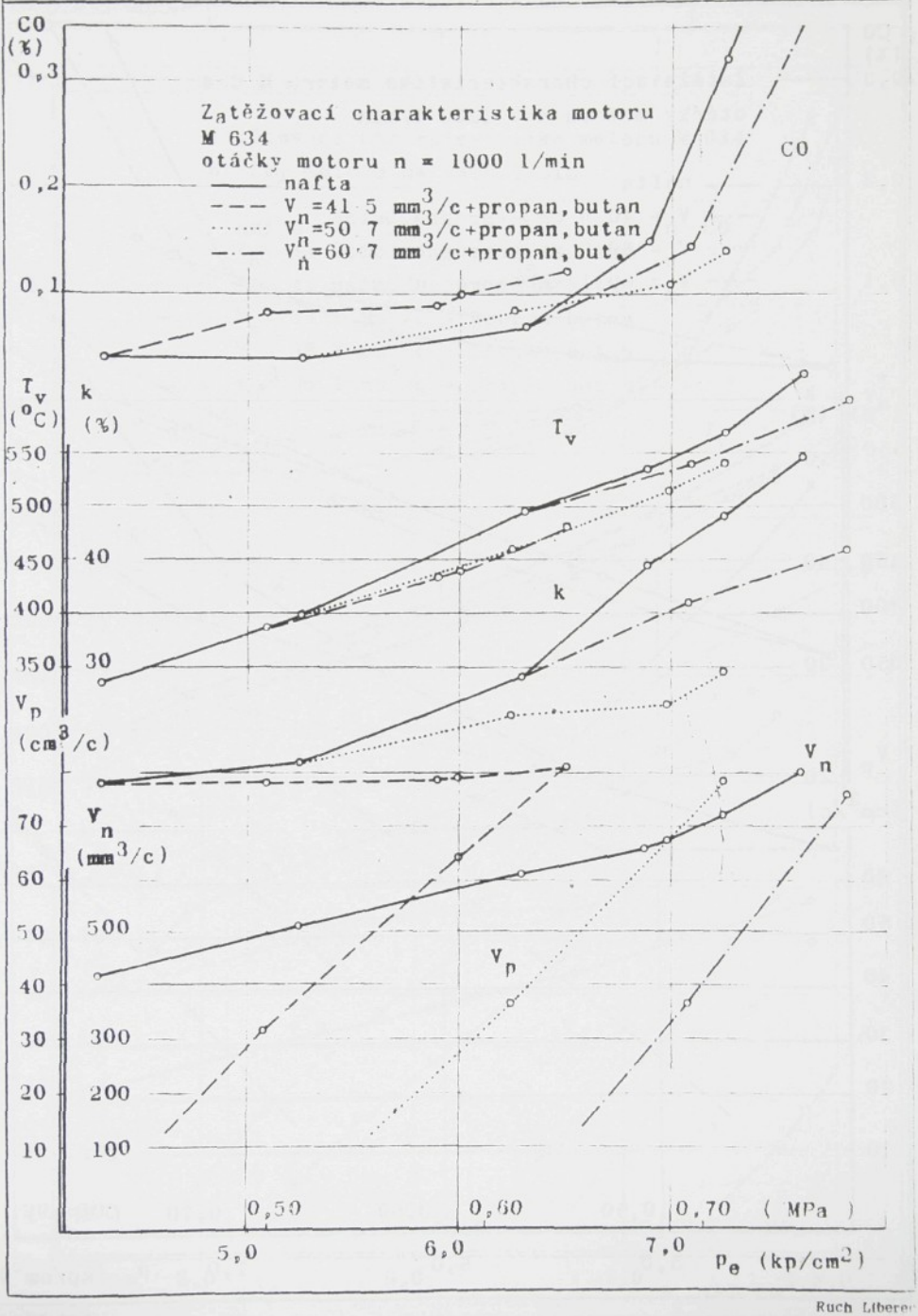


Závislost parametrů motoru 1 ST 120 na náhradě nafty směsí propan - butan
otáčky motoru n = 1000 1/min GPD paliva 30° před HÚ

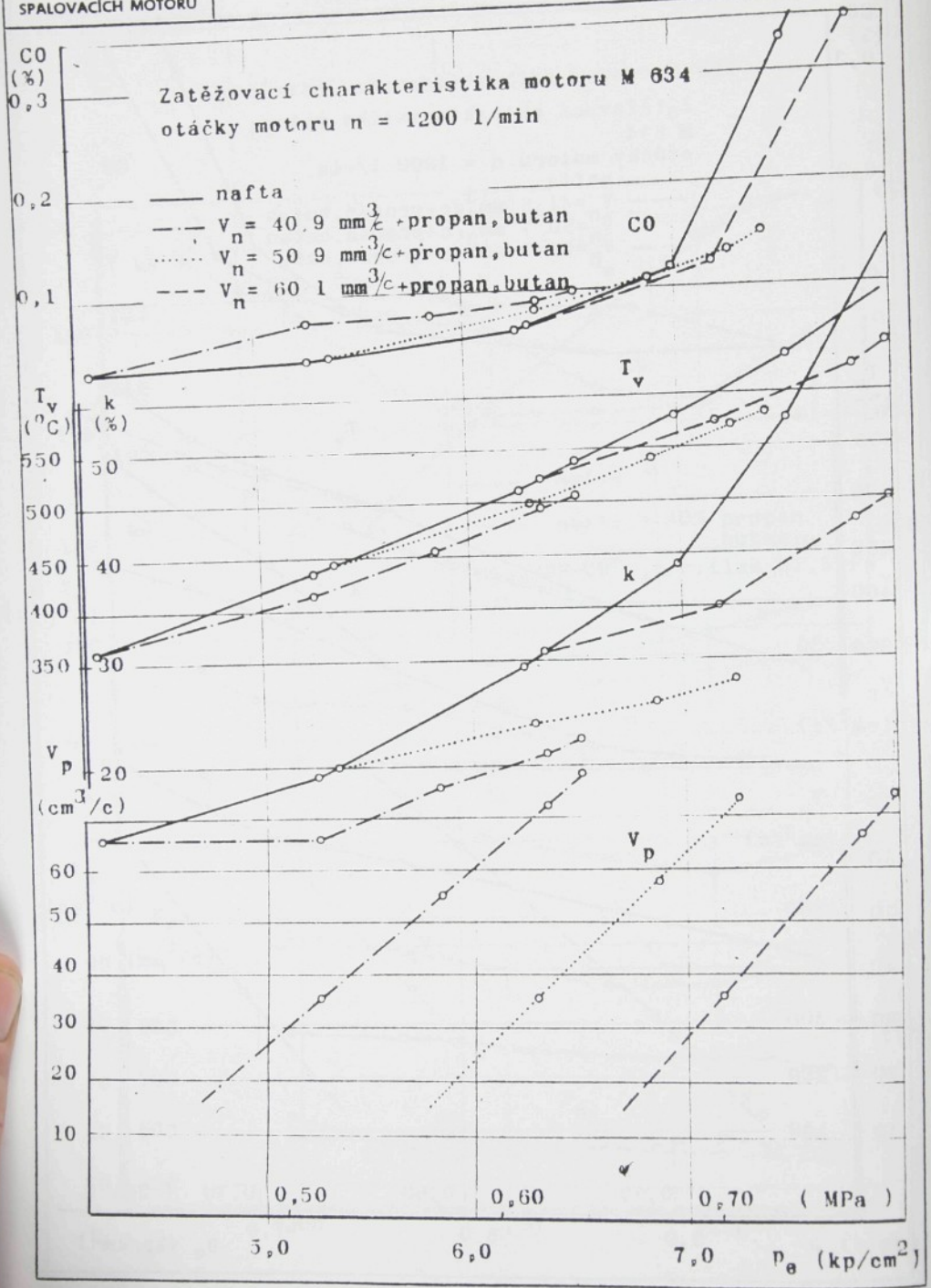


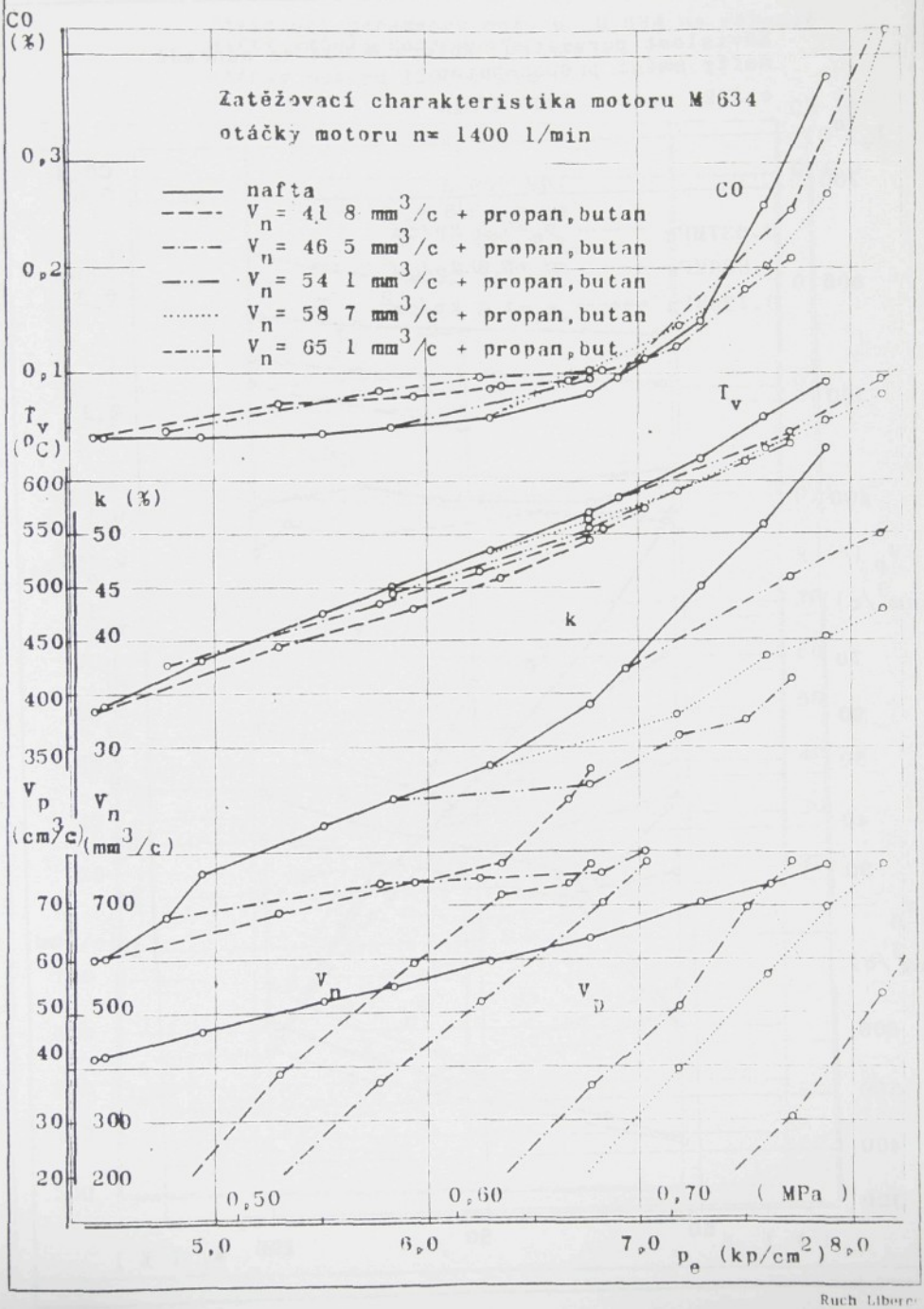
Rychlostní charakteristika motoru M 634




CO (%)
0,3
0,2
0,1
Zatěžovací charakteristika motoru
M 634
otáčky motoru n = 1000 1/min
nafta
V_n=41·5 mm³/c+propan,butan
V_n=50·7 mm³/c+propan,butan
V_n=60·7 mm³/c+propan,but.
CO
T_v (°C)
k (%)
T_v
k
550
500
450
400
350
40
30
V_p (cm³/c)
V_n
V_n (mm³/c)
70
60
50
40
30
20
10
500
300
200
100
V_p
0,59
0,60
0,70 (MPa)
5,0
6,0
7,0
p_e (kp/cm²)

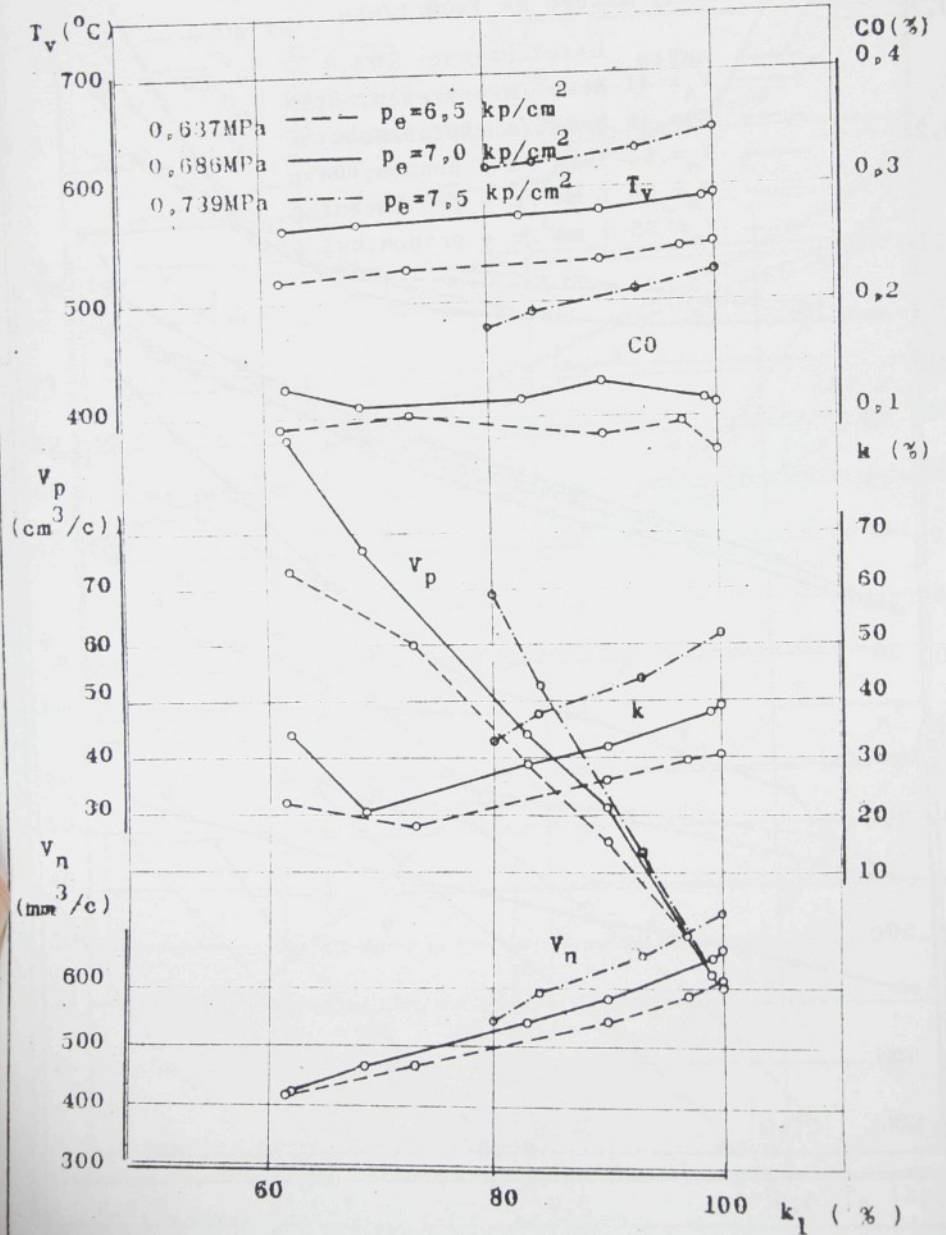
Ruch Libere


Zatěžovací charakteristika motoru M 634
otáčky motoru n = 1200 1/min
nafta
V_n = 40,9 mm³/c + propan, butan
V_n = 50 9 mm³/c + propan, butan
V_n = 60 1 mm³/c + propan, butan
CO (%)
0,3
0,2
0,1
CO
T_v (°C)
550
500
450
400
350
T_v
k (%)
50
40
30
k
V_p (cm³/c)
60
50
40
30
20
10
V_p
0,50
0,60
0,70 (MPa)
5,0
6,0
7,0
p_e (kp/cm²)


Zatěžovací charakteristika motoru M 634
otáčky motoru n= 1400 1/min
nafta
V_n = 41 8 mm^3/c + propan, butan
V_n = 46 5 mm^3/c + propan, butan
V_n = 54 1 mm^3/c + propan, butan
V_n = 58 7 mm^3/c + propan, butan
V_n = 65 1 mm^3/c + propan, but
CO (%)
0,3
0,2
0,1
T_v (^{0}C)
600
550
500
450
400
350
k (%)
50
45
40
30
V_p (cm^3/c)
V_n (mm^3/c)
70
60
50
40
30
20
700
500
300
200
CO
T_v
k
V_n
V_p
0,50
0,60
0,70 (MPa)
5,0
6,0
7,0
p_e (kp/cm^2) 8,0

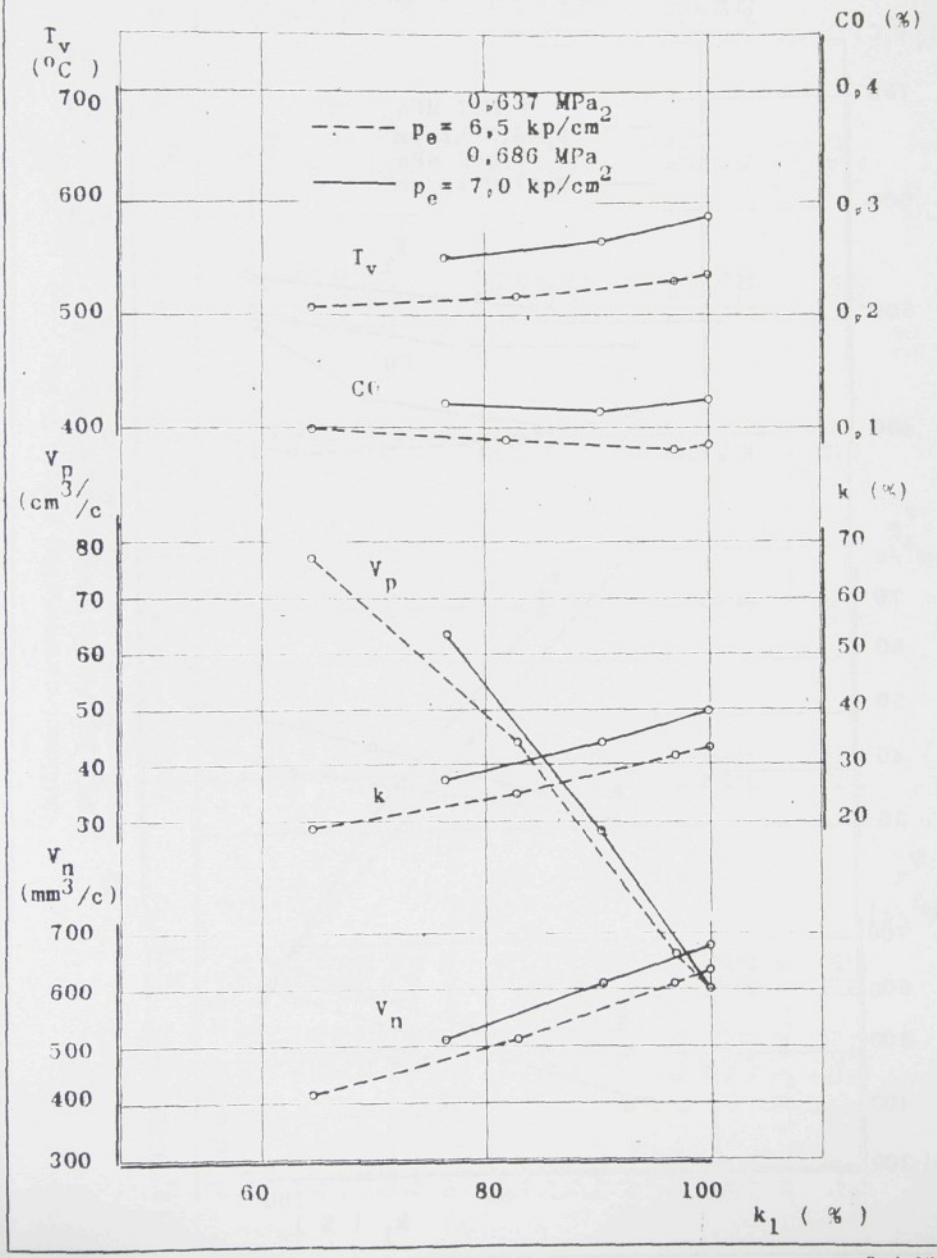
Závislost parametrů motoru M 634 na náhradě nafty směsí propan-butan

otáčky motoru 1400 1/min



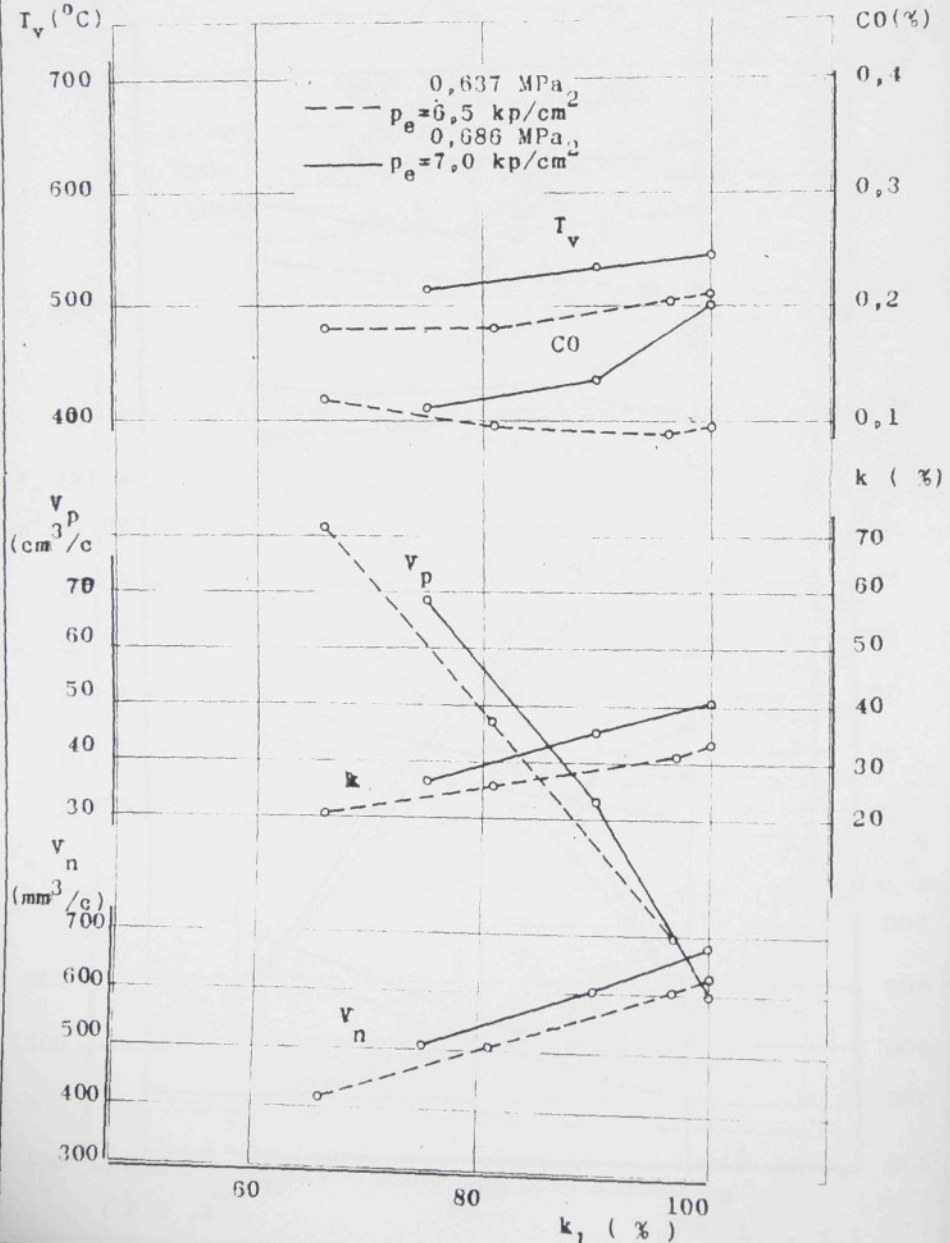
Závislost paramatrů motoru M 634 na náhradě nafty směsí propan-butan

otáčky motoru 1200 1/min



Závislost parametrů motoru M 634 na náhradě nafty směsí propan-butan

otáčky motoru n= 1000 1/min



Zatěžovací charakteristika motoru 1 ST 12)

$\alpha PD = 30^{\circ}$ před HÚ, otáčky motoru $n = 1000$ 1/min

p_e /kp/cm^2//MPa/		V_N /mm^3/c/	V_p /m^3/h/	T_v /°C/	k /%/	CO /%/	p_{max} /kp/cm^2/MPa/	
a) nafta								
1,11	0,109	32,6		180	23	0,050	65	6,37
2,14	0,210	41,7		225	29,5	0,065	68,5	6,52
3,16	0,310	50,0		270	36,5	0,080	68	6,67
3,76	0,369	57,7		305	39,5	0,105	72	7,06
4,62	0,453	68,4		335	50	0,160	78,5	7,70
5,47	0,537	77,6		405	61,5	0,290	79	7,75
6,33	0,621	90,2		460	77,5	0,320	79,5	7,80
7,01	0,688	100,4		520	91	-	80,5	7,90
b) V_N = 57,0 mm^3/c + PB								
4,73	0,469	57,0	0,274	355	40	0,205	78	7,65
5,30	0,520	57,0	0,339	380	43	0,345	81	7,94
5,56	0,545	57,0	0,369	385	42,5	0,365	82,5	8,09
5,98	0,586	57,0	0,428	405	45,5	0,390	86	8,44
6,42	0,630	57,0	0,473	430	48	0,395	90	8,83
c) V_N = 68,5 mm^3/c + PB								
5,81	0,570	68,5	0,308	415	57	0,400	76,5	7,50
6,16	0,604	68,5	0,345	430	58	0,450	77,5	7,60
6,41	0,629	68,5	0,380	450	60	0,490	82	8,04
6,84	0,671	68,5	0,437	470	62	0,500	90	8,83
d) V_N = 71,3 mm^3/c + PB								
5,98	0,586	71,3	0,355	415	51	0,410	84,5	
7,35	0,721	71,3	0,510	480	67	0,495	100	

Ruch Library

Zatěžovací charakteristika motoru 1 ST 120

GPD = 20° před HÚ, otáčky motoru n = 1200 1/min

p_e /kp/cm^2/ /MPa/	V_N /mm^3/c/	V_p /m^3/h/	T_v /°C/	μ	p_{max} /kp/cm^2/ /MPa/	
a) nafta						
2,31	0,227	48,2	280	2,43	60	5,89
3,85	0,377	66,3	435	1,77	66,5	6,52
4,96	0,487	77,4	435	1,51	65,5	6,42
5,47	0,537	85,9	475	1,37	65,5	6,42
6,24	0,612	102,5	545	1,14	66	6,47
6,67	0,654	114,5	590	1,02	67	6,57
6,92	0,679	123,0	610	0,95	68	6,67
b) V_N = 49,2 mm^3/c + PB						
4,87	0,478	49,2	380	1,33	63,5	6,23
5,21	0,511	49,2	405	1,30	67	6,57
5,64	0,553	49,2	415	1,26	78	7,65
5,98	0,587	49,2	425	1,23	83,5	8,19
6,50	0,638	49,2	435	1,20	87,5	8,58

Provoz vznětového motoru na dvojí palivo

Tabulka 3a

Zatěžovací charakteristika motoru 1 ST 120

GPD = 30° před HÚ, otáčky motoru n = 1200 1/min

p_e /kp/cm²//MPa/		V_N /mm³/c/	V_p /m³/h/	T_v /°C/	CO /%/	p_{max} /kp/cm²//MPa/		k /%/
a) nafta								
1,45	0,142	38,5		215	0,065	65	6,38	32,5
2,39	0,234	45,9		255	0,085	65,5	6,43	34,5
3,68	0,361	57,6		320	0,115	66,5	6,52	41
4,62	0,453	67,0		385	0,210	69	6,77	54,5
5,38	0,528	75,9		430	0,315	72	7,06	63
5,56	0,545	79,8		455	0,420	73,5	7,21	68
b) V_N = 31,5 mm³/c + PB								
1,45	0,142	31,5	0,288	210		66,5	6,52	32
2,22	0,218	31,5	0,420	240		66,5	6,52	33
3,16	0,310	31,5	0,526	285		70,5	6,92	33,5
4,02	0,394	31,5	0,587	305		76,5	7,50	34
4,45	0,437	31,5	0,628	330		81,5	8,00	35
5,13	0,503	31,5	0,725	355		91	8,93	35

Provoz vznětového motoru na dvojí palivo

Tabulka 3b

Zatěžovací charakteristika motoru 1 ST 120

GPD = 30° před HÚ, otáčky motoru n = 1200 1/min

p_e /kp/cm^2//MPa/		V_N /mm^3/c/	V_p /m^3/h/	T_v /°C/	CO /%/	p_{max} /kp/cm^2//MPa/		k /%/
c) V_N = 37,8 mm^3/c + PB								
2,56	0,251	37,8	0,310	255		68,5	6,72	34
3,08	0,302	37,8	0,393	280		71	6,97	35
3,76	0,369	37,8	0,464	305		-	-	38
4,45	0,437	37,8	0,544	335		79,5	7,80	38
5,05	0,495	37,8	0,593	360		86,5	8,49	38,5
5,64	0,553	37,8	0,686	385		89	8,73	40
d) V_N = 45,2 mm^3/c + PB								
4,96	0,487	45,2	0,508	365		76	7,46	40
5,39	0,529	45,2	0,573	385		83	8,14	41
6,07	0,595	45,2	0,668	415		86,5	8,49	45
e) V_N = 52,7 mm^3/c + PB								
4,10	0,402	52,7	0,291	335	0,205	71	6,97	40,5
4,70	0,461	52,7	0,384	360	0,285	74	7,26	41,5
5,30	0,520	52,7	0,460	390	0,325	77	7,55	43
5,81	0,570	52,7	0,523	410	0,335	84	8,25	47

Ruch Liberec

Rychlostní charakteristika motoru M 634

(seřízený výkon 180 k/2000 l/min)

GPD = 29° před HÚ

n /l/min/	p_e /k/	/kW/	V_N /mm^3/c/	V_p /cm^3/c/	T_v /°C/	k /%/	CO /%/
a) provoz na naftu							
980	102,6	75,4	784,0		630	55,5	0,500
1200	125,7	92,4	773,0		650	52,5	0,390
1300	135,2	99,4	767,0		665	51,5	0,330
1400	143,7	105,7	753,0		670	50,0	0,290
1600	159,7	117,4	738,0		680	48,0	0,230
1800	173,4	127,5	732,0		695	46,5	0,220
1900	179,1	131,7	729,0		710	47,5	0,250
2000	181,5	133,5	715,0		720	48,5	0,280
b) nafta + PB							
základní dávka nafty 585,0mm^3/c při 1000 l/min 20 % náhrada nafty p_e = 6,30 kp/cm^2							
980	102,6	75,4	585,0	62,5	575	41,0	0,335
1200	125,7	92,4	580,0	57,0	600	39,5	0,240
1300	135,2	99,4	580,0	55,6	625	38,5	0,220
1400	143,7	105,7	580,0	55,6	630	37,5	0,210
1600	159,7	117,4	567,0	56,8	650	36,0	0,210
1800	174,7	128,5	561,0	58,5	660	36,0	0,210
1900	180,4	132,6	552,0	56,9	665	37,0	0,240
2000	181,5	133,5	543,0	57,0	670	37,5	0,265

Teplota vzduchu 27 – 29°C, barometrický tlak 37,5 kPa, teplota oleje 80–98°C

Provoz vznětového motoru na dvojí palivo

Tabulka 4

Ruch Liberec

Zatěžovací charakteristika motoru M 634

GPD = 29° před HÚ, otáčky motoru 1000 1/min

p_e /kp/cm²/MPa/		V_N /mm³/c/	V_p /cm³/c/	T_v /°C/	k /%/	CO /%/
a) nafta						
7,72	0,757	800,0		625	49,5	0,500
7,25	0,711	719,0		570	44,0	0,320
6,88	0,675	658,0		535	39,5	0,150
6,30	0,618	607,0		495	29,5	0,070
5,25	0,515	507,0		400	21,0	0,040
4,31	0,423	415,0		335	13,0	0,040
b) V_N = 4150 mm³/c + PB						
5,09	0,499	415,0	31,5	385	19,0	0,080
5,78	0,567	415,0	58,0	435	19,5	0,090
5,99	0,588	415,0	63,8	440	19,5	0,100
6,51	0,639	415,0	81,1	480	21,0	0,120
c) V_N = 5070 mm³/c + PB						
6,25	0,613	507,0	36,3	460	25,5	0,085
6,88	0,685	507,0	67,4	515	26,5	0,110
7,25	0,711	507,0	78,4	540	29,5	0,140
d) V_N = 601,0mm³/c + PB						
7,09	0,696	601,0	36,6	540	36,0	0,145
7,82	0,767	601,0	76 ,0	600	41,0	0,440

Ruch Liberec

Zatěžovací charakteristika motoru M 634

GPD = 29° před HÚ, otáčky motoru 1200 1/min

p_e /kp/cm^2/ /MPa/		V_N /mm^3/c/	V_p /cm^3/c/	T_v /°C/	k /%/	CO /%/
a) nafta						
8,13	0,798	875,0		720	72	0,500
7,51	0,737	753,0		635	52,5	0,330
6,98	0,685	674,0		580	39	0,120
6,25	0,614	592,0		510	29,5	0,065
5,25	0,515	497,0		435	19	0,040
4,20	0,412	409,0		360	13	0,030
b) V_N = 409, mm^3/c + PB						
5,25	0,515	409,0	35,5	415	13	0,075
5,83	0,572	409,0	54,3	455	18	0,080
6,35	0,623	409,0	72,5	495	21	0,090
6,51	0,639	409,0	79,7	500	12,5	0,100
c) V_N = 509 mm^3/c + PB						
6,30	0,618	509,0	35,3	500	18	0,040
6,88	0,675	509,0	57,5	540	24	0,085
7,25	0,711	509,0	73,5	570	26	0,110
7,41	0,727	509,0	80,6	580	28	0,135
d) V_N = 601 mm^3/c + PB						
7,19	0,705	601,0	35,3	575	35	0,125
7,82	0,767	601,0	66,2	625	43	0,350
7,98	0,782	601,0	73,7	645	45	0,500

Zatěžovací charakteristika motoru M 634

GPD = 29° před HÚ, otáčky motoru 1400 1/min

p_e /kp/cm²/ /MPa/	V_N /mm³/c/	V_p /cm³/c/	T_v /°C/	k /%/	CO /%/
a) nafta					
4,36 0,428	420,0		390	8	0,040
4,93 0,483	465,0		430	18	0,040
5,51 0,541	519,0		475	22,5	0,045
5,83 0,572	547,0		500	25	0,050
6,30 0,618	593,0		535	28	0,060
6,77 0,664	638,0		570	34	0,080
7,30 0,716	701,0		620	45	0,150
7,62 0,748	738,0		660	51	0,260
7,88 0,773	775,0		690	58	0,380
b) V_N = 418,0 mm³/c + PB					
4,31 0,423	418,0	38,6	385	10	0,040
5,30 0,520	418,0	59,1	445	14,5	0,070
5,93 0,582	418,0	72,0	480	17	0,080
6,35 0,623	418,0	73,9	510	19	0,090
6,67 0,654	418,0	77,9	535	25	0,095
6,77 0,664	418,0		545	28	0,105
c) V_N = 465,0 mm³/c + PB					
4,78 0,469	465,0	36,9	425	14	0,045
5,78 0,567	465,0	51,9	485	17	0,085
6,25 0,613	465,0	70,2	515	17,5	0,095
6,83 0,670	465,0	77,9	555	18	0,105
7,04 0,691	465,0		575	20	0,115

Ruch Liberec

Zatěžovací charakteristika motoru M 634

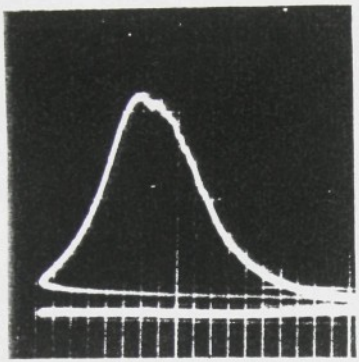
GPD = 29° před HÚ, otáčky motoru 1400 1/min

p_e /kp/cm^2/ /MPa/	V_N /mm^3/c/	V_p /cm^3/c/	T_v /°C/	k /%/	CO /%/
d) V_N = 541,0mm^3/c + PB					
5,83 0,572	541,0		495	25	0,050
6,77 0,664	541,0	36,3	555	25,5	0,095
7,19 0,705	541,0	56,0	590	31	0,125
7,51 0,737	541,0	69,7	615	32,5	0,155
7,72 0,757	541,0	77,9	635	36,5	0,210
e) V_N = 587,0 mm^3/c + PB					
6,30 0,618	587,0		535	28	0,060
7,19 0,705	587,0	38,8	595	33	0,145
7,61 0,747	587,0	56,8	630	38,5	0,200
7,88 0,773	587,0	69,7	655	40,5	0,270
8,14 0,798	587,0	77,9	680	45	0,425
f) V_N = 651,0mm^3/c + PB					
6,93 0,680	651,0		580	37	0,095
7,72 0,757	651,0	35,4	645	46	0,255
8,14 0,799	651,0	58,3	695	50	0,450
8,51 0,835	651,0	77,9	740	59	0,500

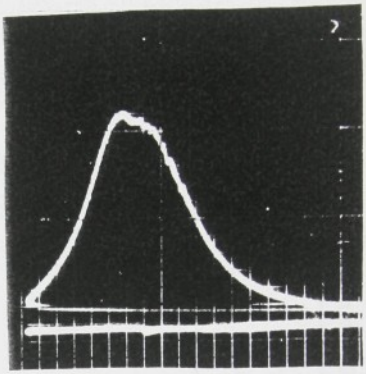
Teplota vzduchu 26 - 30°C, teplota oleje 85 - 95°C, barometrický tlak 97,5 kPa

Ruch Liber

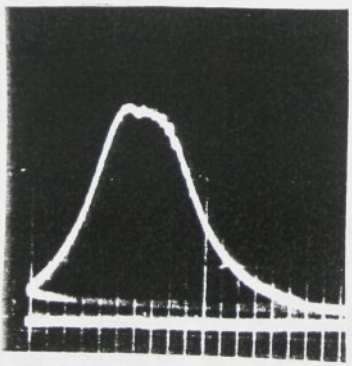
Vysokotlaká indikace ve válci motoru 1 ST 120
n = 1000 1/min, GPD = 10° před HÚ, měřítka: x- 1 dílek = 9° otočení
start - x - 45° před HÚ y- 1 dílek = 0,497 MPa



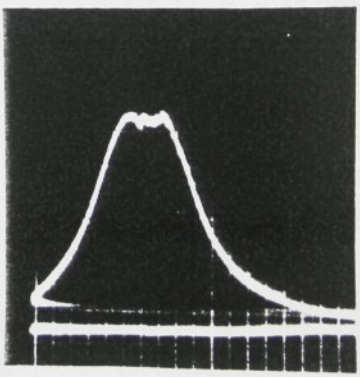
p_n = 0,361 MPa, p_{celk} = 0,486 MPa, k_1=74,4%
v_n =73,8mm^3/c, V_p=13,4 cm^3/c, T_v=510°C
p_{max} = 6,03 MPa



p_n=0,361 MPa, p_{celk}=0,[illegible]79 MPa, k_1=62,3%
v_n=73,8mm^3/c, V_p=18,1cm^3/c, T_v=560°C
p_{max} = 6,13 MPa

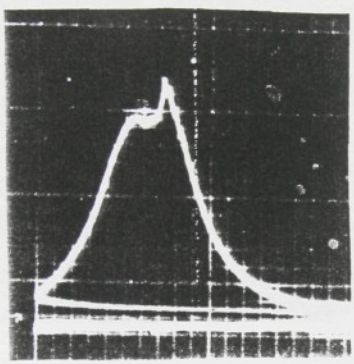


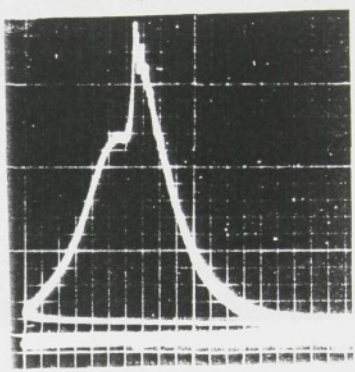
p_n= 0,361 MPa, p_{celk}=0,620 MPa, k_1=58,3%
v_n=73,8mm^3/c, V_p=19,7cm^3/c, T_v=575°C
p_{max} = 6,13 MPa



p_n=0,361 MPa, p_{celk}=0,[illegible]79 MPa, k_1=53,3%
v_n=73,8mm^3/c, V_p=20,6cm^3/c, T_v=580°C
p_{max} = 6,[illegible]8 MPa

Vysokotlaká indikace ve válci motoru 1 ST 120
n = 1800 1/min, GFD = 10° před HÚ, měřítka: x - 1 dílek = 9° otočení
start - x - 45° před HÚ y - 1 dílek = 1,137 MPa



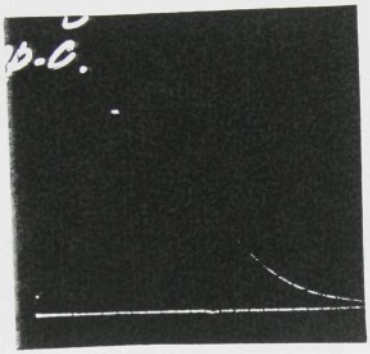


p_n=0,361 MPa, p_{celk}=0,755 MPa, k_1=47,8%
v_n=77,0mm³/c, V_p=21,8cm³/c, T_v=575°C
p_{max}= 7,06 mPa

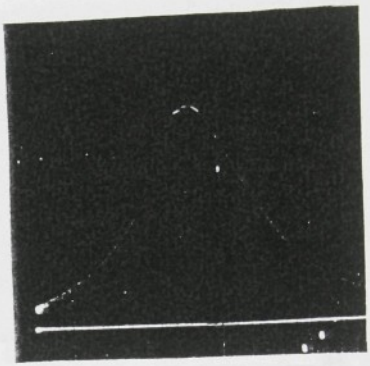
p_n=0,361 MPa, p_{celk}=0,737 MPa, k_1=48,9%
v_n=73,8mm³/c, V_p=23,3cm³/c, T_v=580°C
p_{max}= 7,35 MPa

Ruch Libice

Vysokotlaká indikace ve válci motoru 1 ST 1.0
n = 1000 1/min, měřítka: x - 1 dílek = 4,5° otočení
y - 1 dílek = 0,484 MPa

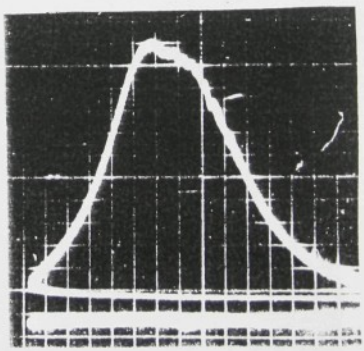


GPD = 30° před HÚ
p_{max} = 4,53 MPa



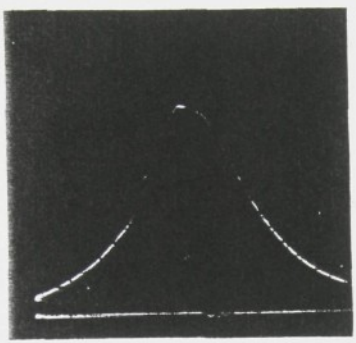
GPD = 30° před HÚ
p_n=0,366 MPa, k_1=100 %, v_n=79,7mm³/c
T_v^n= 415°C, p_{max}=7,26 MPa

GPD = 30° před HÚ
p_n=0,461 MPa, p_{celk}=4,577 MPa, k_1=80,2 %
v_n=66,5 mm3/c, V_p=10,2cm³/c, T_v=415°C
p_{max}= 7,50 MPa

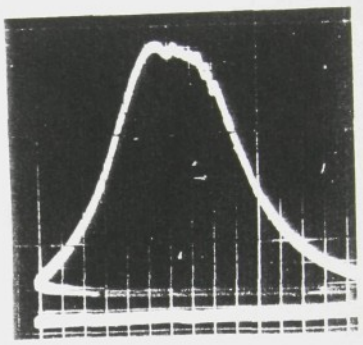


GPD = 30° před HÚ
p_n=0,361 MPa, p_{celk}=4,79 MPa, k_1=62,3 %
v_n=73,8mm³/c, V_p=11,1cm³/c, T_v=560°C
p_{max}=6,13 MPa
měřítko -x -:1 dílek = 0,512 MPa

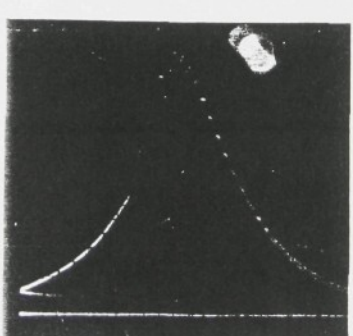
Vysokotlaká indikace ve válci motoru 1 8T 120
n = 1000 1/min, měřítka : x - 1 dílek = 4,[illegible]° otočení
y - 1 dílek = 0,484 MPa



GPD = 30° před HÚ
p_n=0,651 MPa, k_1= 100 %, v_n= 30,8 mm³/c
T_v = 460°C, p_{max} = 7,31 MPa



GPD = 10° před HÚ
p_n=0,361 MPa, p_{celk}=0,[illegible] MPa, k_1=[illegible] %
v_n=73,8mm³/c, V_p=1[illegible],7cm³/c, T_v=[illegible]°C
p_{max}= 6,13 MPa, měřítka: x-1dílek=[illegible]
y- 1 dílek =0,[illegible]MPa



GPD = 30° před HÚ
p_n=0,361 MPa, p_{celk}=0,630 MPa, k_1= [illegible] %
v_n= [illegible]7,0 mm³/c, V_p=15,[illegible] cm³/c, T_v=43[illegible]°C
p_{max}= [illegible]8,63 MPa

Příloha P 2

Provoz vznětového motoru na dvojí palivo
II. část

Souhrn: Zpráva obsahuje přehled výsledků zkoušek z další etapy vývoje provozu motoru M 634 na dvojí palivo. Cílem prací bylo ověření vhodné velikosti směšovače při dvou velikostech kompresního poměru (základní a snížený na hodnotu 14,6:1).

VÝZKUMNÉ A ZKUŠEBNÍ PRACOVIŠTĚ SPALOVACÍCH MOTORŮ
Vysoké školy strojní a textilní
v Liberci

Provoz vznětového motoru na dvojí palivo
II. část

Vedoucí úkolu:
Ing. Lubomír Moc

Ředitel pracoviště:
Ing. Oldřich Červinka, CSc.

Číslo úkolu:
P-19-124-244

Číslo zprávy:
SM 150/76

Liberec, květen 1976

S o u h r n

Ve zprávě jsou uváděny výsledky z experimentálních zkoušek motoru M 634 na dvojí palivo, směs nafty a LPG.

Provoz vznětového motoru byl sledován při použití různých velikostí difusoru v sacím traktu motoru, velikosti dávky kapalného paliva a GPD dávky, v sériovém uspořádání motoru M 634 a motoru se sníženým kompresním poměrem.

O b s a h

		str.
	Souhrn	2
	Použité jednotky a označení	4
1.0	Úvod	5
2.0	Uspořádání motoru M 634 pro provoz na dvojí palivo	5
3.0	Výsledky zkoušek	10
4.0	Závěr	14

Příloha: grafy G1 - G9
tabulky 1 - 9

Použité jednotky a označení

v_n	množství kapalného paliva na cykl a válec	$mm^3/c,v$
V_p	množství plynného paliva na cykl a válec	$cm^3/c,v$
p_e	střední užitečný tlak	MPa
p_{max}	maximální spalovací tlak	MPa
n	otáčky motoru	1/min
t_v	teplota výfukových plynů	^oC
k	stupeň kouření motoru	%
k_l	koeficient provozu na kapalné palivo	%
e	kompresní poměr	-
CO	obsah kysličníku uhelnatého ve výfukových plynech	%
P_e	efektivní výkon motoru	kW

1.0 Úvod

Zpráva uvádí výsledky z další etapy zkoušek provozu vznětového motoru M 634 na dvojí palivo a navazuje na zprávu SM 140/75. Cílem prováděných zkoušek bylo navrhnout a při motorových zkouškách ověřit vhodnou velikost difuzoru pro vytváření homogenní směsi vzduch-plynné palivo v sacím potrubí, sledovat změnu základních motorových parametrů při různých velikostech zapalovací dávky kapalného paliva a různé velikosti počátku vstřiku zapalovací dávky paliva. Měřením byly zjišťovány průběhy vnějších rychlostních charakteristik v rozsahu otáček motoru 1000 až 2000 1/min a zatěžovací charakteristiky při otáčkách 1300 a 2000 1/min. Uspořádání měřicího stanoviště, rozvodu plynu , směšovacího zařízení, včetně používaných měřicích přístrojů, bylo stejné jako při předchozích zkouškách. Při zkouškách v této etapě bylo pouze použito upravené vstřikovací čerpadlo zajišťující regulaci přívodu plynu do sacího traktu motoru.

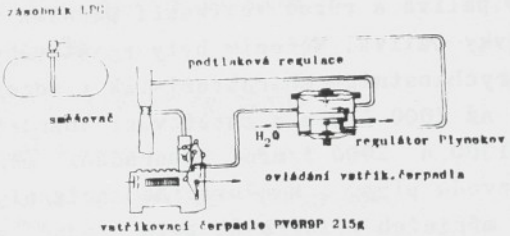
2.0 Uspořádání motoru M 634 pro provoz na dvojí palivo

Zkoušky byly prováděny ve dvou konstrukčních uspořádáních motoru M 634:

a) motor v.č. 6155 104 006, vstřikovací čerpadlo PB6B11P 215g v.č. V4459, kompresní poměr ε = 14,6:1 (tvar pístu a spalovacího prostoru pro motor M 638)

b) motor v.č. 813 403 006, vstřikovací čerpadlo PV6B9P 215g v.č. Zc219, kompresní poměr ε = 16,2:1

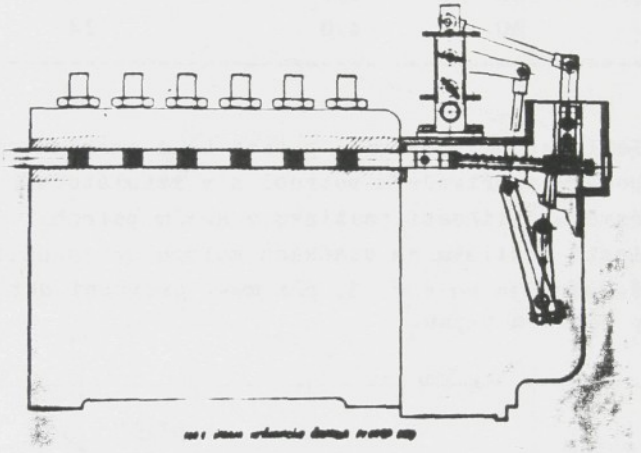
V obou případech byly použity sériové vstřikovače DOP140S530 seřízené na otvírací tlak 17,5 MPa. Základní uspořádání je zřejmé z obr. 1 pro případ upraveného vstřikovacího čerpadla.



Obr.4 Schema uspořádání provozu na dvojí palivo pro motor M 634

Regulace přívodu odpařeného LPG byla v prvé části zkoušek uskutečňována ručně ovládanou škrticí klapkou, v druhé části pak pomocí ovládacího a regulačního mechanismu - viz obr. 2. Regulační mechanismu ovládá jednak škrticí klapku pro přívod odpařeného LPG a jednak bezpečnostní klapku od regulátoru vstřikovacího čerpadla. Tato klapka uzavírá přívod plynu do směšovače v sací traktu. Tím jsou zajišťovány maximální otáčky motoru, které jsou určeny seřízením vstřikovacího čerpadla. Vlastní regulace odpařeného plynu je realizována další klapkou ovládanou mechanismem spřaženým mechanismem ovládání hřebene vstřikovacího čerpadla. Tento

mechanismus zajišťuje přívod plynu do motoru až po dosažení základní dávky kapalného paliva (maximální množství 60 % původní jmenovité dávky). Hnací člen mechanismu je ovládán pákou mechanismu akcelerátoru a v základní poloze je udržován pružinou, která rovněž zajišťuje vratný pohyb mechanismu.



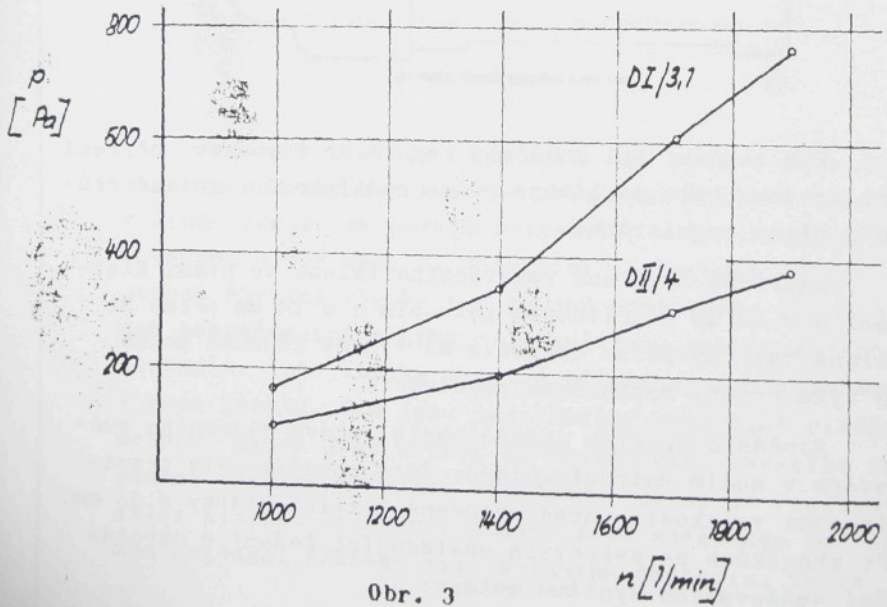
Pro zkoušky byl používán regulátor Plynokov, přičemž při provozu bylo používáno pouze podtlakové regulace průtoku plynu regulátorem.

Navržené umístění regulačního tělesa se dvěmi klapkami o ø 20 mm s přívodním potrubím o ø 14 mm přímo na tělese vstřikovacího čerpadla má výhody zejména pokud se týká řešení mechanismu regulace.

Součástí dalších zkoušek byla úprava vlastního směšovače v sacím potrubí motoru. Tyto zkoušky byly prováděny při velikosti ručně ovládané škrticí klapky ø 35 mm. Při zkouškách se ověřovala následující řešení a uspořádání směšovacího systému motoru:

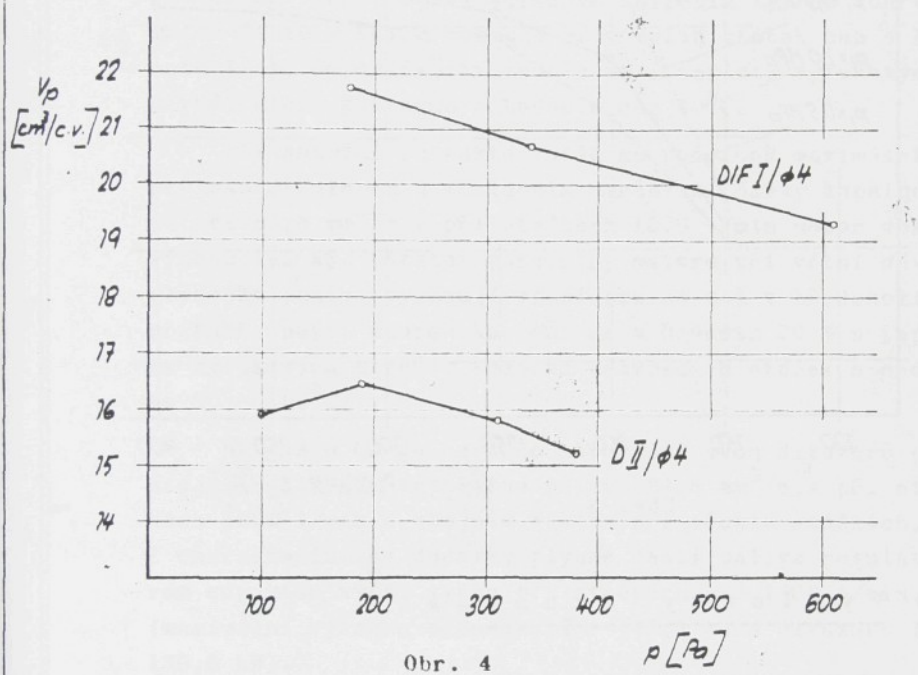
Difuzor	Min. ø /mm/	ø otvorů /mm/	Přívodní potrubí /mm/
I	40	2,5	9
I	40	3,1	9
I	40	4,0	9
II	60	3,5	9
II	60	4,0	9
II	60	4,0	14

Velikost plynné části paliva byla omezena průtokovými poměry v přívodním potrubí a v regulátoru a dále je určována velikostí podtlaku v sacím potrubí. Průběh závislostí podtlaku na otáčkách motoru pro použitý typ tlumiče sání je na obr. 3. při max. otevření škrticí klapky přívodu plynu.



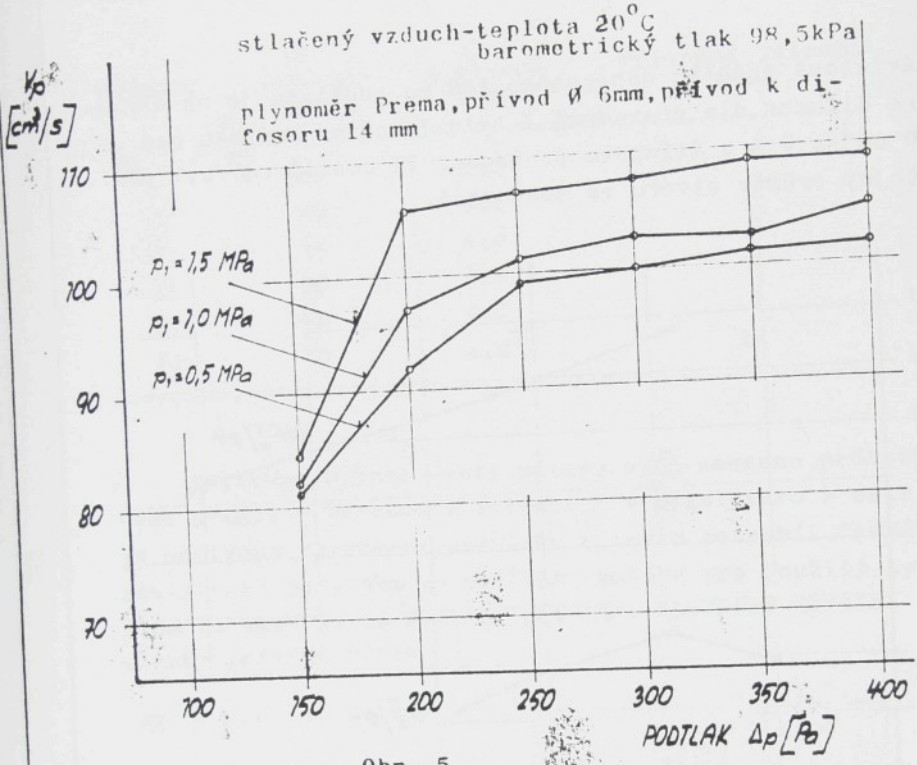
Obr. 3

Závislost průběhu odpařeného LPG na podtlaku je na obr.4. Pro difuzor dle provedení I bylo dosaženo průtoku cca 20 $cm^3/c,v$ a u difuzoru provedení II cca 16 $cm^3/c,v$ pro stejný průměr otvoru ve směšovači.



Obr. 4

Kromě uvedených měření při průtoku odpařeného LPG byla zjišťována závislost protékajícího množství stlačeného vzduchu regulátorem při různých počátečních tlacích regulovaného plynu a závislosti jsou uvedeny na obr. 5. Při tomto měření bylo používáno stlačeného vzduchu o vstupním tlaku do regulátoru 0,5 - 1,5 MPa.



Obr. 5

3.0 Výsledky zkoušek

a) Při kompresním poměru ε = 14,6:1

Na grafu G1 při snímání rychlostní charakteristiky, při různé náhradě nafty LPG a dodržení stejného výkonu motoru při maximálních otáčkách motoru, lze konstatovat, že v oblastech nižších otáček se projevuje pokles výkonu proti sériovému uspořádání. Prakticky shodného průběhu bylo dosaženo při velikosti dávky kapalného paliva 97,5 mm³/c,v. Jestliže provedeme porovnání i ostatních provozních parametrů

motoru, lze konstatovat následující: průběh obsahu CO ve výfukových plynech v oblastech vyšších otáček je prakticky stejný, při nižších otáčkách se projevuje pokles o hodnotu cca 0,1 %. Přechod na dvojpalivový provoz se však projeví výrazným snížením stupně kouření motoru a to v celém rozsahu provozních otáček cca o hodnotu 15 %. Odpovídající průběh má i teplota výfukových plynů, která poklesne o hodnotu cca 50°C.

Při snímání charakteristik za podmínek maximálního průtoku difuzorem a základním nastavení dávky kapalného paliva 83,8 mm^3/c,v při otáčkách 1000 l/min motor dosáhl výkonu 140 kW. Ostatní parametry motoru při větší dávce plynného paliva vykazují větší pokles než v předchozím případě, např. stupeň kouření až o hodnotu 20 % a teplota výfukových plynů v rozsahu provozních otáček o hodnotu 50 - 100°C.

Na grafu G2 je uvedeno porovnání dvou difuzorů při stejné velikosti kapalného paliva 84,8 mm^3/c,v při otáčkách 1000 l/min a stejném výkonu při těchto otáčkách. Z charakteristiky dodávky plynné části paliva regulátorem odpovídá vyšší výkon při otáčkách nad 1400 l/min (maximální výkon u difuzoru I - 141,7 kW a difuzoru II - 139,6 kW).

Emise měřených škodlivin - tj. CO ve výfukových plynech pro uspořádání s difuzorem I je vyšší než při sériovém provozu a od otáček 1400 l/min cca o 0,05 %, u provedení s difuzorem II se obsah otáčkami motoru mění velmi málo a dosahuje hodnot 0,15 - 0,20 % CO.

Průběh stupně kouření motoru pro oba použité difuzory je nižší cca o hodnotu 20 % se stejným průběhem v závislosti na otáčkách. Pro provedení difuzoru II je průběh stupně kouření výhodnější.

Teploty výfukových plynů jsou rovněž v absolutních hodnotách nižší s výraznějším poklesem pro difuzor II. Zde se projevuje vliv velkého místního zúžení sacího potrubí difuzoru I. Pokles teplot je o hodnotu 50^{0}C.

Celkově lze z porovnání konstatovat, že velikost minimálního průřezu směšovacího difuzoru II je výhodnější především pro zajištění nutného množství plynného paliva. Velikost podtlaku ve směšovači zvětšením průřezu difuzoru 45 mm na ø 60 mm je 400 Pa, což je hodnota odpovídající velikosti podtlaku u normálního uspořádání sacího traktu sériového motoru M 634. Proto další zkoušky byly prováděny s difuzorem II.

Na grafu G3 jsou uvedeny hodnoty zjištěné při snímání charakteristik s různou velikostí hodnot zápalného paliva v rozsahu 57,5 - 100 % jmenovité dávky paliva při otáčkách 1000 1/min (tj. 79,8 - 139 mm^3/c,v). Výsledky získané při těchto zkouškách jsou v souladu s uvedenými závěry předchozích zkoušek. Snižováním množství zapálného paliva klesá stupeň kouření a teploty výfukových plynů. Vzhledem k závadě na analyzátoru CO nebyly v těchto zkouškách hodnoty CO zjišťovány.

Na grafu G4 jsou uvedeny výsledky pro různou velikost GPD zápalného paliva v rozmezí 25 - 35^{0} před HÚ ve vztahu k základní hodnotě GPD = 29^{0} před HÚ pro sériové uspořádání motoru. Při zvětšování GPD kapalného paliva se stupeň kouření motoru při provozu na dvojpalivové uspořádání přibližuje hodnotám provozu na naftu. Velikost dávky kapalného paliva se pohybovala v rozmezí 76,2 až 81,6 mm^3/c,v při otáčkách 1000 1/min. Naopak pro větší hodnotu GPD = 35^{0} před HÚ výrazně klesá stupeň kouření motoru i při provozu na zatížení vyšší cca o 10 kW proti sériovému uspořádání. Otázka snížení stupně kouření touto

cestou však dále souvisí s velikostí emise NO_x, jejíž hodnota se zvětšováním GPD roste.

Porovnáním dosažených výkonů při různé velikosti GPD kapalného paliva a stejné výchozí hodnoty výkonu při otáčkách 1000 1/min je dosahován při provozu na dvojí palivo výkon vyšší než při sériovém provedení. Nejvyšší hodnoty výkonu bylo dosaženo při GPD = 35^0 před HÚ.

Vzhledem k uvedeným průběhům výkonů jsou teploty výfukových plynů nižší pouze při nižších provozních otáčkách a teploty vzrůstají v oblasti maximálního výkonu, kde dosahují stejných hodnot jako při sériovém provozu (výkon motoru vyšší o cca 10 kW).

Na grafu G5 je provedeno porovnání průběhů rychlostní charakteristiky při dvojpalivovém provozu a GPD = 35^0 před HÚ pro různé hodnoty dávky kapalného paliva v rozmezí 65,8 - 82,8 $mm^3/c,v$ a množství odpařeného plynu 15,9 - 21,8 $cm^3/c,v$. V tomto případě při použití difuzoru I dochází ke zvýšení absolutních teplot výfukových plynů v jednotlivých provedeních vlivem zúžení průtokových ploch v sacím traktu. Částečně se toto projevuje i v průběhu stupně kouření motoru.

b) Při kompresním poměru ε = 16,3:1

Zkoušky byly prováděny snímáním zatěžovacích charakteristik při otáčkách 1300 a 2000 1/min při velikosti dávky kapalného paliva 78,5 $mm^3/c,v$, resp. 77,3 $mm^3/c,v$ - viz grafy G8 a G9. Dále měřením rychlostních charakteristik při velikosti k_1 = 56,4 - 73,8 % na grafech G6 a G7. Všechna měření byla prováděna při velikosti GPD kapalného paliva 29^0 před HÚ. Všechny uvedené závěry v předchozím jsou platné i pro tuto hodnotu kompresního poměru.

4.0 Závěr

Výsledky získané z experimentálních zkoušek provozu motoru M 634 na směs nafta - LPG lze shrnout do následujících závěrů:

a) teplota výfukových plynů - ve všech případech při provozu na dvojí palivo při stejném středním užitečném tlaku v obou provedeních kompresního poměru je teplota výfukových plynů nižší než při provozu pouze na kapalné palivo. Se vzrůstajícím množstvím LPG směsi je pokles teploty vyšší, rovněž vyšší pokles je při vyšší hodnotě středního užitečného tlaku dosahovaného stejnou velikostí k_1. Pokles teploty v rozsahu p_e = 0,6 - 0,75 MPa se pohybuje v rozmezí 50 - 100 °C.

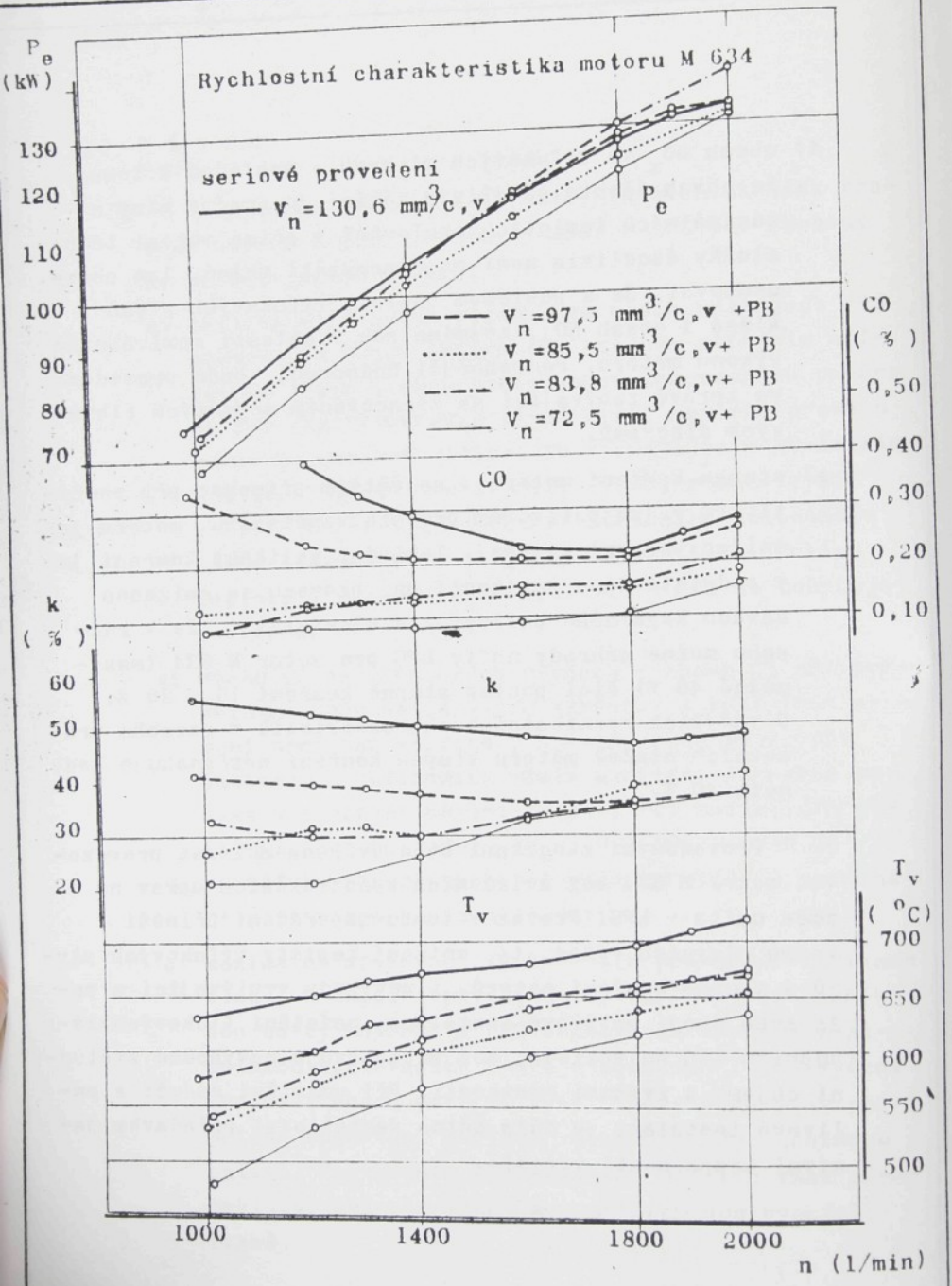
b) obsah CO ve výfukových plynech - obsah CO při provozu na směs nafta + LPG vzrůstá, i když toto zvýšení není tak výrazné a uplatňuje se pouze při částečných zatíženích (malé množství plynného paliva v pracovní náplni válce). Při maximálním zatížení (cca od hodnot p_e = 0,7 MPa) obsah CO ve výfukových plynech byl zjištěn nižší v porovnání s provozem na kapalné palivo.

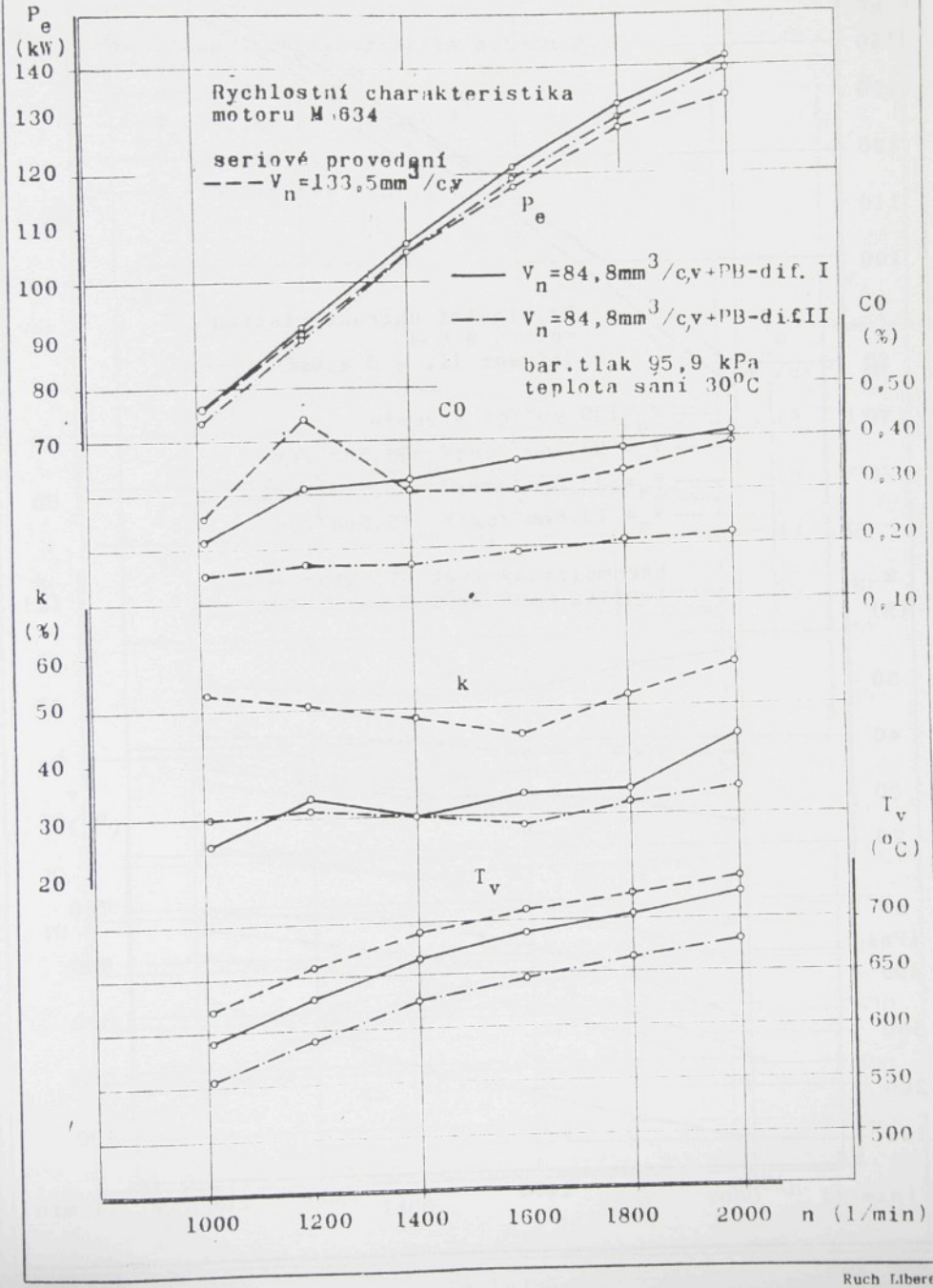
c) maximální spalovací tlaky - dle provedené indikace tlaku ve válci vyplývá, že se vzrůstající náhradou nafty odpařeným LPG dochází ke vzrůstu maximálních spalovacích tlaků a současně i ke zvýšení tvrdosti chodu motoru. Tyto závěry jsou však pro případ zachování sériové velikosti GPD kapalného paliva. Provedením optimalizace GPD lze však předpokládat možné snížení maximálních spalovacích tlaků.

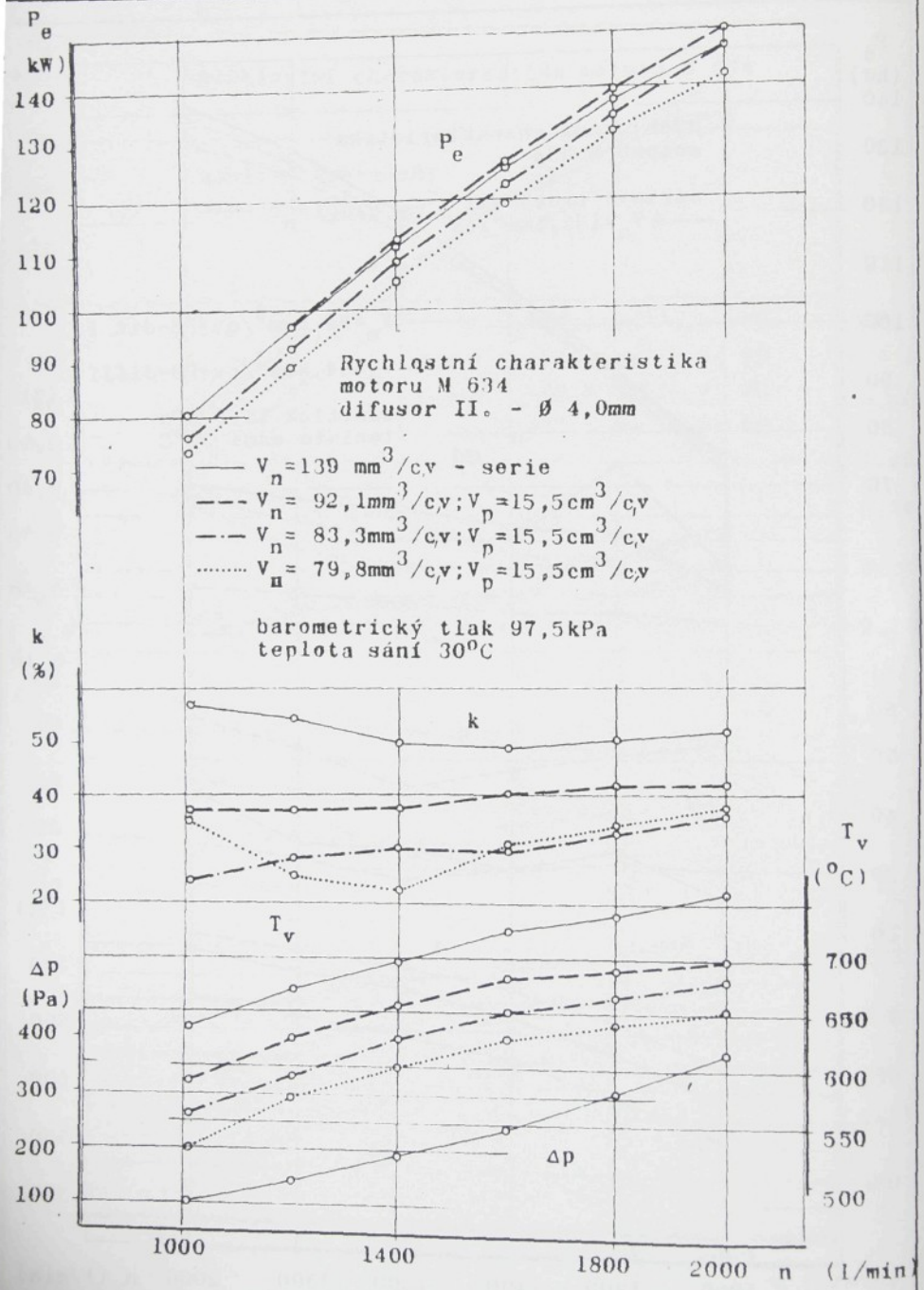
d) obsah NO_x ve výfukových plynech - vzhledem k tomu, že obsah těchto škodlivin závisí do značné míry na maximálních teplotách spalování a přímé měření této složky škodlivin není na pracovišti možné, lze pouze usuzovat, že s poklesem teploty výfukových plynů klesá i obsah NO_x, zejména pak v oblasti maximálního výkonu motoru. Podrobnější hodnocení bude provedeno ve zprávě zabývající se zpracováním sejmutých tlakových diagramů.

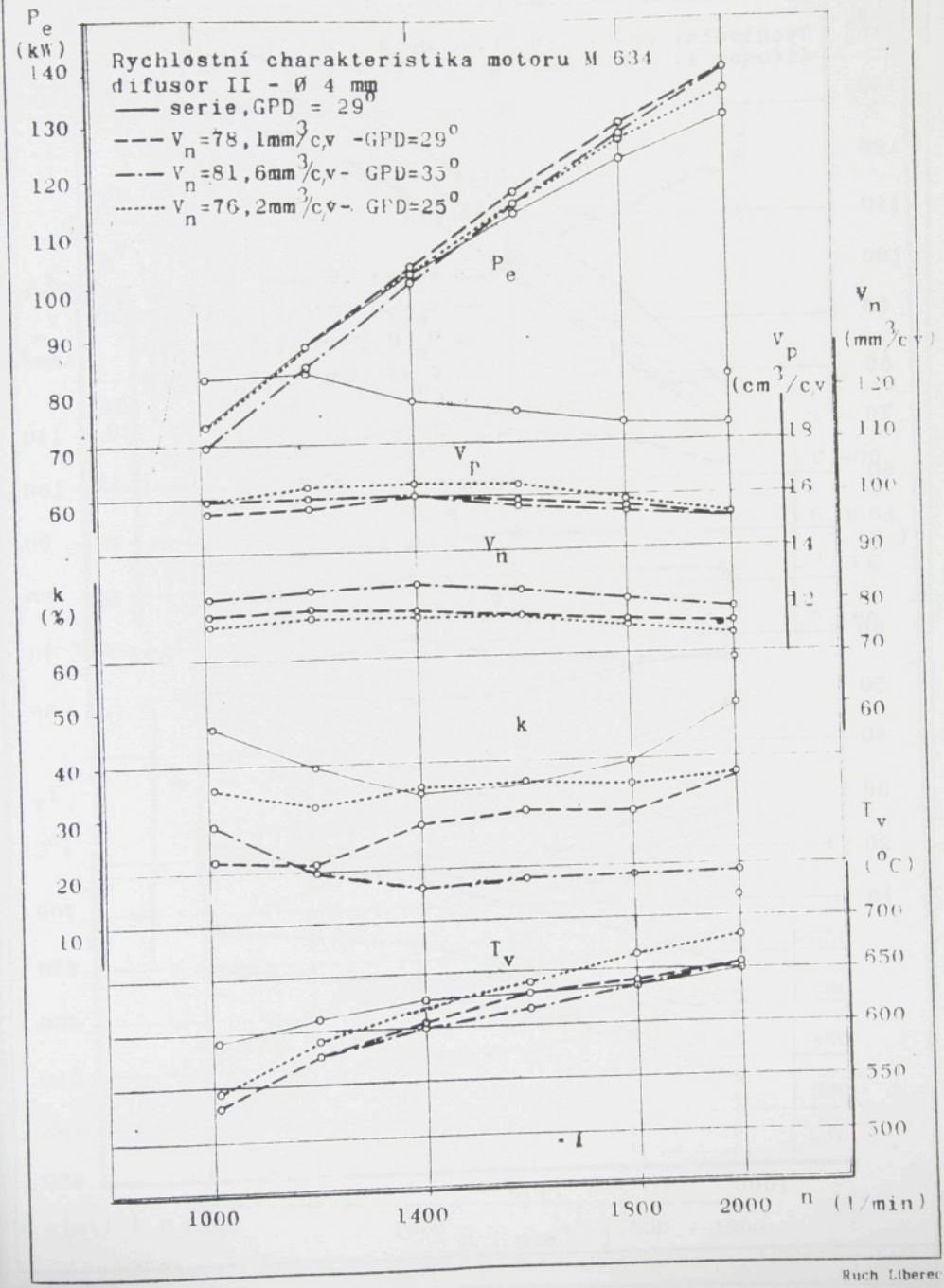
e) stupeň kouření motoru - největším přínosem při použití LPG v dvojpalivovém provozu vznětového motoru je snížení stupně kouření. Základní velikost kouření je v podstatě dána velikostí při provozu se sníženou dávkou kapalného paliva. Lze konstatovat, že v rozsahu možné náhrady nafty LPG pro motor M 634 (maximálně 40 %) činí pokles stupně kouření 15 - 20 %. U vnějších rychlostních charakteristik v rozsahu pracovních otáček motoru stupeň kouření nepřesahuje hodnotu 40 %.

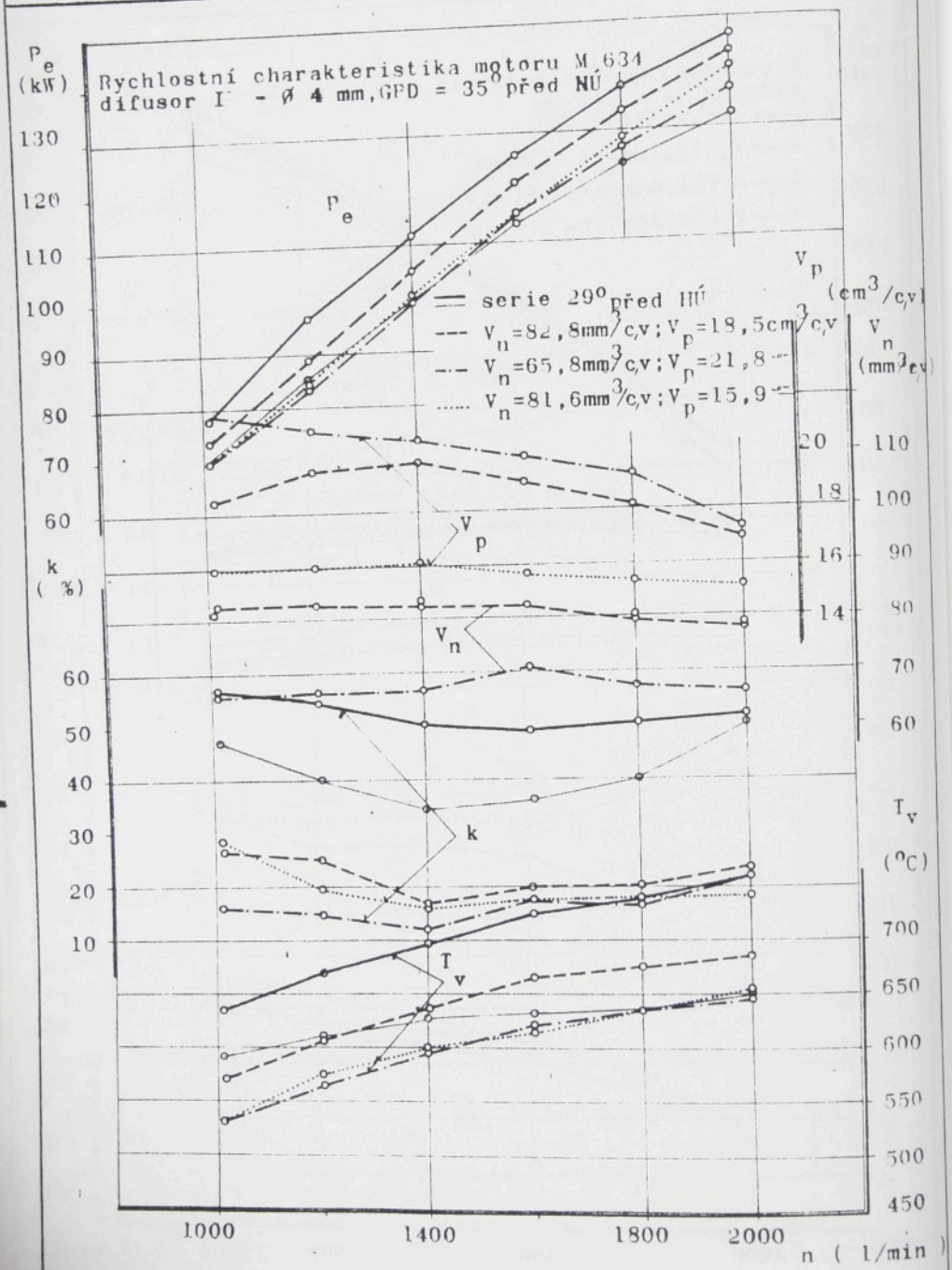
Provedenými zkouškami byla ověřena možnost provozovat motor M 634 bez zvláštních konstrukčních úprav na směs nafta - LPG. Provoz v tomto uspořádání přináší kromě hlavních výhod, tj. snížení teploty výfukových plynů a stupně kouření motorů, i nevýhody vyplývající z požadavku dvojí palivové instalace, umístění tlakových zásobníků LPG na vozidle, což představuje nevýhodné zvětšení objemu a zvýšení hmotnosti. Při umístění nádrží a palivové instalace je dále nutno respektovat požadavky pasívní bezpečnosti vozidla.

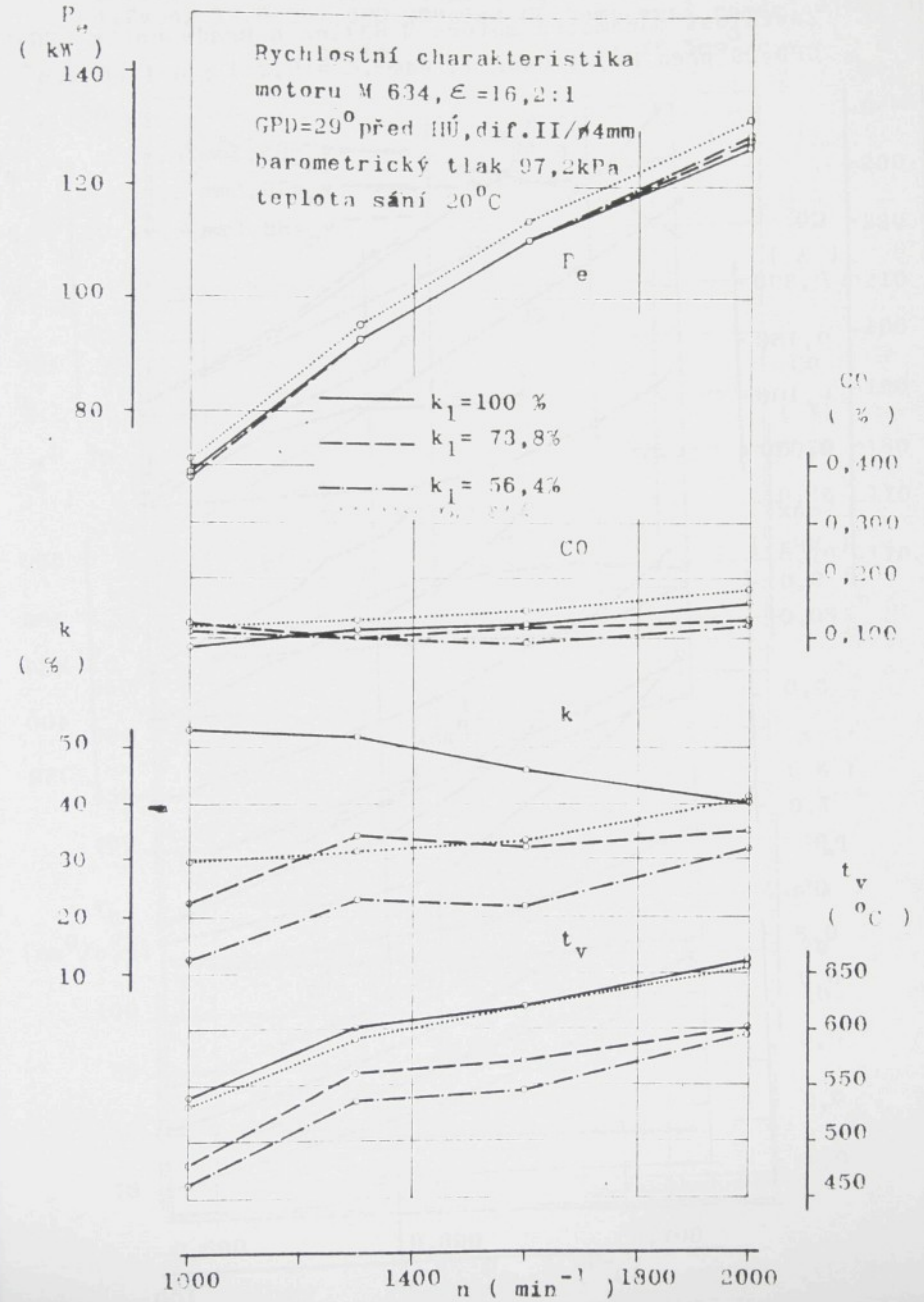

Rychlostní charakteristika motoru M 634
seriové provedení
V_n=130,6 mm³/c,v
P_e
V_n=97,5 mm³/c,v +PB
V_n=85,5 mm³/c,v+ PB
V_n=83,8 mm³/c,v+ PB
V_n=72,5 mm³/c,v+ PB
CO
k
T_v
P_e (kW)
130
120
110
100
90
80
70
CO (%)
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
k (%)
60
50
40
30
20
T_v (°C)
700
650
600
550
500
1000
1400
1800
2000
n (1/min)


Pe (kW)
140
130
120
110
100
90
80
70
Rychlostní charakteristika motoru M 634
seriové provedení
--- Vn=133,5mm3/c,v
Pe
—— Vn=84,8mm3/c,v+PB-dif. I
—·— Vn=84,8mm3/c,v+PB-dif.II
bar.tlak 95,9 kPa
teplota sání 30°C
CO
CO (%)
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
k (%)
60
50
40
30
20
k
Tv
Tv (°C)
700
650
600
550
500
1000
1200
1400
1600
1800
2000
n (1/min)

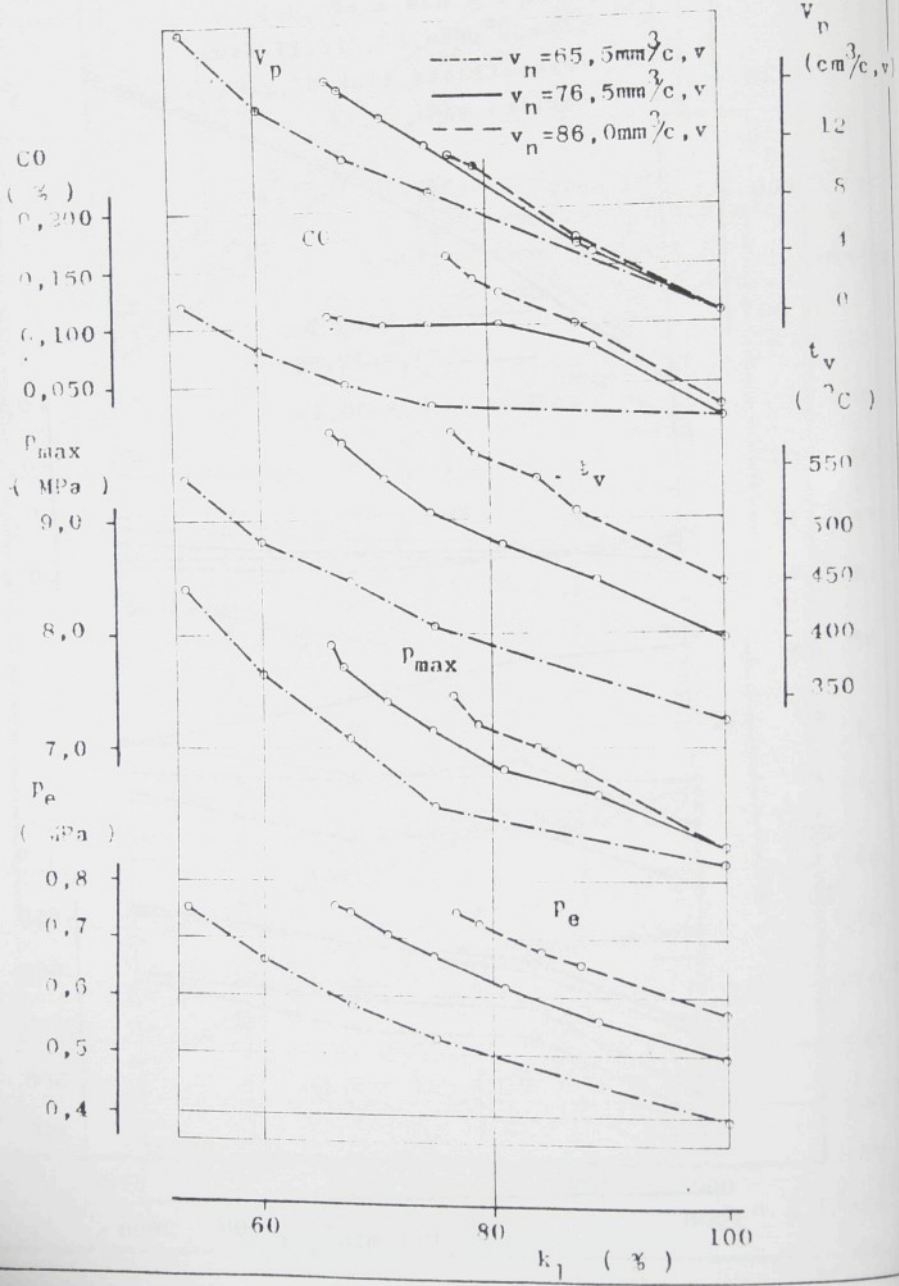

P_e (kW)
140
130
120
110
100
90
80
70
P_e
Rychlostní charakteristika motoru M 634 difusor II. - Ø 4,0mm
—— V_n=139 mm^3/c.v - serie
--- V_n= 92,1mm^3/c.v; V_p=15,5cm^3/c.v
-·- V_n= 83,3mm^3/c.v; V_p=15,5cm^3/c.v
····· V_n= 79,8mm^3/c.v; V_p=15,5cm^3/c.v
barometrický tlak 97,5kPa
teplota sání 30°C
k (%)
50
40
30
20
k
T_v
T_v (°C)
700
650
600
550
500
Δp (Pa)
400
300
200
100
Δp
1000
1400
1800
2000
n (1/min)


Rychlostní charakteristika motoru M 634
difusor II - Ø 4 mm
—— serie, GPD = 29°
--- V_n = 78,1 mm³/cv - GPD = 29°
-·- V_n = 81,6 mm³/cv - GPD = 35°
····· V_n = 76,2 mm³/cv - GPD = 25°
P_e (kW)
V_p (cm³/cv)
V_n (mm³/cv)
k (%)
T_v (°C)
n (1/min)
1000
1400
1800
2000

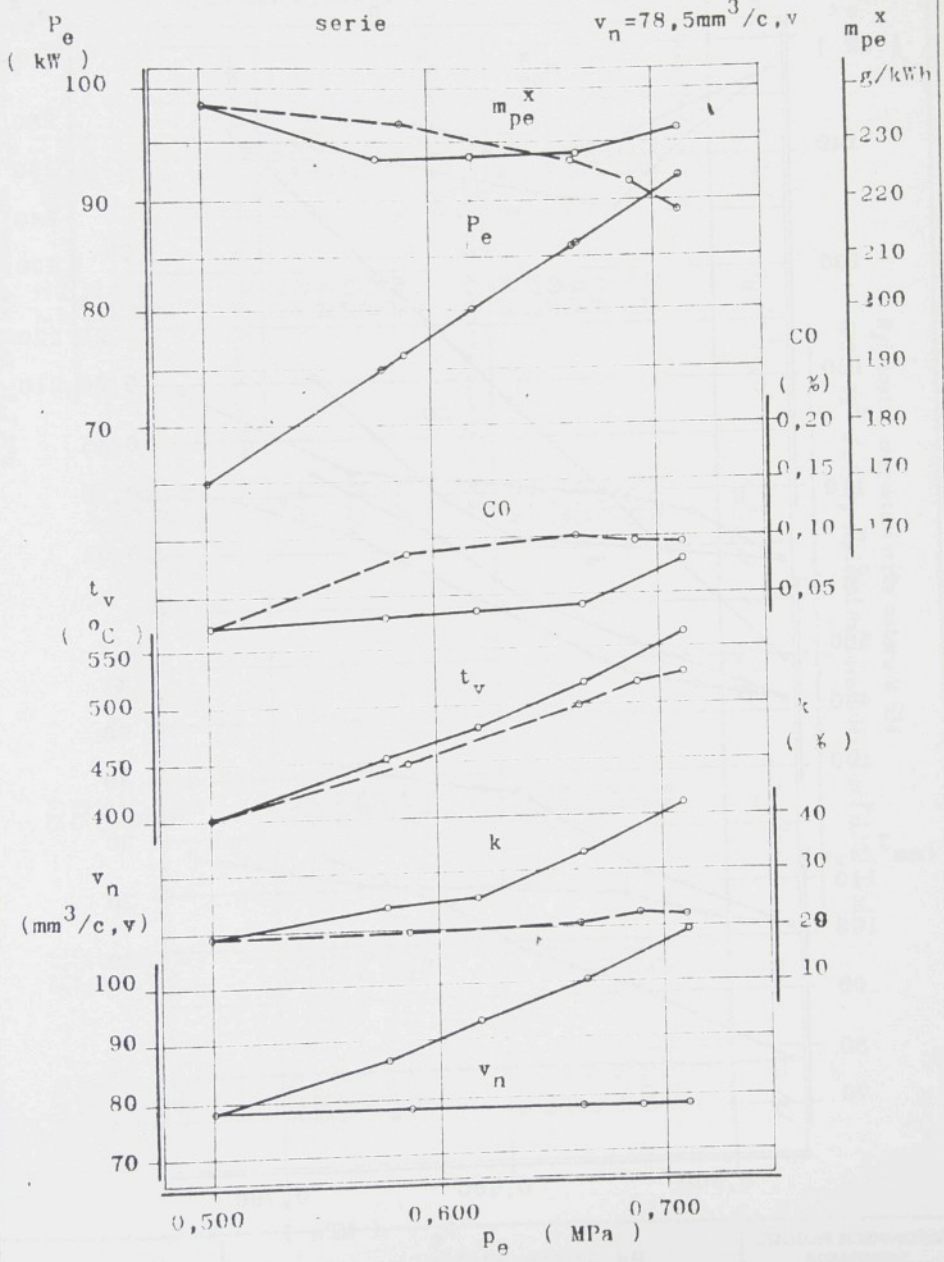

Rychlostní charakteristika motoru M 634
difusor I - Ø 4 mm, GPD = 35° před NÚ
P_e (kW)
130
120
110
100
90
80
70
60
k (%)
60
50
40
30
20
10
P_e
serie 29° před HÚ
V_n=82,8mm³/c,v ; V_p=18,5cm³/c,v
V_n=65,8mm³/c,v ; V_p=21,8 "
V_n=81,6mm³/c,v ; V_p=15,9 "
V_p
V_n
k
T_v
V_p (cm³/c,v)
20
18
16
14
V_n (mm³/c,v)
110
100
90
80
70
60
T_v (°C)
700
650
600
550
500
450
1000
1400
1800
2000
n (1/min)


Rychlostní charakteristika
motoru M 634, ε =16,2:1
GPD=29° před HÚ, dif.II/Ø4mm
barometrický tlak 97,2kPa
teplota sání 20°C
P_e (kW)
140
120
100
80
P_e
k_1=100 %
k_1= 73,8%
k_1= 56,4%
CO
CO (%)
0,400
0,300
0,200
0,100
k (%)
50
40
30
20
10
k
t_v
t_v (°C)
650
600
550
500
450
1000
1400
n (min^-1)
1800
2000

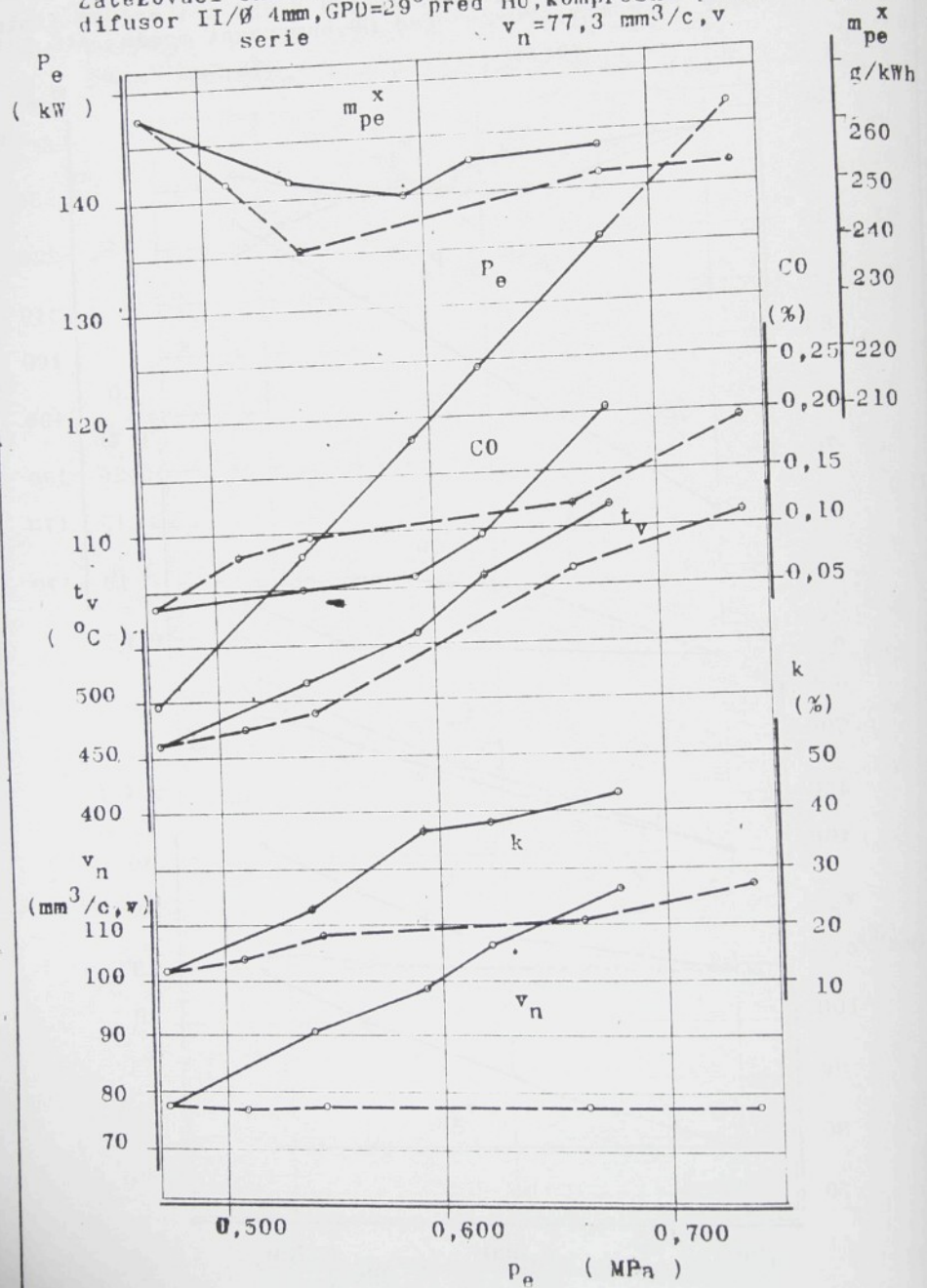
Závislost parametrů motoru Š 634 na náhradě nafty LPG-PB.
GPD=29° před HÚ, difusor II/Ø4mm, ε =16,2:1 ; n=1300 min^{-1}



Zatěžovací charakteristika motoru M 634 při n=1300 1/min
difusor II/Ø 4mm, GPD=29° před HÚ, kompresní poměr =16,2:1



Zatěžovací charakteristika motoru M 634 při n=2000 1/min
difusor II/Ø 4mm, GPD=29° před HÚ, kompresní poměr =16,2:1
serie v_n=77,3 mm³/c,v



Rychlostní charakteristika motoru M 634

GPO = 29° před HÚ, základní nastavení dávky při 1000 1/min

n /1/min/	P_e /kW/	V_N /mm³/c,v/	/cm³/c,v/ V_p	/m³/h/	T_v /°C/	k /%/	CO /%/
c) V_N = 85,5 mm³/c,v + PB							
1000	71,9	85,5	10,20	53	530	26,5	0,115
1200	88,1	81,0	10,15		570	31,5	0,130
1300	95,4	77,8	10,05		590	31,5	0,130
1400	102,1	91,4	10,15		600	30,0	0,135
1600	114,2	89,6	10,75		620	33,0	0,145
1800	124,7	87,3	10,35		635	39,0	0,155
2000	132,4	84,8	10,20		655	41,0	0,185
teplota vzduchu 25 – 26°C, barometrický tlak 96,4 kPa							
d) V_N = 83,8 mm³/c,v + PB							
1010	74,1	83,8	14,85		540	32,5	0,080
1200	89,3	85,8			580	30,0	0,120
1400	104,2	83,9	15,55		610	29,5	0,140
1600	118,3	83,8			640	33,5	0,160
1850	130,2	81,2	14,25		655	35,5	0,160
2000	139,5	79,7			675	37,5	0,210
teplota vzduchu 32°C, barometrický tlak 97,2 kPa							
e) V_N = 72,5 mm³/c,v + PB							
1010	67,8	72,5	14,85		480	21,0	0,080
1200	83,2	74,4	14,87		530	21,0	0,085
1400	97,0	75,4	14,85		565	26,0	0,085
1600	110,8	74,3	15,42		595	33,0	0,095
1800	122,0	73,3			615	35,0	0,105
2000	131,2	72,2			635	37,5	0,160
teplota vzduchu 30°C, barometrický tlak 97,2 kPa							

Ruch Liberec

Rychlostní charakteristika motoru M 634

GPD = 29° před HÚ, základní nastavení dávky při 1000 l/min

n /1/min/	P_e /kW/	V_N /mm³/c,v/	V_p /cm³/c,v/	V_p /m³/h/	T_v /°C/	k /%/	CO /%/
a) změna na naftu V_N = 130,6 mm³/c,v							
					630	55,5	> 0,5
980	75,4	130,6			650	52,5	0,390
1200	92,4	128,8			665	51,5	0,330
1300	99,4	127,8			670	50,0	0,290
1400	105,7	125,6			680	48,0	0,230
1600	117,4	123,0			695	46,5	0,220
1800	127,5	122,0			710	47,5	0,250
1900	131,7	121,5			720	48,5	0,260
2000	133,5	119,2					
teplota vzduchu 27 - 29°C, barometrický tlak 97,5 kPa							
b) V_N = 97,5 mm³/c,v + PB							
980	75,4	97,5	10,45	3,07	575	41,0	0,335
1200	92,4	98,0	9,50	3,41	600	39,5	0,240
1300	99,4	98,1	9,26	3,61	625	38,5	0,220
1400	105,7	96,7	9,26	3,89	630	37,5	0,210
1600	117,4	94,3	9,28	4,47	650	36,0	0,210
1800	128,5	93,4	9,61	5,18	660	36,0	0,210
1900	132,6	91,8	9,28	5,29	665	37,0	0,240
2000	133,5	90,7	9,50	5,70	670	37,5	0,265
teplota vzduchu 27 - 29°C, barometrický tlak 97,5 kPa							

Ruch Liberec

Rychlostní charakteristika motoru M 634
GPD = 29° před HÚ, základní nastavení dávky při 1000 l/min

n /l/min/	P_e /kW/	V_N /mm³/c,v/	/cm³/c,v/ V_p /m³/h/	T_v /°C/	k /%/	CO /%/	p /Pa/
a) nafta V_N = 133,5 mm³/c,v - dif.I - ø 4 mm							
1010	76,2	133,5		620	53	0,255	190
1200	90,5	131,0		660	51	0,440	260
1400	105,6	129,8		690	48	0,305	360
1600	117,5	127,1		710	45	0,305	490
1800	128,4	124,2		725	52	0,320	630
2000	134,5	116,8		740	58	0,390	800
b) V_N = 84,8 mm³/c,v - dif.I - ø 4 mm							
1010	76,2	84,8	16,5	590	25	0,215	190
1200	91,8	84,7	16,5	630	33,5	0,310	260
1400	107,1	84,6	16,5	665	30	0,330	360
1600	121,6	83,8	16,5	690	34	0,360	490
1800	133,1	82,6	16,5	705	34,5	0,380	630
2000	141,7	80,3	16,5	725	44,5	0,410	800
c) V_N = 84,8 mm³/c,v - dif.II - ø 3,5 mm							
1010	73,6	84,8	14,7	555	30	0,150	100
1200	89,3	85,4	14,7	590	31,5	0,170	140
1400	104,9	85,1	14,7	625	30	0,170	190
1600	119,1	84,6	14,7	645	28,5	0,190	240
1850	130,3	83,0	14,7	665	32	0,210	310
2000	139,6	81,4	14,7	680	35	0,220	380

teplota vzduchu 30°C, barometrický tlak 95,9 kPa

Ruch Liberec

Provoz vznětového motoru na dvojí palivo

Tab. 3

Rychlostní charakteristika motoru M 634

GPD = 29° před HÚ, základní nastavení dávky při 1000 l/min

DIFUSOR II – ø 4 mm

n /1/min/	P_e /kW/	V_N /mm³/c,v/	V_p /cm³/c,v/	T_v /°C/	k /%/
a) série V_N = 139,2 mm³/c,v					
1010	80,4	139,2		635	57
1200	96,7	140,8		670	54,5
1400	111,4	133,9		725	50
1600	125,7	134,7		725	49
1800	137,7	135,1		740	50,5
2000	146,8	129,5		760	52
b) V_N = 92,1 mm³/c,v + V_p = 15,5 cm³/c,v					
1010	80,4	92,1	15,5	585	37
1200	96,1	92,6	15,5	625	37
1400	112,8	93,8	15,5	655	37,5
1600	126,5	91,1	15,5	680	40,5
1800	138,5	88,1	15,5	690	42
2000	149,9	86,5	15,5	700	42,5

Ruch Liberec

Rychlostní charakteristika motoru M 634

GPD = 29° před HÚ, základní nastavení dávky při 1000 1/min

DIFUSOR II – ø 4 mm

n /1/min/	P_e /kW/	V_N /mm³/c,v/	V_p /cm³/c,v/	T_v /°C/	k /%/
c) V_N = 83,3 mm³/c,v + V_p = 15,5 cm³/c,v					
1010	76,2	83,3	15,5	555	24
1200	92,4	85,5	15,5	590	28
1400	108,5	84,6	15,5	625	30
1600	122,4	85,6	15,5	650	29,5
1800	134,9	83,3	15,5	665	33
2000	146,8	81,1	15,5	680	36
d) V_N = 79,8 mm³/c,v + V_p = 15,5 cm³/c,v					
1010	73,6	79,8	15,5	525	35
1200	89,3	75,6	15,5	570	25
1400	104,9	79,6	15,5	600	22,5
1600	119,0	80,9	15,5	625	31
1800	132,1	79,4	15,5	640	34,5
2000	141,7	76,4	15,5	655	38

Ruch Liberec

Rychlostní charakteristika motoru M 634
základní nastavení dávky při n = 1000 1/min
DIFUSOR II – ⌀ 4 mm, vliv GPD kapalného paliva

n /1/min/	P_e /kW/	V_n /mm^3/c,v/	V_p /cm^3/c,v/	T_v /°C/	k /%/
a) série V_n = 122,8 mm^3/c,v; GPD = 29° před HÚ					
1010	73,6	122,8	–	590	47,0
1200	88,7	123,3	–	610	39,0
1400	102,1	117,9	–	625	34,0
1600	113,3	116,0	–	630	35,0
1800	123,8	113,6	–	635	39,0
2000	131,4	113,1	–	650	50,0
b) V_n = 78,1 mm^3/c,v + V_p = 15,45 cm^3/c,v; GPD = 29° před HÚ					
1010	73,6	78,1	15,45	530	22,0
1200	88,7	79,0	15,55	575	21,0
1400	103,5	78,3	16,00	605	28,5
1600	117,5	77,6	15,80	625	30,5
1800	130,3	76,4	15,60	640	30,0
2000	140,7	75,7	15,10	655	36,5

Ruch Libmers

Provoz vznětového motoru na dvojí palivo

Tab. 4

Rychlostní charakteristika motoru M 634
základní nastavení dávky při n = 1000 1/min
DIFUSOR II - ∅ 4 mm, vliv GPD kapalného paliva

n /1/min/	P_e /kW/	V_n /mm^3/c,v/	V_p /cm^3/c,v/	T_v /°C/	k /%/
c) V_n = 81,6 mm^3/c,v + V_p = 15,90 cm^3/c,v; GPD = 35° před HÚ					
1010	69,5	81,6	15,90	530	28,5
1200	84,4	82,9	16,00	575	19,5
1400	100,6	83,5	16,10	600	16,0
1600	115,0	82,2	15,65	615	17,5
1800	128,4	80,3	15,40	635	18,0
2000	140,7	78,5	15,10	655	18,5
d) V_n = 76,2 mm^3/c,v + V_p = 15,90 cm^3/c,v; GPD = 25° před HÚ					
1010	73,1	76,2	15,90	545	35,5
1200	88,1	77,5	15,55	590	33,0
1400	102,3	77,8	16,45	620	35,0
1600	115,0	77,0	16,45	640	35,5
1800	127,5	75,2	15,80	665	35,0
2000	136,6	73,2	15,20	680	37,0

Barometrický tlak 97,7 kPa, teplota vzduchu 28-31°C

Ruch Liberec

Rychlostní charakteristika motoru M 634
základní nastavení dávky při n = 1000 1/min
DIFUSOR I - ø 4 mm, GPD = 35° před HÚ

n /1/min/	P_e /kW/	V_n /mm³/c,v/	V_p /cm³/c,v/	T_v /°C/	k /%/
a) série - GPD = 29° před HÚ					
1010	80,4	135,2	-	635	57,0
1200	96,7	140,8	-	670	54,5
1400	111,4	133,9	-	695	50,0
1600	125,7	134,7	-	725	49,0
1800	137,7	135,1	-	740	50,5
2000	146,8	129,5	-	760	52,0
b) V_n = 82,8 mm³/c,v + V_p = 18,45 cm³/c,v					
1015	74,0	82,8	18,45	570	26,5
1200	88,7	83,1	19,60	605	25,0
1400	104,9	82,4	19,85	635	16,5
1600	120,7	82,4	19,10	665	20,0
1800	133,1	79,7	18,20	675	20,0
2000	143,7	77,0	16,95	685	23,5

Ruch Liberec

Rychlostní charakteristika motoru M 634
základní nastavení dávky při n = 1000 1/min
DIFUSOR I - ∅ 4 mm, GPD = 35° před HÚ

n /1/min/	P_e /kW/	V_n /mm^3/c,v/	V_p /cm^3/c,v/	T_v /°C/	k /%/
c) V_n = 65,8 mm^3/c,v + V_p = 21,75 cm^3/c,v					
1010	69,5	65,8	21,75	530	16,0
1200	83,2	66,4	21,10	565	15,0
1400	99,2	66,8	20,70	595	12,0
1600	115,0	70,8	20,10	620	17,0
1800	126,6	67,3	19,15	635	16,5
2000	136,6	66,2	17,25	645	22,0
d) V_n = 81,6 mm^3/c,v + V_p = 15,9 cm^3/c,v; DIFUSOR II					
1010	69,5	81,6	15,90	530	28,5
1200	84,4	82,9	16,00	575	19,5
1400	100,6	83,5	16,10	600	16,0
1600	115,0	82,2	15,85	615	17,5
1800	128,4	80,3	15,40	635	18,0
2000	140,7	78,5	15,10	655	18,5

Barometrický tlak 97,7 kPa, teplota vzduchu 28-32°C

Ruch Liberec

Rychlostní charakteristika motoru M 634.
základní nastavení dávky při n = 1000 1/min
DIFUSOR II – ø 4 mm, GPD = 29° před HÚ
kompresní poměr ε = 16,2 : 1

n /1/min/	P_e /kW/	V_n /mm³/c,v/	V_p /cm³/c,v/	T_v /°C/	k /%/	CO /%/
a) sériové provedení						
1000	69,3	108,4	-	540	53	0,080
1300	92,8	116,4	-	600	51,5	0,110
1600	110,9	110,3	-	620	46,4	0,120
2000	127,3	111,1	-	660	40	0,160
b) V_n = 83,3 mm³/c,v. + LPG						
1000	68,3	83,3	9,48	480	22	0,120
1300	92,8	82,9	9,55	560	34	0,100
1600	110,9	83,9	7,86	570	32	0,110
2000	128,3	83,3	6,80	600	35	0,130
c) V_n = 59,4 mm³/c,v + LPG						
1000	68,3	59,4	14,29	460	12	0,110
1300	92,8	65,3	11,48	535	22,5	0,100
1600	110,9	62,5	9,47	545	21,5	0,090
2000	129,4	69,7	7,81	595	32	0,120

barometrický tlak 97,2 kPa, teplota vzduchu 20° – 24°C

Ruch Liberec

Zatěžovací charakteristika motoru M 634
při n = 1300 1/min
DIFUSOR II - ϕ 4 mm, GPD = 29° před HÚ
kompresní poměr ε = 16,2 : 1

p_e /MPa/	V_n /mm³/c,v/	V_p /cm³/c,v/	T_v /°C/	CO /%/	p_{max} /MPa/
0,752	119,9	-	640	0,220	69
0,500	76,5	-	400	0,020	64,5
0,561	76,5	4,35	450	0,080	66
0,618	76,5	8,18	480	0,100	68
0,670	76,5	11,40	510	0,100	71,5
0,706	76,5	13,26	540	0,100	77
0,747	76,5	15,70	570	0,110	77
0,757	76,5	16,55	580	0,110	79
0,572	86,0	-	450	0,030	61,5
0,654	86,0	4,87	510	0,100	66
0,680	86,0	6,81	540	0,120	70
0,726	86,0	10,40	560	0,140	72
0,747	86,0	11,15	580	0,160	74,5
0,397	65,5	-	330	0,020	60
0,530	65,5	8,36	410	0,030	65
0,587	65,5	11,46	450	0,120	71
0,664	65,5	14,65	485	0,100	76,5
0,752	65,5	19,23	540	0,120	84

barometrický tlak 97,2 kPa, teplota sání 20° - 22°C

Ruch Liberec

Provoz vznětového motoru na dvojí palivo

Tabulka 8

Zatěžovací charakteristika motoru M 634
při n = 1300 1/min
DIFUSOR II - ⌀ 4 mm, GPD = 29° před HÚ
kompresní poměr ε = 16,2 : 1

p_e /MPa/	V_n /mm³/c,v/	V_p /cm³/c,v/	T_v /°C/	CO /%/	k /%/	m_{pe} /g/kWh/
a) sériové provedení						
0,500	78,5	-	400	0,020	19	237,1
0,577	87,1	-	455	0,030	24	227,3
0,618	93,6	-	480	0,035	25,5	227,8
0,664	100,7	-	520	0,040	33	228,1
0,711	109,9	-	565	0,080	42	232,7
b) nafta + LPG						
0,587	76,5	16,03	450	0,085	19,5	233,9
0,664	78,7	24,16	500	0,100	20,5	227,0
0,690	77,1	25,50	520	0,095	22,5	223,1
0,711	78,4	25,84	530	0,095	22	218,3

barometrický tlak 97,2 kPa, teplota sání 20° - 22°C

Ruch Liberec

Zatěžovací charakteristika motoru M 634
při n = 2000 1/min
DIFUSOR II - ø 4 mm, GPO = 29° před HÚ
kompresní poměr ε = 16,2 : 1

p_e /MPa/	V_n /mm³/c,v/	V_p /dm³/kWh/	T_v /°C/	CO /%/	k /%/	m_{pe} /g/kWh/
a) sériové provedení						
0,473	77,3	-	460	0,035	21,5	265,3
0,541	90,9	-	515	0,050	32,5	252,9
0,592	98,4	-	560	0,060	46,5	249,8
0,623	105,9	-	610	0,095	48	255,8
0,680	116,1	-	670	0,205	53	257,1
b) nafta + LPG						
0,510	77,3	10,63	475	0,080	24	252,9
0,546	76,9	12,30	490	0,095	28	240,7
0,664	77,3	33,16	615	0,120	30,5	252,6
0,737	77,3	40,19	660	0,195	37	253,2

barometrický tlak 97,2 kPa, teplota sání 20°C

Ruch Liberec

Příloha P3

Provoz vznětového motoru na dvojí palivo
III. část

Souhrn: Zpráva obsahuje přehled výsledků z měření průběhů tlaků a výpočet teplot pracovních oběhů pro motor M 634 provozovaný na dvojí palivo. Současně se zprávou uzavírají výzkumné práce na ověřování možností využít LPG v dvojpalivovém uspořádání ve vznětovém motoru. Na základě vyhodnocení všech získaných poznatků z předchozích etap a zkušeností z řešení jiných úkolů, bylo při oponentním řízení rozhodnuto,zaměřit se v dalším vývoji a výzkumu na realizaci provozu motoru Liaz M 634 na spalování pouze směsi propan-butanu. Toto koncepční řešení představuje sice rozsáhlejší rekonstrukci motoru na motor zážehový, ale současně se vytvoří předpoklady ke splnění limitů škodlivých emisí dle předpisů EHK 49.

VÝZKUMNÉ A ZKUŠEBNÍ PRACOVIŠTĚ SPALOVACÍCH MOTORŮ
Vyskové školy strojní a textilní
v Liberci

Provoz vznětového motoru na dvojí palivo
III.část

Vedoucí úkolu:
Ing.Oldřich Červinka,CSc

Řešitel úkolu:
Ing.Lubomír Moc

Číslo úkolu:
P-19-124-244

Číslo zprávy:
SM 154/76

Ředitel pracoviště:
Ing.Oldřich Červinka, CSc

Liberec,listopad 1976

S o u h r n

Ve zprávě jsou uvedeny výsledky z měření průběhů tlaků a teplot ve válci motoru M 634 při provozu na směs nafta - propan,butan.

O b s a h

		str.
	Souhrn	2
-	Použité jednotky a označení	4
1.0	Úvod	5
2.0	Indikace tlaku ve válci motoru	5
3.0	Výsledky měření	7
4.0	Výpočet teplot a uvolňování tepla	9
5.0	Závěr	10

Příloha: grafy G 1 - G 3
tabulky 1 - 2.

Použité jednotky a označení

v_n	množství kapalného paliva na cykl a válec	$mm^3/c,v$
V_p	množství plynného paliva na cykl a válec	$cm^3/c,v$
p_e	střední užitečný tlak	MPa
p_{max}	maximální spalovací tlak	MPa
p_k	přírůstek tlaku na počátku hoření	MPa
$p^x_{HÚ}$	tlak na souřadnici v HÚ	MPa
n	otáčky motoru	1/min
k_1	koeficient provozu na kapalné palivo	%
t_v	teplota výfukových plynů	^oC
ε	kompresní poměr	-
α	geometrický počátek vstřiku paliva	^{o}
β	počátek hoření paliva	^{o}
δ	úhel odpovídající přírůstku tlaku o p_k	^{o}
φ	úhel polohy maximálního spalovacího tlaku	

1.0 Úvod

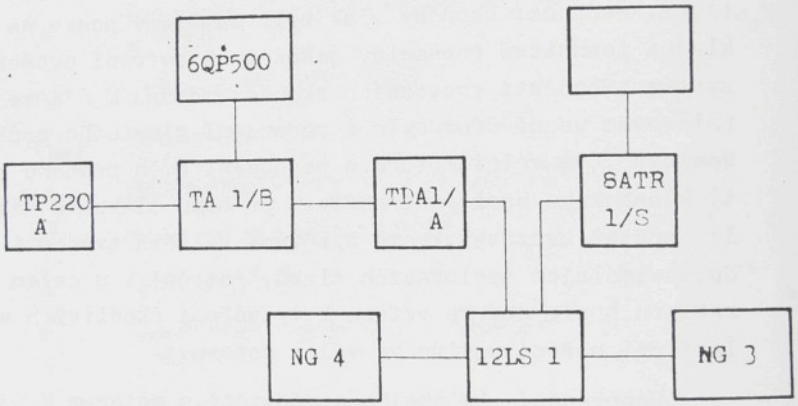
V předchézejících zkouškách provozu vznětového motoru na dvojí palivo s využitím propan-butanu /LPG/ byly ověřeny některé výhody proti provozu s klasickým palivem.Předchozí zkoušky však byly zaměřeny pouze na základní technické parametry jakož i na ověření uvedeného systému.Součástí provozních zkoušek motoru M 634 ve dvojpalivovém uspořádání bylo i posouzení vlastního průběhu spalování ve válci motoru a posouzení změn průběhu proti klasickému spalování nafty.Z průběhu tlaku ve válci lze zpětně usuzovat,kromě zjištění veličin tvrdosti chodu,maximálních spalovacích tlaků,částečně i o celém charakteru spalování ve vztahu k vytváření škodlivých exhalací při hoření paliva ve válci motoru.

Uspořádání zkušebního stanoviště s motorem M 634 bylo stejné jako v předchozích zkouškách tj,motor se seriovou velikostí kompresního poměru ε = 16,2 : 1 v.č. 813 403 006 se vstřikovacím čerpadlem PVSB9P 215 g v.č. Zc 219.

2.0 Indikace tlaku ve válci motoru

Indikace průběhu tlaku ve válci byla provedena na 6.válci motoru.K tomuto bylo použito aparatury Vibrometer s piezosnímačem tlaku 6 QP 500 a se záznamem na osciligraf 12-LS-1.Schema zapojení je na obr.1.

Měření byla provedena při otáčkách motoru n=1300 1/min tj, v oblasti maximálního točivého momentu motoru ve dvou případech



Obr.1. zapojení indikační aparatury

a/při stejném středním užitečném tlaku p_e= cca 0,750 MPa s různou velikostí zápalné dávky kapalného paliva v rozsahu 119,9 - 65,5 mm^3/c,v což odpovídá 100-52,6% provozu motoru na naftu

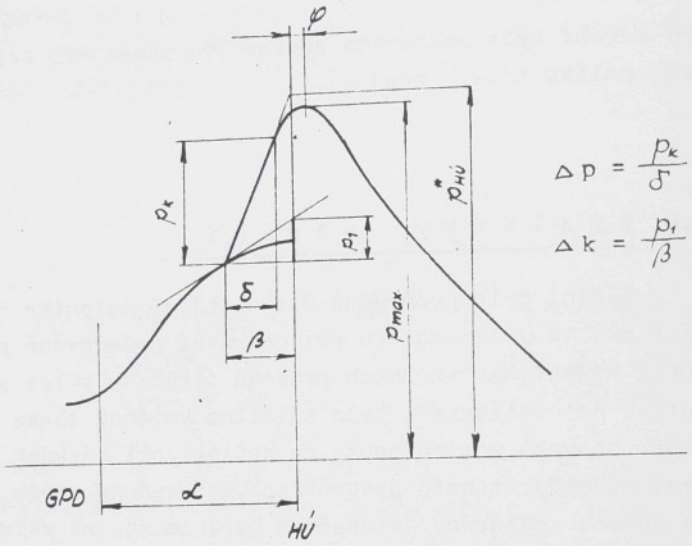
b/při konstantní velikosti zápalné dávky kapalného paliva v_n= 70,5 mm^3/c,v v rozsahu středního užitečného tlaku 0,500 MPa až 0,757 MPa tj.100-66,1 % provoz na naftu

Při měření byla zachována seriové velikost GPP kapalného paliva tj.29° před HÚ.

3.0 Výsledky měření

Měření bylo prováděno dle ustálené metodiky měření tlaků ve válci motoru při dodržení požadované přesnosti měření.Na záznamech průběhů tlaků ve válci sejmutých na oscilografu bylo zjištěno kmitání tlaku a to i při provozu motoru pouze na naftu i při nízkých zatíženích.Rozbor tohoto jevu ukázal,že uvedené změny tlaku nejsou způsobeny detonačním hořením náplně válce,ale vlastnostmi použitého piezosnimače umístěného v desce hlavy válce,které v průběhu pracovního cyklu kmitá a tím způsobuje uvedené změny.Velikost amplitud je úměrná velikosti tlaku.Při vyhodnocování tlakových diagramů se proto vycházelo se středních hodnot tlaků na kterých byla superponována amplituda tlaků od kmitání desky hlavy válců.

Rozborem sejmutých tlakových diagramů lze proto konstatovat,že v žádném případě uvedených měření nebylo hoření směsi nafta-LPG v motoru detonačního charakteru.Vyhodnocené výsledky,pokud se týké dosahovaných tlaků a tvrdosti chodu jsou na následujících tabulkách. a grafech G 1 ,2.Použité označení je zřejmé z obr.2



Obr.2 označení veličin pro vyhodnocení tlakových diagramů

Zjištěné výsledky lze stručně charakterizovat takto.

a/provoz při středním užitečném tlaku p_e= 0,750 MPa

V rozsahu náhrady 52,8 - 100 % provozu na naftu bylo dosaženo max.spalovacích tlaků 8,52 -7,04 MPa a odpovídajícího přírůstku tlaku při hoření Δ p v rozsahu 1,110 - 0,866 MPa/deg.Z uvedených výsledků i z průběhu na grafu G 1 lze konstatovat,že se zvyšováním náhrady nafty LPG při zachování konstantní velikosti GPD kapalného paliva/nafty/ dochází ke vzrůstu maximálních spalovacích tlaků.Při 30 % LPG ve směsi činí vzrůst tlaků cca 10 %.Současně dochází k posunutí maximálních spalovacích tlaků k HÚ.Závislost změn jednotlivých parametrů je na grafu G 1a.

Z uvedeného hlediska polohy maximálního spalovacího tlaku způsobené kratší dobou přípravných a oxidačních

reakcí a vlastního hoření náplně směsi nafta-LPG, lze usuzovat na možnost zmenšení velikosti GPD kapalného paliva. Tato změna sice způsobí, že výhoda ve snížení teplot výfukových plynů při nižší velikosti GPD nebude tak výrazné, ale současně zlepší poměry v exhalacích NO_x právě v důsledku menší hodnoty GPD.

b/ provoz při konstantní dávce nafty v_n = 76,5 mm^3/c, v Výsledky jsou na tab.2 a na grafech G 2 a G 2a. Z těchto výsledků je zřejmé, že ke vzrůstu spalovacích tlaků se zvyšováním LPG v náplni válce dochází v souladu se zvyšováním středního užitečného tlaku. Tento vzrůst je větší než při provozu na naftu. Rovněž v souladu s uvedeným v předcházejícím se zmenšuje úhel mezi HÚ a polohou max. spalovacího tlaku. Maximální spalovací tlak dosažený při středním užitečném tlaku p_e=0,757 MPa ve velikosti 8,18 MPa však nepředstavuje podstatné zvýšení, které by výraznou měrou ovlivňovalo namáhání motoru a tím jeho životnost.

4.0 Výpočet teplot a uvolňování tepla

Pro získání představy o průběhu teploty při spalování směsi nafta+ LPG byl proveden výpočet teplot ve válci motoru a výpočet uvolňování tepla. Pro výpočet bylo využito zpracovaného programu č.135 a 136 a vlastní výpočet byl proveden na počítači Misk 22. Výsledky průběhu teplot jsou na grafu G 3.

Z průběhů teplot na grafu G-3 je patrný větší gradient teploty na počátku spalování směsi nafta + LPG. Pro přípaď k_1= 66,1 %, což pro motor M 634 představuje přibližně max. možnou náhradu nafty LPG, a střední užitečný tlak p_e= cca 0,750 MPa, při porovnání se spalováním pouze klasického paliva je také dosahováno vyšších max. teplot tj. 1820°K proti 1745°K. Poloha maximální teploty je v oblasti HÚ u směsi a u nafty je posunuta cca 13° za HÚ. Tento stav odpovídá zachované seriové velikosti vstřikování kapalné části paliva 29° před HÚ, neboť přípravné a oxidační reakce probíhají u dvojpalivového provozu rychleji. V expanzní části diagramu je však pokles teplot rychlejší což odpovídá i poklesu teplot výfukových plynů jak bylo v průběhu ověřovacích zkoušek zjištěno.

Ruch Libri

5.0 Z á v ě r.

Zprávou se uzavírají výzkumné práce na ověřování možností využít LPG v dvojpalivovém uspořádání ve vznětovém motoru. Na základě zprávy SM 152/76 "Výzkum motoru Škoda LIAZ pro pohon zkapalněným propan-butanem úvodní studie " a následujícího oponentního řízení, bylo rozhodnuto zaměřit se v dalším výzkumu a ověřování na vývoj motoru s využitím pouze zkapalněného LPG.

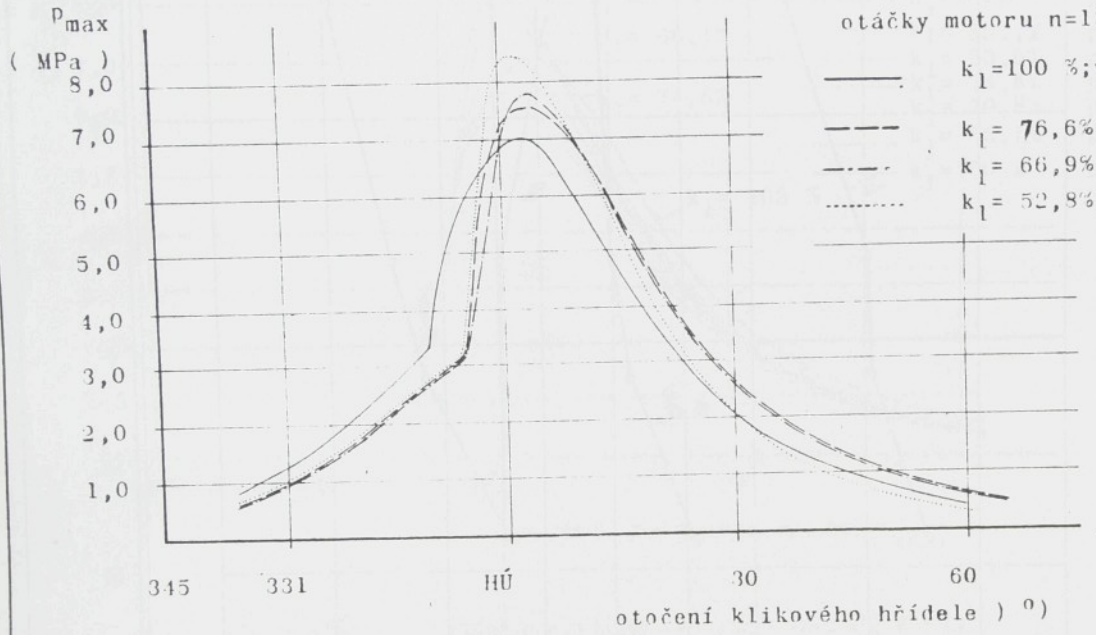
Tabulka 1

p_e	k_1	p_{max}	p_1	$p_{kú}$	p_k				p	k
MPa	%	MPa	MPa	MPa	MPa	°	°	°	MPa/°	MPa/°
0,752	52,8	8,52	0,78	10,22	4,45	1,0	7,32	4,36	1,110	0,138
0,747	66,9	7,50	0,68	9,65	2,38	1,0	6,36	2,35	1,358	0,238
0,747	76,6	7,55	0,72	9,50	2,15	1,0	3,36	2,65	1,350	0,389
0,752	100,0	7,04	0,35	9,40	1,30	3,0	9,15	1,50	0,366	0,114

Tabulka 2

0,500	100,0	6,15	0,68	8,58	0,35	2,0	6,35	1,10	0,772	0,098
0,561	89,1	6,38	0,68	8,36	2,10	2,0	6,35	2,78	0,755	0,098
0,618	80,0	6,74	0,68	8,63	2,10	1,5	6,35	2,52	0,324	0,098
0,670	74,6	7,04	0,68	8,78	2,45	1,0	6,45	2,78	0,881	0,098
0,747	66,9	7,50	0,68	8,65	2,38	1,0	6,35	2,35	1,398	0,098
0,757	66,1	8,18	0,68	12,30	3,22	0	6,35	2,35	1,370	0,098
0,752	100,0	7,04	0,68	8,40	1,30	3,0	8,10	1,50	0,366	0,098

Ruch Liberec



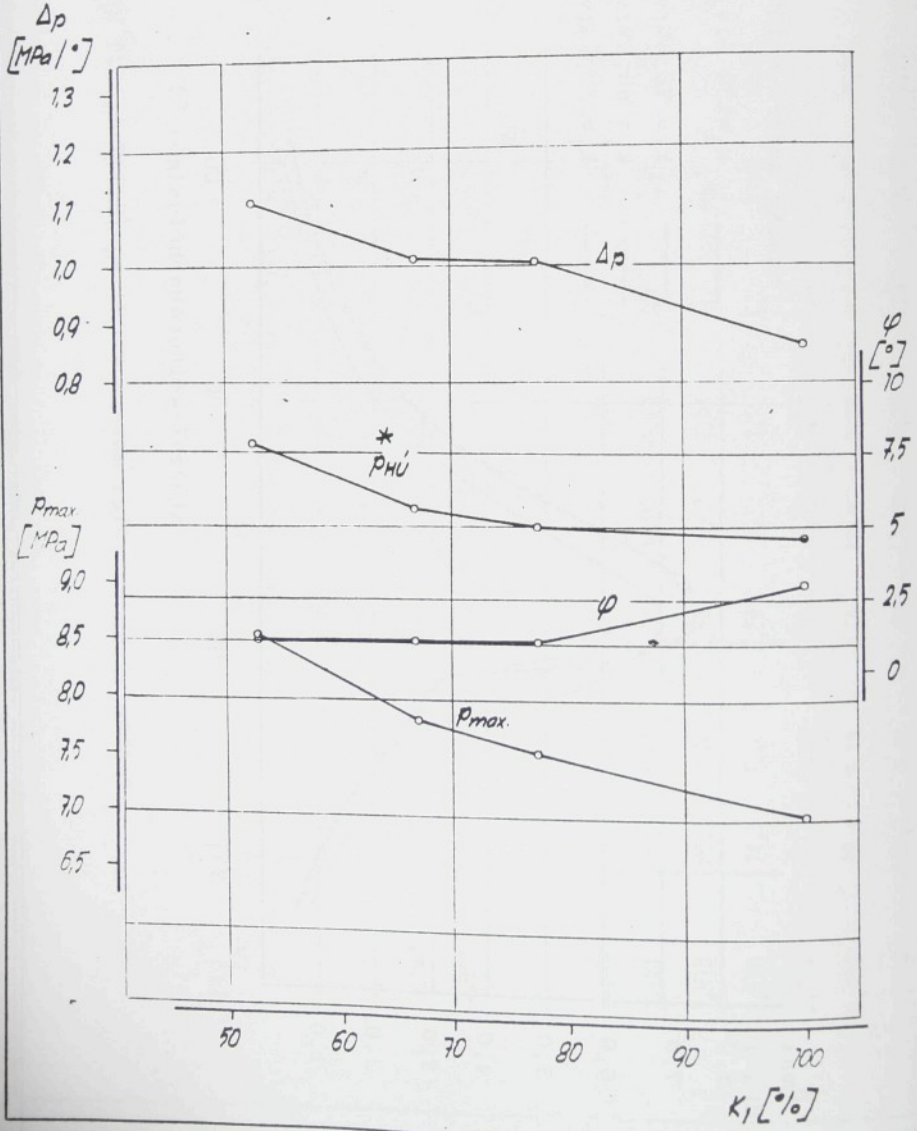
Průběh tlaku ve válci motoru M 634 p_e=(0,747-0,752) MPa

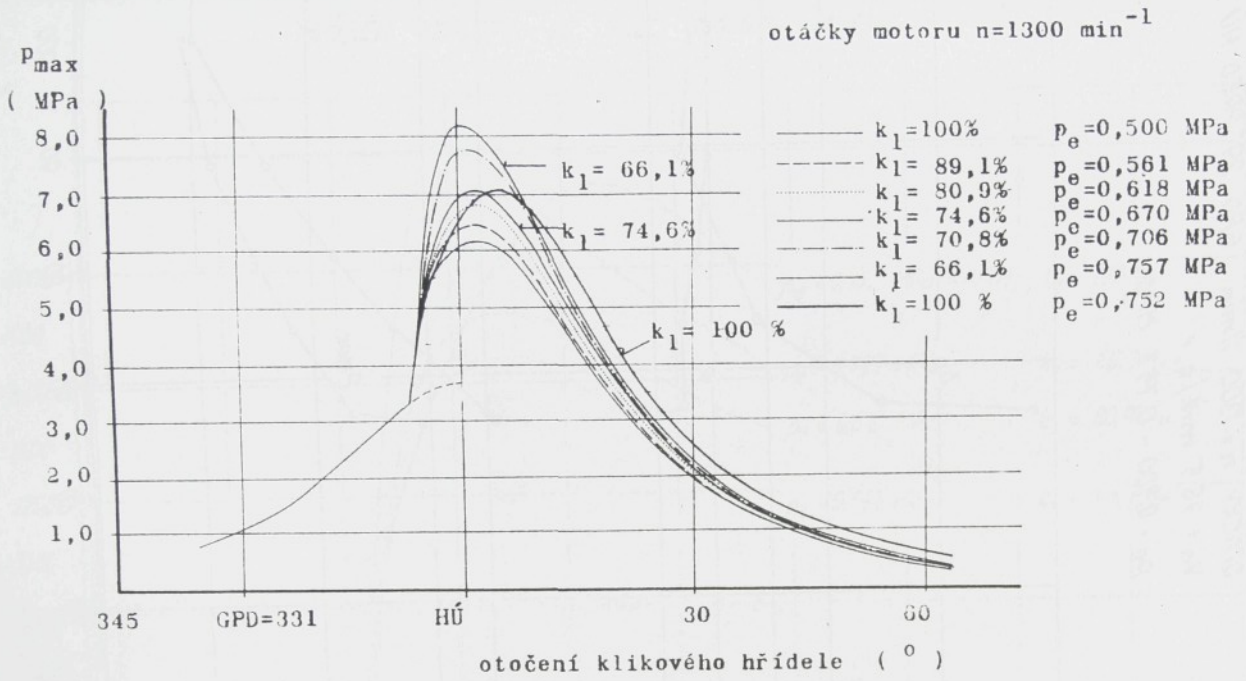
INDIKACE VE VÁLCI MOTORU M 634

OTÁČKY $n = 1300$ 1/min ; GPD 29° PŘED HÚ

$V_n = 65,7 - 119,9$ mm³/c,v

$p_e = 0,747 - 0,752$ MPa





Obr. Indikace tlaku ve válci motoru M 634
p_e=(0,500 - 0,757) MPa

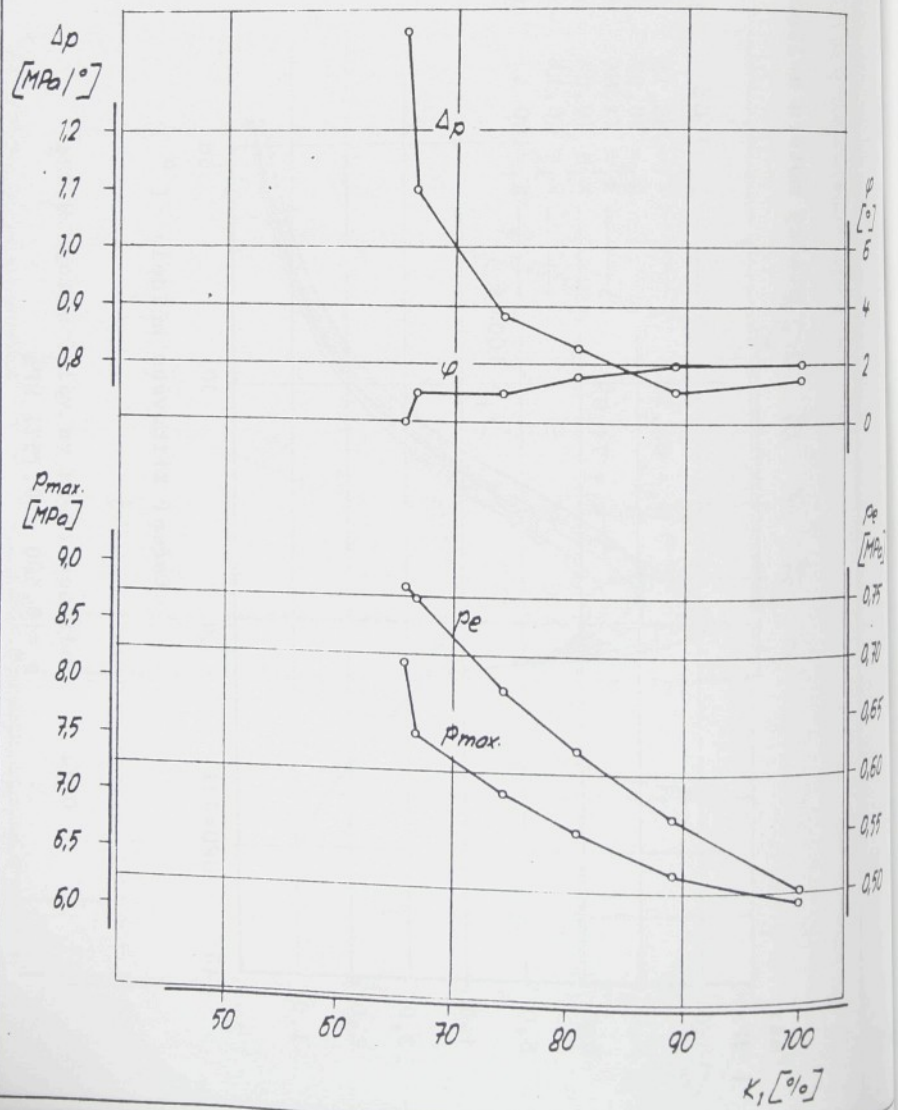
Ruch Liberec

INDIKACE VE VÁLCI MOTORU M634

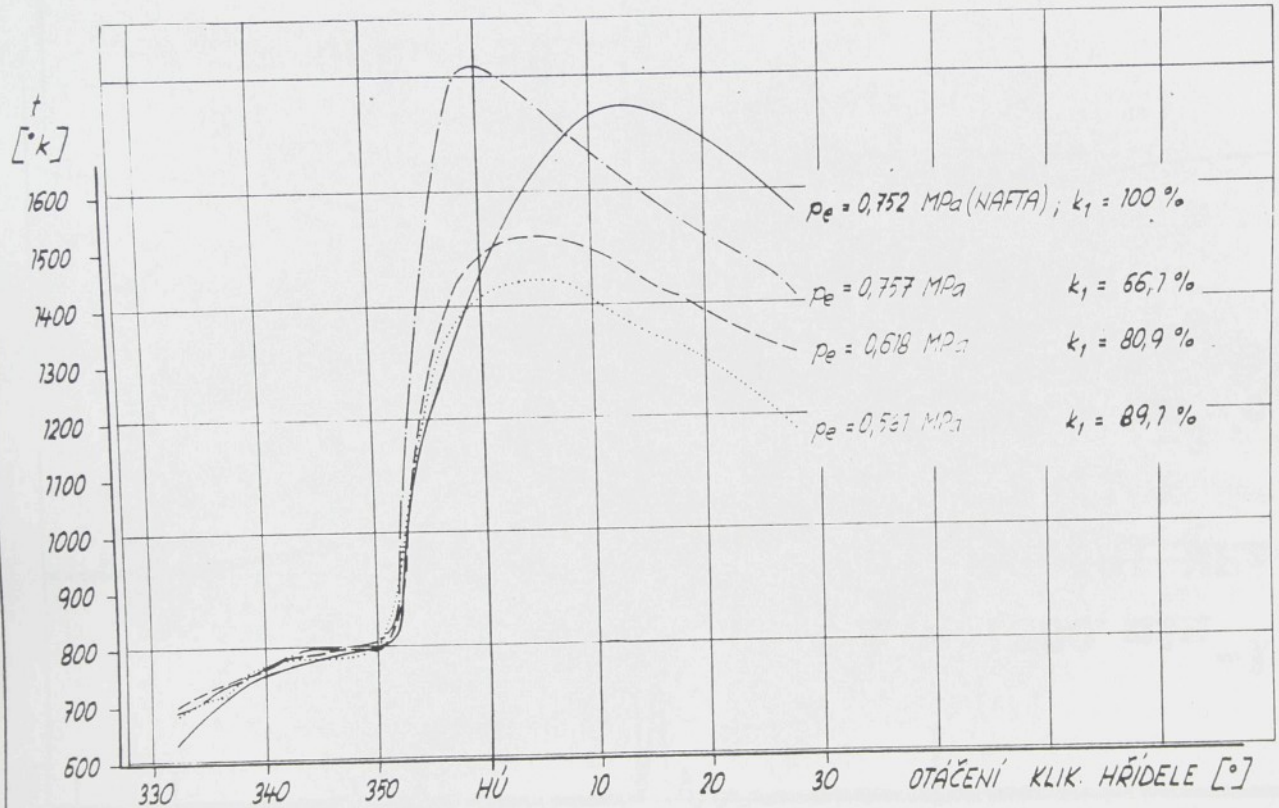
OTÁČKY $n = 1300$ 1/min ; GPD 29° PŘED HÚ

$V_n = 76{,}5$ mm³/c,v

$p_e = 0{,}500 - 0{,}757$ MPa



PRŮBĚH TEPLOTY VE VÁLCI MOTORU M 634



VŠST
VÝZKUMNÉ A ZKUŠEBNÍ PRACOVIŠTĚ SPALOVACÍCH MOTORŮ

Provoz vznětového motoru na dvojí palivo - III

graf G 3

Ruch Liberec

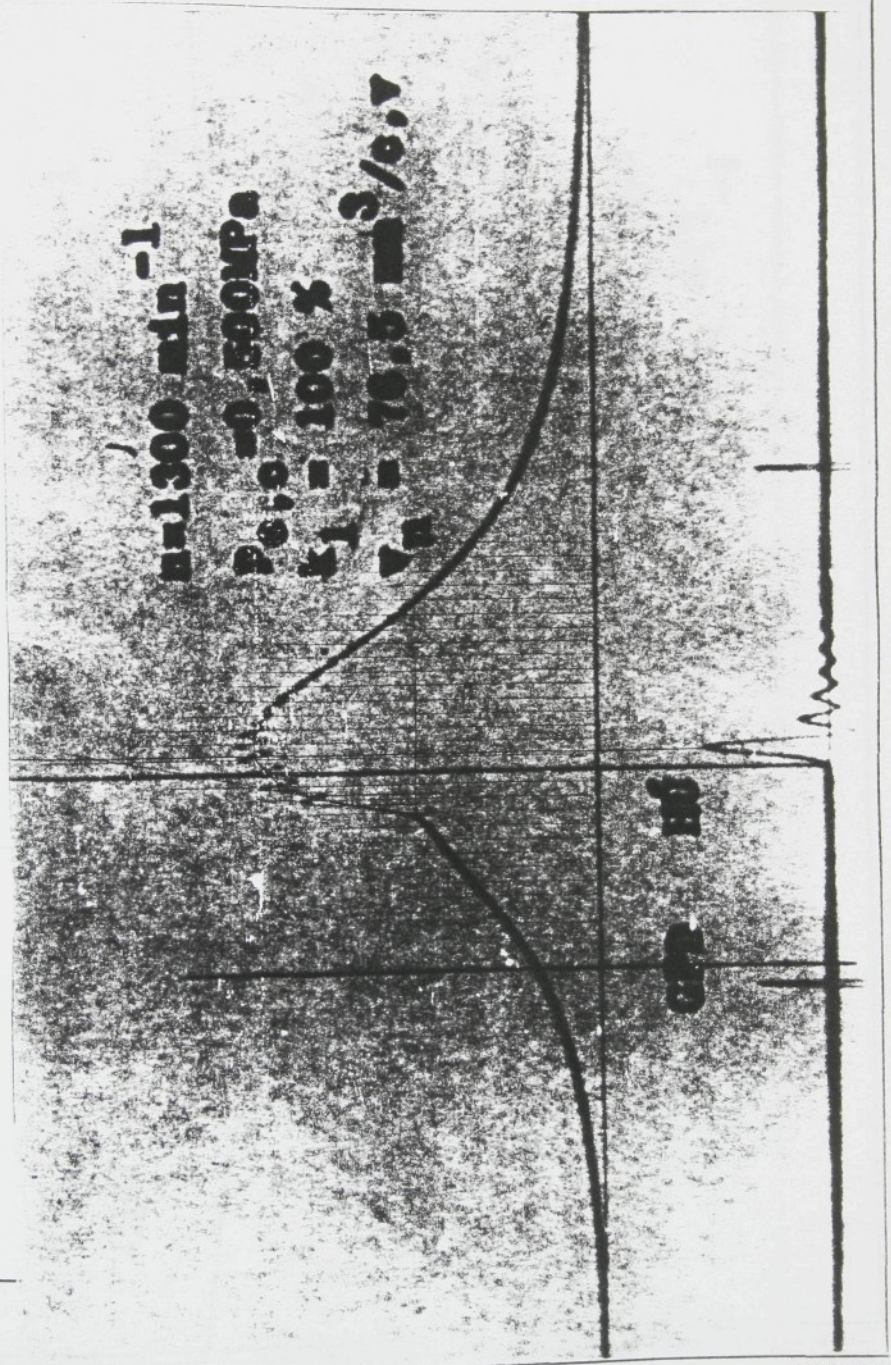
$n = 1300$ ■in^{-1}

$p_{e,c} = 0,561$ MPa

$k_1 = 89,1$ %

$v_n = 76,5$ ■$^3/c,v$

GPD HŮ



$n = 1300\ min^{-1}$

$p_{e,c} = 0,670\ MPa$

$k_1 = 74,6\ \%$

$v_n = 76,5\ m^3/c,v$

GPD HÚ

$n = 1300\ min^{-1}$

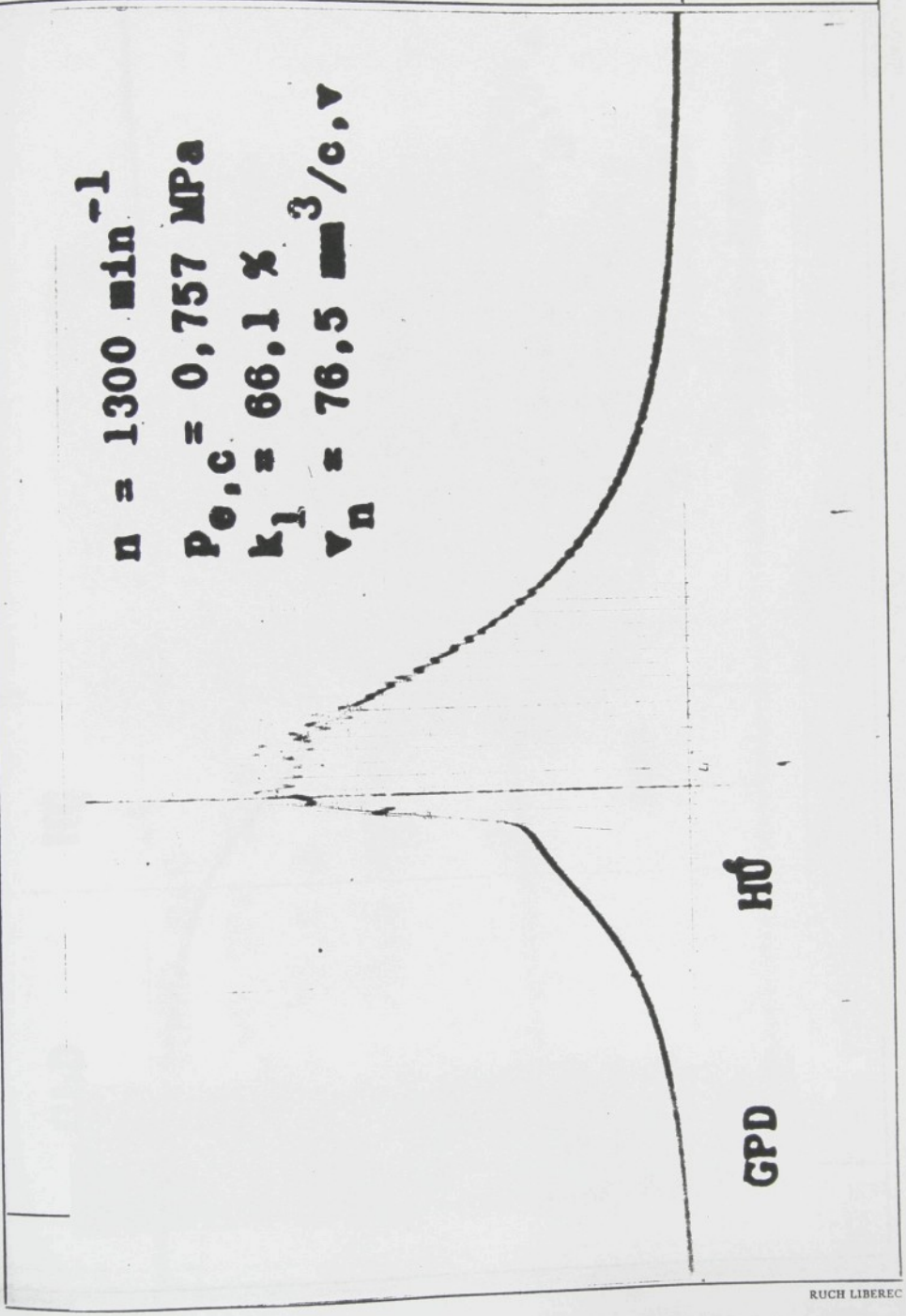
$p_{e,c} = 0,618\ MPa$

$k_1 = 80,9\ \%$

$v_n = 76,5\ mm^3/c,v$

GPD HÚ

n = 1300 min^{-1}
$p_{e,c}$=0,747 MPa
k_1= 66,9 %
v_n = 76,5 mm^3/c.v
GPD
HÚ


n = 1300 min⁻¹
$p_{e,c}$ = 0,757 MPa
k_1 = 66,1 %
v_n = 76,5 mm³/c.v
GPD
HÚ

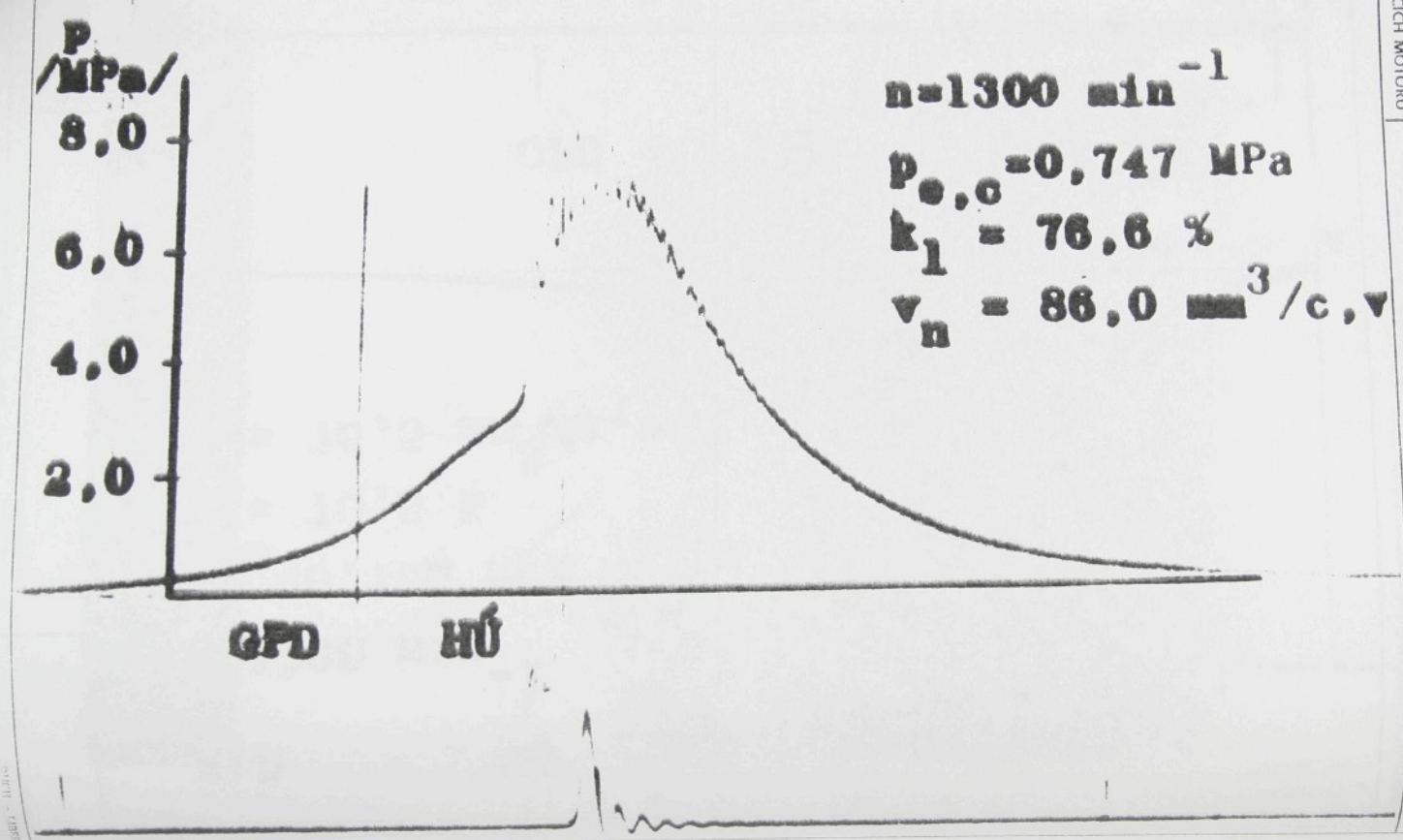
$n = 1300\ min^{-1}$

$p_{e,o} = 0,752\ MPa$

$k_1 = 52,8\ \%$

$v_n = 65,5\ cm^3/c.v$

RUCH LIBEREC


p
/MPa/
8,0
6,0
4,0
2,0
n=1300 min^{-1}
$p_{e,c}$=0,747 MPa
k_l = 76,6 %
v_n = 86,0 mm^3/c.v
GPD
HÚ

Příloha P 4

Využití etanolu jako paliva pro motor M 2.4 R

Souhrn: Zpráva obsahuje popis dvou způsobů uspořádání dopravy etanolu do pracovního oběhu přeplňovaného vznětového motoru. Uvádí se výsledky experimentálních měření včetně vysokotlaké indikace ve válci motoru. Jsou vyhodnoceny změny v pracovním oběhu motoru způsobené vlivy vnitřního chlazení při odpaření části etanolu. Přeplňovaný motor byl provozován jako dvoupalivový s náhradou až 30 % nafty.

V ověřovaném způsobu provozu motoru došlo ke snížení stupně kouření, složky plynných emisí ve výfukových plynech nebyly zjišťovány.

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ V LIBERCI
nositelka Řádu práce
Katedra strojů průmyslové dopravy

VYUŽITÍ ETANOLU JAKO PALIVA PRO MOTOR M 2.4 R

Vedoucí úkolu:
Doc. Ing. Oldřich Červinka, CSc.

Řešitel úkolu:
Ing. Lubomír Moc

Vedoucí katedry:
Doc. Ing. Oldřich Červinka, CSc.

Číslo úkolu:
K 231

Číslo zprávy:
SM 230/88

Druh zprávy:
dílčí

září 1988

SOUHRN

Ve zprávě jsou uvedeny možnosti provozu přeplňovaného vznětového motoru M 2.4 R na etanol. Uvádí se výsledky experimentálních měření při dvou různých uspořádání dopravy etanolu do oběhu motoru. Součástí je posouzení vlivu spalování etanolu na provozní parametry motoru a charakter hoření ve spalovacím prostoru.

OBSAH

1.0 Úvod

2.0 Způsob využití etanolu u vznětového motoru

3.0 Způsob použití etanolu u přeplňovaného motoru

3.1 Vstřikování etanolu za plnicí dmychadlo

3.2 Vstřikování etanolu před plnicí dmychadlo

4.0 Závěr

Použité označení

Literatura

xxxyxxxyxx

Přílohy: tabulka 1 - 4
grafy 1 - 5
průběhy vysokotlaké indikace tlaku

1.0 ÚVOD

Racionální využívání energetických zdrojů způsobuje, že v provozu vznětových motorů se začíné využívat různých druhů alternativních paliv. Kromě rozšiřujícího se používání plynných paliv, zejména zemního plynu, přichází v úvahu i reálné možnost využít při provozu vznětového motoru paliv na bázi alkoholů. Důvodem je možné zajištění výroby alkoholů z domácích zdrojů a to i zhodnocením odpadových materiálů. Z této oblasti paliv mezi nejrozšířenější náhrady nafty ve světě patří etanol a metanol. Ve zprávě je popsána metoda využití etanolu při provozu motoru M 2.4 R a některé výsledky z provedených experimentálních měření.

Spalování etanolu ve vznětových motorech se dle zkoušek /3/ a údajů /1, 2/ příznivě projevuje ve snížení úrovně některých škodlivých emisí ve výfukových plynech, zejména v poklesu množství pevných částic a obsahu oxidů dusíku. Podle konstrukce motorů se u některých dosahuje i vyšší celkové účinnosti oběhu a tím i nižší měrné spotřeba paliva.

Neméně významným je při provozu na etanol snížení teploty plnicího vzduchu vlivem vnitřního chladicího účinku etanolu, který tak příznivě ovlivňuje velikost mechanického a tepelného namáhání dílů motoru a snižuje požadavky na chladicí výkon mezichladiče vzduchu.

2.0 ZPŮSOBY VYUŽITÍ ETANOLU U VZNĚTOVÉHO MOTORU

Pro použití etanolu jako alternativního paliva pro vznětové motory jsou dnes známy různé technologie a jejich praktické aplikace některých výrobců. Mezi základní metody patří:

- jednopalivový provoz motoru pouze na etanol se zlepšenou vznětlivostí,
- dvoupalivový provoz s oddělenými vysokotlakými palivovými systémy nafty a etanolu,
- dvoupalivový provoz se směsí vzduch-etanol vytvářenou v sacím systému motoru a vysokotlakým vstřikováním nafty do spalovacího prostoru.

Etanol je používán, jak u motorů nepřeplňovaných, tak i přeplňovaných turbodmychadlem. Problematika převodu vznětového motoru na provoz s etanolem souvisí s chemicko-fyzikálními vlastnostmi etanolu. Experimentálně bylo zjištěno /1/ možné náhrada nafty etanolem podle jednotlivých metod:

- vstřikování směsi etanolu a nafty náhrada 20%
- oddělená dodávka paliv vstřikováním 90%
- nízkotlaké vstřikování do sání nebo karburace 40%

Problém využití etanolu spočívá v jeho nízkém cetanovém čísle a s tím souvisící malou vznětlivostí. Většina systémů používá naftu v druhé složce paliva k vytvoření vhodných podmínek pro zapálení směsi. Konstrukční úpravy motorů v těchto případech jsou velmi malé.

U motorů přeplňovaných dále přistupuje při spalování etanolu výhoda ve snížení teploty plnicího vzduchu, event. snížení kompresní práce plnicího dmychadla, v důsledku využití výparného tepla etanolu. Základní parametry alkoholových paliv jsou uvedeny v tab. 1.

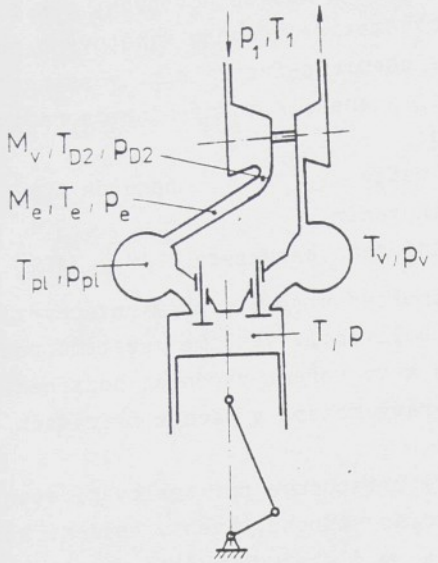
Tab. 1 Základní chemicko-fyzikální vlastnosti náhradních paliv

	Molární hmotnost	Teplota varu	Výhřevnost	Měrné hmotnost	Skupenské teplo varu	Měrné tepelná kapacita
palivo	M_m	t_v	k_{vd}	ρ	l_v	c_p
	kg/kmol	°C	kJ/kg	kg/m^3	kJ/kg	kJ/kg K
etanol	46,07	78,3	26.800	789	879	2,297
metanol	32,04	64,7	19.300	792	1.101	0,952

3.0 ZPŮSOBY POUŽITÍ ETANOLU U PŘEPLŇOVANÉHO MOTORU

3.1 Vstřikování etanolu za plnicí dmychadlo

Schema uspořádání tohoto řešení je na obr. 1. Teploty stlačeného vzduchu za dmychadlem dosahují podle zatížení motoru až 220°C. Pokud vhodným způsobem přivedeme do proudu plnicího vzduchu kapalnou chladicí látku, probíhají tepelné změny jejího stavu dle obr. 2 a teplota plnicího vzduchu se sníží na hodnotu T_{pl}.



Obr. 1 Schema uspořádání při vstřiku etanolu za dmychadlo

Potřebné energie na změnu stavu etanolu je odebírána z tepelného stavu plnicího vzduchu a tím současně klesá jeho teplota. Ve vlastním tepelném oběhu vznětového motoru etanol představuje náhradu základního paliva. Z hlediska zachování charakteru spalování ve vznětovém motoru, zejména z důvodů nutných konstrukčních změn při větší náhradě základního paliva etanolem, se doporučuje dle provedených zkoušek poměr mezi množstvím vzduchu a množstvím paliva do hodnoty 0,02. Stupeň ochlazení je dán množstvím přivedeného paliva M_e do plnicího vzduchu a tím i do oběhu vznětového motoru. Tepelné obsahy jednotlivých složek v plnicím potrubí lze vyjádřit za předpokladu stejné kinetické a potenciální energie směsi:

- palivo odpařované v plnicím potrubí

$$i_4 - i_1 = c_{p_{1k}}(T_2 - T_1) + l_v + c_{p_{1p}}(T_{pl} - T_2)$$

Pro výpočet se uvažuje $T_2 = T_3$, což je teplota varu pro daný tlak plnicího vzduchu p_{D2}.

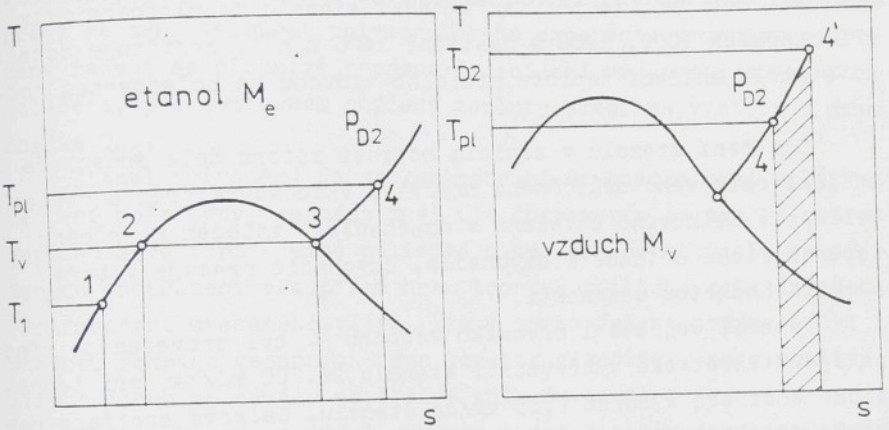
- tepelné energie plnicího vzduchu odvedené při odpaření paliva

$$i_4' - i_4 = c_p (T_{D2} - T_{pl})$$

Doplňkové palivo je do soustavy dopravováno přetlakem Δp_1 v mezích 35 - 200 kPa, nejsou uvažovány ztráty z nevratnosti děje a velikost kinetické energie vstupujícího doplňkového paliva.

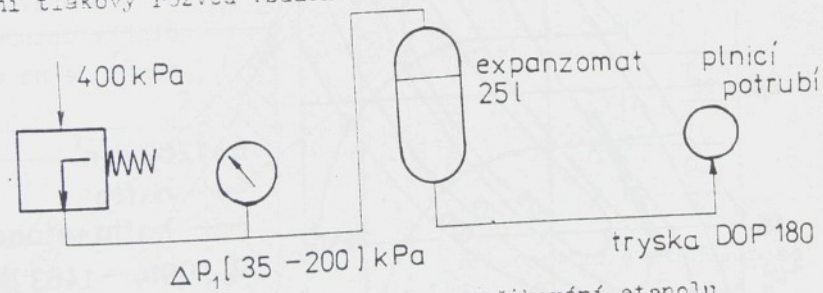
Za těchto předpokladů bude teoretická teplota plnicího vzduchu T_{pl} dle vztahu

$$T_{pl} = \frac{M_v c_p T_{D2} - M_e [c_{p1k}(T_2 - T_1) + l_v - c_{p1p} T_2]}{M_v c_p + M_e c_{p1p}}$$



Obr. 2 Průběh tepelných změn v plnicím vzduchu

U motoru M 2.4 R se navržený systém dopravy etanolu provádělí nízkotlakým průběžným akumulačním vstřikováním etanolu do plnicího potrubí. Při experimentálních zkouškách byl používán stabilní tlakový rozvod vzduchu .



Obr. 3 Schema uspořádání nízkotlakého vstřikování etanolu

Ke vstřikování byla použita jednootvorová tryska DOP 180 bez uzavírací jehly a ruční regulace tlakového vzduchu na přívodu do expanzní nádrže s pryžovým vlnovcem v rozmezí přetlaku 35 - 200 kPa. Měření spotřeby etanolu podle průběhu cejchovní charakteristiky průtoku vstřikovací tryskou zjištěné při výstřiku do volného prostoru. Tímto způsobem bylo možné dopravit do proudu plnicího vzdu-

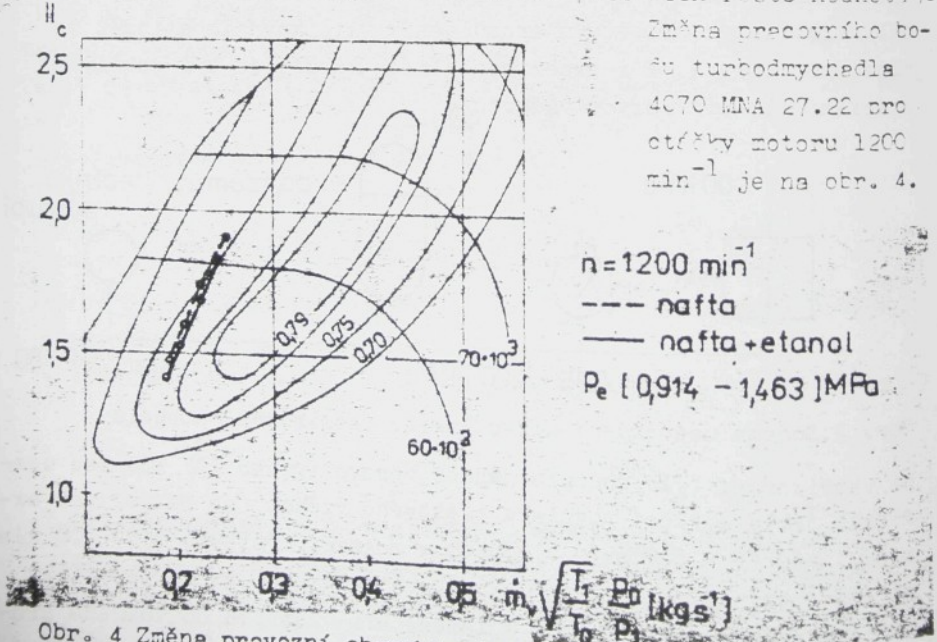
chu množství etanolu nahrazující až 30% nafty.

Při zkouškách se ověřovalo vstřikování, jak do spojovacího potrubí za mezichladič vzduchu, tak přímo před přírubu plnicího potrubí motoru. Při zkouškách bylo použito turbodmychadlo 4070 MNA 27.22. Ověřovací zkoušky se uskutečnily při otáčkách motoru 1000, 1200 a 1400 min^{-1} v rozsahu zatížení p_e = 1,45 MPa. Naměřené výsledky jsou na tab. 1 - 3 a grafech 31 - 33. Z těchto závislostí vyplývá, že při vstřikování etanolu do plnicího potrubí, při otáčkách 1000, 1200 a částečně 1400 min^{-1}, zajišťuje odpaření etanolu snížení teploty plnicího vzduchu na požadovanou hodnotu.

Odpaření etanolu v plnicím potrubí motoru dále způsobuje snížení celkového průtočného množství vzduchu motorem a pokles velikosti celkového stlačení v dmychadle. Vzhledem k průběhu isoentropické účinnosti dmychadla, dmychadlo pracuje v bodě s vyšší hodnotou účinnosti.

Výpočet velikosti přebytku vzduchu λ byl proveden za předpokladu teoretické výhřevnosti etanolu 26.800 kJ/kg, při teoretické spotřebě vzduchu 9,15 kg/kg etanolu. Celkové spotřeba paliva, přepočtené na velikost spotřeby nafty závisí na velikosti náhrady nafty etanolem a při cca 25% náhradě je pokles měrné spotřeby paliva cca 10 g/kWh. Ve všech případech roste hodnota λ.

Změna pracovního bodu turbodmychadla 4070 MNA 27.22 pro otáčky motoru 1200 min^{-1} je na obr. 4.



Obr. 4 Změna provozní charakteristiky turbodmychadla

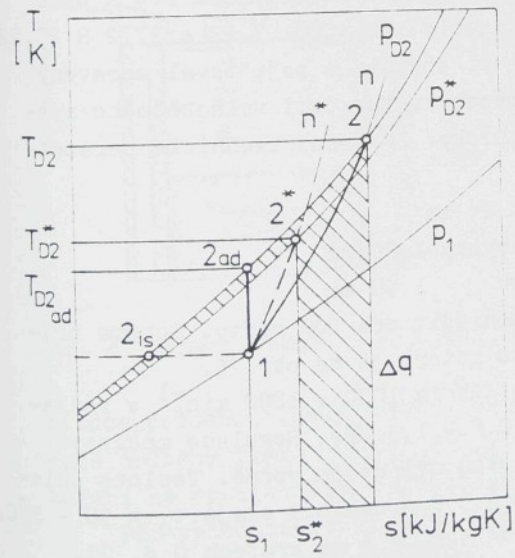
.2 Vstřikování etanolu před plnicí dmychadlo

Pokud se přivádí etanol do tlaku $p_1 = p_b$, dle obr. 1, stavová změna kapalného etanolu se uskutečňuje již v průběhu stlačování vzduchu dmychadlem. Teplo potřebné pro stavovou změnu kapalného etanolu na páru se získává odvodem tepla od stlačované směsi vzduchu a par etanolu ve dmychadle. Odvodem tepla v průběhu komprese se mění velikost polytropického exponentu komprese a uvedené řešení se příznivě projeví ve snížení velikosti práce na stlačení, při současném snížení teploty směsi na výstupu z dmychadla T_{D2}.

Etanol přiváděný do sacího potrubí dmychadla musí splňovat některé požadavky, zejména musí být dopravován do sacího potrubí dmychadla ve formě jemné palivové mlhy, aby nedocházelo ke zvýšenému opotřebení vstupních hran lopatek oběžného kola dmychadla. Pro zmenšení uvedeného vlivu, lze v tomto řešení předpokládat i vhodnou ochranu vstupních hran lopatek nástřikem, nebo použití jiného druhu materiálu na oběžné kolo dmychadla.

Průběh komprese směsi vzduchu a par etanolu je naznačen na obr. 5. Přívod etanolu do sání dmychadla způsobí snížení teploty stlačovaného plynu na výtlaku vlivem změny polytropického exponentu. Pro jeho výpočet byl použit vztah

$$n = \frac{1}{1 - \frac{\ln \frac{T_{D2}}{T_1}}{\ln \frac{P_{D2}}{p_1}}}$$



Obr. 5 Průběh komprese v plnicím dmychadle

Při provozu s etanolem se do vztahu pro výpočet n^* dosadí teplota T^*_{D2} a tlak p^*_{D2}. Pokles kompresní práce na jednotku hmotnosti náplně je pak vyjádřen velikostí šrafované plochy na obr. 5.

Změnu kompresní práce na jednotku hmotnosti lze stanovit ze vztahu

$$\Delta q = a - a_{chl} = c_{pk}(T_{ve} - T_1) + l_v + c_{pp}(T^*_{D2} - T_{ve})$$

Práce na stlačení jednotkové hmotnosti při provozu na naftu je

$$a = \frac{\varkappa}{\varkappa - 1} p_1 v_1 \left[\left(\frac{p_{D2}}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right]$$

a při provozu s přívodem etanolu

$$a_{chl} = \frac{\varkappa}{\varkappa - 1} p_1 v_1 \left[\left(\frac{p^*_{D2}}{p_1} \right)^{\frac{n^*-1}{n^*}} - 1 \right]$$

Pro hodnocení průběhu komprese je použita isoentropická účinnost komprese dle vztahu

$$\eta_{is} = \frac{T_{D2ad} - T_1}{T_{D2} - T_1} \quad ; \quad T_{D2ad} = \left(\frac{p_{D2}}{p_1} \right)^{\frac{\varkappa - 1}{\varkappa}}$$

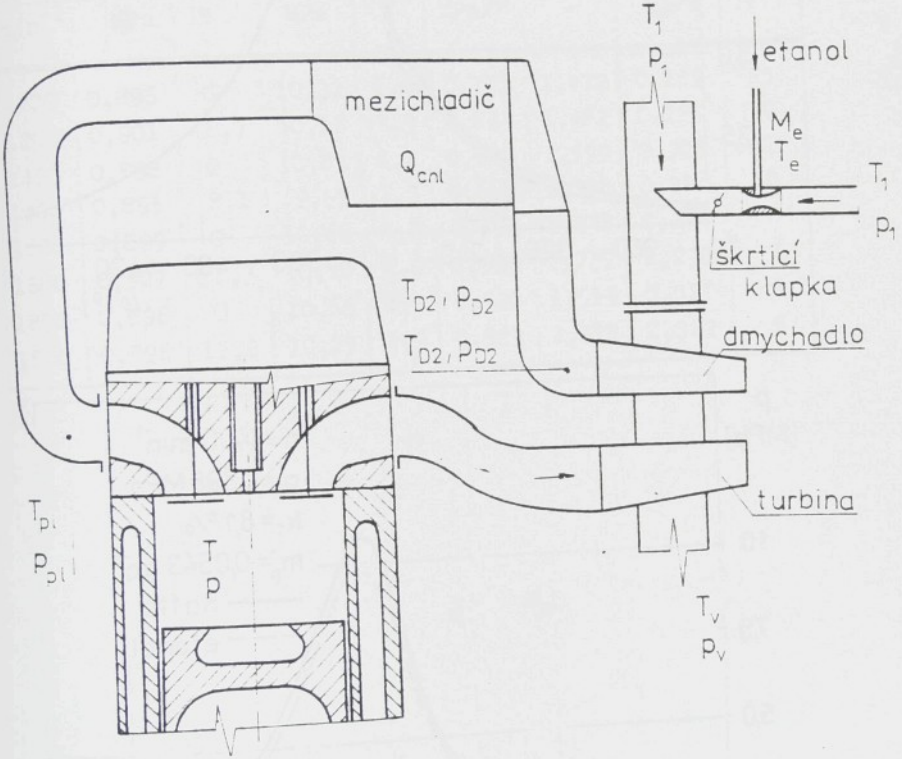
Experimentální ověření tohoto uspořádání na motoru M 2.4 R bylo prováděno při použití turbodmychadla MNA 4070 27.22 a 3772 R 27.22. Dopravu etanolu do sacího potrubí dmychadla zajišťoval upravený karburátor Jikov BS 3109 s vyřazenými funkcemi volnoběžného systému, sytiče a akcelerační pumpičky. Základní technické parametry karburátoru:

průměr difusoru 24 mm
průměr hlavní trysky 1,80 mm
průměr vzdušníku 1,90 mm

Tímto uspořádáním bylo možné nahradit cca 20% nafty. Schema přívodu etanolu a olnicího systému motoru je na obr. 6.

Měření se provádělo při otáčkách 1000 - 1800 min^{-1} v rozsahu středních užitečných tlaků 0,8 - 1,3 MPa. Regulace množství dodávaného etanolu škrticí klapkou ovládanou ručně. Teplota chladicí vody při zkouškách $t_w = 80 \pm 5^{\circ}C$ a teplota oleje $t_o = 90 \pm 5^{\circ}C$. Naměřené hodnoty jsou uvedeny na tab. 4 a na grafech G 4, G5.

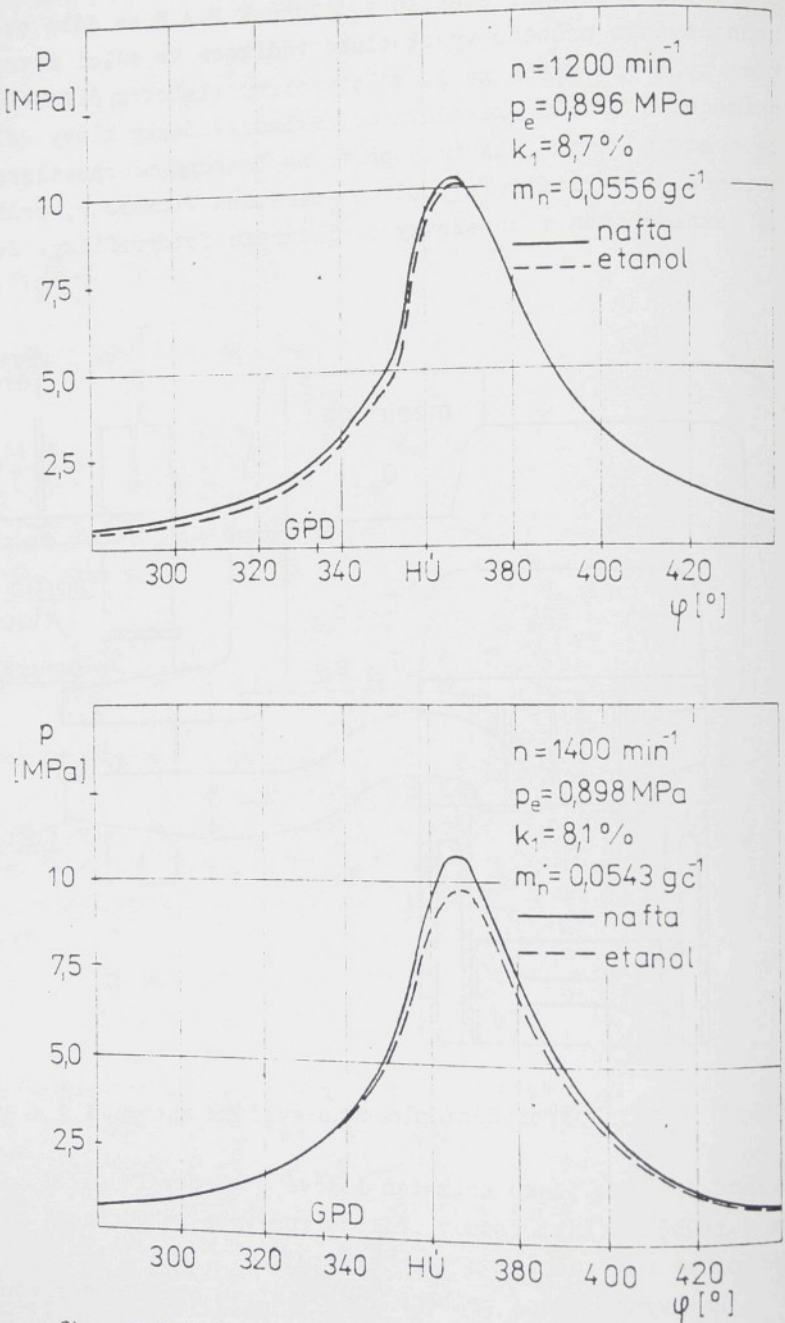
Charakter spalování etanolu v motoru M 2.4 R se dále ověřoval vyhodnocováním průběhu vysokotlaké indikace ve válci motoru. Indikace byla provedena na 1. válci motoru tlakovým piezoelektrickým snímačem 6 QP 500 umístěným do základové desky hlavy válce tak, že pracovní náplň působila přímo na funkční plochu tlakového snímače. K měření byla použita aparatura Vibrometr, průběh tlaků zaznamenáván z obrazovky osciloskopu fotograficky. Synchro-



Obr. 6 Scheme uspořádání plnicího systému motoru M 2.4 R

nizace průběhu tlaku snímačem časové základny TW 12/2A. Naměřené průběhy tlaků jsou v příloze zprávy a vyhodnocení na tab.5. Měření se uskutečnilo s turbodmychadlem 3772 R 27.22.

Při vyhodnocení průběhu spalování se použilo následujících parametrů: maximální spalovací tlak p_{max}, tvrdost chodu $\Delta p/\Delta\varphi$ a poloha maximálního tlaku za HÚ. Indikací byl zjištěn obdobný průběh spalování směsi etanolu a nafty, jako při spalování pouze nafty. Na obr. 7 je provedeno porovnání průběhů tlaků ve vál-



Obr. 7 Průběh tlaků ve válci motoru M 2.4 R

ci pro otáčky n = 1200 a 1800 min^{-1} a p_e = 0,896 MPa. Nižší hodnota maximálního tlaku při spalování směsi paliv je dána, jednak vlastním spalováním části etanolu, jednak poklesem teploty plnicího vzduchu za dmychadlem vnitřním chlazením.

Tab. 5 Závislost parametrů průběhu hoření na obsahu etanolu ve směsi.

n	p_e	k_l	p_{max}	φ	$\Delta p/\Delta\varphi$	π_c	$\dot{m}_v$	k
min^{-1}	MPa	%	MPa	°	MPa/°	-	kg/s	%
1200	0,896	0	10,32	6,0	0,731	1,472	0,189	25
1200	0,901	8,7	10,16	7,3	0,833	1,482	0,185	22
1400	0,898	0	10,83	6,4	0,689	1,599	0,225	11
1400	0,896	8,1	9,99	7,3	0,698	1,588	0,224	10
1600	0,899	0	10,66	4,7	0,593	1,738	0,274	8
1600	0,907	11,3	10,50	4,0	0,529	1,737	0,270	7
1800	0,896	0	10,66	4,7	0,520	1,919	0,327	8
1800	0,896	12,2	10,25	4,7	0,583	1,918	0,322	6

4.0 ZÁVĚR

Experimentálními zkouškami se prokázala možnost provozu motoru M 2.4 R na směs paliv nafta-etanol, bez konstrukčních změn spalovacího prostoru, až do náhrady 20 - 25% nafty a to, jak při vstřikování etanolu za dmychadlo, tak do sání dmychadla. V krátkodobém provozu s přívodem etanolu do sání dmychadla nebyl zjištěn negativní vliv na vstupní hrany oběžného kola dmychadla.

Ověřovaný způsob provozu motoru přináší současně snížení teploty plnicího vzduchu tak, že v oblasti nižších otáček není nutné použití mezichladiče. Mezi příznivý vliv patří i pokles stupně kouření motoru, ostatní složky škodlivých emisí výfukových plynů nebyly zjišťovány.

POUŽITÉ OZNAČENÍ

a	kompresní práce při provozu na naftu	/ J /
a_{ch}	kompresní práce při provozu na směs	/ J /
c_{pk}	měrná tepelná kapacita kapalného etanolu	/J/kg K /
c_{pp}	měrná tepelná kapacita par etanolu	/J/kg K /
c_p	měrná tepelná kapacita vzduchu	/J/kg K /
k_l	procento náhrady nafty etanolem	/ % /
k	stupeň kouření motoru	/ % /
l_v	skupenské teplo varu etanolu	/ J/kg /
m_v	hmotnostní průtok vzduchu dmychadlem	/ kg/s /
M_e	hmotnostní množství etanolu	/ kg/h /
$m_{pe\ n}$	měrná spotřeba nafty	/g/kWh /
n	polytropický exponent komprese	/ - /
p_l	procento provozu motoru na naftu	/ % /
p_{pl}	plnicí tlak	/ kPa /
p_{D2}	tlak za dmychadlem	/ kPa /
p_{max}	maximální spalovací tlak	/ MPa /
T_{D2}	teplota vzduchu za dmychadlem	/ K /
$T_{D2\ ad}$	isoentropická teplota vzduchu	/ K /
T_{pl}	plnicí teplota vzduchu	/ K /
η_{is}	isoentropická účinnost komprese	/ - /

LITERATURA

/ 1 / ECKLUND, E. E. - BECHTOLD, R. L.: State of the Art Report on the Use of Alcohols in Diesel Engine. SAE Tech. Pap. Ser., 1984, č. 840118

/ 2 / JOHNSON, R. T. - STOFFER, J. O.: Performance of Stabilized Diesel Fuels Containing Alcohols and Water in Single and Multicylinder Direct Injection Engines. SAE Tech. Pap. Ser., 1983, č. 830557

/ 3 / MOC, L.: Vliv spalování etanolu na parametry přeplňovaného vznětového motoru. In: Sborník prací Vysoké školy strojní a textilní v Liberci 1986.

/ 4 / ŠINTÁK, J.: Podklady pro zpracování matematického modelu. /Výzkumná zpráva./ Liberec 1986. VŠST. Fakulta strojní.

Tab. 1 Vstřikování etanolu za mezichladič, tryska DOP 180
$n = 1000\ min^{-1}$, $p_b = 97{,}9$ kPa

p_e	Δp_l	t_{nl}	M_e	p_l	$m_{pe\ n}$	$m_{pe\ c}$	λ	η_c	$\dot{m}_v$
MPa	kPa	°C	kg/h	%	g/kWh	g/kWh	-	-	kg/s
0,914	35,7	52	9,00	80,07	197,1	245,3	1,50	1,37	0,1497
1,005	46,3	47	9,85	79,32	199,6	239,1	1,46	1,43	0,1557
1,188	40,6	62	11,60	83,86	202,7	242,6	1,30	1,56	0,1672
1,371	54,4	56	11,20	81,02	190,9	235,9	1,22	1,70	0,1758
0,914	-	64	-	100	241,4	241,4	1,49	1,40	0,1517
1,005	-	68	-	100	239,6	239,6	1,39	1,45	0,1544
1,188	-	63	-	100	246,6	246,6	1,24	1,61	0,1683
1,371	-	55	-	100	236,7	236,7	1,25	1,71	0,1872

Tab. 2 Vstřikování etanolu za mezichladič, tryska DOP 180
$n = 1200\ min^{-1}$, $p_b = 97{,}3$ kPa

0,914	35,6	65	7,95	80,3	179,0	219,4	1,74	1,45	0,1855
1,097	41,1	65	9,05	81,9	179,7	217,6	1,67	1,57	0,2001
1,280	55,4	64	10,20	84,2	184,0	220,5	1,45	1,72	0,2189
1,463	64,1	67	10,90	75,0	164,5	206,2	1,64	1,84	0,2340
0,914	77,8	65	12,60	83,8	148,8	207,0	1,82	1,41	0,1852
1,097	74,5	65	12,25	71,2	156,2	207,5	1,62	1,52	0,2007
1,280	88,9	64	13,90	71,4	155,9	209,3	1,55	1,68	0,2222
1,463	100,1	62	15,70	72,4	158,7	208,0	1,46	1,84	0,2420
0,914	-	66	-	100	225,2	225,2	1,67	1,48	0,1942
1,097	-	65	-	100	219,4	219,4	1,64	1,60	0,2108
1,280	-	65	-	100	219,6	219,6	1,45	1,75	0,2312
1,463	-	66	-	100	219,4	219,4	1,38	1,91	0,2512

Tab. 3 Vstřikování etanolu za mezichladič, tryska DOP 180
$n = 1400\ min^{-1}$, $p_b = 95,8$ kPa

p_e	Δp_l	t_{pl}	$\dot{M}_e$	p_l	$m_{pe\ n}$	$m_{pe\ c}$	λ	η_c	$\dot{m}_v$
MPa	kPa	°C	kg/h	%	g/kWh	g/kWh	-	-	kg/s
0,914	55,3	64	10,2	76,6	190,8	210,6	1,90	1,57	0,2269
1,097	68,4	64	11,6	77,8	188,9	210,4	1,76	1,74	0,2527
1,280	83,7	64	13,2	77,7	186,9	207,5	1,67	1,93	0,2758
1,463	113,0	65	16,4	75,9	182,9	206,9	1,61	2,06	0,2989
0,914	-	64	-	100	217,6	217,6	1,83	1,62	0,2352
1,097	-	65	-	100	217,0	217,0	1,68	1,79	0,2581
1,280	-	65	-	100	214,6	214,6	1,59	1,95	0,2825
1,463	-	66	-	100	214,5	214,5	1,54	2,14	0,3129

4 Parametry oběhu plnicího dmychadla 3772 R 27.22 motoru M 2.4 R při stlačování směsi vzduch - etanol

a/ $n = 1000\ min^{-1}$, $p_e = 1{,}09$ MPa

1	k_1	T_{D2}	$T_{D2\ sd}$	π_c	n_v	η_{is}	$\dot{m}_v$
C	%	K	K				kg/s
9	0	359,1	343,5	1,56	1,62	0,726	0,2188
8	7,4	352,1	340,7	1,54	1,56	0,776	0,2158
7	14,2	345,1	339,3	1,53	1,48	0,871	0,2157
6	19,0	339,6	336,8	1,51	1,43	0,930	0,2148

b/ $n = 1200\ min^{-1}$, $p_e = 1{,}28$ MPa

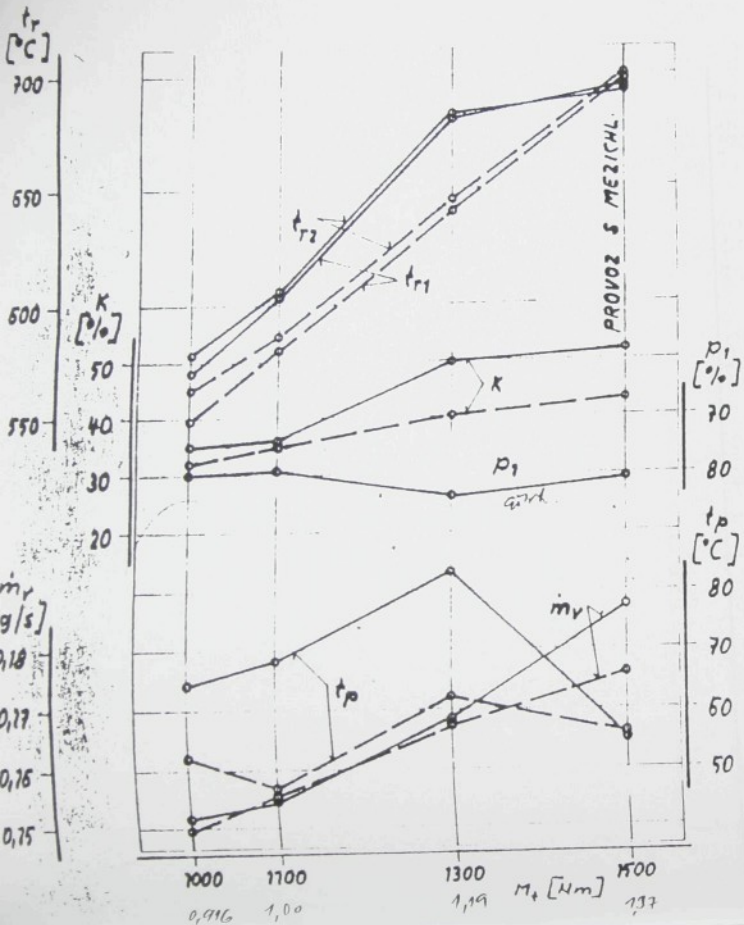
	0	387,1	364,4	1,97	1,86	0,774	0,2555
	9,2	375,1	362,4	1,88	1,85	0,780	0,2506
	15,9	367,1	354,7	1,87	1,81	0,890	0,2567

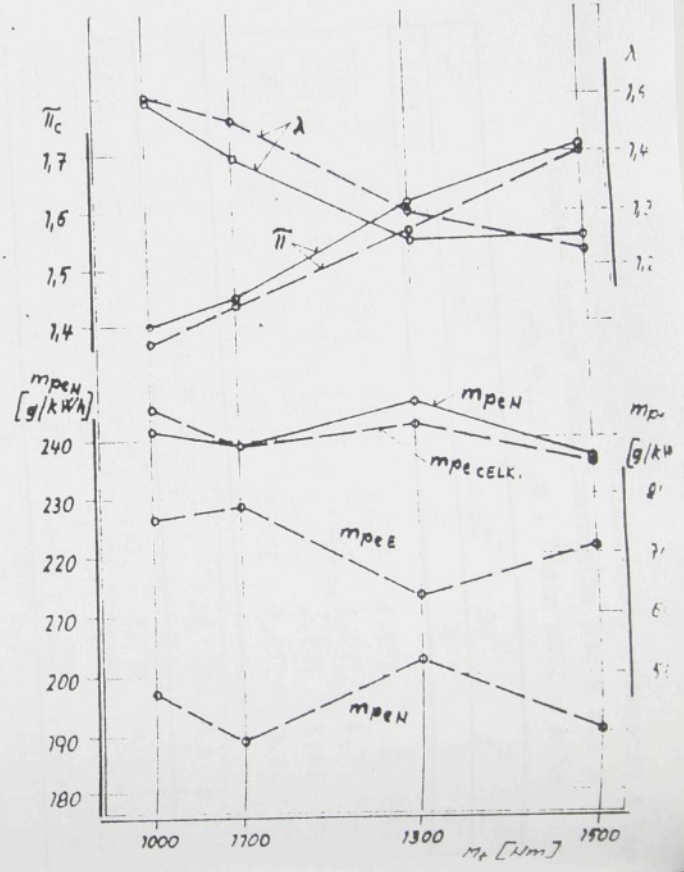
c/ $n = 1400\ min^{-1}$, $p_e = 1{,}08$ MPa

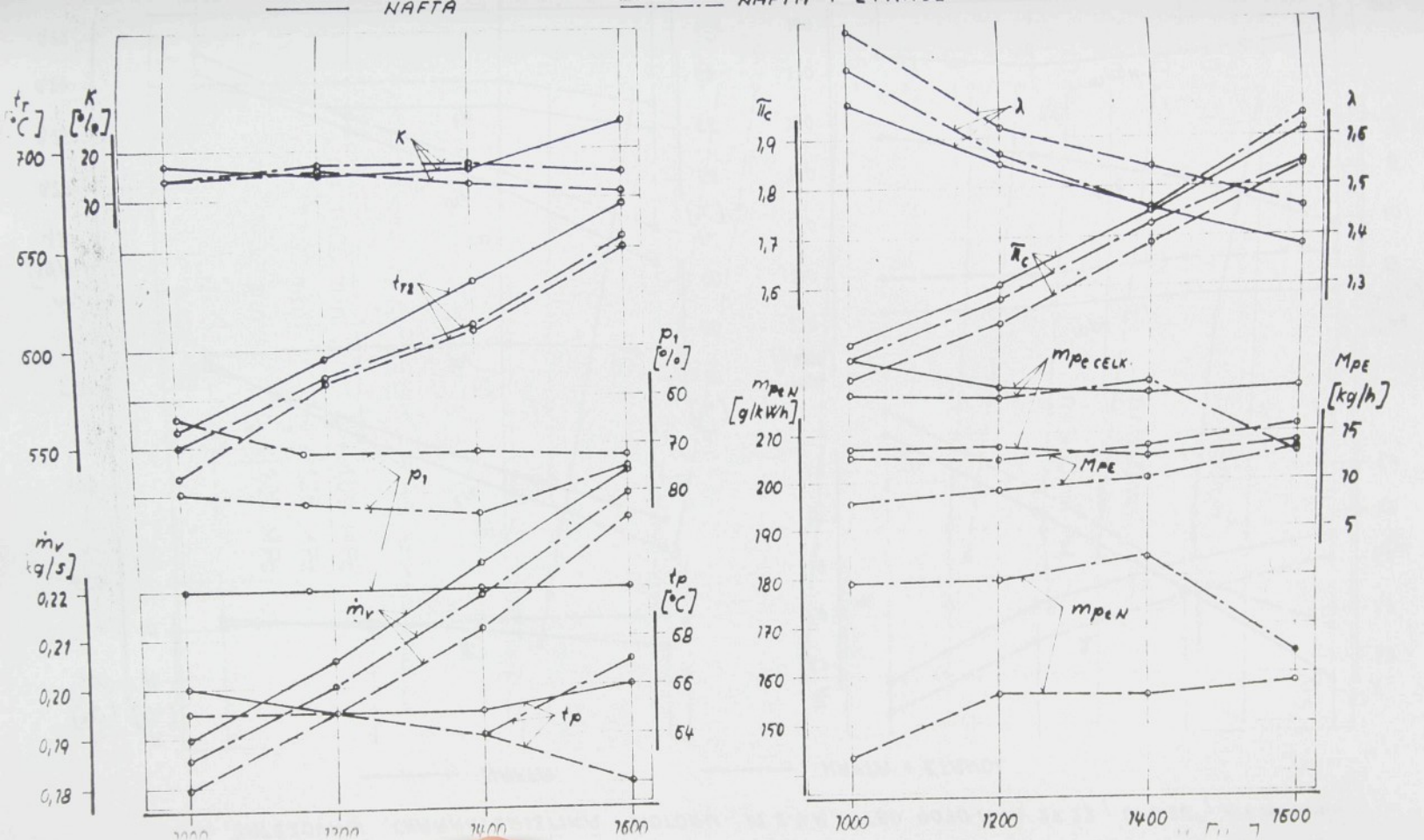
	0	375,1	354,1	1,82	1,61	0,726	0,2816
	7,9	368,1	354,1	1,82	1,54	0,793	0,2816
	14,9	363,1	353,8	1,80	1,49	0,854	0,2832
	17,8	363,1	358,3	1,79	1,45	0,913	0,2841

ZATĚŽOVACÍ CHARAKTERISTIKA MOTORU M 2.4 R TBD 4070 MNA 27.22 ; ϑPD 26° ; n = 1000 min⁻¹

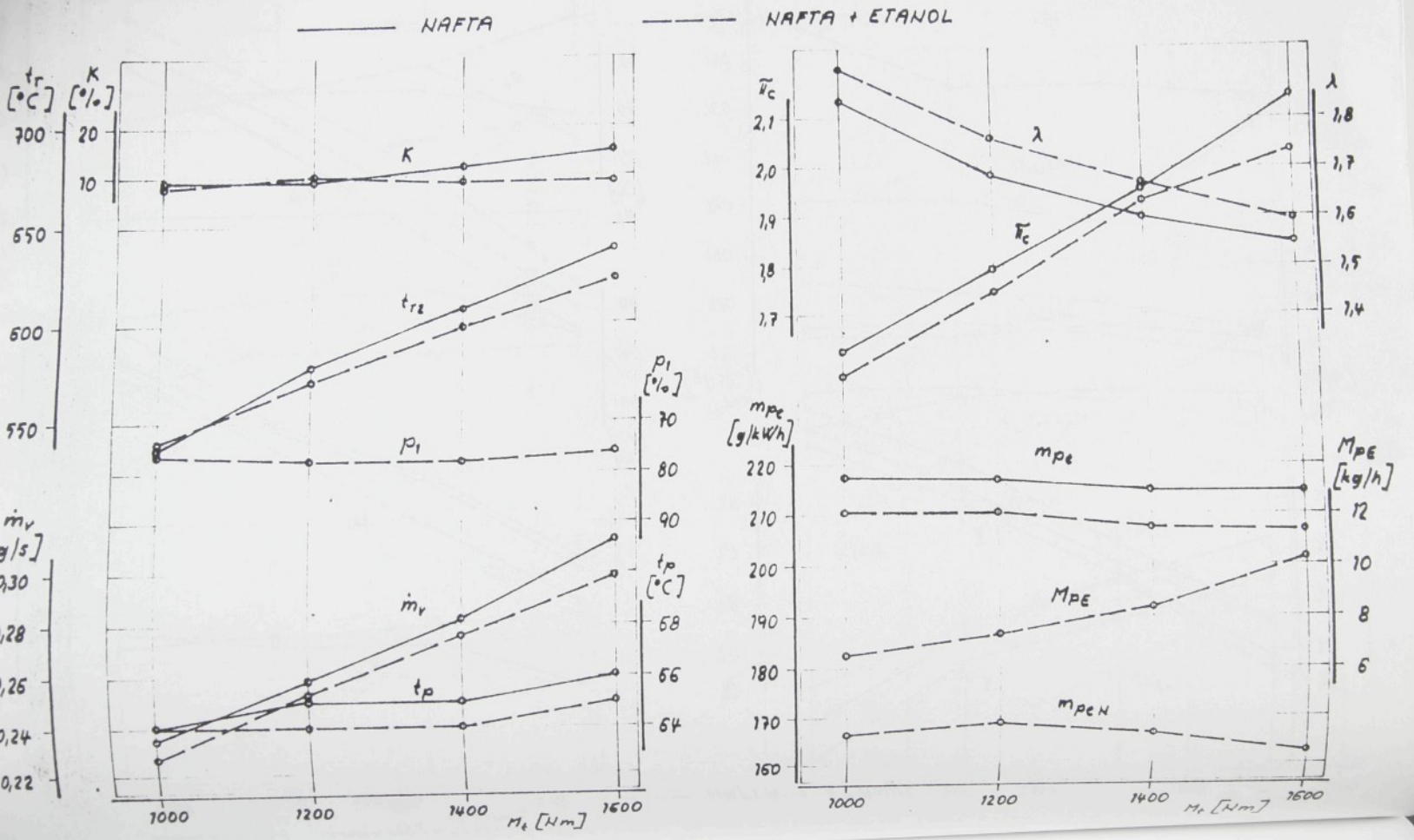
——— NAFTA – – – – – NAFTA + ETANOL

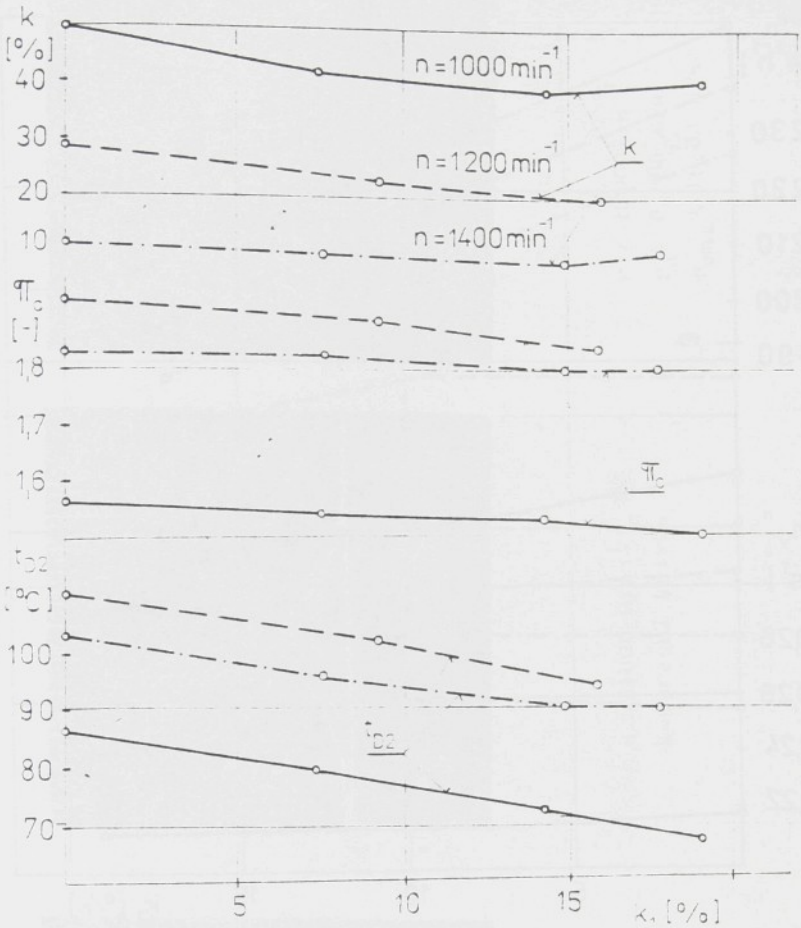





NAFTA
t_r [°C]
K [%]
t_{r2}
p_1 [%]
$\dot{m}_v$ [kg/s]
t_p [°C]
$\bar{\eta}_c$
$\bar{R}_c$
λ
m_{pe} CELK
m_{pe} N
M_{pE} [kg/h]
1000
1200
1400
1600

ZATĚŽOVACÍ CHARAKTERISTIKA MOTORU M 2.4 R TBD 4070 MNA 27.22 ; GPD 26° ; n = 1400 min⁻¹





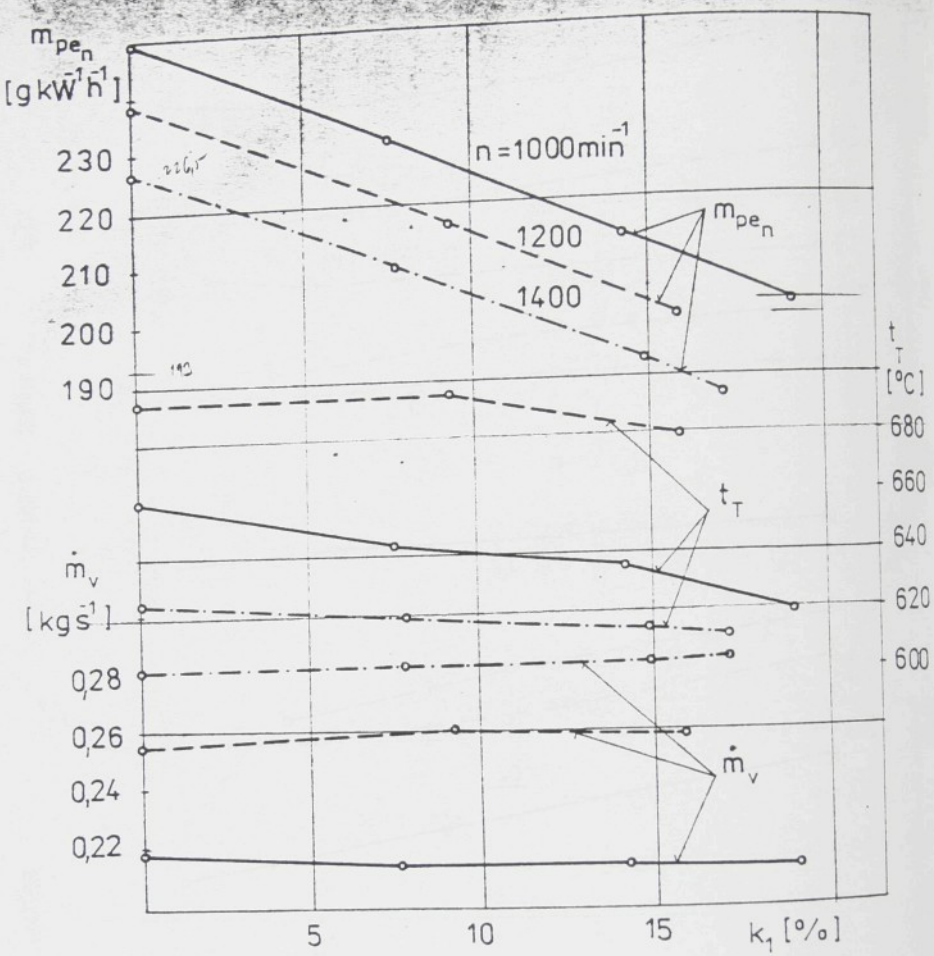
[illegible] [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] [illegible]

[illegible] [illegible]

$n = 1000\ min^{-1}$ $p_e = 1{,}09$ MPa

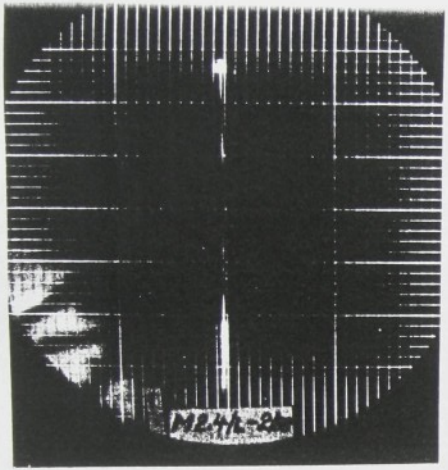
$n = 1200\ min^{-1}$ $p_e = 1{,}28$ MPa

$n = 1400\ min^{-1}$ $p_e = 1{,}08$ MPa



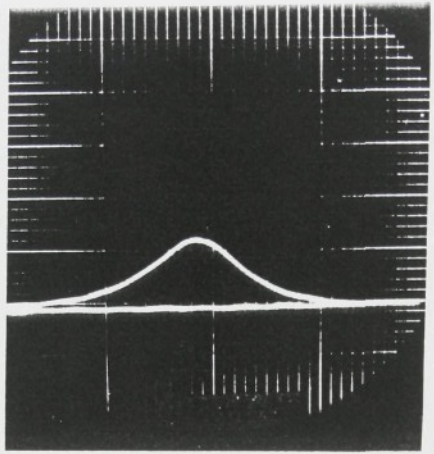
Průběh parametrů motoru M 2.4 R při dopravě etanolu před dmychadlo

n = 1000 min^{-1}	p_e = 1,09 MPa
n = 1200 min^{-1}	p_e = 1,28 MPa
n = 1400 min^{-1}	p_e = 1,08 MPa



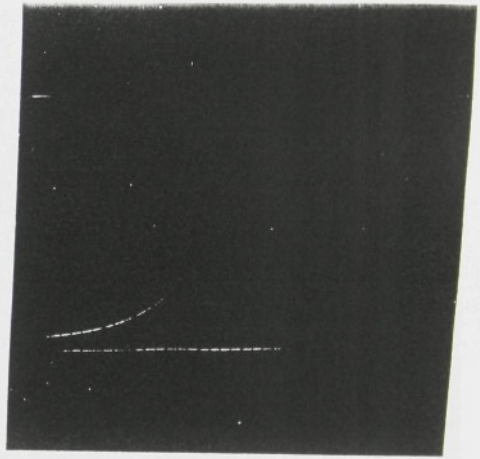
kontrolní cejchování

Δp = 15 MPa



n = 1000 min^{-1}

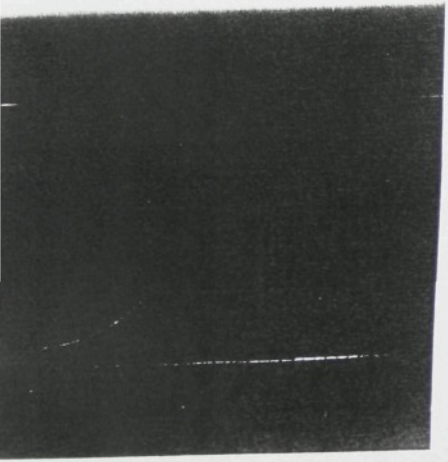
kompresní křivka

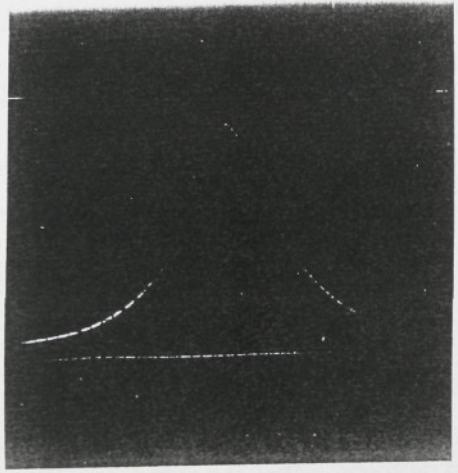


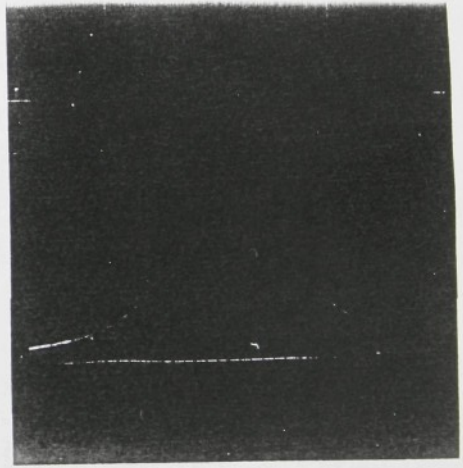
n = 1200 min^{-1}

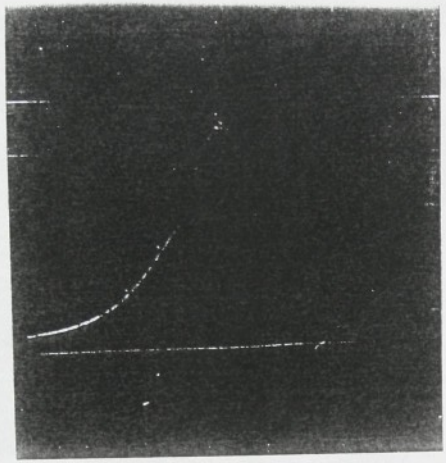
p_e = 0,896 MPa

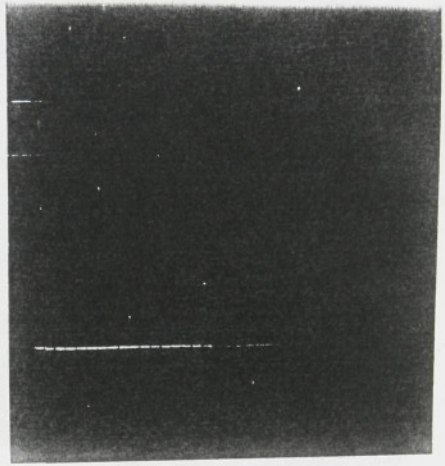
p_{max} = 10,32 MPa

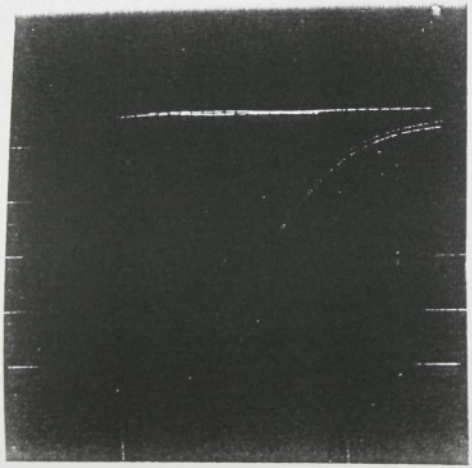


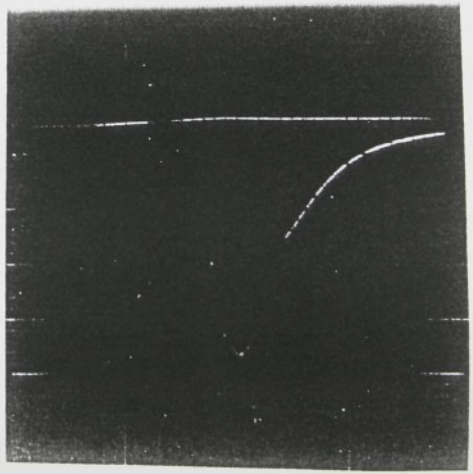


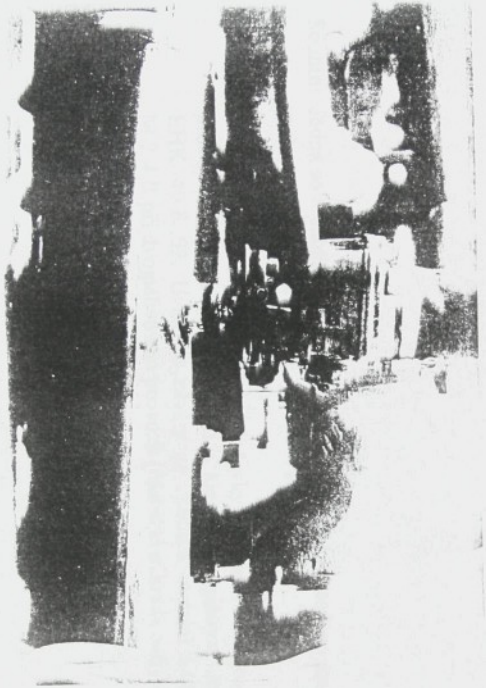


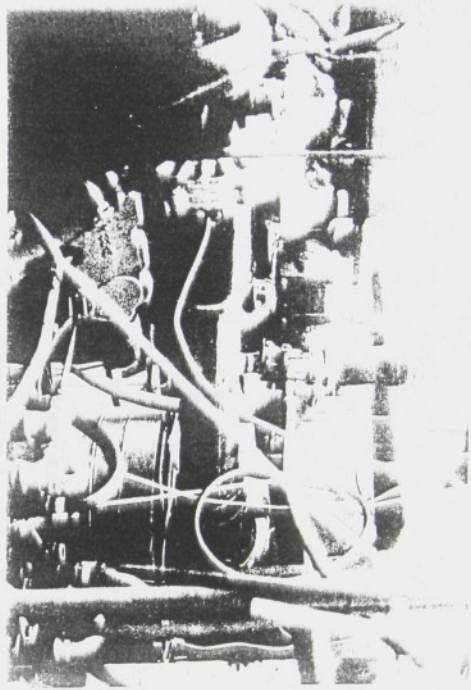












Příloha P 5

Alternativní paliva pro vznětové motory v ČSFR

Souhrn: Jedná se o publikovaný článek na 22. konferenci kateder a pracovišť spalovacích motorů v Praze, ČVUT v roce 1991.

V článku jsou formulovány požadavky na řešení vznětového motoru provozovaného na alternativní paliva, který bude splňovat limity předpisu EHK 49 R .02. Uvádí se závěry ze zkoušek motorů LIAZ M 634 a M 2.4 R při dvojpalivovém provozu (částečná náhrada nafty etanolem).

ALTERNATIVNÍ PALIVA PRO VZNĚTOVÉ MOTORY V ČSFR

Ing. Lubomír MOC,CSc., Ing. Josef LAURIN, CSc.
Vysoká škola strojní a textilní v Liberci
katedra strojů průmyslové dopravy

Úvod

Vycházíme-li z objemu světových zdrojů ropy, lze očekávat, že ropný produkt nafta bude ještě dlouhou dobu nejvýznamnějším a převládajícím palivem pro vznětové vozidlové motory. Přesto se pro vznětové motory hledají i jiná paliva. Snahy o využití alternativních paliv motivují v současné době zhruba tři hlavní aspekty a to ekonomické, ekologické a hledání perspektivního paliva, jako náhrady za naftu po vyčerpání ropných zdrojů.

Ekonomický přínos alternativních paliv spočívá, jednak v náhradě nafty palivy, jejichž cena je nižší, jednak ve využití paliv z netradičních, zejména místních zdrojů. Ekologický aspekt vycházející z očekávaného snížení škodlivých emisí motorů ve srovnání s naftovými motory, bývá často nekriticky přeceňován. Za perspektivní náhradu nafty je v současné době pokládán vodík.

Za alternativní paliva, která připadají v úvahu pro současné naftové motory, včetně paliv, která vyžadují rekonstrukci původního vznětového motoru na zážehový, lze v ČSFR považovat následující:

1. plynná paliva - metanová paliva (zemní plyn a bioplyn),
   - tekuté rafinované plyny (propan, butan a jejich směsi).
2. kapalná paliva - alkoholová (etanol a metanol),
   - metylester řepkového oleje.

Vhodnost a použitelnost paliv lze hodnotit podle jejich dostupnosti a ceny, podle vlastností a z nich vyplývajících požadavků na změny původního naftového motoru a vozidla (rozsah a cena příslušenství motoru, rozsah konstrukčních změn

původního naftového motoru, obtížnost umístění paliv na vozidle), podle provozních parametrů a spolehlivosti motoru a vozidel (výkon motoru, dojezd vozidla, úroveň škodlivých emisí).

Jedním z rozhodujících kriterií pro uplatnění alternativních paliv jsou ekologické parametry motorů stanovené stále se zpřísňujícími předpisy EHK č. 49 a č. 15. Požadavky na plnění těchto předpisů se odráží v nárocích na příslušenství motorů, jako např. katalyzátory, elektronicky řízená tvorba palivové směsi.

Tabulka na str. 3 dává přehled pracovních způsobů motorů, zařízení potřebných k tvorbě palivové směsi a odstraňování škodlivin z výfukových plynů, způsobů uložení paliv na vozidle a dalších údajů o motorech na naftu, metanol, metylester řepkového oleje, zemní plyn a směs propan-butanu. Od takto koncipovaných motorů je možné očekávat i splnění emisních požadavků EHK.

Problematice použití plynných paliv je na VŠST věnována pozornost již řadu let a výsledky prací jsou průběžně publikovány, např. /1/. V předkládaném příspěvku budou v následující části uvedeny některé zkušenosti s uplatněním alkoholových paliv u naftových motorů.

Použití alkoholových paliv u vznětových motorů

Pro použití alkoholových paliv pro vznětový motor jsou známé různé způsoby a jejich aplikace byla ověřena zejména v zemích s dostatečnými zdroji alkoholových paliv. Pro tyto aplikace přichází v úvahu následující varianty:

- jednopalivový provoz vznětového motoru na alkoholové palivo se zlepšenou vznětlivostí pomocí přísad,
- dvoupalivový provoz nafta-alkohol s oddělenými vysokotlakými vstřikovacími systémy (směs je vytvářena ve válci motoru),
- dvoupalivový provoz se směsí vzduch-alkohol se zapalovací dávkou nafty (směs je částečně vytvářena v průběhu sacího zdvihu).

	Nafta	Metanol	Metylester řepkového oleje	Zemní plyn stlačený	Bioplyn zkapalněný	Tekuté rafinované plyny 50 % P - 50 % B
Pracovní způsob motoru	vznětový přeplňovaný s mezichladičem	zážehový	vznětový	zážehový přeplňovaný		zážehový
Zařízení k dávkování paliva	sdružená vstřikovací jednotka elektronicky řízená	vstřikovací čerpadlo	vstřikovací čerpadlo	směšovač event. řízený sondou (chudá směs)		směšovač řízený sondou
Zařízení k odstraňování škodlivin z výf. plynů	---	oxidační neřízený katalyzátor	---	oxidační katalyzátor		trojcestný katalyzátor
Uložení paliva na vozidle	standartní nádrž	standartní nádrž dvonásobný obsah	standartní nádrž	tlak.nádrž zkuš. tlak 2,5 MPa	kryogenní nádrže zkuš. tlak 1 MPa	tlakové nádrže zkuš..tlak 2,5 MPa
Stav paliva	kapalina	kapalina	kapalina	plyn tlak 20 MPa	kapalina teplota -163 °C tlak 0,5 MPa	kapalina max. tlak 1,8 MPa
Dolní výhřevnost MJ.kg	34,9	15,63	37	47,7		46

Možná náhrada nafty, podle jednotlivých způsobů přípravy a spalování, ve dvojpalivovém provozu vznětového motoru (v procentech energetické náhrady) bývá:

- vysokotlaké vstřikování směsi alkoholu s naftou — náhrada až 20 %,
- oddělené vysokotlaké vstřikování nafty a alkoholu — náhrada až 90 %,
- nízkotlaké vstřikování do sání — náhrada až 40 %.

Problém využití alkoholu spočívá v jeho nízkém cetanovém čísle a v souvisící malé vznětlivosti. Většina systémů používá naftu k vytvoření podmínek pro zapálení směsi t.j. vstřikování zapalovací dávky nafty do spalovacího prostoru.

Pro zkoušky zaměřené na ověření spalování alkoholu ve vznětovém motoru byl použit etanol s obsahem 1 % benzinu. Zkoušky se uskutečnily na motorech s.p. LIAZ Jablonec nad Nisou.

Spalování etanolu v motoru M1 (M634)

Pro motor M 634, motor s přirozeným nasáváním, byly navrženy dvě varianty uspořádání. V obou případech nebyla provedena změna velikosti, ani tvaru spalovacího prostoru a jednalo se o:

a) vysokotlaké vstřikování směsi etanolu a nafty do spalovacího prostoru. Na motoru byly provedeny následující změny:
   - montáž dalšího vysokotlakého čerpadla pro vstřikování etanolu typu PV 6B 9P 215 E; seriově napojené za vstřikovací čerpadlo pro naftu,
   - propojení vytlačného potrubí obou vysokotlakých systémů směšovacím tělesem u vstřikovače.

   Při zkouškách byl nastaven u obou vstřikovacích čerpadel GPD paliva na seriovou hodnotu 29 ^{0} před HÚ, pro vstřikování směsi, vytvořené v tělese vstřikovače, byly použity vstřikovací trysky DOP 115 S 530. Uspořádání se společným vstřikem směsi paliv neumožňovalo dopravu etanolu do spalovacího prostoru úplně oddělit od nafty a tím nebylo možné zvětšit GPD etanolu. Charakteristický průběh parametrů

motoru je na obr. 1 (pro n = 1000 min^{-1}, p_e = 0,576 MPa).

Z provedených zkoušek této varianty lze formulovat následující závěry:

etanolem lze nahradit cca 20 % přivedené energie do oběhu,

- měrná spotřeba paliva klesá růstem náhrady nafty; v oblasti nižších výkonů motoru a nižších otáček dosahuje minimálních hodnot při 5 - 10 % náhradě. Stejná nebo nižší měrná spotřeba paliva však byla v celém rozsahu náhrady,
- růst teploty výfukových plynů, zejména s růstem otáček motoru a zvyšováním procenta náhrady nafty, což souvisí se způsobem spalování, zejména s prodlužováním dohořívání náplně při expanzi (nelze zvýšit konstrukčním řešením GPD etanolu a tím omezit negativní vliv zvyšování průtahu vznícení směsi paliv, způsobený obsahem etanolu).

b) spalování směsi vzduch etanol, která je zapalována dávkou nafty. Zde úprava spočívala:

- v zabudování jednoduchého karburátoru do střední části sacího potrubí motoru,
- v zapalování směsi vstřikováním snížené dávky nafty původní vstřikovací soustavou motoru.

V tomto uspořádání lze dosahované výsledky stručně charakterizovat:

- etanolem lze nahradit cca 20 - 25 % energie přivedené do oběhu,
- výrazným poklesem teploty výfukových plynů,
- poklesem stupně kouření motoru,
- sníženou měrnou spotřebou paliva v celém rozsahu náhrady.

Průběh parametrů motoru charakteristické pro uvedenou variantu řešení je na obr. 2 (n = 1000; p_e = 0,788).

Spalování etanolu v motoru M 2 (M2.4 R)

Pro motor M 2.4 R, přeplňovaný motor s mezichladičem plnicího vzduchu, byly ověřovány následující varianty:

a) nízkotlaké vstřikování etanolu do spojovacího potrubí za mezichladič do částečně ochlazeného plnicího vzduchu,

b) nízkotlaké vstřikování do výtlaku za dmychadlo,
c) přívod etanolu do sání dmychadla pomocí karburátoru.

Doprava etanolu nízkotlakým vstřikováním byla uskutečňována průběžným vstřikováním tryskou DOP 180 bez uzavírací jehly.
Systém vstřikování akumulační s využitím rozvodu tlakového vzduchu s ruční regulací. Navržené zařízení mohlo dopravit do proudu plnicího vzduchu až 40 % energie základního paliva. V uspořádání dle bodu c) byl použit jednoduchý karburátor zabudovaný do sacího potrubí dmychadla.

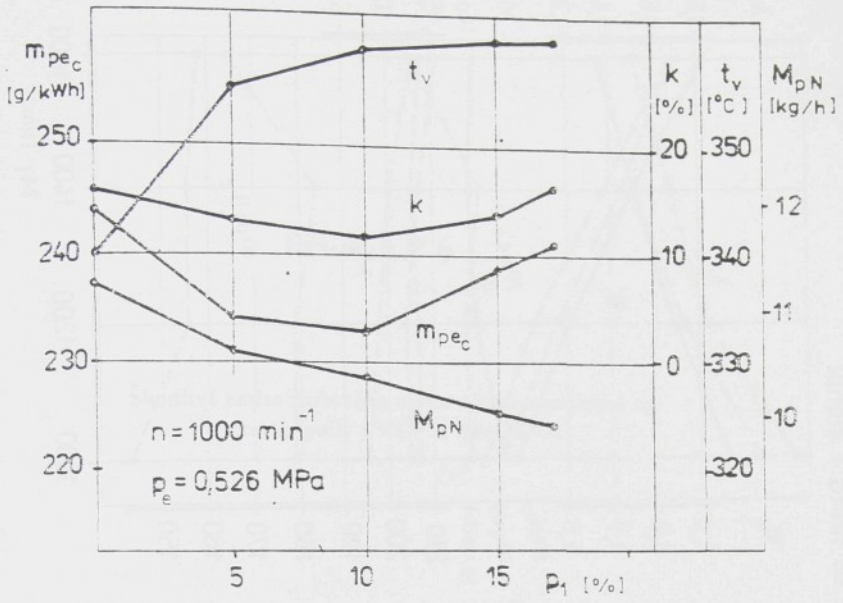
Při zkouškách se ověřovaly změny provozních parametrů motoru při stejných hodnotách efektivního tlaku. Na obr.3 jsou průběhy při otáčkách n = 1200 min^{-1} a různé náhradě nafty.

Provoz přeplňovaného motoru M 2.4 R při použití etanolu lze charakterizovat pro všechna uváděné řešení:
- snížením stupně kouření motoru,
- zvýšením isoentropické účinnosti turbodmychadla,
- snížením měrné spotřeby paliva,
- snížením potřebného chladicího výkonu mezichladiče plnicího vzduchu,
- snížením maximálních spalovacích tlaků,
- zvýšením tvrdosti chodu motoru, které lze optimalizací GPD zapalovací dávky nafty částečně odstranit.

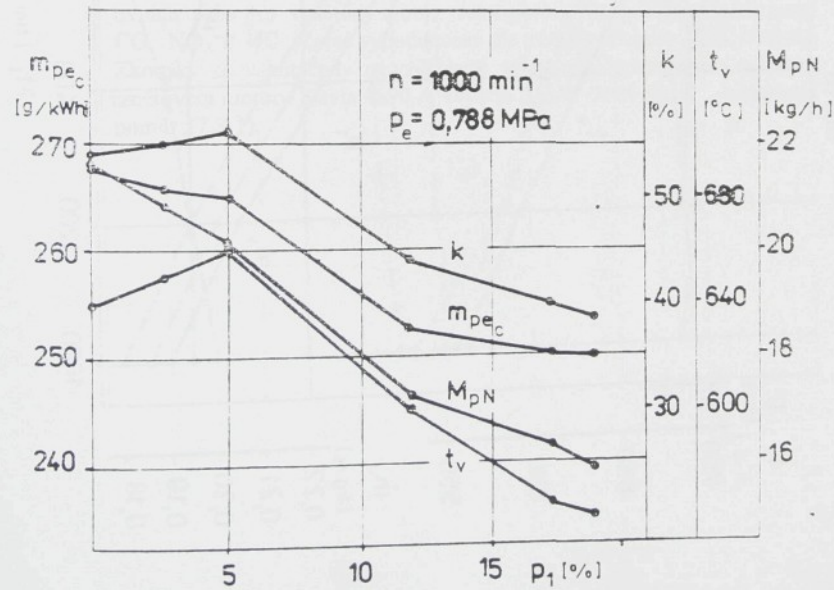
Literatura:

/1/ LAURIN,J.: Vývoj plynových motorů na Vysoké škole strojní a textilní v Liberci. In: Sborník XIX. konference kateder a pracovišť spalovacích motorů čsl. vysokých škol. ČSVTS Ostrava, 1988.

/2/ MOC,L.: Vliv spalování etanolu na parametry přeplňovaného vznětového motoru. In: Sborník vědeckých prací Vysoké školy strojní a textilní v Liberci. Liberec VŠST, 1985, str. 255.

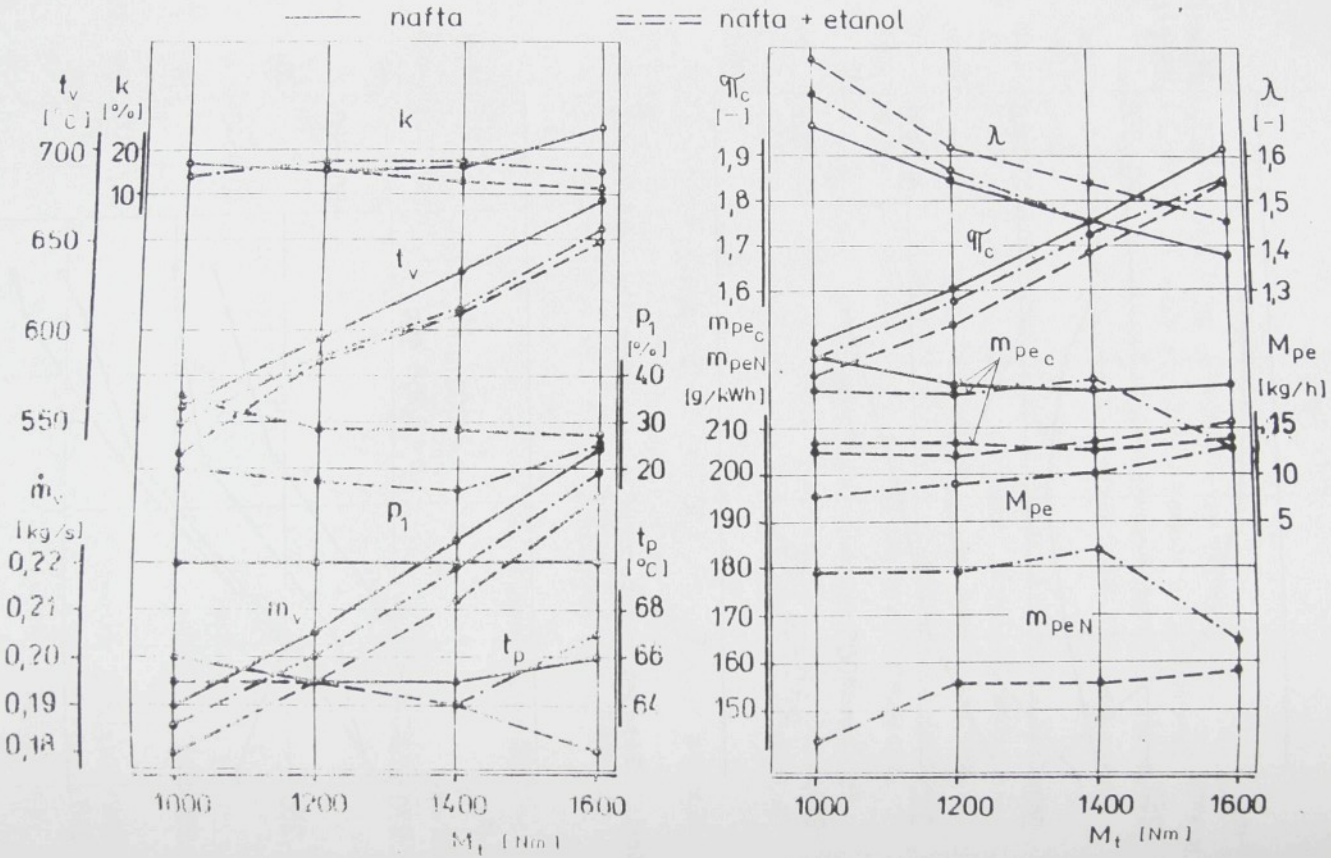


Obr. 1 Parametry motoru M634 - vysokotlaké vstřikování směsi nafta + etanol



Obr..2 Parametry motoru M 634 - uspořádání s karburátorem BS 3109

obr. 3. ZATĚŽOVACÍ CHARAKTERISTIKA MOTORU M 2.4 R, n=1200 min^{-1}, TBD: 4070 MNA 27. 22



Příloha P 6

Škodlivé emise naftového motoru provozovaného na vzorky paliv z VÚPM BENZINA

Souhrn: Zpráva obsahuje zpracované výsledky motorových testů 9 vzorků alternativních paliv pro vznětový motor. Jsou porovnány průběhy složek emisí CO, NO_x a HC včetně vyhodnocení dle režimů předpisu EHK 49 R.02. Zkoušky se uskutečnily na vzduchem chlazeném čtyřválcovém řadovém vznětovém motoru Slavia 4S90 A (výkon 30 kW /3000 min^{-1} , kompresní poměr 17,3:1).

Vysoká škola strojní a textilní v Liberci
Katedra strojů průmyslové dopravy - Státní zkušebna č. 232

Škodlivé emise naftového motoru provozovaného na vzorky paliv z VÚPM BENZINA

Zprávu vypracovali:

Ing. Josef Laurin, CSc.

Ing. Lubomír Moc, CSc.

Číslo úkolu:

62129/370

Vedoucí katedry a ředitel SZ 232:

Doc. Ing. Stanislav Beroun, CSc.

Číslo zprávy:

SM 278/92

Liberec, leden 1993

OBSAH

		str.
1.	Úvod	3
2.	Motor	3
3.	Paliva	3
4.	Metoda zajišťování škodlivých emisí	4
5.	Měřicí zařízení	6
6.	Výsledky měření emisí	6

PŘÍLOHY

P 1 Plynné emise, palivo 1 (tabulka hodnot)
P 2 Plynné emise, palivo 2 (tabulka hodnot)
P 3 Plynné emise, palivo 3 (tabulka hodnot)
P 4 Plynné emise, palivo 4 (tabulka hodnot)
P 5 Plynné emise, palivo 5 (tabulka hodnot)
P 6 Plynné emise, palivo 6 (tabulka hodnot)
P 7 Plynné emise, palivo 7 (tabulka hodnot)
P 8 Plynné emise, palivo 8 (tabulka hodnot)
P 9 Plynné emise, palivo 9 (tabulka hodnot)

P 11 - P 13 Koncentrace plynných škodlivin, paliva 1, 2, 3, 4 (graf)
P 14 - P 16 Koncentrace plynných škodlivin, paliva 1, 5, 6, 8 (graf)
P 17 - P 19 Koncentrace plynných škodlivin, paliva 1, 7, 9 (graf)
P 20 Kouřivost, paliva 1, 2, 3, 4 (graf)
P 21 Kouřivost, paliva 1, 5, 6, 8 (graf)
P 22 Kouřivost, paliva 1, 7, 9 (graf)

1. ÚVOD

Na základě obchodní smlouvy č. VYZK/25/92 (62129/3 uzavřené mezi VÚPM BENZINA s.p., Kolín a VŠST v Liberci byl laboratoři motorů katedry strojů průmyslové dopravy a stá zkušebny 232 provedena měření plynných škodlivin a kouřivos naftového motoru provozovaného na vzorky paliv dodaných VU BENZINA.

Cílem experimentálních prací bylo vzájemné porovnání úrov plynných exhalací (CO, CH, NO_x) a kouřivostí motoru za provozu jednotlivá paliva.

2. MOTOR

Zkoušky probíhaly na motoru SLAVIA 4S90A v. č. 230642, t na řadovém, stojatém, vzduchem chlazeném čtyřválci s přímý vstřikem paliva a rozvodem OHV.

Vrtání válců	90 mm	kompresní poměr	17,3 : 1
zdvih pístů	90 mm	jmenovitý výkon	30 kW
objem válců	2.29 dm^3	jmenovité otáčky	3 000 min
spalovací prostor	AVL.		

Vybavení motoru palivovým příslušenstvím a jeho seřízení p zkouškách jednotlivých vzorků paliv bylo následující:

vzorek paliva	č. 1 až 7,9	č. 8
vstřikovací čerpadlo	4M2486	4M3124 Kv
vstřikovací trysky	DOP 145S428	DOP 145S445
otvírací tlaky trysek	22 + 0,8 MPa	22 + 0,8 MPa
GPD paliva	31°	31°.

3. PALIVA

Při zkouškách byl motor provozován s palivy uvedenými následující tabulce:

Vzorek č.	Označení paliva podle VÚPM BENZINA
1	nafta motorová, běžná jakost
2	nafta motorová + přísada "B"
3	nafta motorová + přísada "C"
4	nafta motorová "KAUČUK" NKD
5	směsné palivo "TATRA"
6	směsné palivo "TATRA" + aceton
7	metylester řepkového oleje SLATIŇANY
8	metanolové palivo + mazivostní přísada
9	směsné palivo metylester řepkového oleje + MTBE

4. METODA ZJIŠŤOVÁNÍ ŠKODLIVÝCH EMISÍ

Motor byl instalován na brzdovém stanovišti s vířivým dynamometrem 2 VD 110.

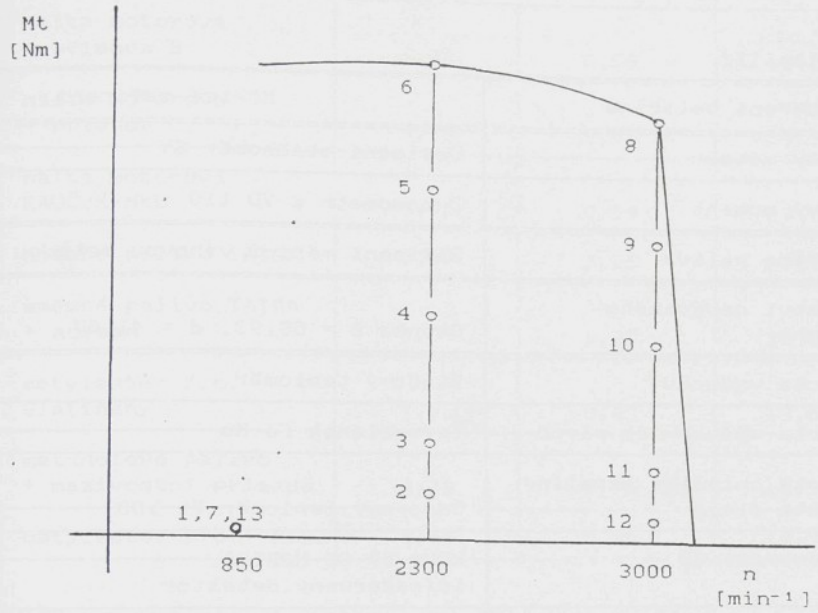
Měření plynných škodlivin CO, CH a NO_x se provádí při režimech "třináctibodového testu", stanoveného předpisem EHK 49. Režimy chodu motoru jsou určeny otáčkami motoru a % z točivého momentu při vnější rychlostní charakteristice motoru, přičemž se vychází z jediné rychlostní charakteristiky motoru pro všechna zkoušená paliva, viz tabulka I a obr. 1. Tento způsob volby otáček a zatížení umožňuje porovnatelnost výsledků měření s různými palivy.

Kouřivost se měří podle předpisu EHK 24 při režimech vnější rychlostní charakteristiky uvedených v tabulce II.

Tabulka I

Režim	Otáčky /min^{-1}/	Točivý moment /Nm/
1	850	volnoběh
2	2 300	10
3	2 300	25
4	2 300	50
5	2 300	75
6	2 300	100
7	850	volnoběh
8	3 000	93
9	3 000	70
10	3 000	46,5
11	3 000	23
12	3 000	9,5
13	850	volnoběh

Obr. 1



Tabulka II

Režim	Otáčky /min-1/	Točivý moment /Nm/
1	1 700	94
2	2 000	97
3	2 300	100
4	2 700	97
5	3 000	93

5. MĚŘICÍ ZAŘÍZENÍ

Použité měřicí zařízení uvádí tabulka III.

Tabulka III

Měřená veličina	Měřicí zařízení
Otáčky motoru	Deviační otáčkoměr SV
Točivý moment	Dynamometr 2 VD 110
Spotřeba paliva	Zařízení měřící váhovou metodou
Množství nasávaného vzduchu	Clonka D = 58,93, d = 41,67
Teplota vzduchu	Rtuťový teploměr
Teplota výfukových plynů	Termočlánek Fe-Ko
Teplota chladicí kapaliny Teplota oleje	Odporový teploměr Pt 100
Koncentrace CO	MEXA 57 GE HORIBA, infračervený detektor
Koncentrace CH	FIDAS 2T HARTMAN-BRAUN plamenoionisační detektor
Koncentrace NO_x	CLA 150 HORIBA chemiluminiscenční detektor
Kouřivost	Opacimetr MK 3 HARTRIDGE

6. VÝSLEDKY MĚŘENÍ EMISÍ

Výsledky měření plynných škodlivin CO, CH a NO_x jsou pro jednotlivá paliva uvedeny v tabulkách v příloze P1 až P9 a grafech v příloze P11 až P19. Kromě otáček a výkonu motoru jsou v tabulkách P1 až P9 uvedeny koncentrace plynných škodlivin (ppm), měrné emise ($g.kWh^{-1}$) a výsledné emise z testu ($g.kWh^{-1}$), vypočtené podle předpisu EHK 49. Pro přehlednější porovnání výsledků zjištěných u jednotlivých vzorků paliv s výsledky zjištěnými u vzorku č. 1 (nafta motorová, běžná jakost), jsou v grafech P11 až P22 uvedeny také výsledky získané se vzorkem č. 1.

Přehled hodnot výsledných emisí z testu ($g.kWh^{-1}$) je v tabulce IV. a přehled hodnot kouřivostí motoru /HSU/ shrnuje tabulka V.

Tabulka IV.

Palivo	CO /g.kWh^{-1}/	CH /g.kWh^{-1}/	NO_x /g.kWh-/
1 nafta motorová b.j.	5,07	0,61	19,49
2 nafta motorová + přísada B	4,48	0,55	19,56
3 nafta motorová + přísada C	4,73	0,65	19,30
4 nafta motorová KAUČUK-NKD	4,55	0,59	19,57
5 směsné palivo TATRA	6,27	1,25	17,06
6 směsné palivo TATRA + aceton	6,07	1,29	16,58
7 metylester ř.o. Slatiňany	7,63	0,43	19,59
8 metanolové palivo + mazivostní přísada	4,78	1,46	16,35
9 metylester ř.o.+ MTBE	5,57	0,50	19,48

Tabulka V.

Palivo	Kouřivost /HSU/ při otáčkách /min^{-1}/				
	1700	2000	2300	2700	3000
1 nafta motorová b.j.	31,5	37	38	44	45
2 nafta motorová + přísada B	30	34	33	39	42
3 nafta motorová + přísada C	30	33	39	41,5	44
4 nafta motorová KAUČUK-NKD	27,5	30	34	38,5	39
5 směsné palivo TATRA	21	20	20	24	25
6 směsné palivo TATRA + aceton	19,5	21	22	22	26,5
7 metylester ř.o. Slatiňany	26,5	26	24	28	31
8 metanolové palivo + mazivostní přísada	2	2	3	3	3
9 metylester ř.o.+ MTBE	24	26	26	27	29,5

Měření se všemi vzorky paliv byla provedena při stejném seřízení palivového příslušenství motoru, tj. seřízení otvíracích tlaků trysek a GPD paliva. Nelze vyloučit domněnku, že při optimálních seřízeních motoru pro jednotlivé vzorky paliv, by se u některých vzorků dosáhlo nižších hodnot škodlivých emisí.

Motor SLAVIA 4S90A, použitý ke zkouškám, měl relativně vysoké emise NO_x, motor není určen k pohonu vozidel na pozemních komunikacích a jeho škodlivé emise nejsou limitovány ustanoveními vyhlášky FMD č. 248/1991 Sb.. Pro porovnávání vzorků paliv z hlediska škodlivých emisí motor vyhovuje.

Příloha P – 1

EMISE MOTORU 4 S 90 A – vzorek č. 1

při režimech EHK č. 49, Rev. 01
Podmínky : měřeno bez sacího filtru pouze
s clonkovou tratí
atmosferický tlak 96,440 kPa
relativní vlhkost 44 – 45 %
teplota sání 20 °C
palivo – NM b.j.

č.	n	P_e	NO_x		CO		CH	
	1/min	kW	ppm	g/kWh	ppm	g/kWh	ppm	g/kWh
1	850	0,44	306	55,61	800	104,14	62	3,99
2	2300	2,41	388	35,03	600	38,96	88	2,82
3	2300	6,02	585	21,22	300	7,78	102	1,31
4	2300	12,04	895	16,30	200	2,59	115	0,73
5	2300	18,06	2048	24,74	300	2,54	120	0,50
6	2300	24,08	2144	19,78	900	5,76	170	0,53
7	850	0,44	452	82,15	850	110,64	65	4,18
8	3000	29,22	1779	16,97	300	1,99	95	0,31
9	3000	21,99	1242	15,59	200	1,76	95	0,41
10	3000	14,61	722	13,58	300	3,99	130	0,85
11	3000	7,22	448	16,86	500	13,86	178	2,35
12	3000	2,98	299	27,11	750	48,53	198	6,14
13	850	0,44	450	81,73	800	104,09	62	3,99

NO_x = 19,49 / g/kWh /

CO = 5,07 / g/kWh /

CH = 0,61 / g/kWh /

Příloha P – 2

EMISE MOTORU 4 S 90 A – vzorek č. 2

při režimech EHK č. 49, Rev. 01
podmínky : měřeno bez sacího filtru pouze s clonkovou tratí
atmosferický tlak 96,533 kPa
relativní vlhkost 44 – 45 %
teplota sání 20 – 21 °C
palivo – NM + přísada B

č.	n	P_e	NO_x		CO		CH	
	1/min	kW	ppm	g/kWh	ppm	g/kWh	ppm	g/kWh
1	850	0,44	236	42,88	800	104,14	66	4,25
2	2300	2,41	301	27,18	500	32,48	82	2,63
3	2300	6,02	576	20,91	250	6,49	90	1,15
4	2300	12,04	1109	20,30	200	2,59	95	0,61
5	2300	18,06	2015	24,74	200	1,72	115	0,49
6	2300	24,08	2115	19,68	800	5,17	150	0,48
7	850	0,44	468	85,10	400	52,09	65	4,18
8	3000	29,22	1779	16,88	300	1,98	115	0,37
9	3000	21,99	1199	14,84	200	1,74	100	0,43
10	3000	14,61	701	12,91	300	3,92	105	0,67
11	3000	7,22	434	16,08	450	11,91	110	1,44
12	3000	2,98	374	33,59	600	38,64	125	3,98
13	850	0,44	432	77,95	800	103,97	50	3,21

NO_x = 19,56 / g/kWh /

CO = 4,48 / g/kWh /

CH = 0,55 / g/kWh /

Příloha P – 3

EMISE MOTORU 4 S 90 A – vzorek č. 3

při režimech EHK č. 49, Rev. 01
podmínky : měřeno bez sacího filtru pouze
s clonkovou tratí
atmosferický tlak 97,120 kPa
relativní vlhkost 47 – 48 %
teplota sání 18 – 19 °C
palivo – NM + přísada C

č.	n	P_e	NO_x		CO		CH	
	1/min	kW	ppm	g/kWh	ppm	g/kWh	ppm	g/kWh
1	850	0,44	219	43,03	900	138,44	112	7,71
2	2300	2,41	214	20,08	700	46,69	96	3,16
3	2300	6,02	508	19,05	400	10,64	100	1,31
4	2300	12,04	1131	21,28	300	3,98	108	0,70
5	2300	18,06	1898	23,78	300	2,63	120	0,52
6	2300	24,08	2132	20,16	600	3,94	165	0,53
7	850	0,44	356	63,33	700	88,20	150	9,35
8	3000	29,22	1662	15,93	400	2,65	145	0,47
9	3000	21,99	1121	14,09	200	1,75	125	0,54
10	3000	14,61	678	12,90	300	4,01	130	0,86
11	3000	7,22	434	16,71	550	14,96	138	1,85
12	3000	2,98	277	25,53	700	45,91	142	4,60
13	850	0,44	324	59,46	1000	130,79	150	9,70

NO_x = 19,30 / g/kWh /

CO = 4,73 / g/kWh /

CH = 0,65 / g/kWh /

Příloha P – 4

EMISE MOTORU 4 S 90 A – vzorek č. 4

při režimech EHK č. 49, Rev. 01
podmínky : měřeno bez sacího filtru pouze
s clonkovou tratí
atmosferický tlak 96,680 kPa
relativní vlhkost 43 – 44 %
teplota sání 20 – 23 °C
palivo – NM KAUČUK NKD

č.	n	P_e	NO_x		CO		CH	
	1/min	kW	ppm	g/kWh	ppm	g/kWh	ppm	g/kWh
1	850	0,44	445	77,97	700	87,73	80	4,96
2	2300	2,41	369	34,03	650	43,12	84	2,75
3	2300	6,02	569	21,08	400	10,60	92	1,20
4	2300	12,04	1129	21,01	200	2,64	100	0,65
5	2300	18,06	1882	23,36	200	1,74	120	0,51
6	2300	24,08	2088	19,28	600	3,84	135	0,42
7	850	0,44	506	92,01	600	78,16	90	5,80
8	3000	29,22	1785	16,85	500	3,28	180	0,58
9	3000	21,99	1329	16,16	200	1,76	150	0,65
10	3000	14,61	794	14,85	300	4,02	135	0,89
11	3000	7,22	527	19,90	500	13,57	105	1,41
12	3000	2,98	418	38,01	750	49,20	85	2,75
13	850	0,44	503	86,73	700	87,35	100	6,17

NO_x = 19,57 / g/kWh /

CO = 4,55 / g/kWh /

CH = 0,59 / g/kWh /

Příloha P – 5

EMISE MOTORU 4 S 90 A – vzorek č. 5

při režimech EHK č. 49, Rev. 01
podmínky : měřeno bez sacího filtru pouze
s clonkovou tratí
atmosferický tlak 97,130 kPa
relativní vlhkost 46 – 47 %
teplota sání 17 – 21 °C
palivo – směs TATRA

č.	n	P_e	NO_x		CO		CH	
	1/min	kW	ppm	g/kWh	ppm	g/kWh	ppm	g/kWh
1	700	0,36	99	18,91	1700	227,53	350	23,18
2	2300	2,41	209	19,33	750	49,61	240	7,85
3	2300	6,02	376	13,91	500	13,15	220	2,86
4	2300	12,04	764	14,40	400	5,30	210	1,37
5	2300	18,06	1616	20,61	350	3,10	260	1,14
6	2300	24,08	1944	18,87	950	6,30	310	1,01
7	700	0,36	156	29,78	1700	227,45	200	13,24
8	3000	29,22	1492	14,65	550	3,70	260	0,86
9	3000	21,99	932	12,03	200	1,79	210	0,92
10	3000	14,61	513	9,95	250	3,37	190	1,26
11	3000	7,22	254	9,85	300	8,13	204	2,73
12	3000	2,98	175	16,43	500	32,08	218	7,09
13	700	0,36	164	31,36	1800	241,06	212	14,04

NO_x = 17,06 / g/kWh /

CO = 6,27 / g/kWh /

CH = 1,25 / g/kWh /

příloha P – 6

EMISE MOTORU 4 S 90 A – vzorek č. 6

při režimech EHK č. 49, Rev. 01
podmínky : měřeno bez sacího filtru pouze s clonkovou tratí
atmosferický tlak 97,620 kPa
relativní vlhkost 45 – 46 %
teplota sání 19 °C
palivo – směs TATRA + ACETON

č.	n	P_e	NO_x		CO		CH	
	1/min	kW	ppm	g/kWh	ppm	g/kWh	ppm	g/kWh
1	700	0,36	174	32,47	1600	212,40	350	22,99
2	2300	2,41	266	25,14	750	50,51	308	10,26
3	2300	6,02	338	12,87	400	10,81	272	3,63
4	2300	12,04	692	13,28	300	4,05	230	1,53
5	2300	18,06	1584	20,34	300	2,68	212	0,93
6	2300	24,08	1932	18,88	1000	6,71	280	0,93
7	700	0,36	159	29,67	1700	225,68	240	14,89
8	3000	29,22	1384	13,50	500	3,35	250	0,82
9	3000	21,99	789	10,06	200	1,76	200	0.
10	3000	14,61	401	7,59	200	2,64	250	1,
11	3000	7,22	190	7,21	250	6,67	272	3,59
12	3000	2,98	148	13,62	350	22,73	312	10,02
13	700	0,36	141	26,31	1600	212,40	225	14,78

NO_x = 16,58 / g/kWh /

CO = 6,07 / g/kWh /

CH = 1,29 / g/kWh /

Příloha P – 7

EMISE MOTORU 4 S 90 A – vzorek č. 7

při režimech EHK č. 49, Rev. 01
podmínky : měřeno bez sacího filtru pouze s clonkovou tratí
atmosferický tlak 96,733 kPa
relativní vlhkost 43 %
teplota sání 20 °C
palivo - MEŘO Slatiňany

č.	n	P_e	NO_x		CO		CH	
	1/min	kW	ppm	g/kWh	ppm	g/kWh	ppm	g/kWh
1	850	0,44	134	23,46	1700	213,06	65	4,03
2	2300	2,41	253	23,26	900	59,31	62	2,02
3	2300	6,02	545	20,22	400	10,58	65	0,85
4	2300	12,04	1096	20,45	300	3,95	70	0,45
5	2300	18,06	1938	24,26	400	3,50	95	0,41
6	2300	24,08	2116	9,81	1300	8,40	120	0,38
7	850	0,44	181	31,71	1850	231,90	70	4,34
8	3000	29,22	1781	17,33	700	4,70	90	0,29
9	3000	21,99	1315	16,78	200	1,78	70	0,30
10	3000	14,61	676	12,92	300	4,05	70	0,46
11	3000	7,22	387	14,86	450	12,28	68	0,91
12	3000	2,98	292	29,98	800	52,74	80	2,61
13	850	0,36	142	24,87	1600	200,52	85	5,2

NO_x = 19,59 / g/kWh /

CO = 7,63 / g/kWh /

CH = 0,43 / g/kWh /

Příloha P – 8

EMISE MOTORU 4 S 90 A – vzorek č. 8

při režimech EHK č. 49, Rev. 01
podmínky : měřeno bez sacího filtru pouze s clonkovou tratí
atmosferický tlak 97,173 kPa
relativní vlhkost 47 %
teplota sání 20 °C
palivo – METANOL + mazací přísada

č.	n	P_e	NO_x		CO		CH	
	1/min	kW	ppm	g/kWh	ppm	g/kWh	ppm	g/kWh
1	700	0,36	108	19,38	1550	195,72	260	16,24
2	2300	2,41	238	22,09	500	32,94	365	11,90
3	2300	6,02	351	13,31	450	11,97	302	3,97
4	2300	12,04	572	11,17	350	4,68	240	1,59
5	2300	18,06	1242	16,63	300	2,69	245	1,08
6	2300	24,08	1854	19,21	600	4,06	310	1,04
7	700	0,36	116	22,04	1450	194,06	252	16,68
8	3000	29,22	1265	13,43	500	3,47	290	0,99
9	3000	21,99	936	12,84	300	2,75	270	1,22
10	3000	14,61	495	9,91	200	2,73	266	1,79
11	3000	7,22	306	12,03	300	8,17	300	4,04
12	3000	2,98	227	21,45	500	33,08	320	10,87
13	700	0,36	119	21,38	1500	189,49	245	15,37

NO_x = 16,35 / g/kWh /

CO = 4,78 / g/kWh /

CH = 1,46 / g/kWh /

Příloha P – 9

EMISE MOTORU 4 S 90 A - vzorek č. 9

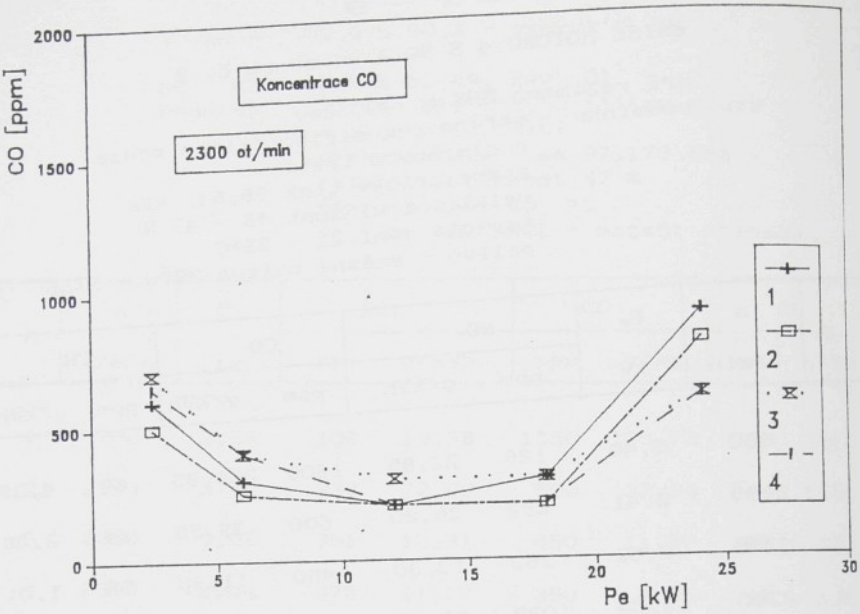
při režimech EHK č. 49, Rev. 01
podmínky : měřeno bez sacího filtru pouze
s clonkovou tratí
atmosferický tlak 96,64 kPa
relativní vlhkost 46 - 47 %
teplota sání 21 - 22°C
palivo - směsné palivo MEŘO + MTBE

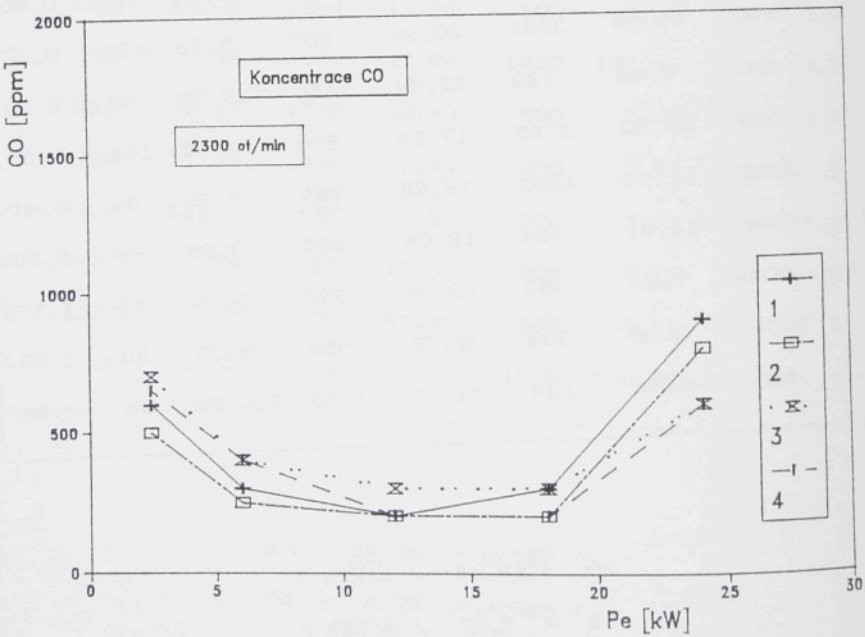
č.	n	P_e	NO_x		CO		CH	
	1/min	kW	ppm	g/kWh	ppm	g/kWh	ppm	g/kWh
1	850	0,44	126	22,85	1600	208,85	68	4,38
2	2300	2,41	292	26,80	600	39,55	64	2,08
3	2300	6,02	362	13,30	450	11,80	78	1,01
4	2300	12,04	1028	20,97	400	5,42	94	0,63
5	2300	18,06	1872	23,47	350	3,04	118	0,50
6	2300	24,08	2082	20,09	800	5,23	132	0,42
7	850	0,44	132	22,94	1550	193,99	98	6,06
8	3000	29,22	1765	17,58	500	3,38	106	0,35
9	3000	21,99	1292	16,68	250	2,23	94	0,41
10	3000	14,61	634	12,04	300	3,99	88	0,58
11	3000	7,22	352	13,34	350	9,39	84	1,11
12	3000	2,98	304	27,77	550	35,77	88	2,83
13	850	0,44	128	23,07	1650	214,66	76	4,89

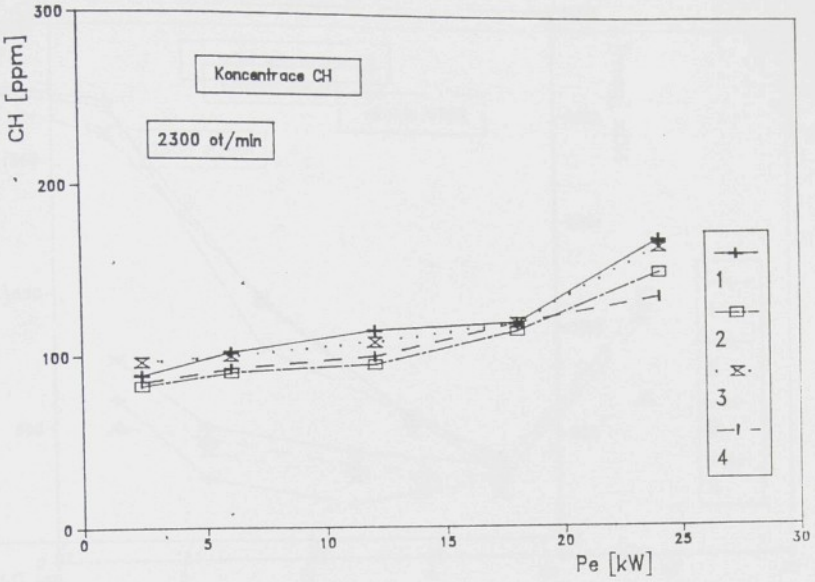
NO_x = 19,48 / g/kWh /

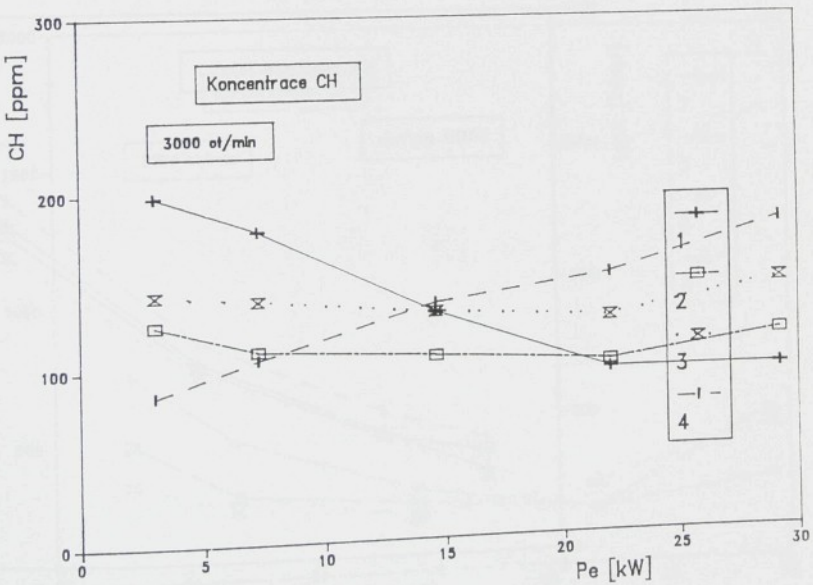
CO = 5,57 / g/kWh /

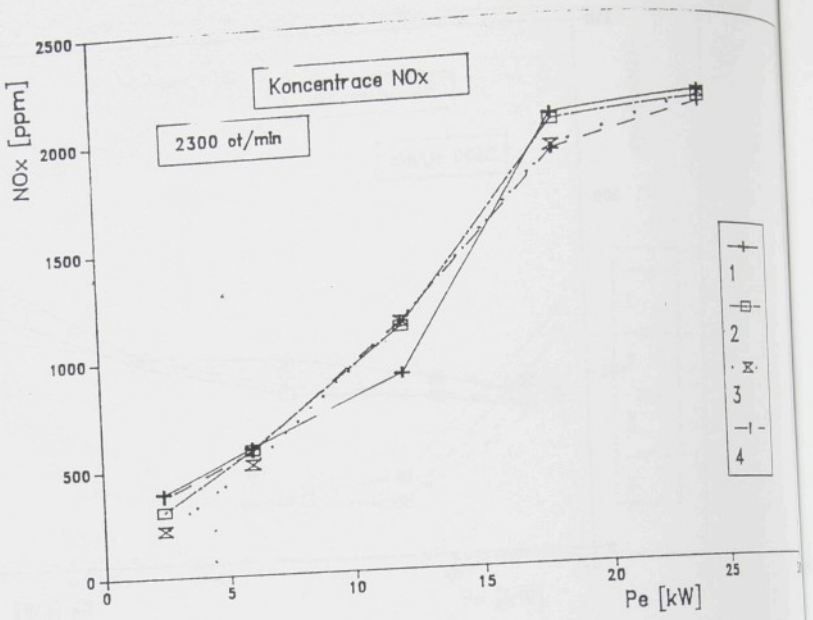
CH = 0,50 / g/kWh /

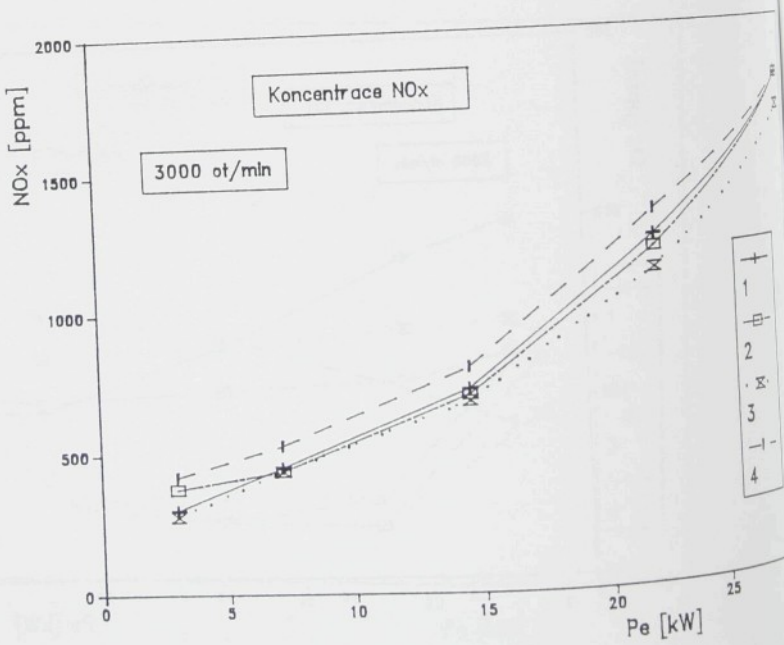

Koncentrace CO
2300 ot/min
CO [ppm]
Pe [kW]
1
2
3
4

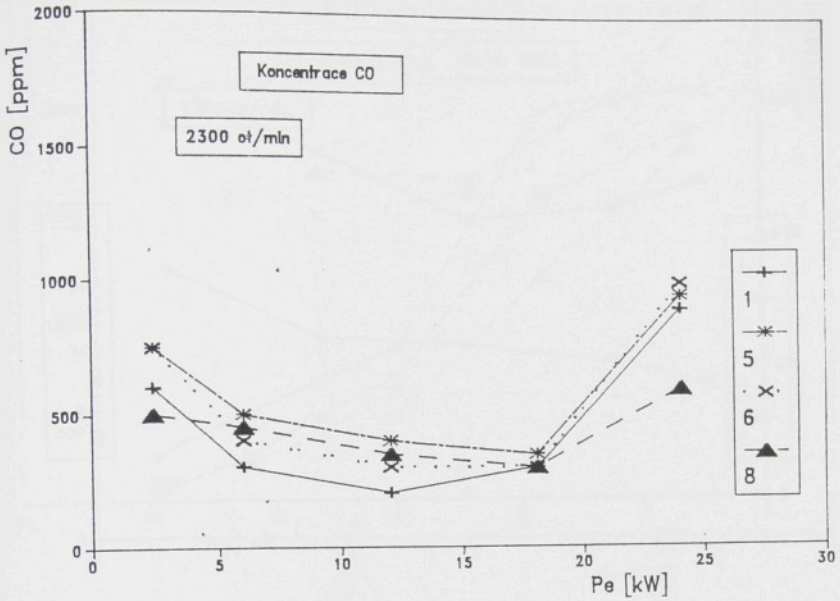

Koncentrace CO
2300 ot/min
CO [ppm]
Pe [kW]
1
2
3
4

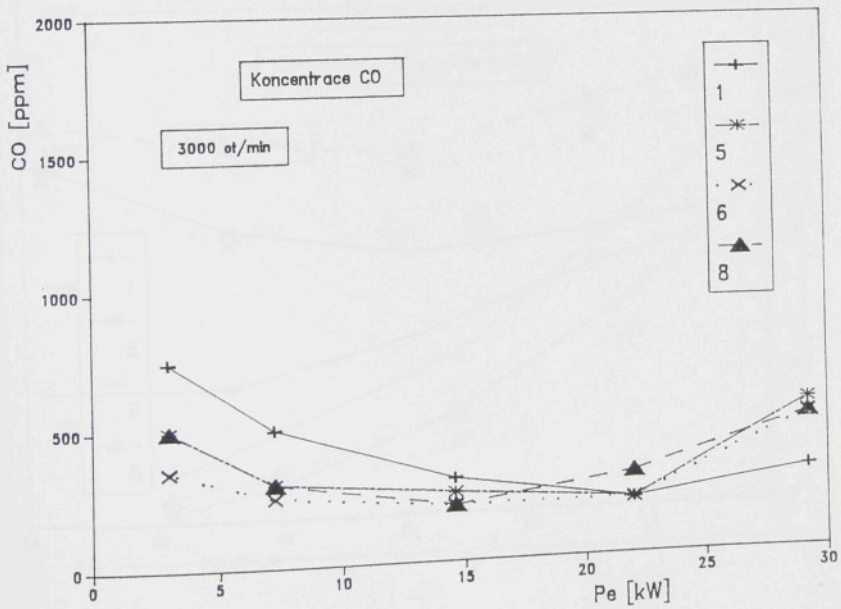

Koncentrace CH
2300 ot/min
CH [ppm]
Pe [kW]
1
2
3
4

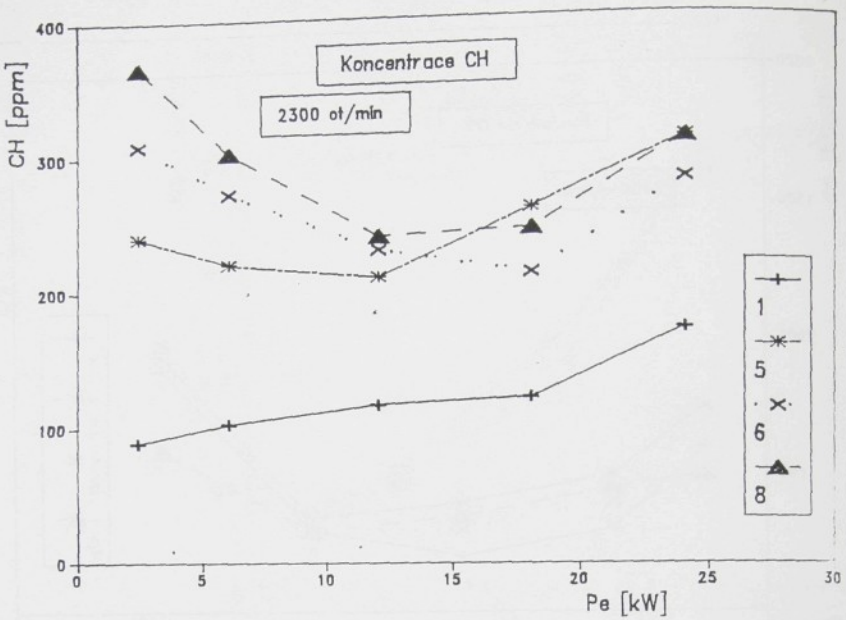

Koncentrace CH
3000 ot/min
CH [ppm]
Pe [kW]
1
2
3
4

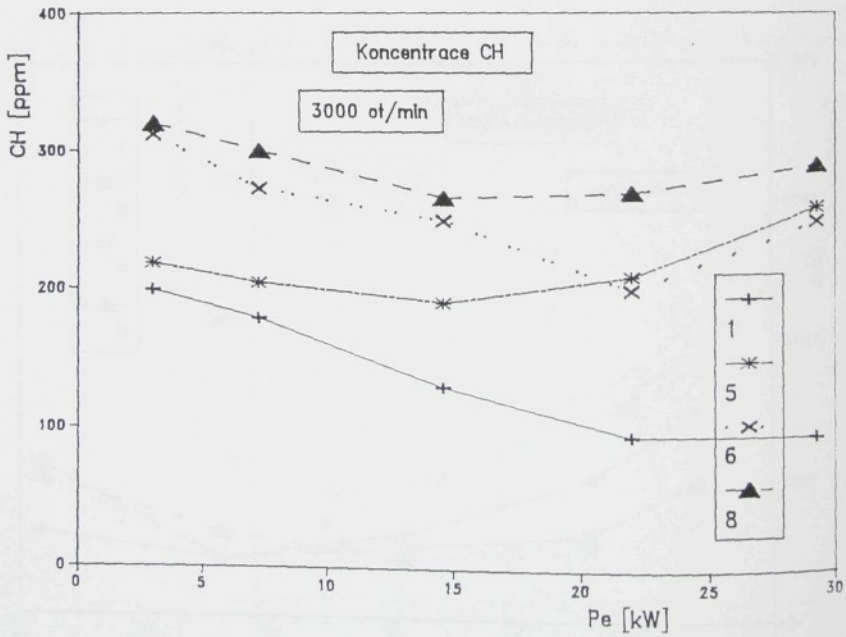

Koncentrace NOx
2300 ot/min
NOx [ppm]
Pe [kW]
2500
2000
1500
1000
500
0
0
5
10
15
20
25
1
2
3
4

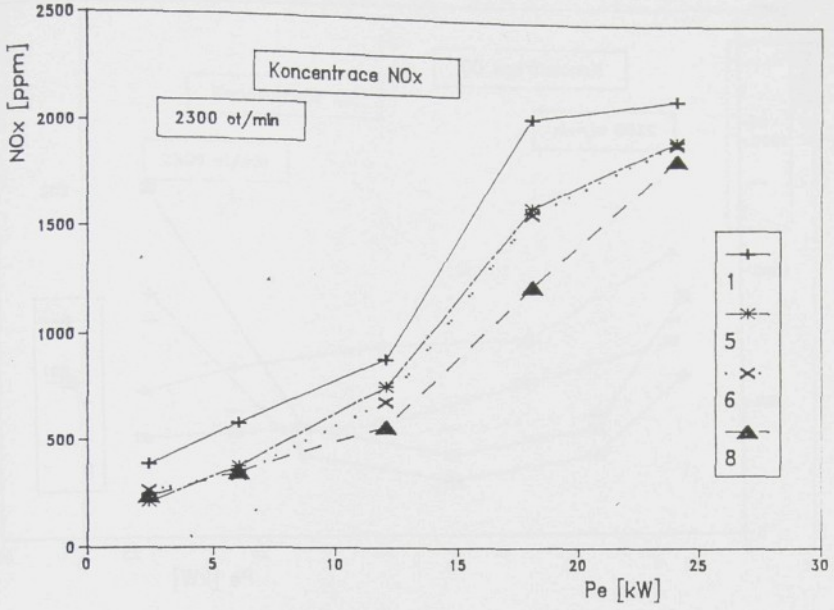

Koncentrace NOx
3000 ot/min
NOx [ppm]
Pe [kW]
2000
1500
1000
500
0
0
5
10
15
20
25
1
2
3
4

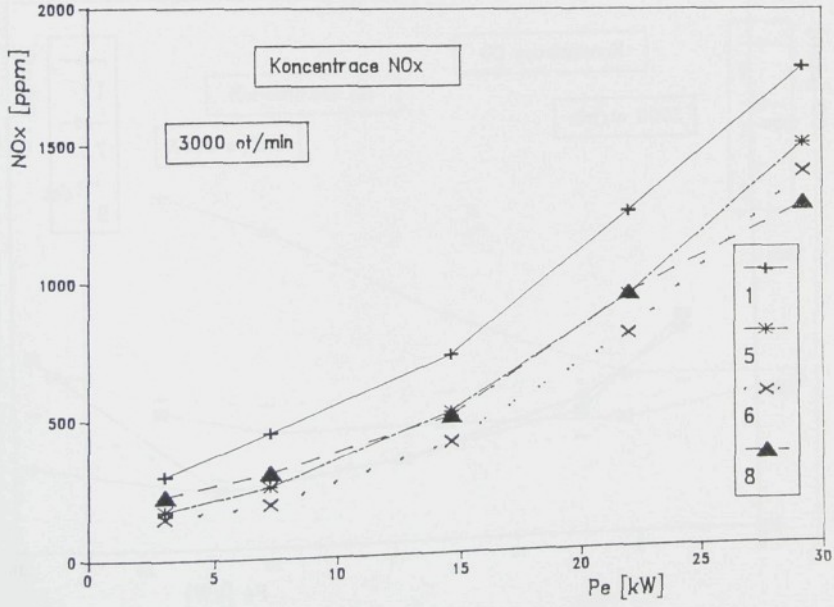

Koncentrace CO
2300 ot/min
CO [ppm]
2000
1500
1000
500
0
0
5
10
15
20
25
30
Pe [kW]
1
5
6
8

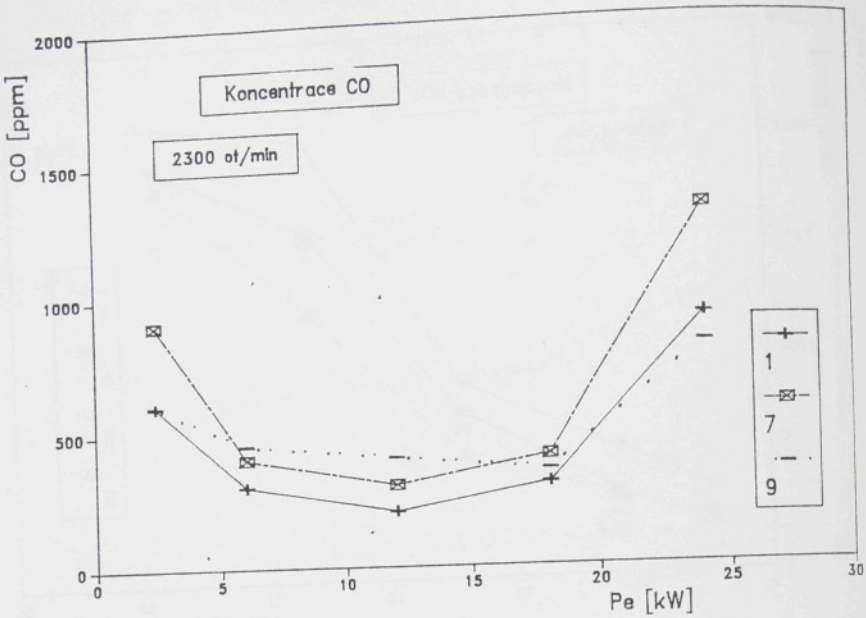

Koncentrace CO
3000 ot/min
CO [ppm]
2000
1500
1000
500
0
0
5
10
15
20
25
30
Pe [kW]
1
5
6
8

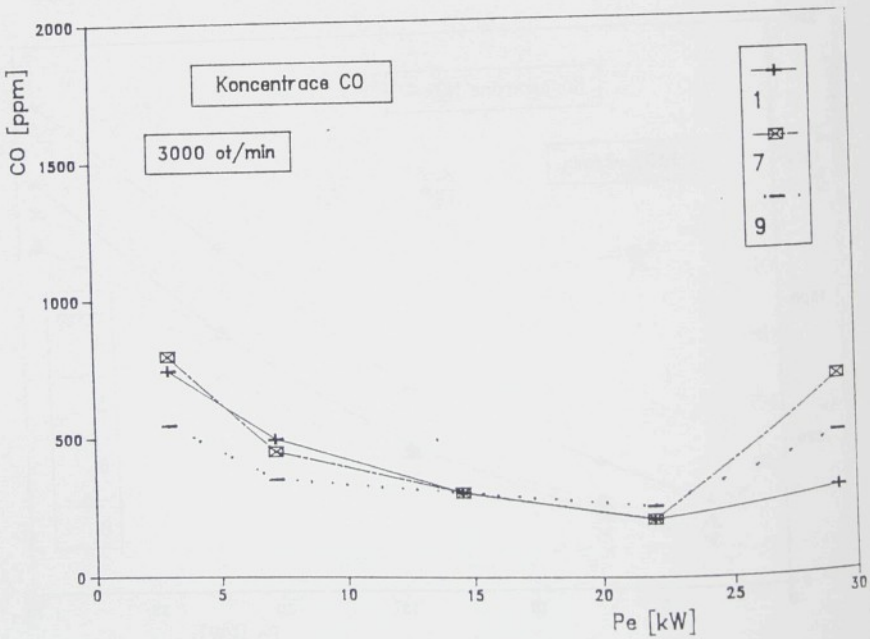

Koncentrace CH
2300 ot/min
CH [ppm]
Pe [kW]
1
5
6
8

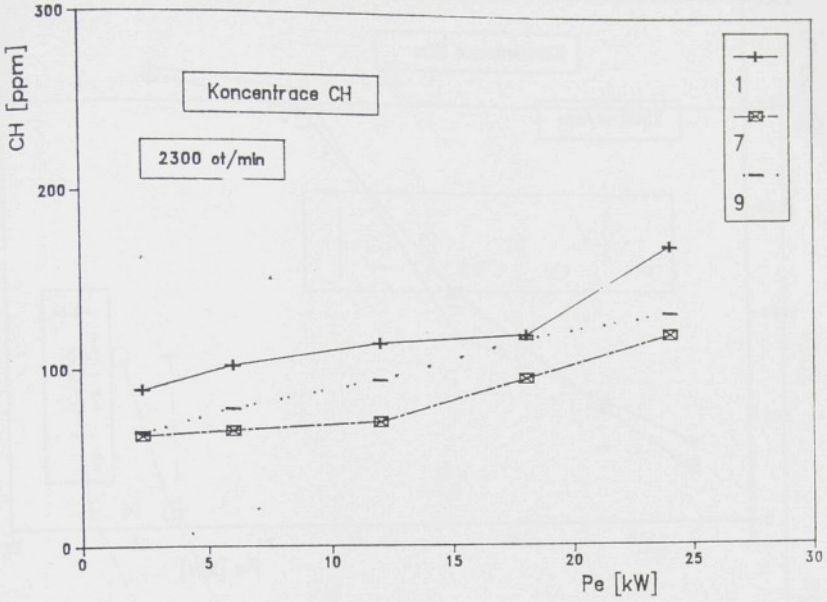

Koncentrace CH
3000 ot/min
CH [ppm]
Pe [kW]
1
5
6
8

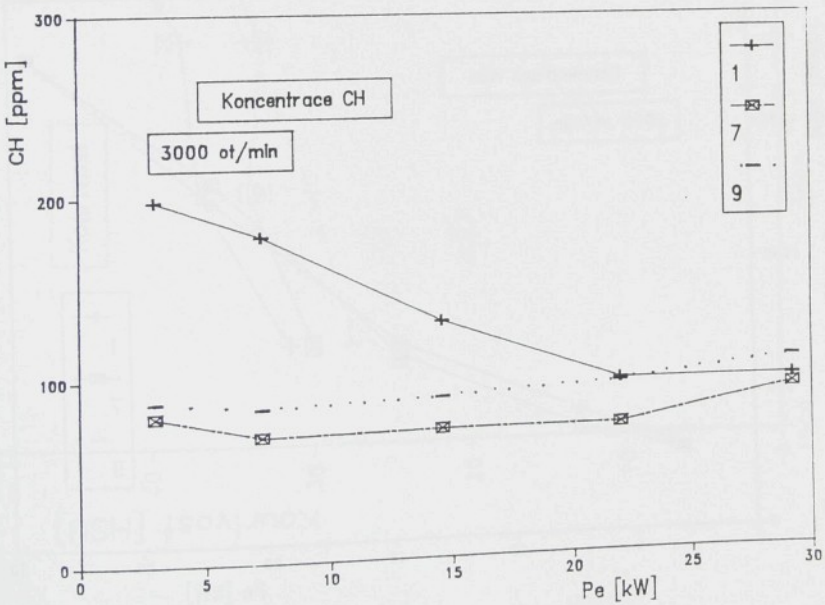

Koncentrace NOx
2300 ot/min
NOx [ppm]
Pe [kW]
1
5
6
8

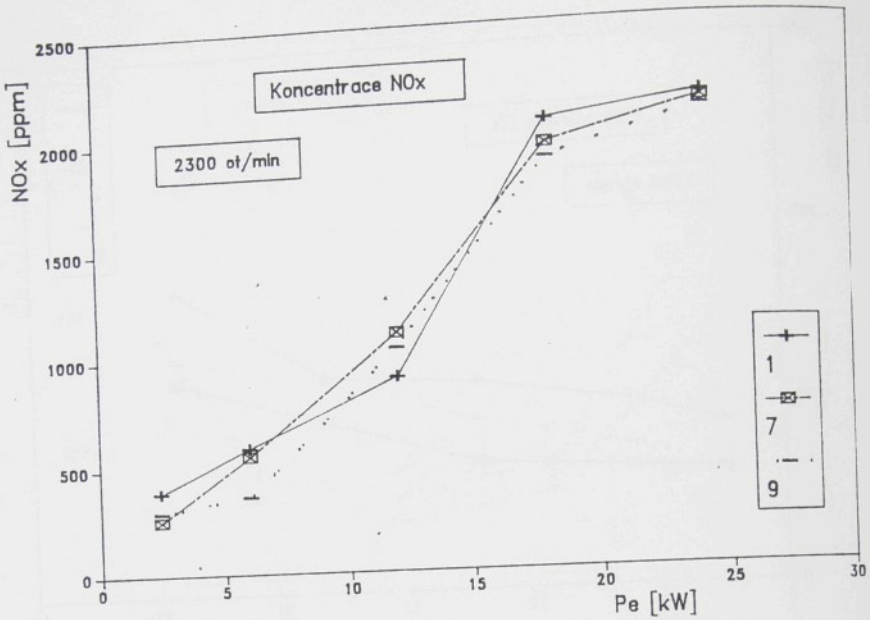

Koncentrace NOx
3000 ot/min
NOx [ppm]
Pe [kW]
1
5
6
8

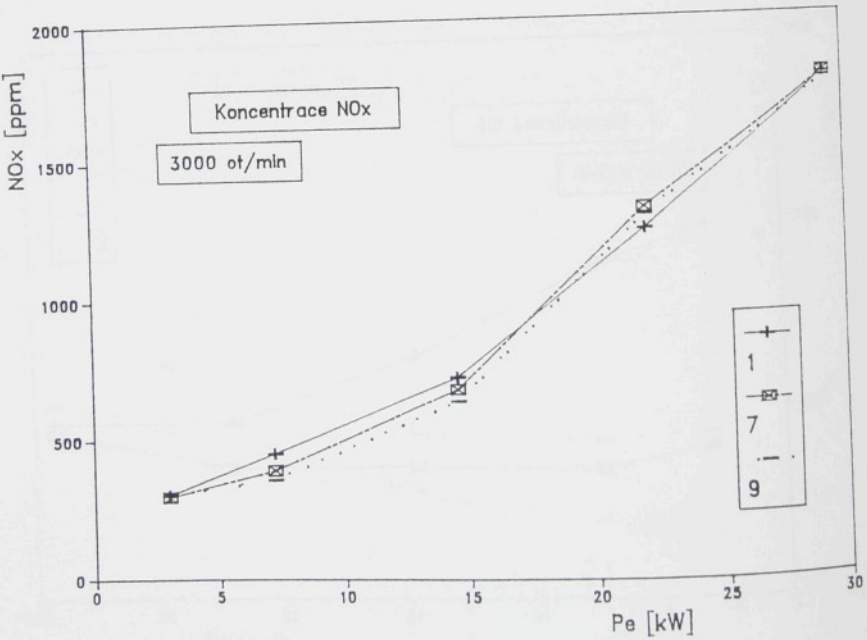

Koncentrace CO
2300 ot/min
CO [ppm]
2000
1500
1000
500
0
0
5
10
15
20
25
30
Pe [kW]
1
7
9

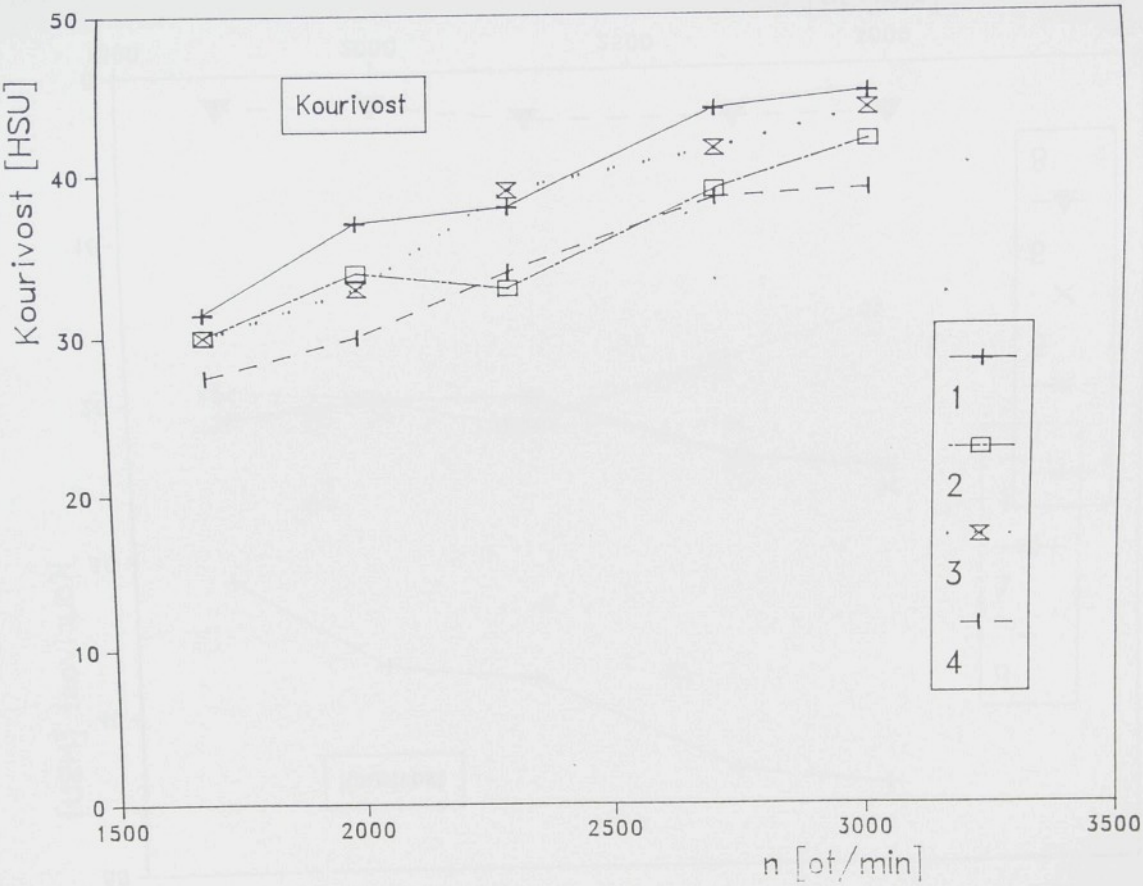

Koncentrace CO
3000 ot/min
CO [ppm]
2000
1500
1000
500
0
0
5
10
15
20
25
30
Pe [kW]
1
7
9

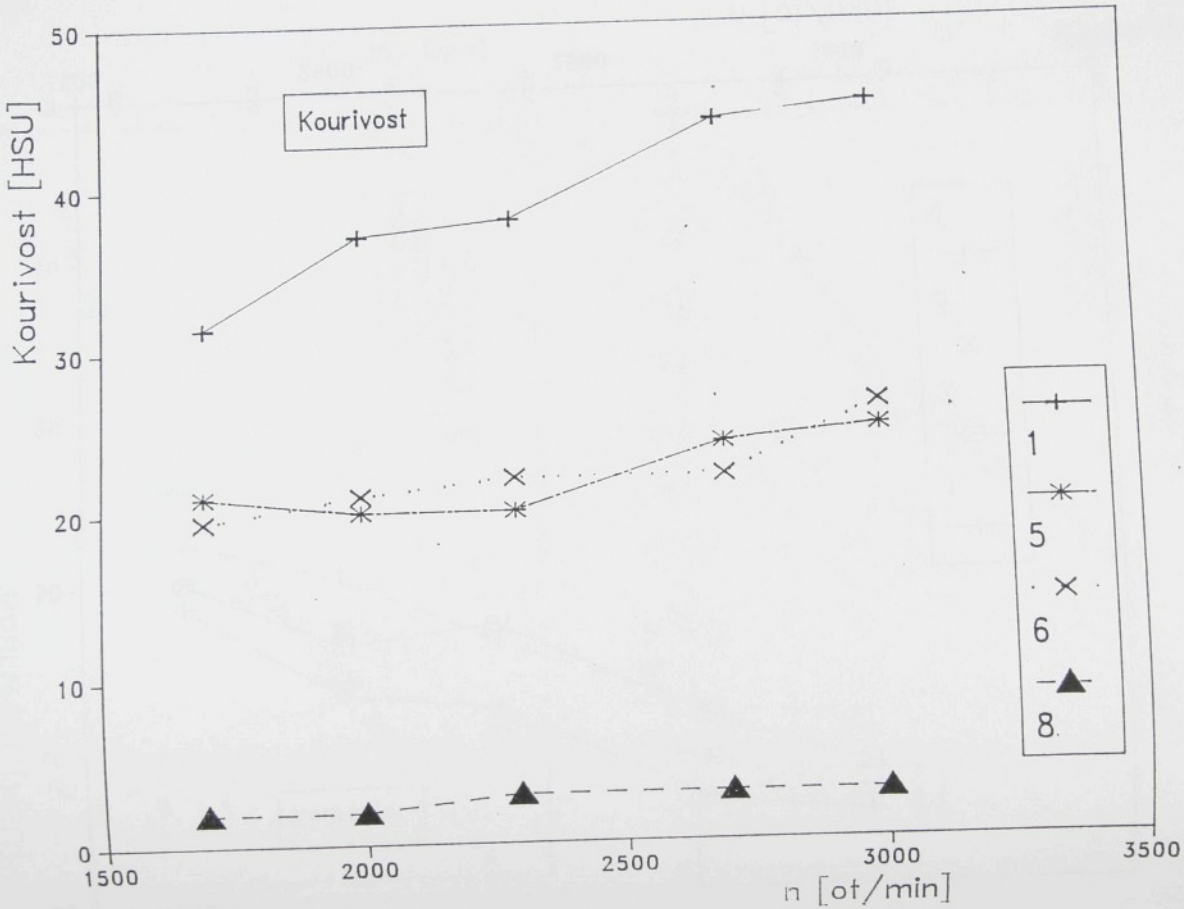

Koncentrace CH
2300 ot/min
CH [ppm]
Pe [kW]
1
7
9
300
200
100
0
0
5
10
15
20
25
30

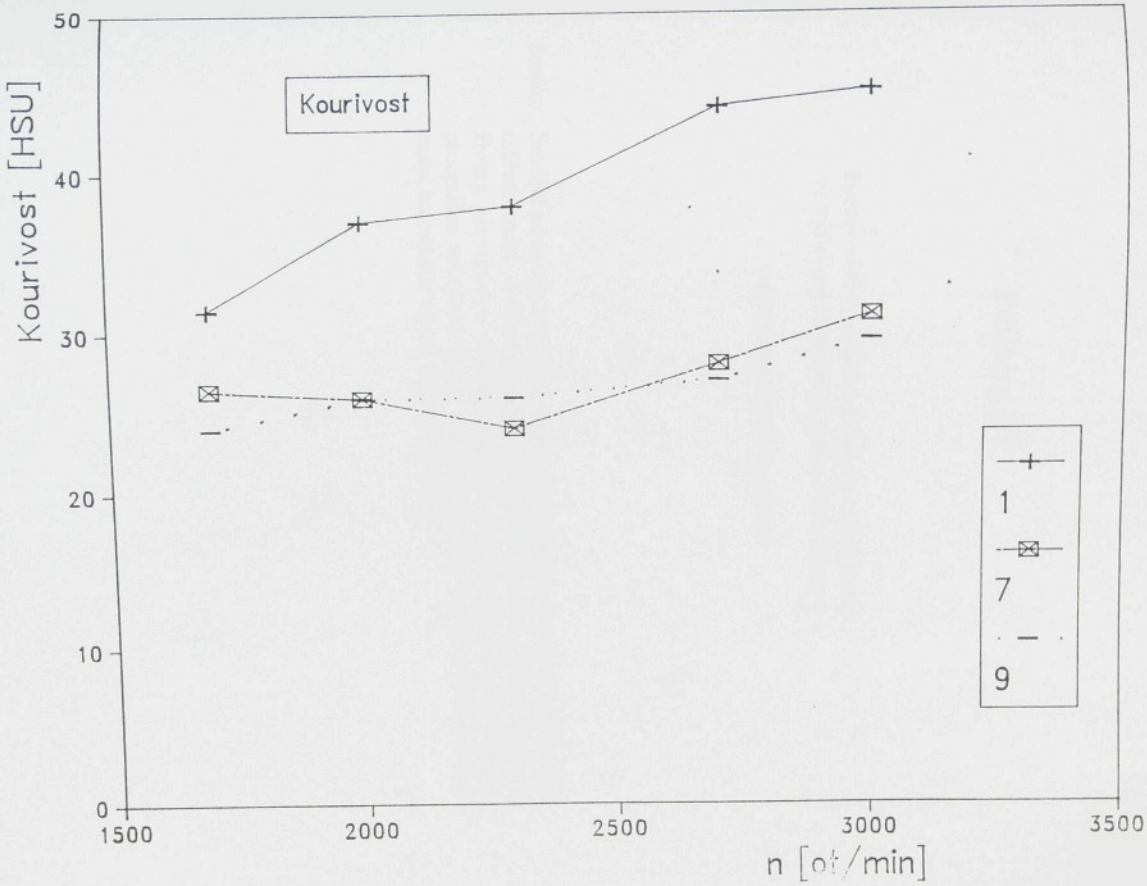

Koncentrace CH
3000 ot/min
CH [ppm]
Pe [kW]
1
7
9
300
200
100
0
0
5
10
15
20
25
30


Koncentrace NOx
2300 ot/min
NOx [ppm]
Pe [kW]
1
7
9


Koncentrace NOx
3000 ot/min
NOx [ppm]
Pe [kW]
1
7
9


Kourivost
Kourivost [HSU]
50
40
30
20
10
0
1500
2000
2500
3000
3500
n [ot/min]
1
2
3
4


Kourivost
Kourivost [HSU]
50
40
30
20
10
0
1500
2000
2500
3000
3500
n [ot/min]
1
5
6
8


Kourivost
Kourivost [HSU]
50
40
30
20
10
0
1500
2000
2500
3000
3500
n [ot/min]
1
7
9

Příloha P7

Zpracování výsledků měření plynných emisí ve výfukových plynech spalovacího motoru

(studijní metodická pomůcka)

Souhrn: Studijní pomůcka stručně popisuje principy analyzátorů pro kontinuální měření emisí výfukových plynů spalovacích motorů , s které jsou používany při výuce v rámci specializace. Část je dále věnována platným předpisům určujícím limity emisí a je uveden způsob záznamu měření emisí automatizovanou měřicí ústřednou.

Technická univerzita v Liberci
Katedra strojů průmyslové dopravy

Hálkova 6, 461 17 LIBEREC 1

Zpracování výsledků měření plynných emisí ve výfukových plynech spalovacího motoru

(studijní metodická pomůcka)

Vedoucí úkolu: Doc. ing. Stanislav B e r o u n, CSc.

Řešitel: Ing. Lubomír M o c, CSc.

Úkol č.: G 1112

SM: 337/97

Liberec, prosinec 1997

SOUHRN

Studijní metodická pomůcka stručně popisuje kontinuální metody měření emisí výfukových plynů spalovacích motorů a uvádí parametry analyzátorů, které se používají na brzdovém stanovišti pro výuku v rámci specializace. Dále obsahuje přehled důležitých předpisů určujících limity emisí. V části vyhodnocování měření emisí je popsán způsob výpočtu nejistoty a popis automatizovaného záznamu objemových koncentrací emisí.

OBSAH

Souhrn
Úvod

1.0 Metody měření plynných emisí, měřicí přístroje
1.1 Měřicí systémy analyzátorů
1.2 Technické parametry analyzátorů

2.0 Limity emisí plynných škodlivin

3.0 Vyjádření nejistoty měření

3.1 Obecné hodnocení podmínek měření
3.2 Formulace vstupních údajů
3.3 Vyjadřování nejistoty měření emisí spalovacích motorů
3.4 Posouzení časového vývoje objemové koncentrace složek emisí

4.0 Metoda záznamu a vyhodnocení souboru měření

4.1 Popis měřicí ústředny
4.2 Popis programu pro sběr a základní zobrazení dat z měřicí ústředny
4.3 Popis programu pro zpracování protokolu o měření
4.4 Postup při měření

Přílohy P-01 až P - 04

ÚVOD

Vzhledem k závažnosti působení emisí emitovaných spalovacími motory na životní prostředí je cílem studijní metodické pomůcky stručné shrnutí základních informací o škodlivých emisích obsažených ve výfukových plynech spalovacích motorů, metodách měření a postupu vyhodnocování. Součástí je i přehled některých předpisů, které obsahují stanovené limity emisí pro některá použití spalovacích motorů. Jedná se především o následující předpisy:

- zákon č: 117/1997 Sb. o stanovení emisních limitů a podmínek provozování stacionárních zdrojů znečišťování a ochrany ovzduší,
- zákonný předpis TA-LUFT (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft) pro obor stacionárních znečišťujících zdrojů,
- směrnice EHK 91/441 pro vozidlové motory,
- směrnice EHK 49 pro vozidlové motory,
- předpis TRANS/SC1/WP 29/GPPE /R.216 pro traktorové motory,
- norma ISO 8178 určující obecnou metodiku pro jednotlivá použití spalovacích motorů (bez stanovení přípustných limitů škodlivin),.
- vyhláška UIC 623 pro drahové motory,
- norma ČSN 28 0107 pro důlní lokomotivy.

Měření emisí plynných škodlivin je ovlivňováno řadou činitelů, jak podmínkami při měření (vliv okolí), tak i proměnlivostí okamžitých provozních stavů motoru. Uvedené směrnice a postupy měření přesněji nespecifikují požadavky na přesnost jednotlivých veličin použitých dále ve vyjádření úrovně škodlivých emisí. Pro objektivní měření je tedy nutné vycházet z obecných požadavků na přesnost měření parametrů spalovacích motorů event. z obecného postupu k vyjádření nejistoty měření dle předpisu WECCDoc.1990 Západoevropského kalibračního sdružení. Použití obecných postupů vyhodnocování experimentálních údajů na problematiku měření emisí se uvádí v kap. 3.0.

K získání potřebných hodnot k vyhodnocení koncentrací emisí podle popsaného způsobu je navrženo zařízení umožňující kontinuální měření koncentrací všech sledovaných emisí, jejich zápis pomocí PC a následné zpracování postupem, který respektuje proměnlivost podmínek při měření.

1.0 METODY MĚŘENÍ PLYNNÝCH EMISÍ, MĚŘICÍ PŘÍSTROJE

1.1 Měřicí systémy analyzátorů

Při měření plynných emisí ve výfukových plynech spalovacích motorů se zjišťuje objemová koncentrace škodliviny. U spalovacích motorů se jedná o určení koncentrací:

- **oxidu uhlenatého CO,**
- **oxidů dusíku NOx,**
- **součtu nespálených uhlovodíků T.HC,**
- **součtu nemetanových uhlovodíků.**

Dále se zjišťují doplňkové koncentrace

- **kyslíku O_2,**
- **oxidu uhličitého CO_2.**

Pro měření výše uvedených složek jsou používány analyzátory s následujícími principy měření:

- oxid uhelnatý CO, oxid uhličitý CO_2 **nedispersní infračervený analyzátor (NDIR)**

Světlo s infračervenou vlnovou délkou prochází od zdroje přes rotační clonu, která přerušuje jeho průchod dvěma kyvetami (srovnávací a vzorkovou). Záření po průchodu kyvetami je vyhodnocováno detektorem, pracujícím na principu plynového kondenzátorového mikrofonu naplněného oxidem uhelnatým. Tím se převádí změna energie mezi prostorem měřeného vzorku a referenčním (srovnávacím) prostorem, danou absorpcí záření v příslušných oblastech spektra, na změnu kapacity. Indikovaná změna odpovídající koncentraci CO event. CO_2 je zesílena a indikována,

- oxidy dusíku NO_x **chemiluminiscenční analyzátor (CLA)**

Analyzátor pracuje s ozonem vytvořeným z přiváděného kyslíku působením ultrafialového záření. V konvertoru dochází k redukci oxidu dusičitého NO_2 ze vzorku výfukových plynů na oxid dusnatý NO, který pak spolu s oxidem dustaným obsaženým ve vzorku reaguje v prostředí s ozonem. Při reakci vzniká oxid disičitý a kyslík, část oxidu disičitého je v elektronově exitovaném stavu, který je nestabilní. Tato část přechází do stabilního stavu za vzniku fotonů. Uvedená světelná emise je přímo úměrná koncentraci NO (a tedy i NO_2) ve vzorku. Vyhodnocení provádí fotoobvod analyzátoru,

- nespálené uhlovodíky T.HC, CH_4 **plamenoionizační analyzátor(FID)**

V analyzátoru je spalován vodík (případně ve směsi s heliem či dusíkem). V plamenu je zanedbatelné množství iontů. Vzorek obsahující nespálené uhlovodíky způsobí ionizaci. Napěťový spád udržovaný mezi tělesem hořáku a kolektorem vytváří elektrostatické pole, v němž kladné ionty z plamene jsou přitahovány ke kolektoru a záporné k hořáku. Vytvořený elektrický proud je přímo úměrný koncentraci uhlovodíků,

Pro stanovení složky CH_4 se měření provádí ve výfukových plynech s dostatečným obsahem O_2 nebo ve výfukových plynech zředěných vzduchem. Měřený vzorek se vede do HC - děliče, ve kterém všechny těžší uhlovodíky oxidují na složky bez uhlovodíků a složka metanu se nespaluje,

paramagnetický analyzátor

- kyslík O_2

Paramagnetické látky mají vysokou permeabilitu a jsou proto vtahovány do magnetického pole. Z plynů nejvyšší permeabilitu vykazuje kyslík. Základní částí analyzátoru je permanentní magnet nebo elektromagnet, jehož pole přitahuje molekuly kyslíku. To způsobuje proudění v měřicí hlavici a jeho rychlost závisí na obsahu kyslíku.

1.2 Technické parametry analyzátorů

Přehled použitých analyzátorů pro měření na stanovištích 1 a 6 je uveden v následující tabulce a další parametry v typových listech analyzátorů.

Pol.	název	rozsah	v.č.
1.	analyzátor MEXA FIA 321K	C_3H_8:0-5000 ppm CH_4 :0-5000 ppm	851023021
2.	analyzátor MEXA CLA 150	NO/NO_x:0-5000 ppm	850236011
3.	analyzátor URAS 3E	CO :0-1000 ppm	31577874
4.	analyzátor URAS 3E	CO :0-1000 ppm	31536712
5.	analyzátor FIDAS 2T	C_3H_8:0-10000 ppm	30824509
6.	analyzátor BECKMAN 951 A	NO/NO_x:0-10000ppm	0100374
7.	analyzátor URAS 3E	CO_2: 0-15 %	30885742
8.	analyzátor FIDAS 2T	C_3H_8:0-1000 ppm	32054406
9.	analyzátor FIDAS 2T	C_3H_8:0-1000 ppm	30868802
10.	analyzátor OXYMAT 5E	O_2: 0-100 %	D5-558

Výrobce: pol. 1.,2., Horiba, Japonsko
pol. 3.,4.,5.,7.,8.,9 Hartmann-Braun , SRN
pol. 6. Beckman , SRN
pol. 10 Siemens, SRN

Typový list analyzátoru

složka emisí : T.HC

Typ:	a) FIDAS 2T	výrobní číslo: 32054406
	b) FIDAS 2T	32068802
	c) FIDAS 2T	30824509

Výrobce:	Hartmann-Braun
Měřicí systém:	FID detektor - vyhřívaný na 190 °C
Měřicí rozsah:	a,b) 10, 30, 100, 300, 1000 ppm c) 100, 300, 1000, 3000, 10000 ppm
Reprodukovatelnost:	do 0,5% hodnoty měřicího rozsahu
Reakční doba:	pro T.HC 1,5 s
Drift nuly:	do 2% z nejmenšího měřicího rozsahu za týden
Drift citlivosti:	do 1% z nejmenšího měřicího rozsahu za týden
Linearita:	0,5 % pro všechny měřicí rozsahy
Průtok vzorku plynu:	100 - 130 l/h
Provozní plyny:	palivo - H_2 3 l/h He 4 l/h vzduch - vzduch bez HC 150 l/h
Teplota okolí:	10 - 45 °C
Relativní vlhkost:	do 75 %
Strukturální závislost:	při kalibraci propanem do 5% měřicího rozsahu pro různé uhlovodíky
Interference na O_2:	při kolísání obsahu kyslíku mezi 0 - 21% je chyba do 2% měřicího rozsahu
Analogový výstup:	0 - 20 mA

Typový list analyzátoru
složka emise: T.HC, CH_4

Typ: HORIBA FIA 321 K . výrobní číslo: 851023021

Výrobce:	Horiba - Japonsko
Měřicí systém:	FID detektor s děličem HC pro metan
Měřicí rozsah:	0 - 20 až 10.000 ppm celkem 9 měřicích rozsahů
Reprodukovatelnost:	± 1% z max. hodnoty měřicího rozsahu
Reakční doba:	pro T.HC 1,5 s pro CH_4 2,5 s
Drift:	do 1 % z max. hodnoty měřicího rozsahu za 8hodin pro nulovou a max. hodnotu
Hladina šumu:	1 % z max. hodnoty měřicího rozsahu
Průtok vzorku plynu:	2 ± 1 l/min
Provozní plyny:	palivo - 40% H_2, 60% He 115 ml/min vzduch bez HC 190 ml/min
Teplota okolí:	0 - 40 °C
Relativní vlhkost:	do 85 %
Linearita:	do 1 % z max. hodnoty měřicího rozsahu
Strukturální závislost:	do ±5 % proti různým uhlovodíkům (etalon C_3H_8)
Interference na O_2:	do 5% pro C_3H_8
Dělič HC:	oxydace CH_4 menší než 15 % oxydace C_2H_6 větší než 98 %
Analogový výstup:	0 - 1, 0 - 5, 0 -10 V nebo 0 - 16 mA, 4 - 20 mA

Typový list analyzátoru

složka emisí : NO_x , NO

Typ: HORIBA MEXA CLA - 150 výrobní číslo: 850236011

Výrobce:	Horiba - Japonsko
Měřicí systém:	CLA chemiluminiscenční analyzátor
Měřicí rozsah:	0 - 10 až 5000 ppm
Reprodukovatelnost:	± 1 % z měřicího rozsahu
Reakční doba:	do 2.5 s
Drift:	± 1% z max. hodnoty měřicího rozsahu za 8 hod.
Hladina šumu:	1 % z max. hodnoty měřicího rozsahu
Průtok vzorku plynu:	2 ± 1 l/min
Provozní plyny:	O_2 280 - 360 ml/min
Teplota okolí:	0 - 40° C
Relativní vlhkost:	do 85 %
Linearita:	do 1 % z hodnoty měřicího rozsahu
Interfererence na CO_2	do ± 2 % z max. hodnoty měřicího rozsahu při 16 % CO_2
Efektivita konvertoru NO_x:	lepší naž 95 % při koncentraci 1000 ppm nebo nižší
Analogový výstup:	0 - 1, 0 - 5, 0 - 10 V nebo 0 - 16 mA, 4 - 20 mA

Typový list analyzátoru
složka emise: NO_x

Typ: BECKMAN 951 A výrobní číslo: 0100374

Výrobce:	BECKMAN , SRN
Měřicí systém:	CLA chemiluminiscenční analyzátor
Měřicí rozsah:	10, 25, 100, 250, 1000, 2500, 10000 ppm
Citlivost:	0,1 ppm na rozsahu 10 ppm
Reakční doba:	do 1 s pro rozsahy nad 10 ppm do 3 s pro rozsah 10 ppm
Drift:	do 1 % z max. hodnoty měřicího rozsahu za 24 hodin
Hladina šumu:	1 % z max. hodnoty měřicího rozsahu
Průtok vzorku plynu:	200 ml/min/h
Provozní plyny:	O_2 - 500 až 1000 ml/min
Teplota okolí:	4 - 37 °C
Relativní vlhkost:	neuvedeno
Linearita:	do 1 % z max. hodnoty měřicího rozsah
Analogový výstup:	0 - 5 V

Typový list analyzátoru

složka emisí : CO

Typ: URAS 3E výrobní číslo: 31577874
URAS 3E 31536712

Výrobce: HARTMANN -BRAUN , SRN
Měřicí systém: NDIR nedisperzní infračervený analyzátor

Měřicí rozsah:	100, 250, 500, 1000 ppm
Reakční doba:	do 1.5 s
Drift:	do ± 1 % z max. hodnoty měřicího rozsahu za týden
Hladina šumu:	1 % z max. hodnoty měřicího rozsahu
Průtok vzorku plynu:	30 - 60 l/h
Provozní plyny:	-
Teplota okolí:	5 - 45 °C
Relativní vlhkost:	do 75 %
Linearita:	do 1 % z měřicího rozsahu
Analogový výstup:	0 - 10, 2 - 10 V nebo 0 - 20 mA, 4 - 20 mA

Typový list analyzátoru

složka emisí: CO_2

Typ: URAS 3E	výrobní číslo: 30885742
Výrobce:	HARTMANN -BRAUN , SRN
Měřicí systém:	NDIR nedispersní infračervený analyzátor
Měřicí rozsah:	2, 5, 10, 15 %
Reakční doba:	min. do 1,5 s
Drift:	do 1 % z max. hodnoty měřicího rozsahu za týden
Hladina šumu:	1 % z max. hodnoty měřicího rozsahu
Průtok vzorku plynu:	30 - 60 l/h
Provozní plyny:	-
Teplota okolí:	5 - 45 °C
Relativní vlhkost:	do 75 %
Linearita:	do 1 % z měřicího rozsahu
Analogový výstup:	0 - 10, 2 - 10 V nebo 0 - 20 mA, 4 - 20 mA

Typový list analyzátoru

složka emisí : O_2

Typ: OXYMAT 5E výrobní číslo:D5-558

Výrobce:	SIEMENS - SRN
Měřicí systém:	paramagnetický analyzátor
Měřicí rozsah:	0 - 100 % ve volně programovatelných rozsazích
Reprodukovatelnost:	± 1% měřicího rozsahu
Reakční doba:	do 3.5 s
Drift:	do ± 0,5 %z max. hodnoty měřicího rozsahu za 3 měsíce ± 0,5 % při konst.teplotě a tlaku za 3 měsíce
Hladina šumu:	0,1 -1 % z max. hodnoty měřicího rozsahu
Průtok vzorku plynu:	0,3 - 1 l/min
Provozní plyny:	N_2 - 3 - 10 ml/min
Teplota okolí:	5 - 45 °C
Relativní vlhkost:	max. 90%
Charakteristika:	lineární
Strukturální závislost:	odchylka nulového bodu podle množství a magnetických vlastností přídavných složek plynu
Analogový výstup:	0 - 20 mA, 4 - 20 mA

2.0 LIMITY EMISÍ PLYNNÝCH ŠKODLIVIN

K základním v současné době platným předpisům omezujícím emise plynných škodlivin patří:

a) zákon č.117/1997 Sb

Jedná se o předpis, který stanovuje emisní limity a další podmínky pro provozování stacionárních zdrojů znečišťování a ochrany ovzduší, ve smyslu ochrany životního prostředí dle § 3 odst. 2 pís. d zákona č. 389/91 Sb.

Předpis požaduje měření koncentrací škodlivin při schvalování zařízení pro uvedení do provozu. Další měření jsou stanovena v závislosti na velikosti znečišťujícího zdroje. Po velké zdroje je předepsáno kontinuelní monitorování škodlivých emisí během provozu. Sledují se emise **CO,NO_x, THC** a u motorů plynových a dvojpalivových se sledují koncentrace nemetanových uhlovodíků **NHC**. Koncentrace SO_2 se určuje nepřímo výpočtem z obsahu síry v palivu. Zvláštní režimy pro stanovení obsahu škodlivin exhalacích předpis neuvádí, vyžaduje se plnění limitů ve všech režimech, ve kterých je zařízení provozováno.

Při vyhodnocování jsou naměřené koncentrace plynných škodlivin v suchých výfukových plynech (s vyjímkou THC, NHC, které se uvádí ve vlhkých plynech). Složky emisí jsou přepočteny na referenční koncentraci zbytkového kyslíku v exhalacích 5%. Emise pro jednorázová měření jsou uváděny jako střední hodnota , variabilita se vyjadřuje střední směrodatnou odchylkou. Rovněž při vyhodnocování kontinuelního měření se používá metod statistického zpracování výsledků měření.

Ke stacionárním zdrojům znečišťování z oboru spalovacích motorů patří kogenerační jednotky s pístových spalovacím motorem pro které jsou stanoveny limity:

emise	vznětový motor tepelný příkon do 5 MW	nad 5 MW	zážehový motor
NO_x	4,00	2,0	0,50
CO	0,65		0,65
NHC	0,15		0,15

Limity koncentrací jsou stanoveny v jednotkách: [g/m^3] při uvažování hustoty škodliviny při normálních podmínkách okolí (atmosferický tlak 101,325 kPa a teplota okolí 273,15 K). Koncentrace nemetanových uhlovodíků platí pro celkový hmotnostní tok vyšší než 3 kg/h.

b) předpis TA Luft 86

Jedná se předpis SRN, který byl používán jako základní předpis pro stanovení limitů pro posuzování provozu stacionárních zdrojů znečišťování. Jeho obsah i stanovené limity emisí jsou stejné jako v zákoně č. 117/1997 Sb., odlišnost je pouze v měření emisí THC, které předpis nepřepočítává na smluvní obsah 5% zbytkového kyslíku ve výfukových plynech.

c) směrnice EHK 91/441

Předpis EU se vztahuje na všechna motorová vozidla vybavená zážehovým motorem a na motorová vozidla kategorie M1 (osobní automobily) a N1 (nákladní automobily) se vznětovým motorem, na který se nevztahují směrnice EHK- R 49. Směrnice obsahuje 5 typů testů určených pro jednotlivé typy vozidel. Testy provádí ověření: průměrných výfukových emisí po studenem startu , emisí CO při volnoběhu, emisí plynů z klikové skříně motoru, výparných emisí u vozidel se zážehovými motory a životnosti protizněčisťujících zařízení vozidla.
Limity koncentrací jsou stanoveny v jednotkách: [*g/test, g/km*].

d) směrnice EHK R 49.02

Předpis EU, který omezuje emise plynných škodlivin ve výfukových plynech vznětových motorů určených pro užitková silniční vozidla s hmotností větší než 3,5 t. Měření koncentrací plynných škodlivin se provádí při 13 režimech, ke kterým jsou přiřazeny váhové koeficienty určující závažnost provozního režimu pro emise a výkon motoru.
Stávající limity emisí (EURO 2):

NO_x 7,0
CO 4,0
THC 1,1

Limity koncentrací jsou stanoveny v jednotkách: [*g/kWh*].
K vyhodnocení se používají průměrné hodnoty koncentrací zjištěné vyhodnocením průběhu kontinuálního měření 6.minuty každého režimu testu.

e) předpis TRANS/SC1/WP 29/GRPE/R.216

Předpis používaný pro traktorové motory. Limity emisí jsou stanoveny pro tři třídy motorů dle výkonu v rozmezí (18 - 560) kW. Měření koncentrací se provádí dle obdobné metodiky jako u EHK - R 49.02, zkušební režim je 8 bodový.

emise	výkon motoru (kW)		
	35-75	75-130	130-560
NO_x	9,2	9,2	9,2
CO	6,5	5,0	5,0
THC	1,3	1,3	1,3

Limity koncentrací jsou stanoveny v jednotkách: [*g/kWh*].

f) norma ISO 8178

Určuje metodiku měření koncentrací škodlivých emisí podle použití spalovacího motoru (charakteristické provozní podmínky - skupina C1 až G3). Zkušební režimy jsou stanoveny hodnotou otáček (střední a jmenovité) a zatížení motoru (10, 25, 50, 75 a 100 %). K jednotlivým zkušebním režimům jsou přiřazeny váhové koeficienty pro emise a výkon motoru.

g) vyhláška UIC 623

Určuje postup měření a vyhodnocení emisí ve výfukových plynech drahových motorů při homologaci. Ověřuje se nejen úroveň škodlivých emisí při zkušebním testu, ale také absolútní hodnoty emisí v závislosti na střední efektivním tlaku a otáčkách motoru. Postup měření je obdobný jako u předpisu EHK R 49, počet měřených bodů je větší.
Limity koncentrací jsou stanoveny v jednotkách: $[g/kWh]$.

h) norma ČSN 28 0107

Dle normy se při typových zkouškách důlních lokomotiv provádí měření složek CO a NO_x při jmenovitých parametrech motoru a při otáčkách naprázdno.
Hodnoty koncentrací se uvadějí : $[g/kWh]$.

Podrobné postupy provedení měření dle jednotlivých předpisů jsou dostupné v citovaných předpisech a dále metodikách zkušební laboratoře pístových spalovacích motorů:

- MPAL 025/91 Měření plynných škodlivin ve výfukových plynech stacionárních motorů
- MPAL 036/95 Měření koncentrací emisí ve výfukových plynech spalovacích motorů-sestava analyzátorů I.
- MPAL 037/95 Měření koncentrace emisí ve výfukových plynech spalovacích motorů-sestava analyzátorů II.

3.0 STANOVENÍ NEJISTOTY MEŘENÍ

3.1 Obecné hodnocení podmínek měření

Nejistota měření představuje odhad části výsledků měření, které charakterizuje rozmezí hodnot, v němž se nachází skutečná hodnota měřené veličiny vzhledem k relativně stálým podmínkám při měření. Kvantifikaci nejistoty měření provedeme až po vyloučení hrubých a všech systematických chyb, které se při měření mohou vyskytnout.

S ohledem na velmi obtížný popis relativně stálých podmínek měření a rovněž složité posouzení vlivu těchto jednotlivých složek na zjišťovaný (měřený) parametr, považujeme výsledky měření za **náhodné veličiny**, které se při měření realizují jednotlivými hodnotami náhodných proměnných.

Měřená veličina **Y** představuje **výstup či výslednou hodnotu** a závisí na určitém počtu vstupních veličin $\mathbf{X_i}$. a je proto popsána funkcí:

$$Y = f(X_1 , X_2 , X_3 \ ..... , X_n).$$

Za vstupní proměnné považujeme zejména údaje z kalibračních protokolů etalonů použitých při kalibraci měřidel a dále všechny proměnné, které se uplatnily v průběhu měření. Protože skutečné hodnoty vstupních proměnných X_i nejsou ve většině případů známé , používají se jako vstupni údaje při posuzování celkové nejistoty ve výsledcích měření jejich odhady $\mathbf{x_i}$.

Za míru nejistoty odhadů x_i lze použít experimentálně stanovený rozptyl s^2_{xi} nebo jeho druhou odmocninu - střední směrodatnou odchylku.

V případě, že v souboru relativně stálých podmínek měření existují vstupní veličiny např. X_i, X_j, které jsou na sobě vzájemně závislé, je nutné za další část nejistoty považovat odhad kovariance těchto vstupních veličin.

3.2 Formulace vstupních údajů

Pokud se měření opakuje za relativně stálých podmínek a je prováděno s dostatečným rozlišením, zjistí se v naměřených hodnotách určitá variabilita. Pro **n** nezávislých měření je odhad x_i skutečné hodnoty veličiny X_i dán aritmetickým průměrem jednotlivých naměřených hodnot $v_{i,j}$ pro j = 1, 2, ..., n
tedy vztahem:

$$x_i = v_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^{n} v_{i,j}$$

Odhad střední směrodatné odchylky s_{vi} souboru naměřených hodnot $v_{i,j}$, popisující variabilitu střední hodnoty, je :

$$s_{vi} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n} (v_{i,j} - v_i)^2}$$

Odhad rozptylu střední hodnoty veličiny x_i (výběrového rozptylu) je pak určen vztahem:

Odhad rozptylu střední hodnoty veličiny x_i (výběrového rozptylu) je pak určen vztahem:

$$s^2_{x\,i} = \frac{1}{n}\, s^2_{v\,i}.$$

Pro výpočet hodnotících parametrů je nutný dostatečný počet hodnot, při jejich malém počtu může dojít k podhodnocení nejistoty měření. Výsledek měření y (odhad skutečné hodnoty výstupní veličiny **Y**) dostaneme nahrazením vstupní veličiny X_i odhady jejich hodnot x_i z měření :

$$y = f\,(x_1,\ x_2,\ \ldots\ldots,\ x_n).$$

Velikost rozptylu výstupní veličiny pro nekorelované vstupní veličiny je dle vztahu:

$$s^2_y = \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{\partial f}{\partial \mathbf{X}_i}\right)^2 s^2_{x\,i}$$

kde $(\partial f/\partial X)$ je parciální derivace funkce f(x) podle proměnné X_i . Za tuto hodnotu použijeme odhad hodnoty x_i . Rozptyl výsledku měření je určen součtem rozptylů, které vyjadřují nejistotu měření od jednotlivých vstupních veličin, násobených čtverci příslušných parciálních derivací. Velmi často můžeme předpokládat, že funkce f(x) je lineární funkcí všech vstupních veličin X_i (případ většiny přímých měření), v tomto případě mají parciální derivace hodnotu jedna. Obdobný případ je i při použití relativních rozptylů nebo pokud je funkce f (x) ve tvaru násobků, resp. podílů vstupních veličin. Pak má předchozí vztah zjednodušený tvar:

$$s^2_y = \sum_{i=1}^{n} s^2_{x\,i}$$

Pro korelované vstupní veličiny (veličiny na sobě vzájemně do jisté míry závislé) je nutné stanovit odhadem velikost kovariance $s_{x\,ik}$

$$s_{x\,ik} = s_{x\,i}\ \ s_{x\,k}\ \ r_{x\,ik}$$

kde $r_{x\,ik}$ je korelační koeficient určující těsnost vztahu mezi veličinami v mezích (-1 až 1). Rozšířená nejistota měření doporučená v rámci WECC Doc. 19/1990 vychází ze spolehlivostních záruk ve vyjadřování možných výsledků výstupní veličiny. Za předpokladu platnosti normálního (Gaussova) rozdělení je volena hodnota spolehlivostního koeficientu cca 95 % a proto rozšířenou nejistotu měření ve tvaru $\pm$ **u** získáme :

$$u = 2 \cdot s_y .$$

Tímto způsobem zaručujeme, že skutečná hodnota (ze základního souboru) se bude nacházet s pravděpodobností cca 95% v mezích $\pm$ **u** kolem odhadnuté střední hodnoty výstupní veličiny.

3.3 Výpočet nejistoty měření emisí spalovacích motorů

Ovlivňujícími vstupními veličinami při měření emisí ve výfukových plynech spalovacích motorů je zejména:

- soubor vlivů způsobující odlišnost jednotlivých pracovních oběhů (provozní podmínky motoru),
- soubor vlivů způsobující odlišnost v indikaci zjištěných koncentrací analyzátory (provozní podmínky analyzátorů),
- nejistota parametrů referenčních plynů používaných při kalibraci analyzátorů.

Způsob vyjádření nejistoty měření je rovněž závislý na použitých jednotkách k vyjádření emisí, tj. zpravidla v $[g/m^3]$, $[g/kWh]$ nebo jiných, neboť tím jsou ze skupiny provozních podmínek motoru přesněji vyjádřeny vstupní ovlivňující veličiny (veličiny, u kterých vlivy přesněji vyjádříme, ze souboru relativně stálých podmínek při měření emisí). Při měření emisí na uvedených stanovištích budou používány následující jednotky a k vyhodnocení nejistoty měření bude realizován dále popsaný postup:

a) **měření emisí v jednotkách** $[g/m^3]$ *(spalovací motor jako stacionární zdroj znečištění ovzduší)*

Do vybraných vstupních ovlivňující veličin uvažujeme:

- nejistotu hodnoty objemové koncentrace referenčního plynu pro kalibraci. Jako referenční plyny jsou používany plyny a.s. LINDE-TECHNOPLYN, pro plyn je dodáván certifikát se zaručovaným údajem o nejistotě koncentrace. . Tato hodnota je považována za hodnotu rozšířené nejistoty u a je vyjadřuje se v % či v ppm.
  Střední směrodatná odchylka veličiny je označena s_R ,

- nejistotu kalibrace analyzátoru, která charakterizuje parametry analyzátoru (reprodukovatelnost ,drift, linearitu) a ovlivnění údajů analyzátoru okolními podmínkami (teplota, atmosferický tlak, relativní vlhkost a další). Nejistota kalibrace se určí vyhodnocením souboru dat získaných snímáním měřicí ústřednou při kalibraci analyzátoru referenčním plynem. Vyhodnocená střední hodnota , ze souboru údajů analyzátoru v průběhu kalibrace, odpovídá objemové koncentraci referenčního plynu. Nejistotu měření určíme jako střední směrodatnou odchylku v získaném souboru měření.
  Střední směrodatná odchylka je označena s_K ,

- nejistotu vlastního měření objemových koncentrací emisí .Tato složka nejistoty obsahuje působení vlivů souhrnně označovaných provozní podmínky motoru. Jednotlivé složky provozních podmínek se přesněji nespecifikují a posuzují se souhrně a kvantifikují se velikostí střední směrodatné odchylky stanovené vyhodnocením souboru vlastního měření objemových koncentrací emisí. Datový soubor je zaznamenáván ve zvoleném měřicím intervalu v délce **1 - 5 min,** při frekvenci snímání 1 s , t.j. s četností souboru 60 až 300 hodnot.
  Střední směrodatná odchylka je označena s_r

Výslednou základní nejistotu určíme v tomto případě vztahem:

$$s_E = \sqrt{s^2_R + s^2_K + s^2_M}$$

b) měření emisí v jednotkách [g/kWh] *(spalovací motor v mobilní zástavbě)*

Do vybraných vstupních veličin uvažujeme:

- nejistotu hodnoty objemové koncentrace referenčního plynu pro kalibraci. Hodnocení stejné jako v předchozím případě.
  Střední směrodatná odchylka veličiny je označena s_R ,

- nejistotu kalibrace analyzátoru. Hodnocení stejné jako v předchozím případě.
  Střední směrodatná odchylka je označena s_K ,

- nejistotu vlastního měření objemových koncentrací emisí. Hodnocení stejné jako v předchozím případě.
  Střední směrodatná odchylka je označena s_M

- nejistoty provozních veličin motoru přesněji specifikované, které se přímo podílí ve výpočtu emisí (v použitých vztazích). Jedná se následující veličiny:
  a) **výkon motoru** (závislost na dvou vstupních veličinách, otáčky a točivý moment motoru),

  b) **celkový objem výfukových plynů V_{Exh}** (závislost na dvou vstupních veličinách, objem nasátého vzduchu V_{Air} a objem paliva V_{Fuel}.

Pro vyhodnocení velikosti nejistot se nepředpokládá korelace vstupních veličin v bodu a), b) přičemž použité měřicí zařízení musí splňovat obecné požadavky na nejistotu (přesnost) měření uvedených veličin, dle předpisů pro měření emisí např. EHK R-49, či obecných požadavků pro obor spalovacích motorů dle ČSN 09 0722, ČSN 30 2008, ČSN ISO 2288 či. ve smyslu Metodiky zkoušek MPAL 009/96/2. Obecně musí být dodrženy následující velikosti nejistot měření v jednotlivých oborech použití spalovacího motoru:

	průmyslové lodní, dráhové	automobilové	traktorové
- pro výkon motoru	± 2,5 %	± 0,7%	± 1,1 %
- pro objemový , hmotnostní průtok vzduchu	± 5,0 %	± 2,5%	± 2,5 %
- pro objemový, hmotnostní průtok paliva	± 1,0 %	± 1,0 %	± 1,0 %

Velikosti nejistot uvedené v tabulce jsou považovány za hodnoty rozšířené nejistoty u_i jednotlivých vstupních vlivů. Hodnoty střední směrodatné odchylky jsou tudíž poloviční a jsou pro vstupní veličiny označeny:

- **střední směrodatná odchylka výkonu motoru** s_{Pe} ,
- **střední směrodatná odchylka objemového průtoku vzduchu** s_{Air} ,
- **střední směrodatná odchylka objemového průtoku paliva** s_{Fuel} .

Výslednou základní nejistotu určíme ze vztahu:

$$s_E = \sqrt{s^2_R + s^2_K + s^2_M + s^2_{Pe} + s^2_{Air} + s^2_{Fuel}} \ .$$

3.4 Posouzení časového vývoje objemové koncentrace složek emisí

Kromě uvedeného postupu posouzení nejistoty měření emisí se provádí analýza hodnot sejmutého datového souboru z hlediska časového vývoje objemové koncentrace emise měřené analyzátory. Toto posouzení se provádí pro měření v ustálených provozních režimech. Pro analýzu je proveden výpočet korelačního součinitele $r_{y,t}$ a koeficientů lineární regrese.

Průběh závislosti objemové koncentrace emise na čase se předpokládá ve tvaru

$$Y = a_o + a_1 t$$

kde a_o, a_1 jsou bodové odhady parametrů regresní přímky
(pro nezávislou veličinu t - čas snímání datového souboru při frekvencí 1 s).

Bodové odhady hodnot koeficientů regresní přímky určíme ze vztahů:

$$a_o = \frac{\sum_{i=1}^{n} y_i - a_1 \sum_{i=1}^{n} t_i}{n}$$

$$a_1 = \frac{n \sum_{i=1}^{n} t_i y_i - \sum_{i=1}^{n} t_i \sum_{i=1}^{n} y_i}{n \sum_{i=1}^{n} t_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{n} t_i\right)^2}$$

kde : y_i jsou jednotlivé hodnoty emisí z datového souboru,
t_i jsou jednotlivé okamžiky měření v mezích 1 - 60 event 300.

Pro vyhodnocení ustálených podmínek měření slouží vypočtené parametry regresní přímky zejména koeficient a_1 ,jehož hodnota musí být blízká nule, v mezích 0,005 až 0,01 (regresní přímka nemá prakticky rostoucí ani klesající charakter a v měřeném časovém úseku velikost

velikost emise odpovídá odhadnuté střední hodnotě). Pro posouzení míry těsnosti naměřených objemových koncentrací emisí se stanoví korelační koeficient ze vztahu:

$$r_{y,t} = \frac{n \sum_{i=1}^{n} t_i \, y_i - \sum_{i=1}^{n} t_i \sum_{i=1}^{n} y_i}{\sqrt{\left(n \sum_{i=1}^{n} t_i^2 - / \sum_{i=1}^{n} t_i /^2\right) . \left(n \sum_{i=1}^{n} y_i^2 - / \sum_{i=1}^{n} y_i /^2\right)}}$$

Hodnota korelačního koeficientu musí být pro měření v ustálených podmínkách 0,95 a vyšší.

Způsob snímání datových souborů měření koncentrací složek emisí rovněž umožňuje zjišťování závislostí vývoje emisí na vybraných parametrech (teplota okolí, teplota chladicí kapaliny, mazacího oleje apod.) . V tomto případě pro experimentálně zjištěný průběh volíme vhodnou teoretickou nelineární závislost a vypočteme parametry regresní funkce.

4.0 METODA ZÁZNAMU A VYHODNOCENÍ SOUBORU MĚŘENÍ

4.1 Popis měřicí ústředny

Celkové uspořádání měřicí ústředny pro průběžné snímání koncentrací emisí ve výfukových plynech je na schematu přílohy P-01. Pro přímý převod analogových signálů z analyzátorů na požadované jednotky je použit 4 3/4 místný monitor procesů typ MT 47.

V přenosu dat mezi monitorem procesů a počítačem je použit převodník 232TO485D, s technickými parametry dle přílohy P - 02.

Vzhledem k podmínkám při měření emisí na spalovacích motorech přímo na brzdovém stanovišti je pro zápis datového souboru použit notebook CARRY 8630 s konfigurací:

- procesor Pentium 100 MHz,
- 8 MB RAM,
- 810 MB HDD.

Měřicí ústředna průběžně snímá údaje koncentrací z analyzátorů:
CO, NO_x, T.HC, CO_2 a O_2 .časový úsek měření lze volit v rozsahu 1 - 5 min libovolně s krokem odečtu 1 s (tyto parametry mohou být v v programu upraveny podle charakteru měření emisí).

4.2 Popis programu pro sběr a základní zobrazení dat z měřicí ústředny

Program pro sběr dat je v příloze P - 03. Program obsahuje funkční moduly pro řízení komunikace PC s měřicí ústřednou vybavenou šesti měřicími přístroji s rozhraním RS485, moduly pro zobrazení dat slouží jen pro ověření funkce komunikace.

Pro styk počítače s ústřednou je použit standardní seriový komunikační port COM1, popřípadě COM2. Použití COM3 a COM4 je možné po drobné úpravě programu a po podrobnější analýze obsazení vstupů pro přerušení IRQ v konkrétní sestavě počítače. Pro komunikaci jsou využity signály RcxD, TxD a RTS pro přepínání směru toku dat.

Program zajišťuje cyklické vysílání požadavků o vyslání dat k jednotlivým měřicím přístrojům, na kterých jsou nastaveny adresy 1 až 6. Požadavek je vyslán k přístroji ihned po přijetí odpovědi na požadavek předešlý. Pokud přístroj nereaguje, je požadavek opakován s frekvencí cca 1 Hz.

Generování časových rastrů a příjem sekvencí znaků je řízen přerušeními od systémového časovače počítače a od příjmu znaku. Přijatá data jsou kontrolována na délku řetezce a na výskyt koncového znaku a jsou ukládána do pole, odkud jsou dostupná pro zobrazení a další zpracování.

Program je napsán v jazyku Turbo Pascal.

4.3 Popis programu pro zpracování protokolu o měření

Počítačové snímání dat z emisních analyzátorů lze rozdělit do tří programových aplikací:

1. Program pro snímaní a zaznamenání dat naměřených pomocí emisních analyzátorů: ***MERENI.EXE***

2. Program pro následné početní zpracování naměřených dat, doplnění měřeného souboru o fakta, která určují celé měření a vytvoření datového souboru pro výtisk měřicího protokolu v programu EXCEL: ***PREVOD.EXE.***

3. Aplikace pro tisk měřicího protokolu pomocí softwaru EXCEL: ***PROTOK.XLS,***

ad.1. Program je napsán a odladěn pomocí programovacího jazyka TurboPascal 7.0 a následně zkompilován do jazyku symbolických adres. Jako vstup uživatele do programu lze považovat zadávání dob, po kterých se bude provádět kalibrace a samotné měření. Dále se zadávají kalibrační konstanty pro jednotlivé složky emisí tj. CO (ppm), CO_2(%), CH(ppm), NO_x(ppm), O_2(%) a celkový počet sérií měření(to podle toho z jaké metodiky vychází).

Před samotným měřením je nutno provést kalibraci na předem danou hodnotu. Po připojení kalibračního plynu na analyzátor snímáme po předem danou dobu hodnoty odpovídající napětovému nebo proudovému signálu z analyzátoru. Vypočteme z naměřených kalibračních dat jejich průměrnou hodnotu a z ní vypočteme kalibrační konstantu pomocí předem dané hodnoty.

Při měření je pak signál násoben touto konstantou a tím zaznamenávaná přímo koncetrace daného plynu. Program provádí měření pro zadaný počet měření. Po ustálení měřeného provozního režimu je odečítána série hodnot emisí v sekundových intervalech po dobu zadanou uživatelem. Maximální doba odečítání jedné série hodnot je 5 minut.

Program generuje datový soubor s příponou .dat jehož struktura je následující:

- *Doba Kalibrace [s]*
- *Dané koncentrace plynů pro CO; CO_2; CH; NO_x, O_2*
- *Kalibrační data CO*
- *Kalibrační data CO_2*
- *Kalibrační data CH*
- *Kalibrační data NO_x*
- *Kalibrační data O_2*
- *Počet měřených sérií*
- *Doba měření jedné série [s]*
- *Naměřená data CO pro 1. Sérii*
- *Naměřená data CO_2 pro 1. Sérii*
- *Naměřená data CH pro 1. Sérii*
- *Naměřená data NO_x pro 1. Sérii*
- *Naměřená data O_2 pro 1. Sérii*
- ...
- ...
- *Naměřená data CO pro n. Sérii*
- *Naměřená data CO_2 pro n. Sérii*
- *Naměřená data CH pro n. Sérii*
- *Naměřená data NO_x pro n. Sérii*
- *Naměřená data O_2 pro n. Sérii*

Pozn.: je-li v jakémkoliv řádku datového souboru více čísel, potom jsou oddělena středníkem.

ad. 2. Program je napsán a odladěn pomocí programovacího jazyka TurboPascal 7.0 a následně zkompilován do jazyku symbolických adres. Program slouží k doplnění datového souboru o data, která se přímo na měření nevyplňují. Jsou to údaje o měřeném motoru, podmínkách měření, použitých analyzátorech a kalibračních plynech. Dále program vypočítává z naměřených dat jejich průměrnou hodnotu a směrodatnou hodnotu.

Dále se zadávají charakteristické veličiny pro daný měřený stav tzn.: kroutící moment [Nm] a otáčky motoru [1/min] z nichž se vypočítá výkon motoru [kW].

Program generuje datový soubor se stejnym názvem jako v bodu 1., ale přidává příponu .dft. Ten slouží jako podklad pro tisk měřícího protokolu z programu Excel.

Struktura datového souboru:

- *Typ motoru*
- *Výrobce*
- *Výrobní číslo*
- *Datum měření*
- *Barometrický tlak [kPa]*
- *Teplota okolí [°C]*
- *Relativní vlhkost [%]*
- *Interval měření [s]*
- *Typ testu*
- *Kdo měřil*
- *Typ + výrobní číslo analyzátoru CO*
- *Typ + výrobní číslo analyzátoru CO_2*
- *Typ + výrobní číslo analyzátoru CH*
- *Typ + výrobní číslo analyzátoru NO_x*
- *Typ + výrobní číslo analyzátoru O_2*
- *Údaje o kalibračním plynu CO*
- *Údaje o kalibračním plynu CO_2*
- *Údaje o kalibračním plynu CH*
- *Údaje o kalibračním plynu NO_x*
- *Údaje o kalibračním plynu O_2*
- *Dané koncentrace plynů pro CO; CO_2; CH; NO_x; O_2*
- *Průměrná hodnota a směrodatná odchylka kalibrace CO*
- *Průměrná hodnota a směrodatná odchylka kalibrace CO_2*
- *Průměrná hodnota a směrodatná odchylka kalibrace CH*
- *Průměrná hodnota a směrodatná odchylka kalibrace NO_x*
- *Průměrná hodnota a směrodatná odchylka kalibrace O_2*
- *Počet měřených sérií*
- *Doba měření jedné série [s]*
- *Průměrná hodnota a směrodatná odchylka naměřených dat 1. série pro CO; CO_2; CH; NO_x; O_2*
- *....*
- *Průměrná hodnota a směrodatná odchylka naměřených dat n. série pro CO; CO_2; CH; NO_x; O_2*
- *Moment; Výkon; Otacky pro 1. sérii*
- *....*
- *Moment; Výkon; Otacky pro n. sérii*

ad. 3. Aplikace PROTOK.XLS slouží k tisku měřícího protokolu. Šablona protokolu je doplněna o data získaná z datového souboru s příponou .dft. Data jsou jednoduchým postupem překonvertována do formátu programu Excel a následně překopírována do aplikace PROTOK.XLS na pracovní list nazvaný DATA.

4.4 Postup při měření

Při snímání datového souboru koncentrací složek složek emisí je postup následující:

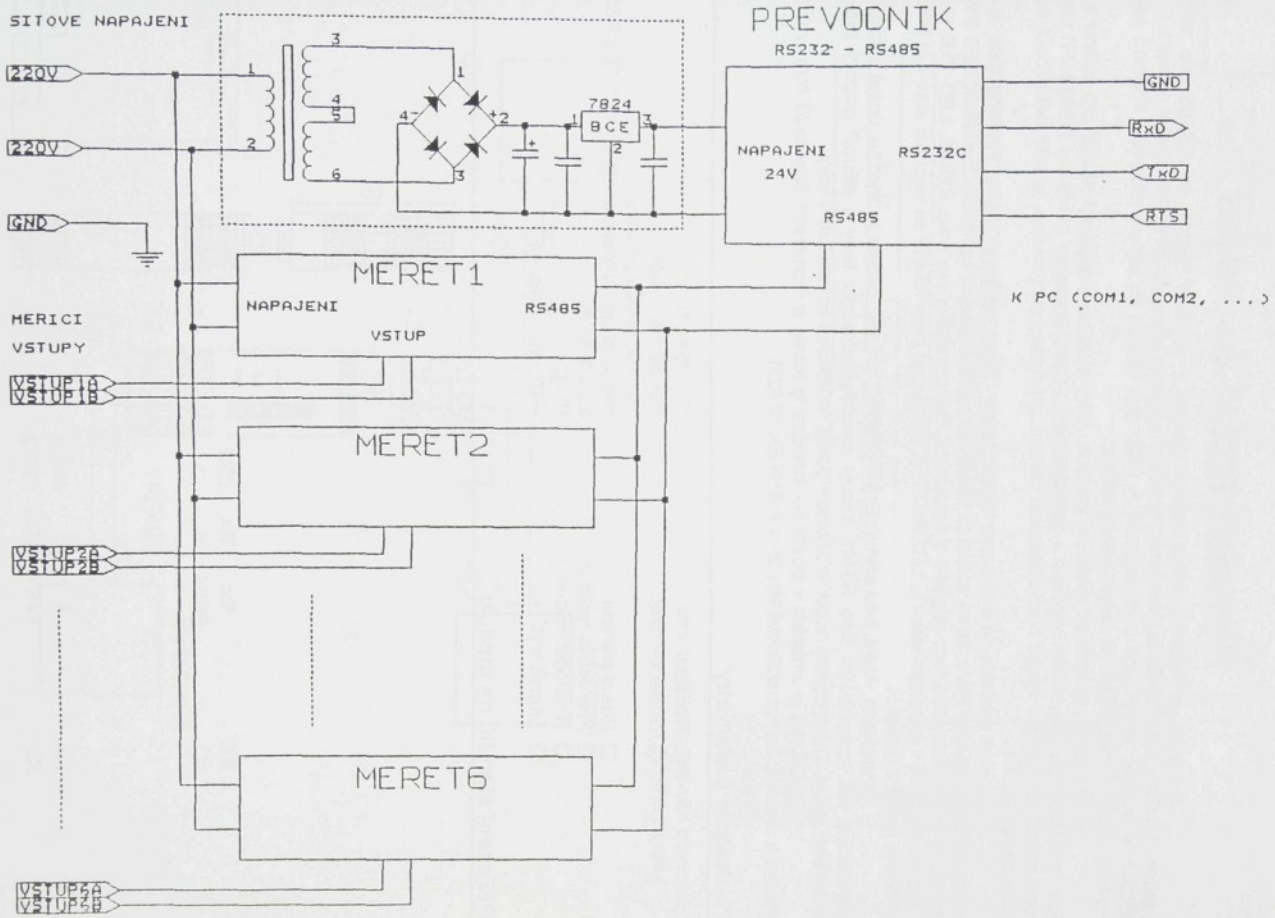
a) připojení analyzátorů k monitorům procesů MT 47

složka emise	výstupní konektor analyzátoru výstupní napětí	
	+	-
CO	7	6
CO_2	7	6
HC	22	41
O_2	konektor X 1	
NO_x	22	41

b) aktivace programu pro sběr dat " MĚŘENÍ.EXE"
- označení prvého souboru po otevření se provede automaticky v členění den-měsic-rok (např. 3121997). Další soubory je nutné označit příponou 02,03,....(312199702),
- kalibrování soustavy podle dané kalibrační konstanty (slouží k určení kalibrační konstanty a střední směrodatné odchylky kalibrace s_K). Zadává se délka kalibrace v sekundách (např. 20 s),
- vložení kalibračních konstant pro jednotlivé analyzátory dle použitého referenčního plynu. Pořadí vkládaných objemových koncentrací referenčních plynů je: CO, CO_2 , HC, NO_x , O_2 ,
- vlastní kalibrace se spustí až po připojení referenčního plynu k analyzátoru po ustálení průtoku, což je indikováno na displeji MT 47. Do režimu kalibrace jednotlivých složek emisí je připojení volbou čísla 1 - 5, pořadí vlastní kalibrace je libovolné. Po dalším ENTRU probíhá kalibrace,
- po provedené kalibraci se volí v rámci jednoho souboru počet samostatných měření v rozsahu 1 až max. 13,
- dále se volí délka měření v sekundách v rozmezí (1 až 300) s,
- vlastní záznam 1.měření koncentrací složek probíhá na ENTER,
- po ukončení záznamu hodnot 1. měření je provedena příprava pro záznam dalšího měření stlačením ENTER,
- po dokončení zvoleného počtu samostatných měření v souboru, lze volit další sou bor .

Poznámka: kalibrace je platná až do doby ukončení programu "MĚŘENÍ".

c) zpracování naměřených hodnot pomocí programů PŘEVOD.EXE a tisk protokolu dle programu PROTOK.XLS postupem uvedeným v předchozí kapitole.


SITOVE NAPAJENI
220V
220V
GND
7824
B C E
PREVODNIK
RS232 - RS485
NAPAJENI
24V
RS232C
RS485
GND
RxD
TxD
RTS
K PC (COM1, COM2, ...)
MERET1
NAPAJENI
RS485
VSTUP
MERICI
VSTUPY
VSTUP1A
VSTUP1B
MERET2
VSTUP2A
VSTUP2B
MERET6
VSTUP6A
VSTUP6B

Příloha P - 02

Technické parametry převodníku 232TO485D

Převodník RS232 <-> RS485

Jednotka převodníků komunikačních signálů z rozhraní RS232 na RS485 pro průmyslové systémy. Vysílač linky RS485 je aktivován samostatným řídicím signálem **RTS**. Při logické úrovni L (+12V pro RS232) je vysílač aktivní, při logické úrovni H (-12V pro RS232) je aktivní přijímač. Přijímač neopakuje vysílané znaky. Linka RS485 obsahuje obvody ochran.

Převodník je napájen spínaným zdrojem, který stabilizuje napájecí napětí pro stranu s RS232. Rozhraní RS485 je galvanicky odděleno a napájeno přes DC/DC konvertor ze strany RS232. Při překročení horní meze napájecího napětí hrozí nebezpečí zničení, při nedodržení minima je zde nebezpečí nespávné funkce převodníku.

Činnost jednotky je indikována LED diodami - žlutá napájení, zelená vysílaná data a červená přijímaná data. Svorky **Rx** a **Tx** se spojují se stejnojmennými svorkami na řídicím systému. LED **PWR** svítí, jestliže je k modulu přivedeno napájení a pracuje DC/DC převodník pro linku RS485. LED **TxD** svítí vždy, když je vstup **Tx** v logickém stavu L, LED **RxD** svítí, jestliže na lince RS485 se nachází stav L a řídicí signál **RTS** je v logické úrovni H.

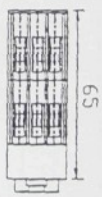
Propojkami, které jsou přístupné po odejmutí horního panelu je možné úplně odpojit modul převodníku od komunikační linky RS485, zapojit zakončovací odpor linky a připojit odpory pro definici klidového stavu. Zakončovací odpor se připojuje pouze na koncích komunikační linky.

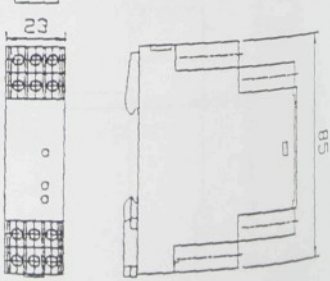
Jednotka je umístěna v plastikové krabičce fy Koren o rozměrech 85x65x23 mm (viz obr.). Je určena k montáži na rozvaděčové lišty 35 mm (DIN EN 50 022).

Technické parametry

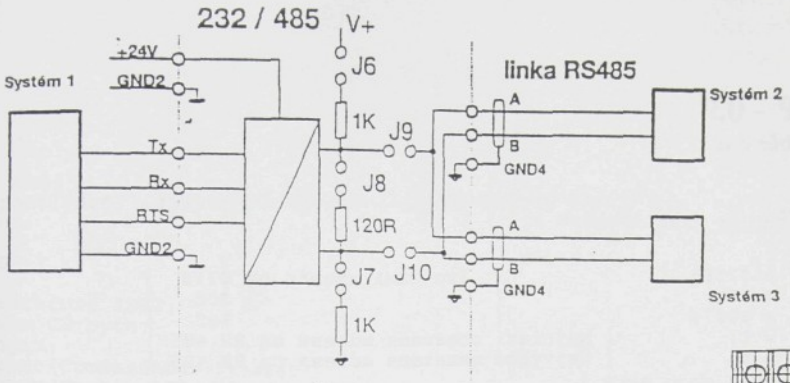
❑ Napájení	10 .. 35V DC
❑ Odběr ze zdroje	max 50 mA v klidu max 100 mA při provozu
❑ Řízení přenosu	přepínání směru přenosu signálem RTS z RS232
❑ Přenosová rychlost	0 .. 115 kBd
❑ Hmotnost modulu	100 g
❑ Stupeň krytí	IP40, svorkovnice IP20

Přiřazení signálů na modulu



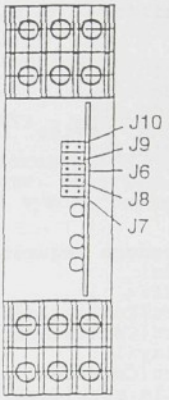


X1	Tx	Rx	RTS
X3	GND4	B	A
X4	A	B	GND4
X2	+24V	GND2	GND2

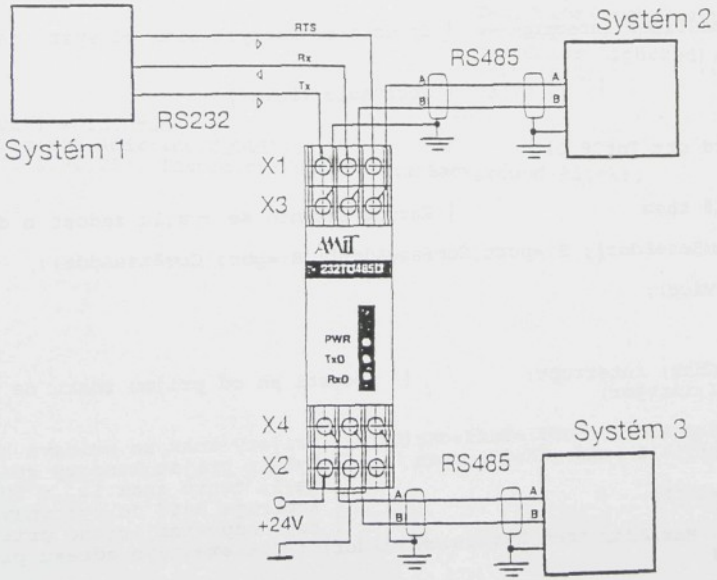


Význam konfiguračních propojek

Označení propojky	Význam propojky
J10	Připojení signálu B
J9	Připojení signálu A
J6, J7	Definice klidového stavu
J8	Terminátor



Umístění konfiguračních propojek
(po odejmutí čelního panelu)



Příklad připojení převodníku 232TO485D

Příloha P - 03

Program pro sběr dat

```
uses Dos, Crt;

const
 ComBaseAddr = $2f8;                    { Pro COM1 zmenit na $3f8 }
 ComInt      = $0b;                     {                     $0c }
 P21Mask     = $0f7;                    {                     $ef }
 MiniAddr    = 1;          { Nejnizsi obsazena adresa na RS 485 }
 MaxiAddr    = 6;          { Nejvyssi obsazena adresa na RS 485 }

var
 Buff                : string[30];
 B,Bo                : array[MiniAddr..MaxiAddr] of string[15];
 Int08_Old           : procedure;
 Ticks, Device, I    : byte;
 OldIntEn            : byte;


{$F+}

procedure Request(Address:byte); { Pozada pristroj s adresou Addr o data }
begin
 Buff:='';
 port[ComBaseAddr+4]:=$0a;              { RST=1 pro vysilani z PC }
 port[ComBaseAddr+3]:=$2b;              { Pevna parita - 9.bit=1 pro adresaci }
 Delay(1);                              { Cas pro prepnuti smeru }
 port[ComBaseAddr  ]:=Address shl 4;                { Vysle adresu }
 while port[ComBaseAddr+5] and $60 <> $60 do;       { Cekani na konec vysilani }
 port[ComBaseAddr+3]:=$3b;                          { 9.bit=0 pro prikaz }
 port[ComBaseAddr  ]:=ord('Z');                     { Vysle prikaz ('Z') }
 while port[ComBaseAddr+5] and $60 <> $60 do;       { Cekani na konec vysilani }
 port[ComBaseAddr+4]:=$08;                          { RST=0 pro prijem do PC }
end;

procedure TimeSlice; interrupt;    { Spousti se kazdych 55ms od syst. casu }
var B:byte;
begin
 Inc(Ticks);                            { Pocitadlo Ticku }
 asm
    pushf
    call dword ptr Int08_Old
    sti
 end;
 if Ticks > 18 then                     { Kazdou sekundu se vysila zadost o data }
  begin
   B:=port[ComBaseAddr]; B:=port[ComBaseAddr]; B:=port[ComBaseAddr];
   Ticks:=0;
   Request(Device);
  end;
end;

procedure RecChar; interrupt;          { Spousti se od prijmu znaku na COM2 }
var CH:byte; I:integer;
begin
 CH:=port[ComBaseAddr]; Buff:=Buff+chr(CH); { Prijaty znak se pridava k Buff
 if (Length(Buff)=11) and (CH=26) then      { byl-li prijat koncovy znak a
  begin                                     { je-li tento znak 11. v Buff
   B[Device]:=Buff;                         { Kopiruje Buff do vyrovnavaciho
   Inc(Device);                             { buf. odpovidajicicho pristroje
   if Device > MaxiAddr then Device:=MiniAddr; { Inkrementuje adresu pristr.
   Ticks := 18
```

```
  end;
 port[$020]:=$20;                                { Nespecificky prikaz pro 8259A  }
end;

{$F-}

procedure INIT;
 var CH:byte;
begin
 port[ComBaseAddr+3]:=$80;                       { 8250 DLAB=1 }
 port[ComBaseAddr  ]:=$0c;                       { prenosova rychlost 9600 Bd }
 port[ComBaseAddr+1]:=$00;
 port[ComBaseAddr+3]:=$3b;
 port[ComBaseAddr+4]:=$08;                       { aktivuje OUT2 - povoleni prer
 OldIntEn:=port[$021];
 port[$021]:=port[$021] and P21Mask;              { povoluje preruseni od COM2 (8
 port[ComBaseAddr+1]:=$01;                       { povoluje prer. od prijmu znak
 CH:=port[ComBaseAddr]; CH:=port[ComBaseAddr];   { vyprazdneni vyrov. registru 8
 Device:=MiniAddr;
 for I:=MiniAddr to MaxiAddr do B[I]:='';
end;

begin
 ClrScr;
 GetIntVec($08,@Int08_Old);
 SetIntVec($08,Addr(TimeSlice));
 SetIntVec(ComInt,Addr(RecChaR));
 Init;

 while not KeyPressed do
  for I:=6 downto 1 do if Bo[I]<>B[I] then begin
                                          GotoXY(1,I);
                                          TextColor(LightGreen);
                                          write(I,' > ');
                                          TextColor(LightRed);
                                          write(B[I],'      ');
                                          Bo[I]:=B[I]
                                         end;
 port[$021]:=OldIntEn;
 SetIntVec($08,Addr(Int08_Old));
 Window(1,1,80,25); TextColor(White); TextBackground(Black);
 ClrScr
end.
```

Příloha P - 04
Protokol o měření emisí

Technická univerzita v Liberci

Státní zkušebna č.232
Hálkova 6, 461 17 Liberec

Záznam měření emisí výfukových plynů

Typ motoru	Avia 712 ZP	Výrobní číslo	1369502954
Výrobce	AVIA a.s. Praha		
Datum měření	30.10.1997	Délka měření	60 s
Barometrický tlak	97.6 kPa	Interval měření	1 s
Teplota okolí	18 °C	Typ testu	Porovnani regulace BRC
Relativní vlhkost	65 %		

Měřené body

	Točivý moment [Nm]	Výkon motoru [kW]	Otáčky [1/min]
1	170.0	32.0	1800
2	200.0	37.7	1800
3	210.0	39.6	1800
4	100.0	18.8	1800
5	50.0	9.4	1800
6	0.0	0.0	0
7	0.0	0.0	0
8	0.0	0.0	0
9	0.0	0.0	0
10	0.0	0.0	0
11	0.0	0.0	0
12	0.0	0.0	0
13	0.0	0.0	0

Použité analyzátory

složka emise		typ, v.č.	kalibrační plyn	Φ	σ
CO	[ppm]	Uras 3E, vc.: 31577874	900 ppm	900.00	0.0422
NO_x	[ppm]	Horiba CLA 150, vc.: 850236011	911 ppm	911.00	0.0051
CH	[ppm]	Horiba FIA 321K, vc.: 851023021	903 ppm	903.00	0.0294
O_2	[%]	Oxymat 5E, vc.: 05-558	9.99%	9.99	0.1112
CO_2	[%]	Uras 3E, vc.: 30885742	8.99%	8.99	0.1066

Naměřené hodnoty

	CO [ppm]		CO_2 [%]		CH [ppm]		NO_x [ppm]		O_2 [%]	
	Φ	σ	Φ	σ	Φ	σ	Φ	σ	Φ	σ
1	519.0	24.0223	11.4	0.0161	156.7	8.9492	1117.2	120.5577	0.09	0.0192
2	515.6	24.9476	11.4	0.0119	142.1	7.2784	1698.8	205.9034	0.12	0.0134
3	618.4	43.4685	11.4	0.0142	139.4	12.0920	1729.6	256.0301	0.14	0.0149
4	355.0	13.2286	11.3	0.0315	303.2	85.2374	1754.7	48.3301	0.26	0.0564
5	414.8	12.8126	11.3	0.0107	331.7	4.1808	1009.5	31.4982	0.24	0.0108
6	0.0	0.0000	0.0	0.0000	0.0	0.0000	0.0	0.0000	0.00	0.0000
7	0.0	0.0000	0.0	0.0000	0.0	0.0000	0.0	0.0000	0.00	0.0000
8	0.0	0.0000	0.0	0.0000	0.0	0.0000	0.0	0.0000	0.00	0.0000
9	0.0	0.0000	0.0	0.0000	0.0	0.0000	0.0	0.0000	0.00	0.0000
10	0.0	0.0000	0.0	0.0000	0.0	0.0000	0.0	0.0000	0.00	0.0000
11	0.0	0.0000	0.0	0.0000	0.0	0.0000	0.0	0.0000	0.00	0.0000
12	0.0	0.0000	0.0	0.0000	0.0	0.0000	0.0	0.0000	0.00	0.0000
13	0.0	0.0000	0.0	0.0000	0.0	0.0000	0.0	0.0000	0.00	0.0000

Měřil Moc. Hallman

Technická univerzita v Liberci

Státní zkušebna č.232

Hálkova 6, 461 17 Liberec

Záznam měření emisí výfukových plynů

Typ motoru	Avia 712 ZP	Výrobní číslo	1369502954
Výrobce	AVIA a.s. Praha		
Datum měření	30.10.1997	Délka měření	60 s
Barometrický tlak	97.6 kPa	Interval měření	1 s
Teplota okolí	18 °C	Typ testu	Porovnani regulace BRC
Relativní vlhkost	65 %		

Měřené body

	Točivý moment [Nm]	Výkon motoru [kW]	Otáčky [1/min]
1	170.0	32.0	1800
2	200.0	37.7	1800
3	210.0	39.6	1800
4	100.0	18.8	1800
5	50.0	9.4	1800
6	0.0	0.0	0
7	0.0	0.0	0
8	0.0	0.0	0
9	0.0	0.0	0
10	0.0	0.0	0
11	0.0	0.0	0
12	0.0	0.0	0
13	0.0	0.0	0

Použité analyzátory

složka emise		typ, v.č.	kalibrační plyn	ϕ	σ
CO	[ppm]	Uras 3E, vc.: 31577874	900 ppm	900.00	0.0422
NO_x	[ppm]	Horiba CLA 150, vc.: 850236011	911 ppm	911.00	0.0051
CH	[ppm]	Horiba FIA 321K, vc.: 851023021	903 ppm	903.00	0.0294
O_2	[%]	Oxymat 5E, vc.: 05-558	9.99%	9.99	0.1112
CO_2	[%]	Uras 3E, vc.: 30885742	8.99%	8.99	0.1066

Naměřené hodnoty

	CO [ppm]		CO_2 [%]		CH [ppm]		NO_x [ppm]		O_2 [%]	
	ϕ	σ	ϕ	σ	ϕ	σ	ϕ	σ	ϕ	σ
1	475.0	22.0679	11.4	0.0128	179.8	5.4578	1808.6	80.9137	0.20	0.0108
2	547.4	23.8666	11.4	0.0147	145.2	4.5669	1802.3	107.8219	0.16	0.0098
3	705.7	35.9922	11.4	0.0094	142.2	6.2881	1875.1	110.6038	0.20	0.0078
4	345.1	8.6345	11.3	0.0173	235.6	9.6112	1756.8	54.2891	0.23	0.0078
5	356.8	13.2640	11.3	0.0123	320.0	8.4366	961.1	37.9754	0.29	0.0105
6	0.0	0.0000	0.0	0.0000	0.0	0.0000	0.0	0.0000	0.00	0.0000
7	0.0	0.0000	0.0	0.0000	0.0	0.0000	0.0	0.0000	0.00	0.0000
8	0.0	0.0000	0.0	0.0000	0.0	0.0000	0.0	0.0000	0.00	0.0000
9	0.0	0.0000	0.0	0.0000	0.0	0.0000	0.0	0.0000	0.00	0.0000
10	0.0	0.0000	0.0	0.0000	0.0	0.0000	0.0	0.0000	0.00	0.0000
11	0.0	0.0000	0.0	0.0000	0.0	0.0000	0.0	0.0000	0.00	0.0000
12	0.0	0.0000	0.0	0.0000	0.0	0.0000	0.0	0.0000	0.00	0.0000
13	0.0	0.0000	0.0	0.0000	0.0	0.0000	0.0	0.0000	0.00	0.0000

Měřil Moc, Hallman

Příloha P8

Výzkum a vývoj motorů AVIA na zemní plyn

Souhrn: Zpráva obsahuje přehled možných koncepčních řešení rekonstrukcí vznětového motoru AVIA na plynový zážehový v provedení přeplňovaný a nepřeplňovaný motor. Navržené optimální varianty byly experimentálně ověřovány a prototypové verze mají základní technické parametry:

	AVIA 712 NG	AVIA D 407NG
výkon [kW]	56	65
otáčky [min^{-1}]	3000	2600
max. točivý moment [Nm]	222	268
kompresní poměr [–]	10,5	10,1

Obě řešení motorů s vysokou rezervou splňují v uvedeném provedení limity škodlivých emisí dle předpisu EHK 49 R.02

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
KATEDRA STROJŮ PRŮMYSLOVÉ DOPRAVY

VÝZKUM A VÝVOJ MOTORŮ AVIA NA ZEMNÍ PLYN

Vedoucí úkolu:
doc.Ing.Josef Laurin,CSc.

Spoluřešitelé:
Ing.Ladislav Bartoníček,CSc.
Ing.Lubomír Moc, CSc.

Vedoucí katedry:
Doc.Ing.Stanislav Beroun,CSc.

Číslo úkolu:
5159/370

Číslo zprávy:
SM 333/97

Liberec, září 1997

OBSAH

1.0	ÚVOD	4
2.0	NAFTOVÉ MOTORY AVIA	6
3.0	KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ PLYNOVÝCH ZÁŽEHOVÝCH MOTORŮ AVIA	7
4.0	VÝVOJ PLYNOVÉHO ZÁŽEHOVÉHO MOTORU S CHUDOU PALIVOVOU SMĚSÍ VARIANTA "C"	9
4.1	Funkční vzorek plynového motoru	9
4.1.1	Příslušenství motoru	10
4.1.2	Konstrukční úpravy motoru	10
4.2	Experimentální vývoj motoru	11
4.2.1	Zkušební stanoviště, měřicí přístroje, palivo	11
4.2.2	Stručný přehled experimentálních prací	12
4.2.3.	Seřízení motoru a jeho hlavní parametry	13
5.0	VÝVOJ NEPŘEPLŇOVANÉHO PLYNOVÉHO ZÁŽEHOVÉHO MOTORU S PALIVOVOU SMĚSÍ LAMBDA=1 VARIANTA "B"	15
5.1	Funkční vzorek nepřeplňovaného plynového motoru (lambda = 1)	15
5.1.1	Příslušenství motoru	16
5.1.2	Konstrukční úpravy motoru	16
5.1.3	Systémy regulace lambda palivové směsi	17
5.1.4	Třísložkové katalyzátory	20
5.2	Experimentální vývoj motoru	21
5.2.1	Stručný přehled experimentálních prací	21
5.2.2	Zapojení elektrického příslušenství motoru	21
5.2.3	Seřízení motoru a jeho hlavní parametry	22
6.0	VÝVOJ PŘEPLŇOVANÉHO PLYNOVÉHO ZÁŽEHOVÉHO MOTORU S PALIVOVOU SMĚSÍ LAMBDA=1 VARIANTA "F"	26
6.1	Funkční vzorek přeplňovaného plynového motoru (lambda = 1)	26
6.1.1	Příslušenství motoru	27
6.1.2	Konstrukční úpravy motoru	27
6.2	Experimentální vývoj přeplňovaného motoru	28
6.2.1	Stručný přehled experimentálních prací	28
6.2.2	Seřízení motoru a jeho hlavní parametry	29
7.0	DALŠÍ POSTUP VÝVOJOVÝCH PRACÍ	31
8.0	ZÁVĚR	33

1.0 ÚVOD

Na základě smlouvy o dílo č. 5159/370 uzavřené 9.2.1996 mezi objednatelem Slovenský plynárenský priemysel, š.p., odštěpný závod Bratislava a zhotovitelem Technickou univerzitou v Liberci, byl na katedře strojů průmyslové dopravy (KSD TUL) prováděn vývoj plynových zážehových motorů AVIA. K rekonstrukci pro provoz na stlačený zemní plyn byl určen jednak původně naftový nepřeplňovaný motor AVIA 712.18, jednak původně naftový přeplňovaný motor AVIA D407.03.

Důležitým požadavkem objednatele, kladeným na plynové motory, bylo nepřekročení limitů škodlivých výfukových emisí stanovených předpisem EHK 49 (EURO 2), a proto byly vývojové práce zaměřeny v prvé řadě na dosažení nízkých úrovní výfukových škodlivých emisí, přičemž se vycházelo z následujících poznatků.

Přechod ze vznětového na zážehový pracovní cyklus s plynným palivem přináší zpravidla výrazné snížení množství pevných částic ve výfukových plynech a snížení plynných výfukových škodlivin. Výfukové plyny jsou méně dráždivé a méně zapáchají. Hlučnost zážehového motoru je zpravidla nižší než hlučnost původního naftového motoru.

Tvorbu škodlivých emisí u plynových zážehových motorů ovlivňuje vedle konkrétního řešení původního naftového motoru také např. kompresní poměr, tvar spalovacího prostoru, zapalovací svíčka a její umístění, uspořádání a technické řešení příslušenství k tvorbě palivové směsi, systém elektrického zapalování a způsob regulace motoru včetně možností a stability seřízení. Jako jeden z nejdůležitějších parametrů, který ovlivňuje úroveň škodlivých emisí, je nutné uvést součinitel přebytku vzduchu palivové směsi - lambda.

Z charakteru závislosti koncentrací plynných škodlivin ve výfukových plynech CO, CH a NO_x na součiniteli přebytku vzduchu vyplývá, že při spalování směsí s vysokým přebytkem vzduchu, např. lambda = 1,4 - 1,6, jsou koncentrace CO a NO_x ve výfukových plynech relativně nízké, použitím oxidačního katalyzátoru se sníží i obsah CH. Této skutečnosti využívá koncepce "velmi chudých palivových směsí". Při použití chudé

palivové směsi s vysokým přebytkem vzduchu u nepřeplňovaných motorů, nebývá často energetický obsah náplně válců dostatečný k dosažení požadovaných výkonových parametrů motoru. Problematické bývá též udržení součinitele přebytku vzduchu v požadovaných mezích.

Jiným způsobem, který se nabízí k výraznému snížení plynných škodlivin plynových zážehových motorů, je spalování směsí se součinitelem přebytku vzduchu lambda = 0,99 - 1,0 a snížení obsahu CO, CH a NOx třísložkovým katalyzátorem, tj. koncepce využívající "stechiometrické palivové směsi".

Z hlediska energetického obsahu v palivové směsi (lambda = 1), dopravené do válců pak nedojde ve většině případů u plynového motoru ke snížení hodnoty jmenovitého výkonu původního naftového motoru. Při provozu motoru na stechiometrickou palivovou směs bývá mírně vyšší měrná spotřeba paliva, než při provozu na chudou palivovou směs.

Nepřeplňovaný naftový motor AVIA 712.18 byl během vývoje přestavěn na dvě rozdílné plynové zážehové verze - na přeplňovaný motor AVIA 712 TNG, pracující s chudou palivovou směsí a na nepřeplňovaný motor AVIA 712 NG, pracující se stechiometrickou palivovou směsí. Přeplňovaný naftový motor AVIA D407.03 byl přestavěn na přeplňovaný plynový motor AVIA D407 NG, pracující se stechiometrickou palivovou směsí. Homologaci podle předpisu EHK 49 byly na žádost objednatele podrobeny plynové motory AVIA 712 NG a AVIA D407 NG.

2.0 NAFTOVÉ MOTORY AVIA

Motory AVIA, určené k rekonstrukci, jsou čtyřdobé, řadové kapalinou chlazené stojaté vznětové čtyřválce s přímým vstřikem paliva a rozvodem OHV, které mají hlavní konstrukční a provozní parametry uvedené v tabulce 1.

Tabulka 1. Naftové motory AVIA

	Nepřeplňovaný AVIA 712.18	Přeplňovaný AVIA D 407.03
Vrtání válců /mm/	102	
Zdvih pístů /mm/	110	
Obsah válců /cm^3/	3595	
Kompresní poměr	17,5 : 1	
Jmenovité otáčky /min^{-1}/	3000	2600
Jmenovitý výkon podle ISO 1585 /kW/	58	65
Max. točivý moment /Nm/	205	275

3.0 KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ PLYNOVÝCH ZÁŽEHOVÝCH MOTORŮ AVIA

Varianty koncepčních řešení zážehových plynových motorů vycházejících jednak z nepřeplňovaného naftového motoru AVIA 712.18 (58 kW, 3000min-1), jednak z přeplňovaného naftového motoru AVIA D407.03 (65 kW, 2600 min-1) jsou shrnuty v tabulkách 2 a 3. V tabulkách jsou u jednotlivých variant uvedeny též očekávané výkony motorů, a to v % výkonu původního naftového motoru a za předpokladu , že obsah škodlivých emisí ve výfukových plynech vyhoví požadavkům předpisu EHK 49 (EURO II).

Po dohodě s objednatelem byly v květnu 1996 zvoleny následující varianty rekonstrukcí původních naftových motorů:

* nepřeplňovaný motor AVIA 712.18 na plynový přeplňovaný motor varianta "C",
* přeplňovaný motor AVIA D 407.03 na plynový přeplňovaný motor varianta "F".

Tabulka 2. Varianty rekonstrukcí původního nepřeplňovaného motoru AVIA na plynový zážehový motor

	A	B	C	D
nepřeplňov. motor	+	+	-	-
přeplňov. motor	-	-	+	+
chudá směs	+	-	+	-
stechiometr. směs	-	+	-	+
elektr. regulace kvality směsi	-	+	-	+
oxidační katal.	+	-	+	-
třísložkový katal.	-	+	-	+
očekávaný výkom motoru *) /%/	60	96	100	100

Na základě jednání s objednatelem v červnu 1996 bylo s ohledem na značný rozsah úprav v případě přestavby nepřeplňovaného naftového motoru na přeplňovaný plynový motor podle varianty "C" od tohoto způsobu rekonstrukce upuštěno a zvolena byla varianta "B", tj. motor nepřeplňovaný se stechiometrickou palivovou směsí.

Tabulka 3. Varianty rekonstrukcí původního přeplňovaného motoru AVIA na plynový zážehový motor

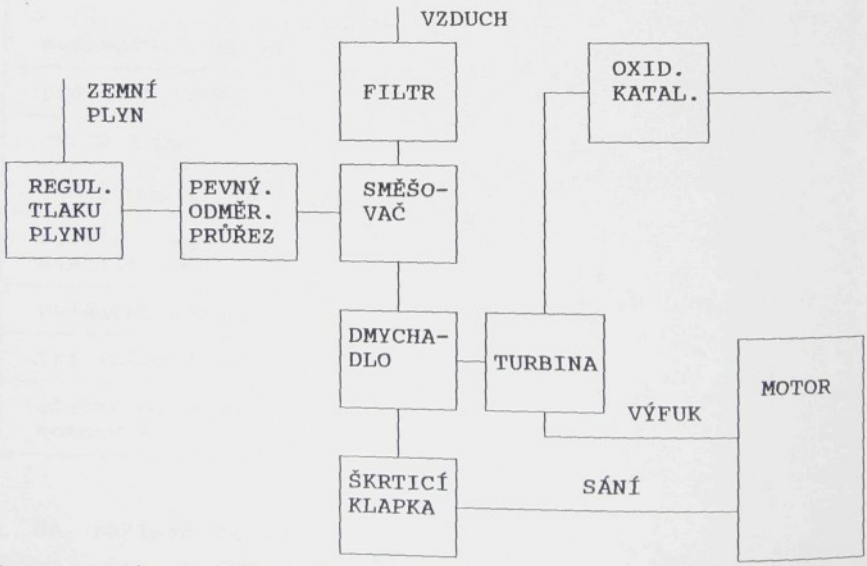
	E	F
přeplňov. motor	+	+
chudá směs	+	-
stechiometr. směs	-	+
elektr. regulace kvality směsi	-	+
oxidační katal.	+	-
třísložkový katal.	-	+
očekávaný výkon motoru /%/	90	100

4.0 VÝVOJ PLYNOVÉHO ZÁŽEHOVÉHO MOTORU S CHUDOU PALIVOVOU SMĚSÍ VARIANTA "C"

Při rekonstrukci původního nepřeplňovaného naftového motoru na funkční vzorek přeplňovaného plynového motoru (varianta "C") byl motor vybaven potřebným palivovým příslušenstvím, turbodmychadlem, elektrickým zapalováním s regulátorem maximálních otáček motoru a oxidačním katalyzátorem. Dále byly provedeny některé konstrukční úpravy (pístu, hlavy válců, sacího traktu aj.).

4.1 Funkční vzorek plynového motoru

Schéma základního uspořádání funkčního vzorku přeplňovaného vozidlového motoru AVIA na stlačený zemní plyn s příslušenstvím je na obr 1.



Obr.1 Schéma základního uspořádání funkčního vzorku přepňovaného vozidlového motoru AVIA na stlačený zemní plyn s příslušenstvím

Stlačený zemní plyn se přivádí do regulátoru tlaku plynu

a přes nastavitelný odměrný průřez do směšovače s pevným difuzorem. Ve směšovači se tvoří palivová směs plynu se vzduchem. Palivová směs se stlačuje dmychadlem TBD a její množství se ovládá škrticí klapkou. Elektronický regulátor otáček motoru, který je součástí zapalovací soupravy zajišťuje, aby nedošlo k překročení maximálních přípustných otáček motoru. Regulátor uzavírá prostřednictvím elektromagnetického ventilu průtok plynu regulátorem tlaku plynu. Ve výfukovém potrubí je instalován oxidační katalyzátor.

4.1.1 Příslušenství motoru

Funkční vzorek plynového zážehového motoru byl vybaven následujícím příslušenstvím:

* regulátor tlaku plynu O.M.V.L. R89/E,
* elektrické zapalování fy MAGNETON Kroměříž, a.s.,typ 443 811 222 042 s omezovacím regulátorem otáček,
* zapalovací svíčky se závitem M12 x 1,25, BOSCH XR4AS,
* turbodmychadlo fy ČZ Strakonice, a.s., typ C13-02-01 1364A/6,12,
* oxidační katalyzátor fy ECOS Choceň (granule Pd-CuO na nosiči AL_2O_3, označení podle CHEMOPETROL - CHEROX 40-30).

4.1.2 Konstrukční úpravy

Konstrukční úpravy původního naftového motoru se u návrhu funkčního vzorku plynového motoru týkaly zejména umístění zapalovacích svíček do hlavy válců, úprav pístů a instalace směšovače, dmychadla a škrticí klapky sacího traktu motoru. Dále jsou uvedeny významnější úpravy původního naftového motoru na funkční vzorek motoru plynového:

* písty - motor byl osazen písty upravenými za účelem snížení kompresního poměru a s ohledem na průběh spalování v plynovém zážehovém motoru. Pro funkční vzorek plynového motoru byly použity písty upravené podle výkresu v příloze P1 ,kompresní poměr 10,6,
* hlava válců - na motor byla instalována hlava válců s otvory pro vstřikovače upravenými podle výkresu v příloze P2 pro umístění zapalovacích svíček se závitem

M12 x 1,25,

* směšovač byl vytvořen v kolenu sání před dmychadlem, jeho poslední vývojovou verzi zachycuje výkres v příloze P3,
* do sání motoru za dmychadlo byla instalována škrticí klapka, viz výkres v příloze P4,
* kryt setrvačníku je upraven pro instalaci dvou indukčních snímačů BRISK S11, potřebných pro elektrické zapalování MAGNETON, snímače polohy klikového hřídele jsou umístěny podle výkresu v příloze P5.

4.2 Experimentální vývoj motoru

4.2.1 Zkušební stanoviště, měřicí přístroje, palivo

Experimentální vývoj plynových motorů AVIA byl prováděn na zkušebním stanovišti s elektrickým dynamometrem KS 47 v laboratoři KSD TUL.

Motor byl vybaven příslušenstvím uvedeným v odst. 4.1.1. Katalyzátor byl instalován do výfukového potrubí namísto tlumiče hluku výfuku.

K měření jednotlivých veličin byly použity následující přístroje:

* točivý moment a otáčky motoru	přístroje elektrického dynamometru KS 47
* teplota vzduchu	teploměr Pt 100
* teplota chlad. kapaliny	teploměr Pt 100
* teplota oleje	teploměr Pt 100
* teplota výfuk. plynů	termočlánek Fe-Ko
* tlak plynu	U-manometr s náplní H_2O
* tlak vzduchu (pal.směsi)	U-manometr s náplní H_2O
	U-manometr s náplní Hg
* tlak výfuk. plynů	U-manometr s náplní Hg
* množství vzduchu	plynoměr Gaselan
* obsah CO ve výfuk. plynech	HB URAS 3E,v.č.31577874
* obsah CH ve výfuk. plynech	HB FIA 321X 851023021
* obsah NOx ve výfuk. plynech	HORIBA CLA-150 850236011
* obsah O2 ve výfuk. plynech	SIEMENS OXYMAT 5E 05-558
* "lambda" palivové směsi	měřicí lambda-sonda UEGO.

Při zkouškách na brzdovém stanovišti byl pro motor použit zemní plyn s parametry (při teplotě 0^0C a tlaku 101,32 kPa) uvedenými v tabulce 4.

Tabulka 4. Vlastnosti zemního plynu

Obsah metanu /% obj./	98,4
Měrná hmotnost /kg/m^3/	0,728
Měrná tepelná kapacita c_p /kJ/kg.K/	2,207
Výhřevnost /MJ/m^3/	35,9
Teoretické množ. vzduchu /m^3/m^3/	9,51
Teoretické množ. vzduchu /kg/kg/	16,9

4.2.2 Stručný přehled experimenálních prací

Provedeny byly experimentální práce, z nichž za nejvýznamnější lze považovat následující:

* měření potřebná pro vývoj směšovače,
* zjišťování parametrů plynového palivového příslušenství,
* ověřování činnosti elektrického zapalování,
* zjišťování vhodného průběhu předstihu zážehu,
* ověřování činnosti omezovacího regulátoru otáček motoru,
* zjišťování účinnosti oxidačního katalyzátoru,
* optimalizace seřízení plynového palivového příslušenství,
* zjišťování vlivu seřízení palivového příslušenství a předstihu zážehu na:
  * výkonové parametry motoru,
  * úroveň výfukových škodlivin,
  * tepelné zatížení motoru,
* zjišťování účinnosti chladicího systému motoru,
* emisní testy podle předpisu EHK 49.

Záznamy o výsledcích jednotlivých měření jsou uloženy na KSD TUL.

4.2.3 Seřízení a hlavní parametry motoru varianta "C"

Motor, který bude označován AVIA 712 TNG, vybavený příslušenstvím uvedeným v odst. 4.1.1 s úpravami popsanými v odst. 4.1.2, byl seřízen nastavením dorazu max.otevření škrticí klapky na jmenovitý výkon 61 kW. Součinitel přebytku vzduchu při jmenovitém výkonu byl přibližně 1,5. Předstih zážehu v závislosti na otáčkách:

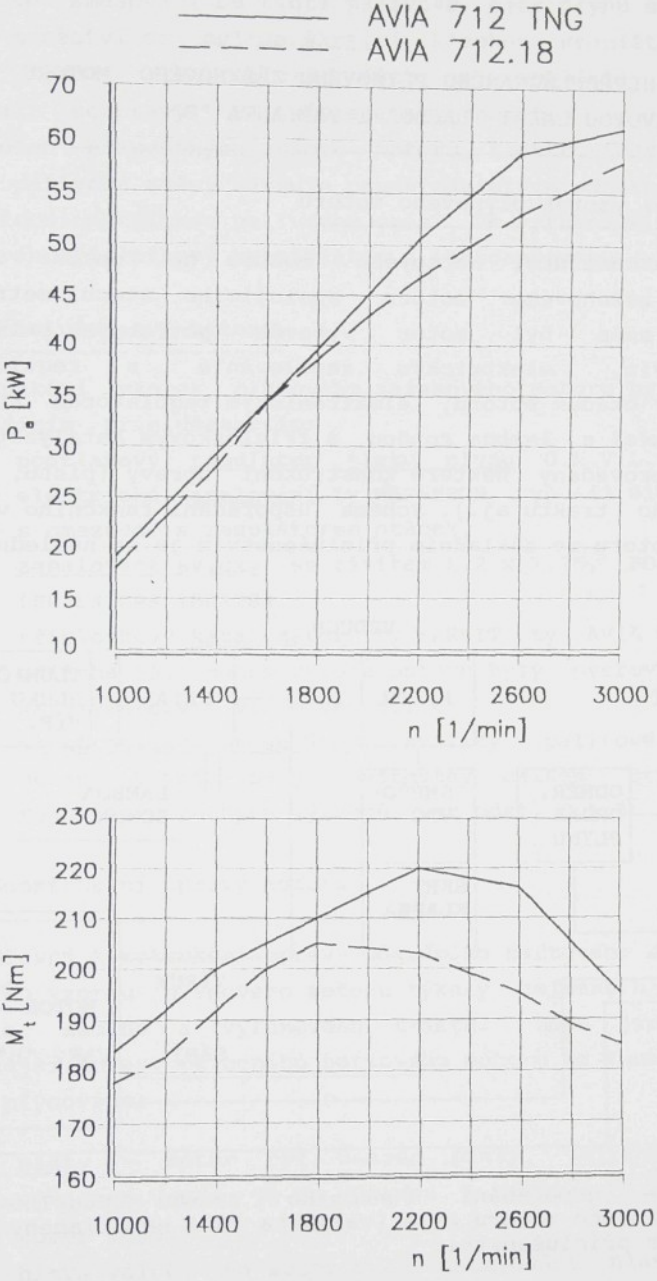
do 1000 min^{-1}.... 5^{O} KH před HÚ
při 1800 min^{-1}....13^{O}
při 3000 min^{-1}... 25^{O}.

Hlavní parametry motoru jsou uvedeny v tabulce 5, vnější rychlostní charakteristika motoru je na obr. 2 a výsledky emisního testu zjištěné podle předpisu EHK 49 byly následující:

* CO ..... 1,91 $g.kWh^{-1}$
* CH ..... 0,84 $g.kWh^{-1}$
* NOx.....4,16 $g.kWh^{-1}$.

Tabulka 5. Hlavní parametry motoru AVIA 712 TNG

Vrtání válců /mm/	102
Zdvih pístů /mm/	110
Obsah válců /cm^3/	3595
Kompresní poměr	10,6
Jmenovité otáčky /min^{-1}/	3000
Jmenovitý výkon podle ISO 1585 /kW/	61
Max. točivý moment /Nm/ při otáčkách 2400 min^{-1}	220

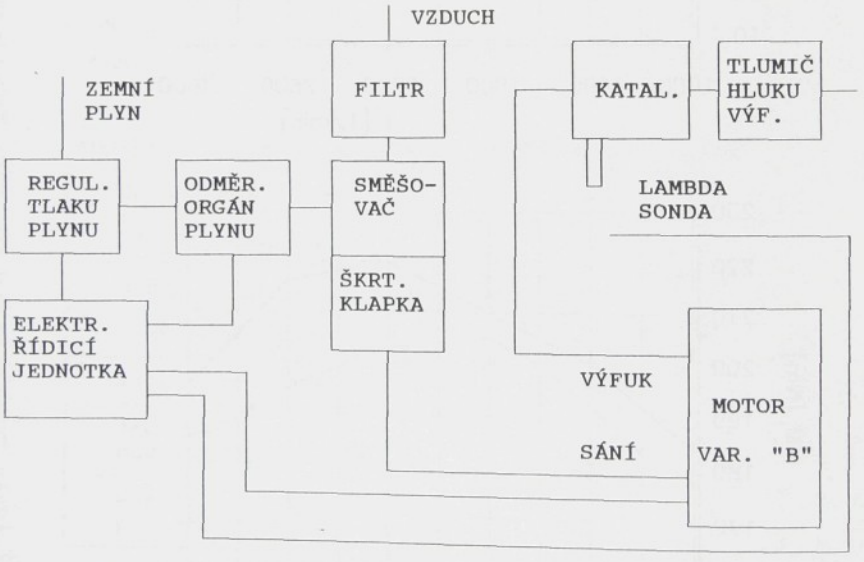


Obr. 2 Vnější rychlostní charakteristika plynového motoru AVIA 712 TNG a naftového motoru AVIA 712

5.0 VÝVOJ NEPŘEPLŇOVANÉHO PLYNOVÉHO ZÁŽEHOVÉHO MOTORU S PALIVOVOU SMĚSÍ LAMBDA=1 VARIANTA "B"

5.1 Funkční vzorek plynového motoru

Při rekonstrukci naftového motoru na funkční vzorek plynového zážehového motoru spalujícího stechiometrickou palivovou směs byl motor vybaven potřebným palivovým příslušenstvím, elektrickým zapalováním s regulátorem maximálních otáček motoru, elektronickým regulátorem kvality palivové směsi s lambda sondou a třísložkovým katalyzátorem. Dále byly provedeny některé konstrukční úpravy (pístu, hlavy válců, sacího traktu aj.). Schéma uspořádání funkčního vzorku plynového motoru se základním příslušenstvím je na následujícím obr. 3.



Obr. 3 Schéma uspořádání funkčního vzorku nepřeplňovaného vozidlového motoru AVIA (varianta "B") na stlačený zemní plyn s příslušenstvím

Stlačený zemní plyn se přivádí do regulátoru tlaku plynu a přes odměrný orgán ovládaný elektronickým regulátorem do smě-

šovače. Ve směšovači se tvoří palivová směs plynu se vzduchem a její množství se ovládá škrticí klapkou. Regulátor otáček motoru, jehož elektronická část je součástí elektrické zapalovací soupravy, zajišťuje, aby nedošlo k překročení maximálních přípustných otáček motoru. Elektronický regulátor kvality palivové směsi udržuje prostřednictvím odměrného orgánu plynu stechiometrickou palivovou směs. Ve výfukovém potrubí je instalován třísložkový katalyzátor s lambda-sondou.

5.1.1 Příslušenství motoru

Funkční vzorek plynového zážehového motoru byl vybaven následujícím příslušenstvím:

* podtlakový regulátor tlaku plynu O.M.V.L. R89/E1,
* elektrické zapalování fy MAGNETON, typ 443 811 222 042 s omezovacím regulátorem otáček,
* zapalovací svíčky se závitem M12 x 1,25, BOSCH XR4AS (BRISK GAS 1BR12S),
* třísložkový katalyzátor fy KARSIT typ AVIA CNG - viz příloha P6, během vývoje motoru byly ověřovány i jiné katalyzátory - viz odst. 5.1.4,
* elektronický regulátor kvality palivové směsi, během vývoje byly ověřovány celkem čtyři typy regulátorů různých výrobců, viz odst. 5.1.3.

5.1.2 Konstrukční úpravy motoru

Hlavní konstrukční úpravy původního naftového motoru se u funkčního vzorku plynového motoru týkaly zejména hlavy válců, pístů a sacího a výfukového traktu. Dále jsou uvedeny významnější úpravy původního naftového motoru na funkční vzorek motoru plynového:

* písty - motor byl osazen písty, jejichž poslední vývojová verze je na výkresu v příloze P7, kompresní poměr 10,5,
* hlava válců - na motor byla instalována hlava válců s otvory pro vstřikovače upravenými podle výkresu v příloze P2,
* směšovač se škrticí klapkou byl instalován do sacího

traktu motoru mezi čistič vzduchu a sací potrubí, poslední vývojovou verzi směšovače se škrticí klapkou zachycuje výkres v příloze P8,

* kryt setrvačníku je upraven pro instalaci dvou indukčních snímačů BRISK S11, umístěných podle obr. v P5.

5.1.3 Systémy regulace palivové směsi lambda=1

Schémata uspořádání nepřeplňovaného zážehového motoru AVIA na stlačený zemní plyn s příslušenstvím a se čtyřmi různými regulačními systémy lambda=1 palivové směsi, které byly během vývoje motoru ověřovány, jsou na obr. 4, 5, 6 a 7. K regulaci "lambda" palivové směsi byly použity regulační systémy:

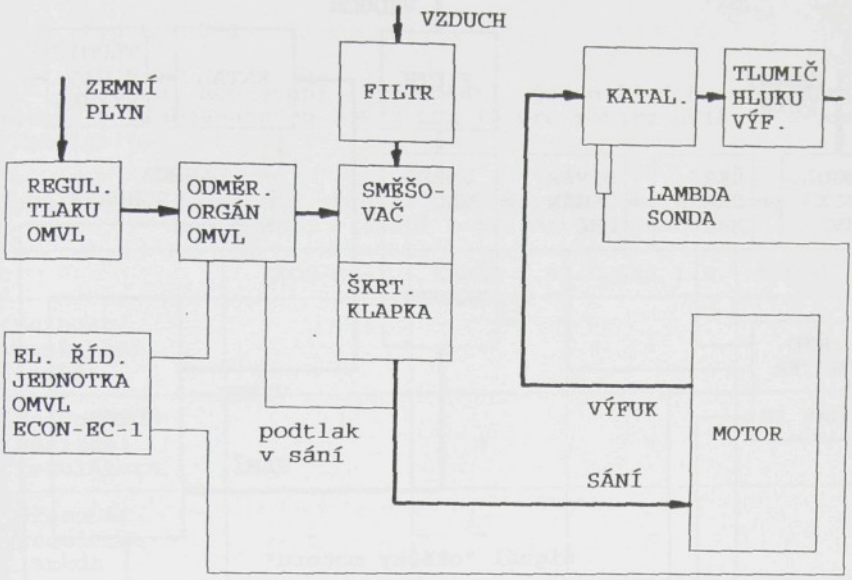
* O.M.V.L. typ ECON-EC-1,
* B.R.C. typ LAMBDA GAS I.S.,
* B.R.C. typ LAMBDA GAS I.B.,
* SYNTAX typ ECU-G1.

Charakteristické parametry jednotlivých regulačních systémů jsou shrnuty v tabulce 6.

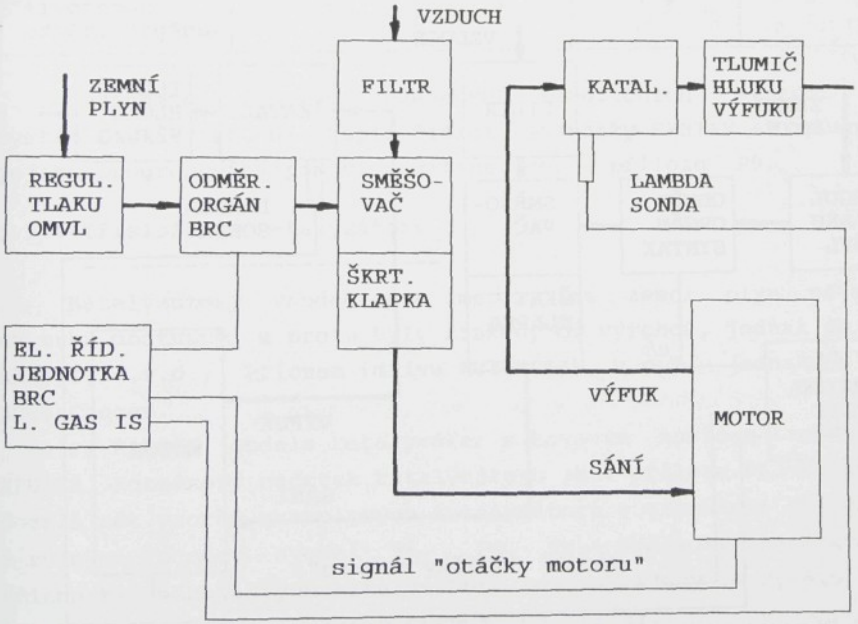
Tabulka 6. Parametry regulačních systémů

	ECON-EC-1	L.GAS I.S	L.GAS I.B.	ECU-G1
Vstupní sign. do řídicí jednotky	U_{lambda}	U_{lambda} otáčky	U_{lambda} otáčky	U_{lambda} otáčky
Možnost nastavení lambda	ne	ano	ano	ano
Servopohon odměr. orgánu plynu	pneumat. s elmagnet. ventilem	lineár. elektro-magnet	lineár. elektro-magnet	krokový motorek
Lambda sonda	BOSCH LSH 25			
Kompenzace změny tlaku vzduchu *	ne	ne	škrt. org. ovládaný krok.motor	ne

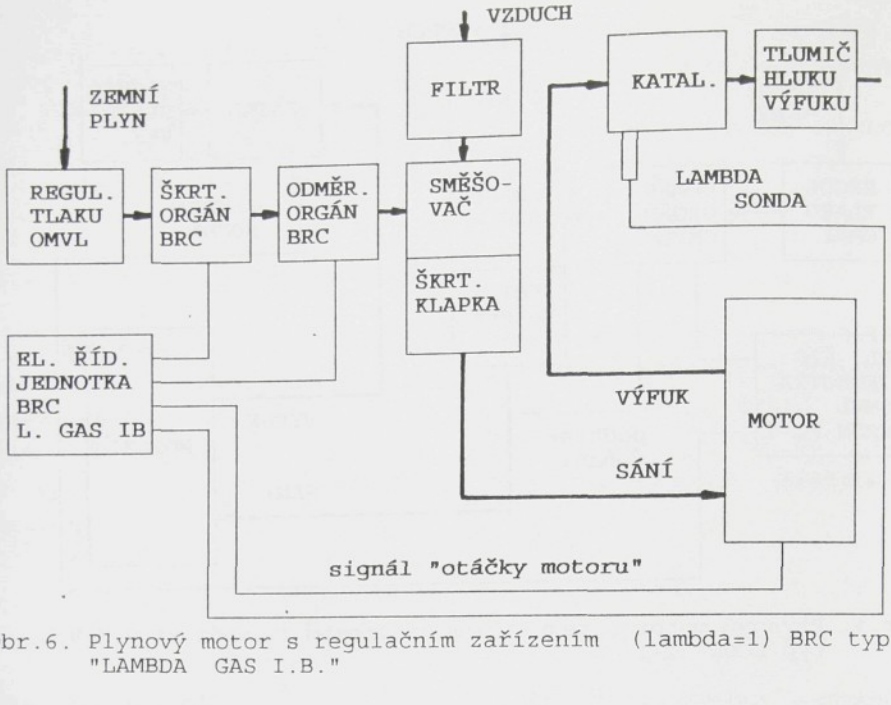
* Na výstupu plynu z regulátoru tlaku bývá zařazen škrticí ventil kompenzující vliv změny tlaku vzduchu za filtrem, způsobené změnami odporu filtru, na tlak ve směšovači.



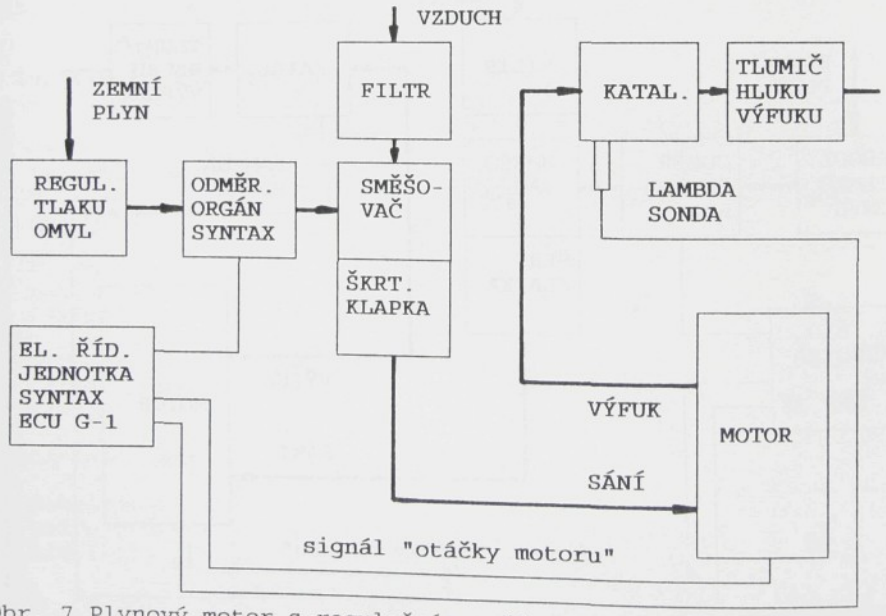
Obr.4. Plynový motor s regulačním zařízením (lambda=1) O.M.V.L. typ ECON-EC-1



Obr. 5. Plynový motor s regulačním zařízením (laMBDA=1) BRC typ "LAMBDA GAS I.S."



Obr.6. Plynový motor s regulačním zařízením (lambda=1) BRC typ "LAMBDA GAS I.B."



Obr. 7 Plynový motor s regulačním zařízením (lambda=1) SYNTAX typ ECU G-1

typ ECU G-1

Přehled hodnocení vhodnosti jednotlivých regulačních systémů s lambda-sondou BOSCH LSH 25 pro motory AVIA je uvedeno v tabulce 6.

Tabulka 6. Hodnocení regulačních systémů (+ značí příznivé hodnocení, - značí nepříznivé hodnocení)

	ECON-EC-1	L.GAS I.S	L.GAS I.B.	ECU-G1
Možnost nastavení lambda	- -	+	+	+
Možnosti seřízení regulátoru	- -	+	+	+ +
Přesnost regulace lambda	-	-	-	+
Časová stálost lambda	-	-	-	+
Očekávaná životnost odměr. orgánu	- -	+ +	+ +	+

Nejvhodnější z výše uvedených regulačních systému je systém SYNTAX ECU-G1. Popis řídicí jednotky SYNTAX a způsobu jejího programování pomocí počítače jsou v příloze P9.

5.1.4 Třísložkové katalyzátory

Katalyzátory vhodné pro motory na zemní plyn nejsou na trhu dostupné, a proto byly získány od výrobců, jednak od fy KARSIT, s.r.o., Příbram (dříve AUTOMETAL, s.p.), jednak od fy ECOS Choceň.

Fa KARSIT dodala katalyzátor s kovovým nosičem finské fy KEMIRA. Rozměrový náčrtek katalyzátoru je v příloze P6. Fa ECOS dodala pět vzorků granulových katalyzátorů s granulemi CHEROX a s různými poměry sycení Pt, Pd, Rh. Výsledky zjišťování účinnosti jednotlivých katalyzátorů jsou uvedeny ve zprávě KSD TUL "Hodnocení katalyzátorů CHEROX" SM 323/97.

Ze zkoušených katalyzátorů měl vyhovující účinnost pouze katalyzátor fy KARSIT.

5.2 Experimentální vývoj motoru

Experimentální práce byly prováděny stejně jak v případě motoru AVIA varianta "C" na zkušebním stanovišti vybaveném měřicím zařízením, které uvádí odst. 4.2.1.

5.2.1 Stručný přehled experimenálních prací

Prováděny byly experimentální práce, z nichž za nejvýznamnější lze považovat následující:

* měření potřebná pro vývoj směšovače se škrticí klapkou,
* zjišťování parametrů plynového palivového příslušenství,
* zjišťování vhodného průběhu předstihu zážehu,
* zkoušky čtyř regulačních systémů "lambda",
* zjišťování účinnosti třísložkových katalyzátorů,
* optimalizace seřízení plynového palivového příslušenství,
* zjišťování vlivu seřízení palivového příslušenství a předstihu zážehu na:
  * výkonové parametry motor,
  * úroveň výfukových škodlivin
  * tepelné zatížení motoru,
* zjišťování účinnosti chladicího systému motoru,
* emisní testy podle předpisu EHK 49.

Záznamy o výsledcích jednotlivých měření jsou uloženy na KSD TUL.

5.2.2 Zapojení elektrického příslušenství motoru

Schéma zapojení elektrického příslušenství motoru je v na obr. 8. Ve schematu jsou zakresleny:

* řídicí jednotka zapalování MAGNETON (s relé, které ovláda elektromagnetický ventil na regulátoru tlaku plynu), se vstupy signálů ze snímače otáček a ze snímače polohy klikového hřídele (oba snímače BRISK S 11),

* blok zapalovacích cívek MAGNETON,
* řídicí jednotka SYNTAX ECU G-1 se vstupem signálu z lambda-sondy, vstupem signálu snímaného z vn. kabelu elektrického zapalování (přibližně 10 závitů vodiče navinutých na vn. kabel), výstupem na krokový motorek odměrného orgánu plynu, výstupem pro připojení počítače a výstupem pro kontrolní LED (popis řídicí jednotky a jejího programování je v příloze P9),
* spínač SP k přípojení elektrického příslušenství na + 12 V akumulátoru.

5.2.3 Seřízení a hlavní parametry motoru varianta "B"

Plynový motor, který bude označován AVIA 712 NG, vybavený příslušenstvím uvedeným v odst. 5.1.1 s úpravami popsanými v odst. 5.1.2, byl seřízen s ohledem na průběh vnější rychlostní chrakteristiky naštavením dorazu max. otevření škrticí klapky na jmenovitý výkon 56 kW.

Předstih zážehu v závislosti na otáčkách:

* do 1000 min^{-1}..... 5^{O} KH před HÚ
* při 1800 min^{-1}....13^{O}
* při 3000 min^{-1}... 25^{O}.

Naprogramování řídicí jednotky ECU-G1:

* F2 - Basic /steps/	60
* F3 - B + G time /ms/	0
* F4 - B - G time /s/	5
* F5 - LO limit /steps/	50
* F6 - HI limit /steps/	222
* F7 - Start speed	4
* F8 - Speed /ms/	200.

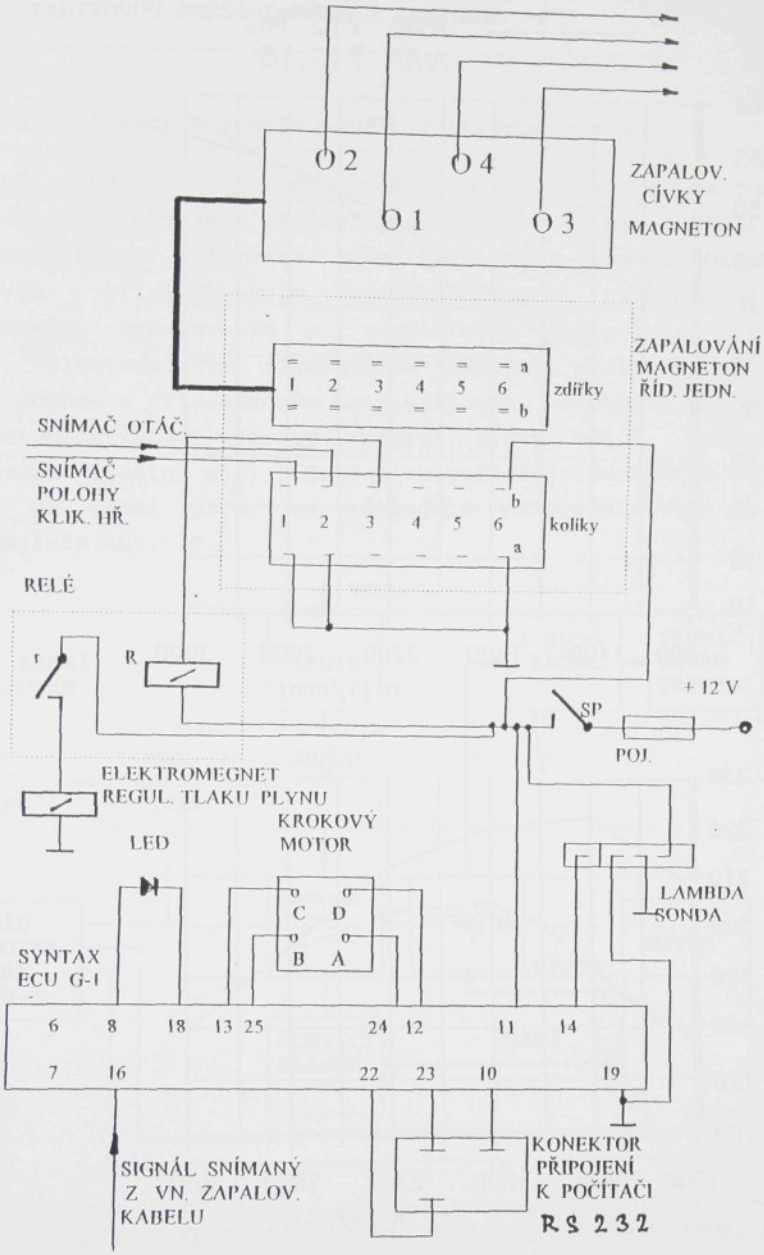
Hlavní parametry motoru jsou uvedeny v tabulce 7, vnější rychlostní charakteristika motoru je na obr. 9 a výsledky emisního testu zjištěné při homologaci motoru podle předpisu EHK 49 jsou následující:

* CO .....0,65 $g.kWh^{-1}$
* CH ..... 0,16 $g.kWh^{-1}$
* NOx.....0,50 $g.kWh^{-1}$.

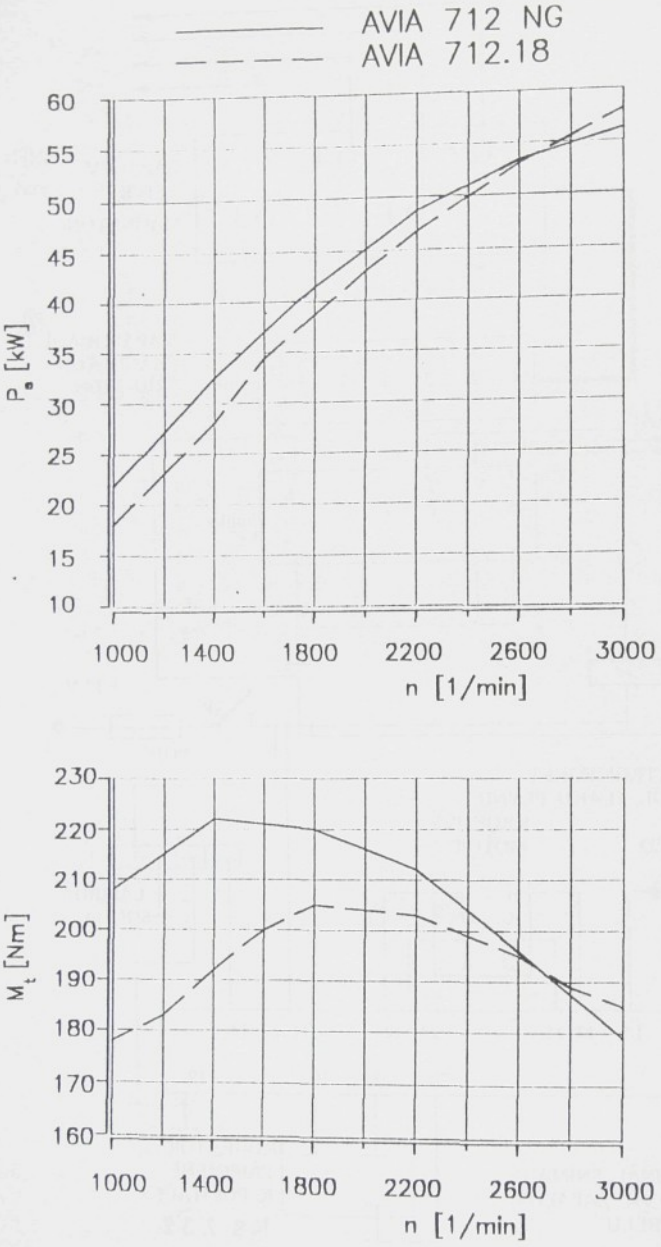
Protokol o měření plynných emisí podle uvedeného předpisu je v příloze P 12.

Tabulka 7. Hlavní parametry motoru AVIA 712 NG

Vrtání válců /mm/	102
Zdvih pístů /mm/	110
Obsah válců /cm^3/	3595
Kompresní poměr	10,5
Jmenovité otáčky /min^{-1}/	3000
Jmenovitý výkon podle ISO 1585 /kW/	56
Max. točivý moment /Nm/ při otáčkách 1400 min^{-1}	222



Obr. 8 Schéma zapojení elektrického příslušenství motoru

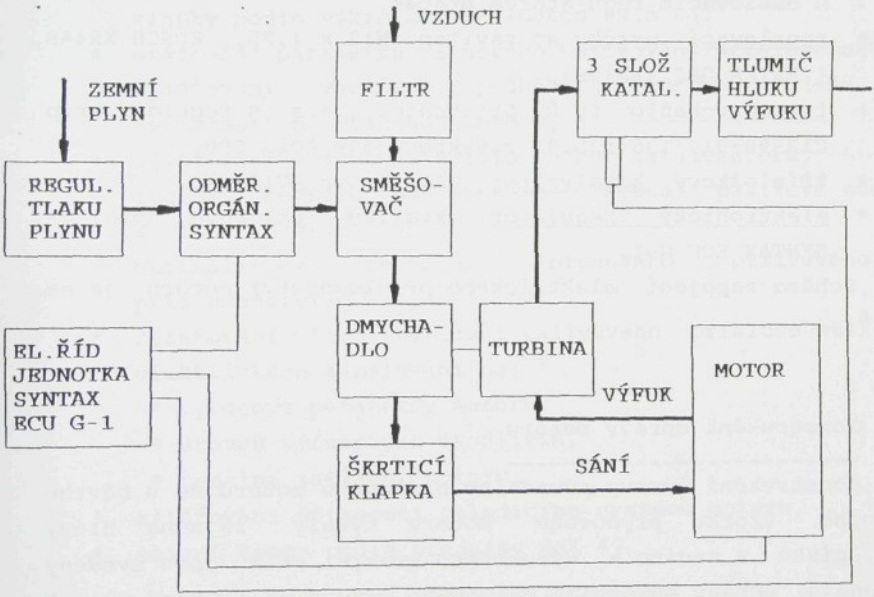


Obr. 9 Vnější rychlostní charakteristika plynového motoru AVIA 712 NG a naftového motoru AVIA 712

6.0 VÝVOJ PŘEPLŇOVANÉHO PLYNOVÉHO ZÁŽEHOVÉHO MOTORU S PALIVOVOU SMĚSÍ LAMBDA=1 VARIANTA "E"

6.1 Funkční vzorek přeplňovaného plynového motoru

Při rekonstrukci přeplňovaného naftového motoru na funkční vzorek přeplňovaného plynového zážehového motoru spalujícího stechiometrickou palivovou směs, byl motor vybaven potřebným palivovým příslušenstvím, jiným typem turbodmychadla, elektrickým zapalováním s regulátorem maximálních otáček motoru, elektronickým regulátorem kvality palivové směsi s lambda sondou a třísložkovým katalyzátorem. Dále byly provedeny některé konstrukční úpravy (pístu, hlavy válců, sacího a výfukového traktu aj.). Schéma uspořádání funkčního vzorku motoru na zemní plyn se základním příslušenstvím je na následujícím obr. 10.



Obr. 10. Schéma základního uspořádání funkčního vzorku přepňovaného vozidlového motoru AVIA na stlačený zemní plyn s příslušenstvím

Stlačený zemní plyn se přivádí do regulátoru tlaku plynu, který přizpůsobuje tlak plynu tlakovým poměrům ve směšovači.

Ve směšovači se tvoří palivová směs plynu se vzduchem. Palivová směs se stlačuje dmychadlem TBD a její množství se ovládá škrticí klapkou. Elektronický regulátor otáček motoru, který je součástí zapalovací soupravy zajišťuje, aby nedošlo k překročení maximálních přípustných otáček motoru. Elektronický regulátor kvality palivové směsi udržuje prostřednictvím odměrného orgánu plynu stechiometrickou palivovou směs při všech režimech chodu motoru.. Ve výfukovém potrubí je instalován třísložkový katalyzátor s lambda-sondou.

6.1.1 Příslušenství motoru

Funkční vzorek plynového zážehového motoru byl vybaven následujícím příslušenstvím:

* regulátor tlaku plynu O.M.V.L. R89/E,
* elektrické zapalování fy MAGNETON, typ 443 811 222 042 s omezovacím regulátorem otáček,
* zapalovací svíčky se závitem M12 x 1,25, BOSCH XR4AS, (BRISK GAS 1BR12S),
* turbodmychadlo fy ČZ Strakonice, a.s.,s regulací, typ C13-99-01, 1364A/5.32 č.výkresu 399 0013 099,
* třísložkový katalyzátor KARSIT typ AVIA CNG,
* elektronický regulátor kvality palivové směsi SYNTAX ECU G-1.

Schéma zapojení elektrického příslušenství motoru je na obr. 8.

6.1.2 Konstrukční úpravy motoru

Konstrukční úpravy původního naftového motoru se u návrhu funkčního vzorku plynového motoru týkaly zejména hlavy válců, pístů a sacího a výfukového traktu. Dále jsou uvedeny významnější úpravy původního naftového motoru na funkční vzorek motoru plynového:

* písty - motor byl osazen písty, jejichž poslední vývojovou verzi (kompresní poměr 10,1) zachycuje výkres v příloze P10,
* hlava válců - na motor byla instalována upravená hlava válců - viz příloha P2,

* směšovač byl vytvořen v kolenu sání před dmychadlem, viz výkres v příloze P3,
* do sání motoru za dmychadlo byla instalována škrticí klapka, viz výkres v příloze P4,
* kryt setrvačníku byl upraven pro instalaci dvou indukčních snímačů BRISK S11.

6.2 Experimentální vývoj přeplňovaného motoru

6.2.1 Stručný přehled experimenálních prací

Prováděny byly experimentální práce, z nichž za nejvýznamnější lze považovat následující:

* měření ověřující vhodnost použití směšovače a škrticí klapky podle výkresů v přílohách P3 a P4,
* ověřování parametrů plynového palivového příslušenství,
* zjišťování vhodného průběhu předstihu zážehu v závislosti na otáčkách motoru,
* zjišťování účinnosti třísložkového katalyzátoru,
* zkoušky regulačního systému "lambda" palivové směsi SYNTAX ECU G-1,
* optimalizace seřízení plynového palivového příslušenství,
* zjišťování vlivu seřízení palivového příslušenství a elektrického zapalování na:
  * výkonové parametry motoru,
  * úroveň výfukových škodlivin,
  * tepelné zatížení motoru,
* zjišťování účinnosti chladicího systému motoru,
* emisní testy podle předpisu EHK 49

Záznamy o výsledcích jednotlivých zkoušek jsou uloženy na KSD TUL.

6.2.2 Seřízení a hlavní parametry motoru varianta "C"

Motor AVIA D407 NG, vybavený příslušenstvím uvedeným v odst. 6.1.1 s úpravami popsanými v odst. 6.1.2, byl seřízen nastavením dorazu max. otevření škrticí klapky na jmenovitý výkon 65 kW.

Předstih zážehu v závislosti na otáčkách:

* do 1000 min^{-1}..... 5^{O} KH před HÚ
* při 1800 min^{-1}....13^{O}
* při 3000 min^{-1}... 25^{O}.

Naprogramování řídící jednotky ECU-G1:

* F2 - Basic /steps/	60
* F3 - B + G time /ms/	0
* F4 - B - G time /s/	5
* F5 - LO limit /steps/	50
* F6 - HI limit /steps/	222
* F7 - Start speed	4
* F8 - Speed /ms/	200.

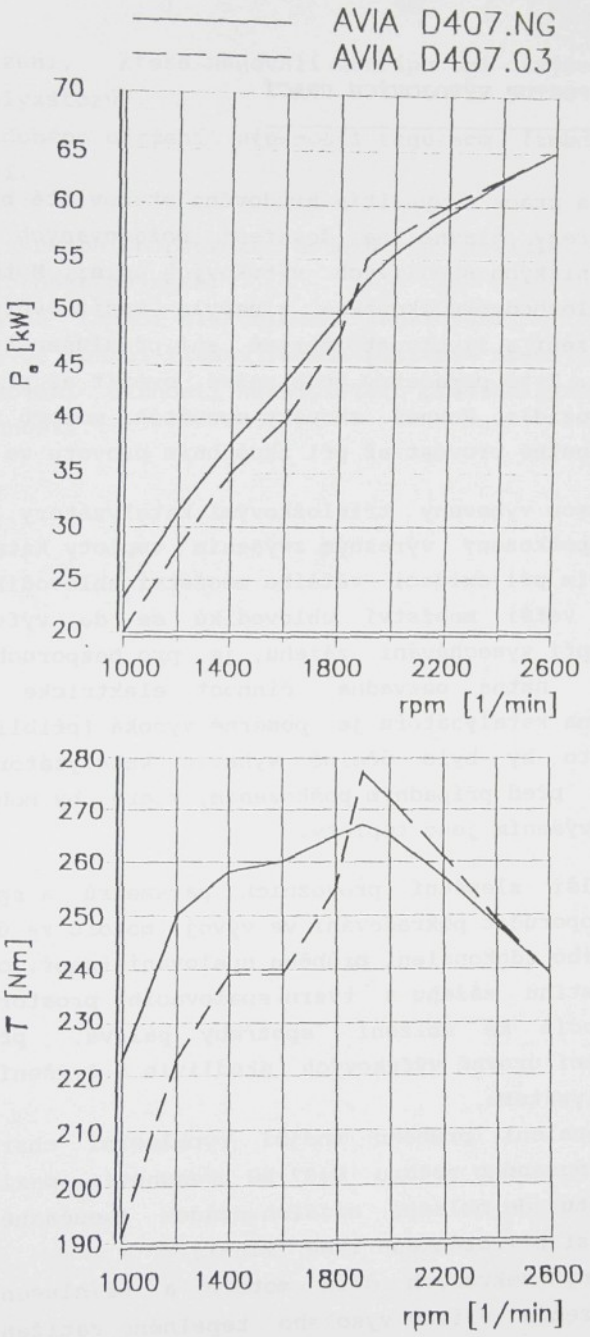
Hlavní parametry motoru jsou uvedeny v tabulce 7, vnější rychlostní charakteristika motoru je na obr. 11 a výsledky emisního testu podle předpisu EHK 49 byly následující:

* CO ..... 0,48 $g.kWh^{-1}$
* CH ..... 0,10 $g.kWh^{-1}$
* NOx..... 0,22 $g.kWh^{-1}$.

Protokol o výsledcích měření plynných emisí podle uvedeného předpisu je v příloze P 13.

Tabulka 7. Hlavní parametry motoru AVIA D407 NG

Vrtání válců /mm/	102
Zdvih pístů /mm/	110
Obsah válců /cm^3/	3595
Kompresní poměr	10,1
Jmenovité otáčky /min^{-1}/	2600
Jmenovitý výkon podle ISO 1585 /kW/	65
Max. točivý moment /Nm/ při otáčkách 1900 min^{-1}	268



Obr. 11. Vnější rychlostní charakteristika plynového motoru AVIA D 407 NG a naftového motoru AVIA D 407.03

7.0 DALŠÍ POSTUP VÝVOJOVÝCH PRACÍ

Vývojové práce s využitím brzdového stanoviště byly u obou motorů zaměřeny hlavně na dosažení požadovaných výkonových parametrů a nízkých škodlivých výfukových emisí. Motory nebyly podrobeny dlouhodobým zkouškám a nebyla tudíž ověřena časová stálost seřízení a životnost motorů ani příslušenství, zejména katalyzátorů. Tyto parametry bude možné ověřit až při zkušebním provozu ve vozidle. Rovněž zkoušky spouštění motorů za nižších teplot bude nutné provést až při zkušebním provozu ve vozidlech.

Motory jsou vybaveny třísložkovými katalyzátory, které mohou být snadno poškozeny výrazným zvýšením teploty katalyzátoru a jeho přehřátím při oxidaci většího množství uhlovodíků. Vzhledem k tomu, že větší množství uhlovodíků se do výfuku dostane nejčastěji při vynechávání zážehu, je pro bezporuchovou funkci katalyzátoru nutná bezvadná činnost elektrické zapalovací soupravy. Cena katalyzátoru je poměrně vysoká (přibližně 15 tis. Kč), a proto by bylo účelné vybavit katalyzátor zařízením chránícím ho před případným poškozením, které by mohlo nastat nežádoucím zvýšením jeho teploty.

Pro další zlepšení provozních parametrů a spolehlivosti motorů lze doporučit pokračování ve vývoji motorů za účelem:

* dalšího zdokonalení průběhu spalování (např. optimalizací předstihu zážehu a tvaru spalovacího prostoru v pístu) vedoucím ke snížení spotřeby paliva, případně i snížení úrovně výfukových škodlivin a žvýšení životnosti katalyzátoru,
* zdokonalení průběhu vnější rychlostní charakteristiky přeplňovaného motoru D407 NG přesunutím maxima točivého momentu do oblasti nižších otáček (současné maximum se nachází při otáčkách 1900 min-1),
* ochrany některých dílů motoru a příslušenství před poškozením vlivem vysokého tepelného zatížení (např. výfukové ventily a sedla ventilů, ložisko turbodmychadla aj.),
* ochrany katalyzátoru před přehřátím a poškozením (vývoj

zařízení, které nedovolí nepřípustné zvýšení teploty katalyzátoru),

* dloudobého udržení přesnosti regulace lambda palivové směsi.

Během zkušebního provozu motoru ve vozidle by měla být věnována pozornost zejména:

* správné funkci elektrického zapalování,
* správné funkci řízení lambda palivové směsi,
* sledování činnosti katalyzátoru pravidelným měřením jeho účinnosti.

8.0 ZÁVĚR

Na KSD TUL byl proveden vývoj plynových zážehových motorů AVIA, tj. přeplňovaného motoru AVIA 712 TNG (61 kW při 3000 min-1), pracujícího s chudou palivovou směsí a oxidačním katalyzátorem, nepřeplňovaného motoru AVIA 712 NG (56 kW při 3000 min-1), pracujícího se stechiometrickou palivovou a třísložkovým katalyzátorem a přeplňovaného motoru AVIA D407 NG (65 kW při 2600 min-1), pracujícího se stechiometrickou palivovou směsí a třísložkovým katalyzátorem.

Plynové motory AVIA 712 NG a AVIA D407 NG určené pro vozidla AVIA 21 NG a AVIA 31 NG byly homologovány podle předpisu EHK 49. Následující tabulka 8 uvádí hodnoty plynných škodlivých výfukových emisí zjištěných u obou motorů a porovnává je s přípustnými limity předpisu EHK 49 EURO 2 a s limity, jejichž platnost se očekává v roce 2000 a v roce 2010.

Tabulka 8. Škodlivé výfukové emise plynových motorů AVIA NG a emisní limity EHK 49 EURO 2, 3 a 5.

	LIMITY EMISÍ			EMISE MOTORŮ AVIA NG SKUTEČNOST V R. 1997	
PŘEDPIS ROK	EURO 2 r. 1996	EURO 3 * r. 2000	EURO 5 * r. 2010	712 NG NEPŘEPL.	D407 NG PŘEPL.
CO	4,0	2,5	1,0	0,65	0,49
CH	1,1	0,7	0,3	0,16	0,11
NOx	7	5	1,5	0,51	0,22

Lze konstatovat, že všechny požadavky na výsledky vývoje plynových motorů AVIA, stanovené ve smlouvě o dílo č.5159/370 uzavřené mezi objednatelem a zhotovitelem, byly splněny. Výkresovou dokumetaci směšovače se škrticí klapkou pro motor AVIA 712 NG, a směšovače a škrticí klapky pro motor AVIA D407 NG obdrží objednatel v listopadu letošního roku. Nelze vyloučit nutnost další spolupráce zhotovitele s objednatelem při zástavbě motorů do vozidel a během zkušebního provozu vozidel s plynovými motory.

Pro další zlepšení provozních parametrů a zejména spolehlivosti plynových motorů, lze doporučit pokračování ve vývojových pracech nad rámec výše uvedené smlouvy o dílo. Doporučené vývojové práce jsou stručně shrnuty v kap. 7.0 této zprávy.

PŘÍLOHY

P1 Píst motoru AVIA 712 TNG (10,6)

P2 Hlava válců

P3 Směšovač pro motory AVIA 712 TNG a AVIA D 407 NG

P4 Škrticí klapka pro motory AVIA 712 TNG a AVIA D 407 NG

P5 Umístění snímačů BRISK S11

P6 Katalyzátor KARSIT AVIA CNG

P7 Píst motoru AVIA 712 NG (10,5)

P8 Směšovač se škrticí klapkou pro motor AVIA 712 NG

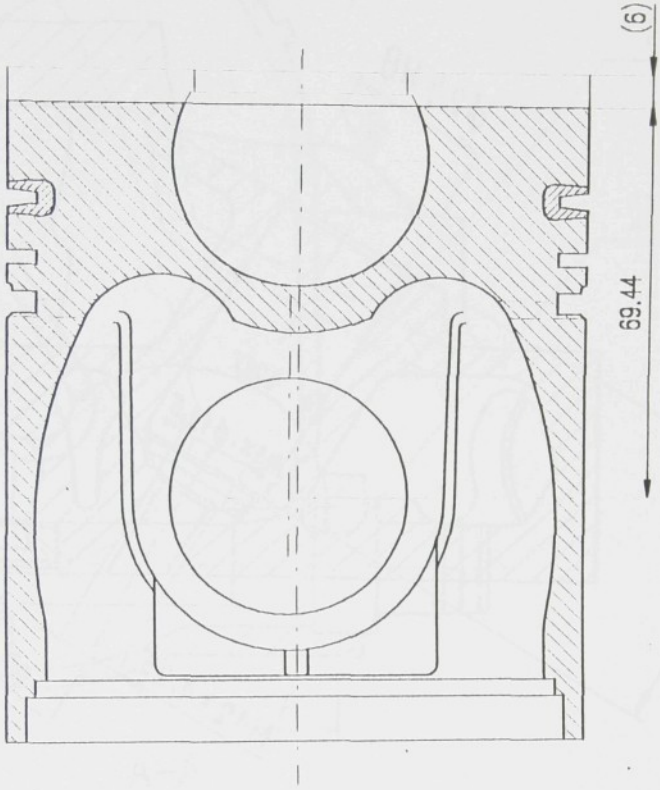
P9 El. řídicí jednotka SYNTAX ECU-G1

P10 Píst motoru AVIA D 407 NG (10,1)

P11 Program NG-SYNTAX (disketa 3,5")

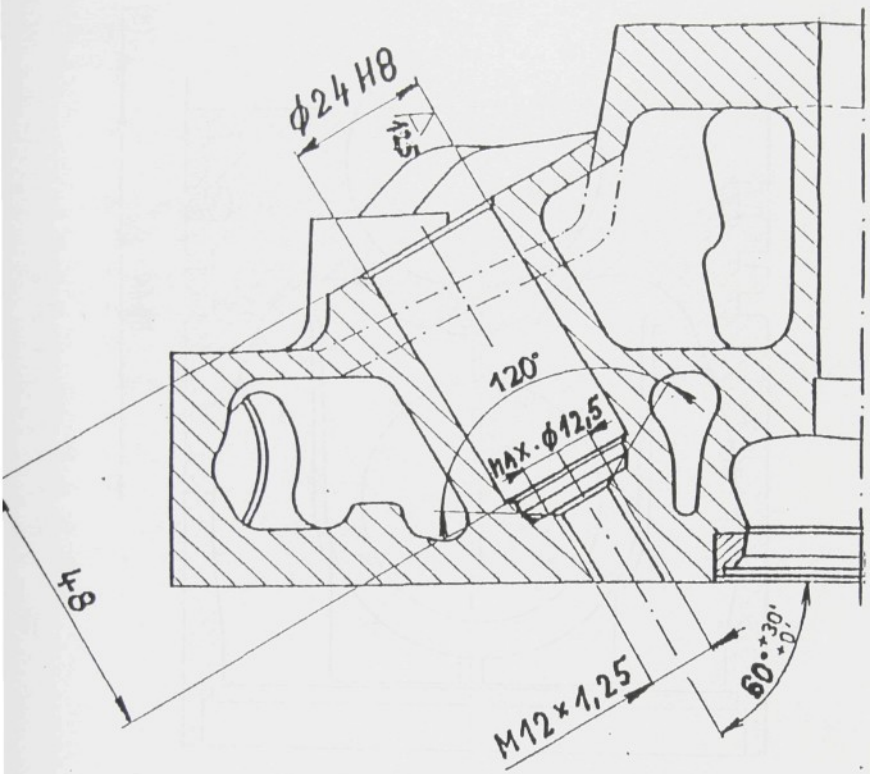
P12 Plynné emise motoru AVIA 712 NG

P13 Plynné emise motoru AVIA D407 NG



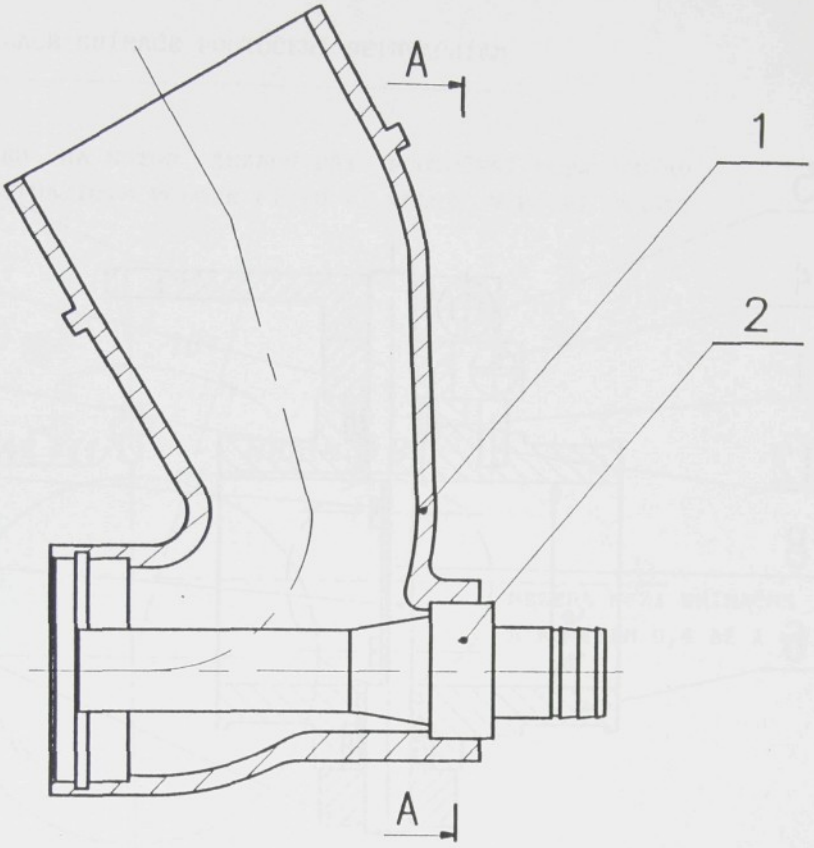
KOMPRESNÍ POMĚR 10,6 : 1

P 1 Píst motoru AVIA 712 TNG (10,6)

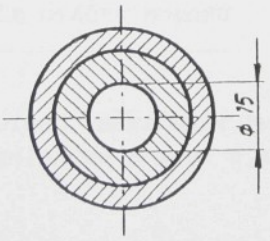


OSTATNÍ ÚDAJE PODLE VÝKRESU AVIA Č. 442-11003-014-7

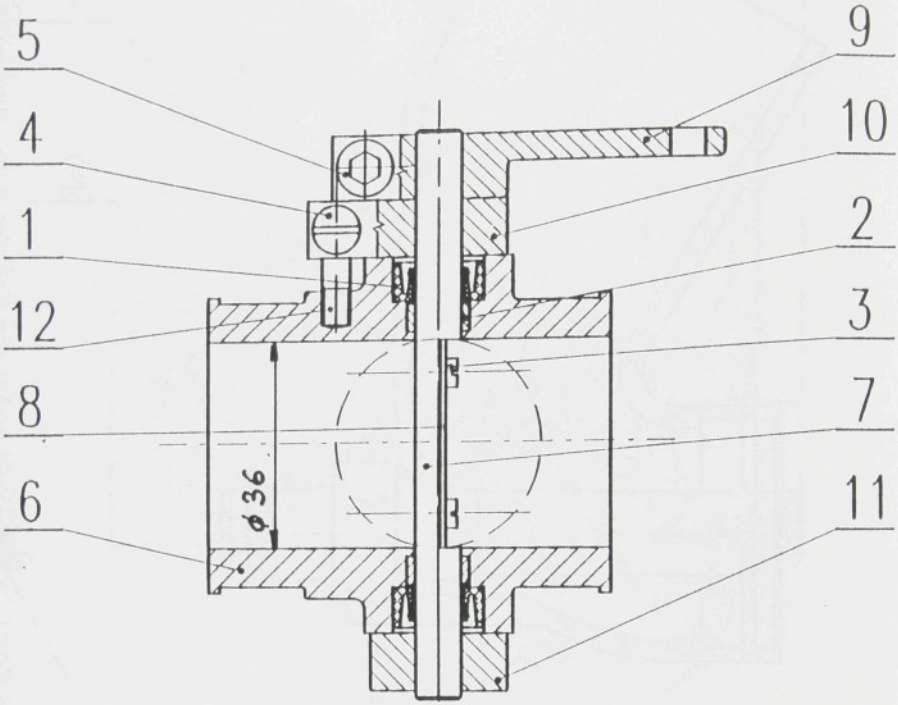
P 2 Hlava válců



A–A



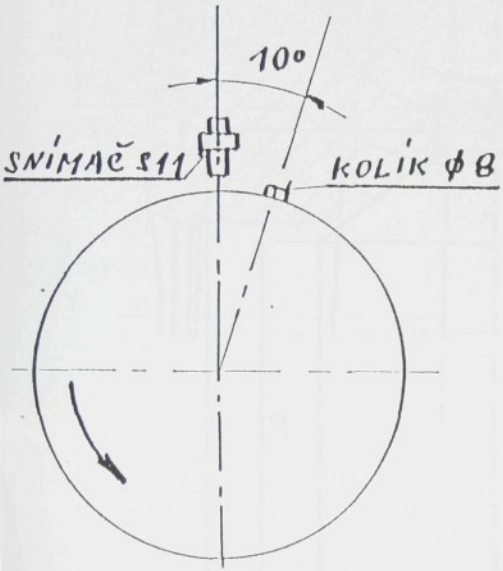
P 3 Směšovač pro AVIA 712 TNG a AVIA D407 NG



P 4 Škrticí klapka pro motory AVIA 712 TNG a AVIA D407 NG

INSTALACE SNÍMAČE POOTOČENÍ SETRVAČNÍKU

POHLED NA MOTOR ZEZADU PŘI POOTOČENÍ SETRVAČNÍKU ODPOVÍDAJÍCÍM POLOZE PÍSTU 1. VÁLCE V HORNÍ ÚVRATI



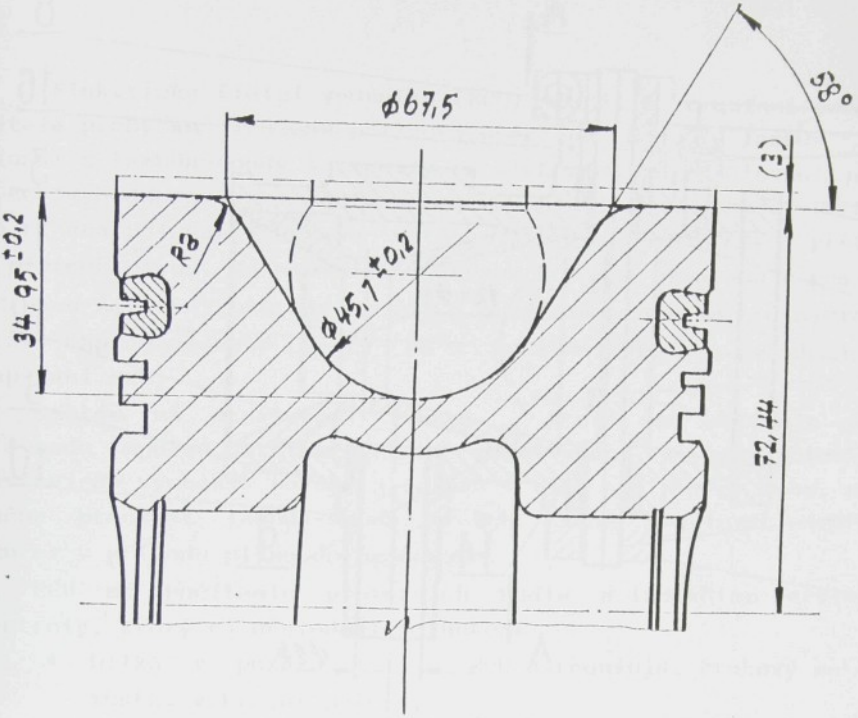
MEZERA MEZI SNÍMAČEM A KOLÍKEM 0,4 AŽ 1 mm

INSTALACE SNÍMAČE OTÁČEK MOTORU

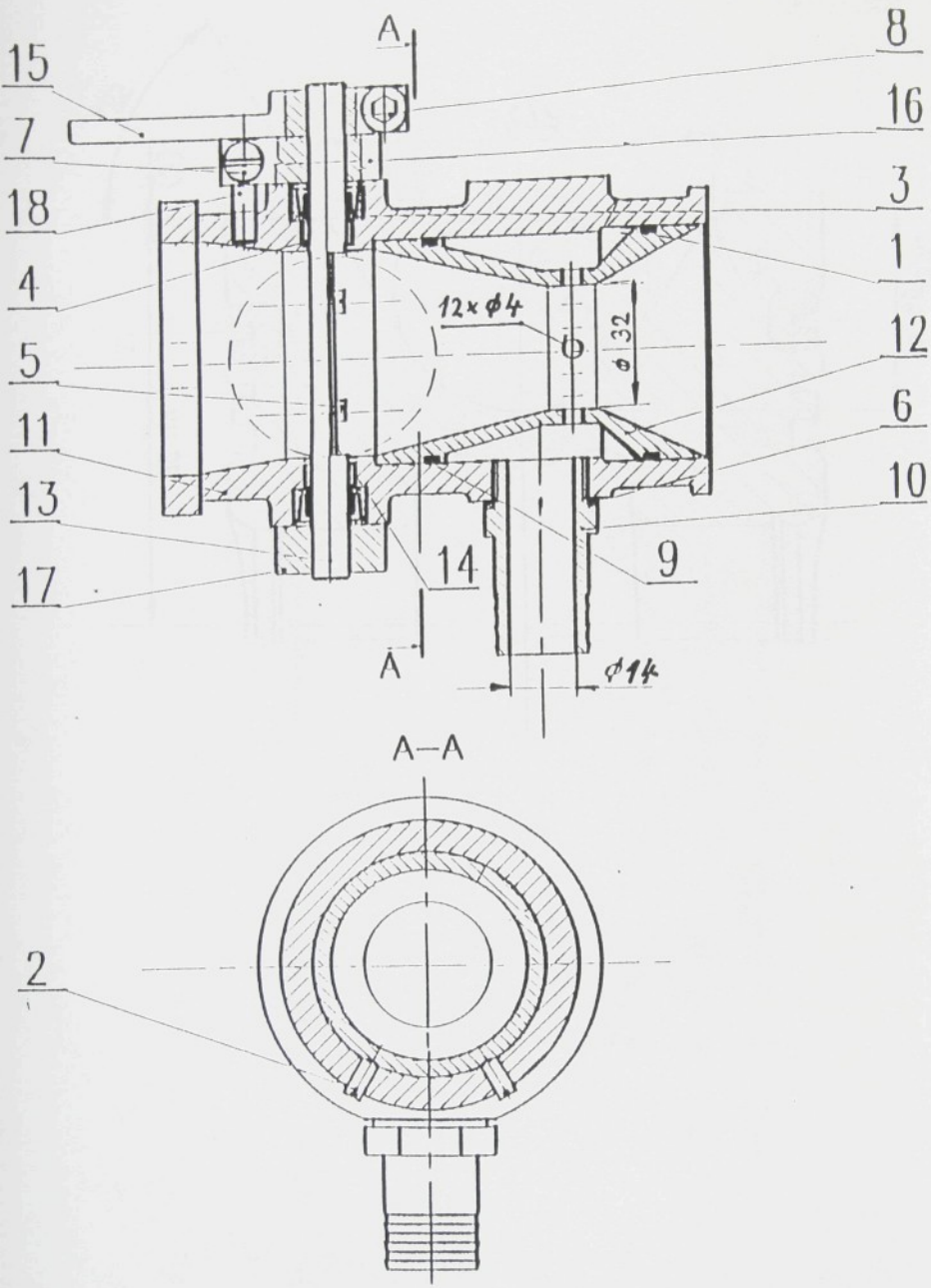
SNÍMAČ OTÁČEK MOTORU INSTALOVAT PROTI ZUBŮM SETRVAČNÍKU S MEZEROU MEZI SNÍMAČEM A ZUBY 0,4 AŽ 1 mm

P 5 Umístění snímačů BRISK S11

P 6 Katalyzátor KARSIT AVIA CNG



P 7 Píst motoru AVIA 712 NG (10,5)



P 8 Směšovač se škrticí klapkou pro motor AVIA 712 NG

P 9 El. řídicí jednotka SYNTAX ECU-G1

Elektrická řídicí jednotka (ECU) slouží k regulaci součinitele přebytku vzduchu palivové směsi na hodnotu lambda = 1. Signál z lambda-sondy a impulzy od elektrického zapalování jsou v ECU vyhodnocovány a podle programu uloženého v paměti EEPROM je řízena poloha krokového motoru, který ovládá odměrný průřez v přívodu plynu do směšovače. EEPROM ECU se programuje pomocí PC přes sériové rozhraní RS 232 s použitím programu LPG-SYNTAX. Stav naprogramované paměti se v počítači udrží i po odpojení napájení ECU.

Systém má startovací funkci , která se aktivuje při příchodu impulzů od elektrického zapalovaání, krokový motor se nastaví do výchozí polohy a setrvá v této poloze po dobu, než začne pracovat lambda-sonda a ECU začné regulovat odměrný průřez v přívodu plynu do směšovače.

ECU má počítadlo provozních hodin a indikátor servisní kontroly, který má následující funkce:

* bliká v poměru 1:1 - ECU nereguluje, krokový motor zůstal v krajní poloze,
* bliká v poměru 1:5 - uplynula doba stanovená pro servisní kontrolu.

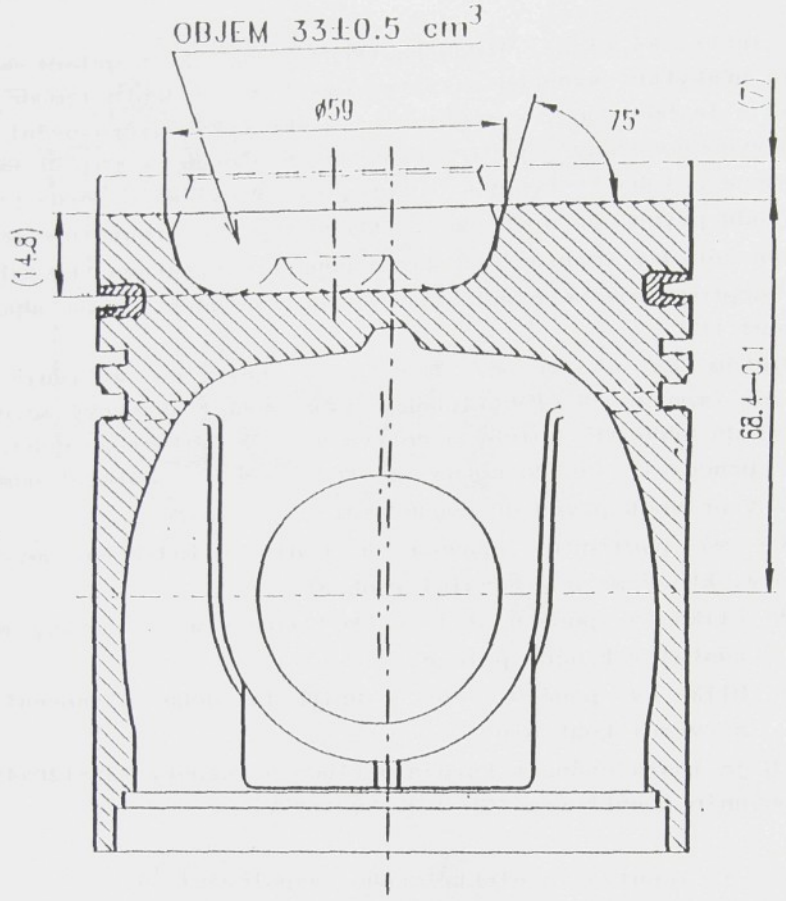
ECU je instalována v kovové skříňce s rozměry 120x120x40 mm s připojením konektorem AMP s 25 kontakty.

Vstupy:
* impulzy z elektrického zapalování [1])
* signál z lambda-sondy
* napájení 12 V ss, 0,5 A.

Výstupy:
* krokový motor
* kontrolní světlo LED
* připojení k PC (RS 212)

---

[1]) impulzy se získávají snímáním z vn. kabelu el. zapalování vedoucího k některé ze zapalovacích svíček, a to prostřednictvím přibližně šesti závitů vodiče navinutých na kabel)



STATNÍ ÚDAJE A ROZMĚRY PODLE VÝKRESU AVIA
142-11052-049

MPRESNÍ POMĚR 10,1 : 1

10 Píst motoru AVIA D407 NG (10,1)

Popis funkcí programu NG- SYNTAX

Basic steps. „F2"
Výchozí poloha. Toto je poloha KM po resetu. V této poloze zůstává KM do uplynutí času
B→ G „F4"
Parametr nastavení: 0-225 (0 zavřeno 225 otevřeno) Tuto polohu nastavit do polohy optimálního startu. (Nastavit na střed mezi F5-F6)

B→ G (sec) „F4"
Toto je doba po kterou zůstává KM v Basic steps.
Parametr nastavení: 0-60 vteřin. Nastavit čas než začne pracovat Lambda sonda po studeném startu.

LO limit „F5"
Udává polohu KM max. zavření ventilu
Parametr nastavení 0-225

HI limit „F6"
Udává polohu KM max. otevření ventilu
Parametr nastavení 0-225
LO-HI limit udává meze mezi kterými se bude KM pohybovat.

SPEED „F8"
Rychlost krokového motoru
Parametr nastavení 4-225. 4 nejvyšší rychlost 225 nejnižšší rychlost. Číslo udává čas(ms)/krok. Toto nastavení mění emisní hodnoty.

SHOW „F9"
Spustí komunikaci programu.

SAVE „F10"
Uloží změny parametrů do paměti EEPROM.

Funkce F3 a F7 jsou v této variantě nevyužity. Nastavte tyto parametry.
B+G „F3" 0

START SPEED „F7" 4

Velké číslice vlevo udávají okamžitou polohu KM.

TOTAL TIME „ALT+F3"
Nulování motohodin

SERVIS TIME „ALT+F4"
Nastavení servisní kontroly
Parametr; hodiny

Zápis Servis Time + total time „ALT+F10"
Zapíše hodnoty servis a total time do paměti EEPROM

Okno COM
Pokud se čárka otáčí běží komunikace mezi Mikrokontrolerem a PC

Okno GAS
Udává polohu elmag ventilu LPG

Okno Benzin
Nevyužito

Okno Starter
Udává zapnutí starteru

Okno Status LED
Shodná s kontrokou LED Svítí zařízení v provozu, bliká indikuje poruchu.

okno Lamda
Indikuje stav Lambda sondy Svítí bohatá směs,nesvítí - chudá směs.

PLYNNÉ EMISE DLE EHK 49.02

Výrobce		Slovenský plynárenský priemysel Bratislava	Číslo protokolu :			2807
Typ motoru		AVIA 712 NG	Datum měření			19.8
Vrtání / Zdvih	[mm]	102/110	Barometrický tlak:	pb [mmHg]		727,97
Počet válců	[ ]	4	Teplota vzduchu	ta [°C]		19
Objem motoru	V [dm3]	3,5954	Vlhkost	Fi [%]		59
Kompr. poměr	EPS [ ]	10,5	Konst. clonky	k1 [ ]		0
Předstih	8,5 při 900 1/min					
Palivo	[ ]	10,05	Parametr zkoušky	F [ ]		0,9938
Palivový systém		O.M.V.L.-SYNTAX				
Zapalovací systém		MAGNETON				
Turbodmychadlo		ne				
Mezichladič		ne				
Poznámky		katalyzátor AUTOMETAL CNG				

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
n	[1/min]	935	1905	1795	1910	1900	1795	925	2095	2000	2095	2000	2095	920
Mi	[Nm]	0	23	68	112	164	220	0	160	135	92	48	18	0
Pi	[kW]	0	0,0004	0,1057	0,3815	0,5732	0,7600	0	0,070128	0,471048	0,3218	0,1678	0,0020	0
Pe	[kW]	0	4,3474	10,526	21,229	30,813	41,354	0	50,45442	42,27013	28,054	15,029	5,6268	0
mf	[g/kWh]	0	601,0	350,4	270,2	242,3	231,2	0	257,6	274,3	316,3	448,8	953,9	0
tv	[°C]	79	80	80	81	83	86	79	84	83	82	82	81	79
to	[°C]	69	63	60	60	74	79	78	82	85	83	81	79	78
vl	[°C]	19,00	19,00	19,00	20,00	20,00	21,00	21,00	20,00	21,00	21,00	22,00	22,00	22,00
td2	[°C]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ta	[°C]	18	18	18	20	20	21	21	20	21	21	22	22	22
t1	[°C]	430	570	599	616	669	809	472	720	707	668	673	669	437
t2	[°C]	400	490	530	500	618	642	442	604	672	658	632	613	413
pd1	[kPa]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
pd2	[kPa]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
pa	[kPa]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
pt1	[kPa]	0,000	2,000	2,933	5,733	9,007	13,807	0,933	30,000	20,667	12,933	7,200	5,200	0,533
pt2	[kPa]	0,533	1,067	1,600	3,733	6,133	10,000	0,667	24,667	16,400	9,867	5,200	3,600	0,533
pa	[kPa]	0,20	0,40	0,40	0,44	0,4	0,37	0,21	0,51	0,5	0,51	0,52	0,53	0,22
qc	[kPa]	#MODEL	#MODEL	#MODEL	#MODEL	#MODEL	#MODEL	#MODEL	#MODEL	#MODEL	#MODEL	#MODEL	#MODEL	#MODEL
CO	[%]	0,0000	0,0000	0,0000	0,0012	0,0029	0,0227	0,0000	0,024	0,0182	0,001	0,0011	0,0009	0,0013
CH	[ppm]	800	177	45	30	15	15	531	45	42	121	90	204	830
NOx	[ppm]	55	90	235	16	10	0	61	50	53	110	482	309	14
O2	[%]	0,97	0,54	0,05	0	0	0	0,02	0	0	0	0	0,13	0,89
T	[°C]	59	59	59	60	59	59	59	59	59	59	59	59	59
λ	[-]	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
q	[-]	0,107	0,198	0,279	0,432	0,567	0,729	0,168	0,601	0,530	0,415	0,309	0,248	0,170
ρ	[kg/m3]	1,131	1,131	1,127	1,123	1,123	1,119	1,119	1,123	1,119	1,119	1,114	1,114	1,114
Ghc	[kg/h]	19,54	44,29	62,52	97,23	120,94	162,08	19,30	246,49	190,56	154,21	113,83	80,97	19,30
Gco	[kg/h]	1,153	2,813	3,009	5,736	7,400	9,561	1,139	14,542	11,598	9,099	6,716	5,367	1,14
Gnox	[kg/h]	20,69	46,90	66,21	102,97	134,43	171,62	20,44	261,02	208,16	163,31	120,55	86,34	20,41
Vair	[m3/h]	17,27	39,15	55,47	90,81	113,05	144,07	17,25	219,51	175,71	137,85	102,14	81,62	17,32
Vexh	[m3/h]	18,41	37,19	52,71	82,31	107,44	137,70	18,40	209,81	167,91	131,03	97,10	77,60	18,48
Shc	[g/s]	0,14	0,32	0,46	1,06	3,35	33,53	0,14	53,91	32,60	1,41	1,14	0,75	0,23
Sco	[g/s]	8,90	3,97	1,42	1,48	0,96	1,23	5,19	5,81	4,18	0,94	3,48	9,39	8,21
Snox	[g/s]	1,71	6,96	23,47	2,50	3,67	0,00	1,01	10,02	16,87	154,58	80,51	57,73	0,44
CO	[g/kWh]	0	0,074	0,043	0,050	0,109	0,811	0	0,955	0,771	0,049	0,078	0,133	0
CH	[g/kWh]	0	0,913	0,135	0,070	0,031	0,030	0	0,099	0,099	0,032	0,230	1,070	0
NOx	[g/kWh]	0	1,601	2,230	0,118	0,119	0,000	0	0,351	0,399	5,358	5,950	10,201	0

CO= 0,645 g/kWh CH= 0,155 g/kWh NOx= 0,501 g/kWh

Měření provedl: Le,Mo,Ma,St,Sk

PLYNNÉ EMISE DLE EHK 49.02

Výrobce		Slovenský plynárenský priemysl	Číslo protokolu :		1
Typ motoru		AVIA D 407 NG	Datum měření:		18.9.
Vrtání / Zdvih	[mm]	102/110	Barometrický tlak	pb [mmHg]	737.4
Počet válců	i [-]	4	Teplota vzduchu	ta [°C]	21
Objem motoru	V [dm3]	3.5954	Vlhkost	Fl [%]	35
Kompr. poměr	EPS [-]	10.2	Konst. clonky	k1 [-]	0
Předst. úh		6.5 při 900 1/min			
Palivo	Lt [-]	16.95	Parametr zkoušky	F [-]	0.9906
Palivový systém		O.M.V.L.-SYNTAX			
Zapalovací systém		MAGNETON			
Turbodmychadlo		ČZ Strakonice typ C 13.99.01			
Mezichladič		ne			
Poznámky		katalyzátor KARSIT AVIA CNG			

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
n	[1/min]	900	1800	1900	1900	1900	1900	910	2000	2000	2005	2000	2000	90
Mt	[Nm]	0	26	67	137	203	267	0	238	180	121	60	25	0
pe	[MPa]	0	0.0009	0.2342	0.4788	0.7095	0.9332	0	0.83185	0.62913	0.4229	0.2097	0.0874	0
Pe	[kW]	0	5.1732	13.331	27.259	40.39	53.124	0	64.8008	49.0088	33.008	16.338	6.8068	0
me	[g/kWh]	0	604.7	331.4	260.7	233.9	219.2	0	241.2	256.4	284.3	383.1	642.5	0
tw	[°C]	76	79	80	80	82	85	78	86	83	81	80	79	78
tol	[°C]	61	61	64	70	75	81	80	81	93	92	89	85	74
td1	[°C]	21.00	21.00	22.00	23.00	23.00	25.00	25.00	28.00	28.00	27.00	28.00	28.00	28.00
td2	[°C]	50	48	49	64	73	84	67	106	92	74	58	52	55
ts	[°C]	21	21	22	23	23	25	25	28	28	27	28	28	28
tt1	[°C]	420	575	597	600	637	708	475	730	725	698	665	639	455
tt2	[°C]	362	500	543	587	613	629	447	655	643	627	599	582	404
pd1	[kPa]	98.32	98.32	98.32	98.32	98.32	98.32	98.32	98.32	98.32	98.32	98.32	98.32	98.32
pd2	[kPa]	99.12	100.65	105.38	118.98	133.65	148.98	99.38	169.82	154.98	133.25	114.58	106.98	99.25
ps	[kPa]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
pt1	[kPa]	99.387	103.120	107.250	119.120	131.650	144.05	99.387	169.787	152.987	132.580	115.650	108.320	99.387
pt2	[kPa]	98.453	98.853	99.120	100.450	101.650	103.650	98.453	108.853	104.587	102.050	100.320	99.387	98.453
pol	[MPa]	0.22	0.47	0.43	0.4	0.38	0.32	0.18	0.41	0.4	0.41	0.48	0.49	0.2
dp	[kPa]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CO	[%]	0.0009	0.0008	0.0009	0.001	0.001	0.0125	0.0009	0.0239	0.0331	0.0222	0.0099	0.0065	0.0009
CH	[ppm]	900	102	0	6	8	21	321	30	24	54	15	38	678
NOx	[ppm]	48	144	67	235	29	0	68	0	0	0	0	0	95
O2	[%]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
φ	[%]	35	35	34	34	34	33	33	32	30	30	30	27	27
λ	[-]	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
η	[-]	0.170	0.222	0.315	0.508	0.675	0.838	0.170	0.824	0.663	0.498	0.332	0.232	1.740
ρ	[kg/m3]	1.138	1.136	1.132	1.128	1.128	1.120	1.120	1.118	1.118	1.113	1.109	1.109	1.109
Gair	[kg/h]	19.21	53.02	74.89	120.47	160.13	197.38	19.22	264.89	213.02	159.09	108.09	74.13	19.22
Gfuel	[kg/h]	1.133	3.128	4.418	7.107	9.447	11.644	1.134	15.628	12.568	9.384	6.259	4.373	1.13
Gexh	[kg/h]	20.34	56.15	79.31	127.58	169.58	209.00	20.35	280.52	225.59	168.44	112.35	78.50	20.35
Vair	[m3/h]	16.91	46.68	66.16	106.81	141.97	176.21	17.16	237.31	190.79	142.96	95.69	66.83	17.33
Vexh	[m3/h]	18.06	44.33	62.85	101.48	134.89	167.48	16.31	225.59	181.37	135.93	90.99	63.55	16.48
COmas	[g/h]	0.16	0.39	0.61	1.10	1.46	22.48	0.16	57.70	64.28	32.18	9.57	4.39	0.16
CHmas	[g/h]	8.75	2.74	0.00	0.37	0.49	2.10	3.12	4.02	2.59	4.35	0.81	1.35	6.60
NOxmas	[g/h]	1.45	12.02	7.94	45.05	7.39	0.00	2.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.00
CO	[g/kWh]	0	0.075	0.046	0.040	0.036	0.423	0	0.890	1.311	0.975	0.586	0.645	0
CH	[g/kWh]	0	0.529	0.000	0.013	0.012	0.039	0	0.062	0.053	0.132	0.049	0.198	0
NOx	[g/kWh]	0	2.323	0.596	1.653	0.183	0.000	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0

CO= **0.484** g/kWh CH= **0.102** g/kWh NOx= **0.220** g/kWh

Měření provedl: Laurin, Moc, Šturma

P 13 Plynné emise motoru AVIA D407 NG

Příloha P9

Vývoj motoru AVIA 712 na pohon propan-butanem

Souhrn: Výzkumná zpráva obsahuje výsledky vývoje plynového zážehového motoru AVIA 712-PB včetně měření emisí ve výfukových plynech. Výsledky vývojových a výzkumných prací byly využity při stavbě prototypu motoru pro vozidlo AVIA 30, jehož provoz byl ověřován v ČSAO, s.p. Praha.

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ V LIBERCI

Katedra strojů průmyslové dopravy - Státní zkušebna 232

VÝVOJ MOTORU AVIA 712 NA POHON PROPAN-BUTANEM

Vedoucí úkolu:
Ing. Lubomír Moc, CSc.

Řešitelé:
Ing. Josef Laurin, CSc.

Vedoucí katedry a ředitel SZ 232:
Doc. Ing. Stanislav Beroun, CSc.

Číslo úkolu:
62037/ 370

Číslo zprávy:
SM 276/92

Druh zprávy:
závěrečná

Liberec, říjen 1992

SOUHRN

Zpráva obsahuje výsledky vývoje plynového zážehového motoru AVIA 712 - PB včetně měření emisí ve výfukových plynech, jakož i průběh vybraných provozních parametrů motoru.

Součástí zprávy je i návrh a výsledky provozních zkoušek elektronického regulátoru pro omezení maximálních otáček motoru.

OBSAH

Souhrn

1.0 Úvod

2.0 Motor

3.0 Měřicí zařízení

4.0 Metoda měření škodlivých emisí

5.0 Výsledky měření

6.0 Elektronický omezovač otáček

7.0 Optimální seřízení motoru

8.0 Závěr

PŘÍLOHY

P - 1 Test dle režimů EHK 49 - předstih zážehu 3°
P - 2 Test dle režimů EHK 49 - předstih zážehu 6°
P - 3 Test dle režimů EHK 49 - předstih zážehu 3° zvětšený odpor v sání
P - 4 Test dle režimů EHK 49 - směšovač IMPCO 150
P - 5 Test dle režimů EHK 49 - předstih zážehu 1° upravené sání
P - 6 Měrné emise pro otáčky motoru n = 1800 min^{-1}
P - 7 Schema elektronického omezovacího regulátoru
P - 8 Zapojení regulace otáček
P - 9 Otáčková charakteristika motoru-předstih 3°
P - 10 Otáčková charakteristika motoru-předstih 1° upravené sání
P - 11 Otáčková charakteristika motoru-předstih 3° upravené sání
P - 12 Měrné emise škodlivin NO_x
P - 13 Měrné emise škodlivin CO
P - 14 Měrné emise škodlivin CH

1.0 ÚVOD

Na základě smlouvy č. 62037/370, uzavřené mezi ČSAO, s.p. Praha a VŠST v Liberci, byl na katedře strojů průmyslové dopravy VŠST proveden soubor měření ověřující vlastnosti motoru AVIA 712 - PB, který byl rekonstruován na zážehový plynový. Pro pohon motoru byla použita směs propan-butanu.

Motor AVIA 712 - PB byl pro zkoušky ustaven na komutátorový dynamometr KS 37 v laboratoři pístových spalovacích motorů. Na motoru bylo připojeno následující příslušenství:

- výfukové potrubí se seriovvým tlumičem výfuku /napojené na centrální odsávání výfukových plynů/,
- sací potrubí s tlumičem sání /při měření emisí škodlivých plynů byla připojena pouze clonková trať/,
- alternátor se zatížením,
- kompresor bez zatížení,
- chladicí ventilátor.

Cílem provedených měření bylo stanovení úrovně jednotlivých složek škodlivých emisí ve výfukových plynech, jakož i ověření výkonu a dalších provozních parametrů v navrženém provedení- plynový zážehový motor. Součástí zkoušek proto bylo ověření:

- vlivu počátku předstihu zážehu,
- vlivu seřízení bohatosti směsi,
- uspořádaní sacího potrubí,
- různého provedení směšovače.

Před měřením byl motor zaběhnut postupným zvyšováním otáček a zatížení v celkové délce 20 hodin.

2.0 MOTOR

Zkoušky byly provedeny na motoru AVIA 712 - PB nezjištěného výrobního čísla. Jedná se rekonstruovaný vznětový motor čtyřdobý, řadový, kapalinou chlazený, stojatý čtyřválec, s rozvodem OHV. Základní parametry původní a rekonstruované verse motoru jsou:

	vznětový motor	plynový zážehový
Vrtání válců /mm/	102	102
zdvih pístů /mm/	110	110
obsah válců /cm^3/	3596	3596
kompresní poměr /-/	17 : 1	10 : 1
jmenovité otáčky/min^{-1}/	3000	3000
jmenovitý výkon /kW/	58,8	60

Pro plynový zážehový motor bylo použito následující plynové palivové příslušenství:

- regulátor tlaku plynu dvoustupňový, konstrukce Motorpal,
- směšovač IMPCO 100, IMPCO 150 a konstrukce ČSAO.

Zkoušky se uskutečnily pro dvě velikosti kompresního poměru 1 : 13,5 a 1 : 10 s otevřeným spalovacím prostorem.

Pro zapalování směsi byla použito klasické bateriové zapalování s mechanickým rozdělovačem, indukční cívkou a se zapalovacími svíčkami PAL provedení D 14 Y, G 14 Y a D 12 YC s běžnými uhlíkovými vysokonapětovými kabely.

3.0 MĚŘICÍ ZAŘÍZENÍ

Měřená veličina	Měřicí zařízení
Otáčky motoru	Deviační otáčkoměr PDO - SV
Točivý moment	Dynamometr KS - 47
Množství nasávaného vzduchu	Objemově clonkou D = 58,93 d = 41,67 konstanta k = 154,5333
Teplota vzduchu	Odporový teploměr Pt 100
Teplota výfukových plynů	Termočlánek Fe-Co
Tlaky v sacím systému a regulátoru tlaku plynu	Kapalinové tlakoměry H_2O
Teplota chladicí kapaliny Teplota oleje	Odporový teploměr Pt 100
Koncentrace NO_x	CLA 150 HORIBA, chemilumoniscenční detektor
Koncentrace CO	MEXA 57 GE HORIBA, infračervený detektor
Koncentrace CH	MEXA 57 GE HORIBA, infračervený detektor
Atmosferický tlak	staniční barometr TWG
Relativní vlhkost vzduchu	Assmanův psychrometr

Všechna použitá měřicí zařízení byla před měřením kalibrována etalony SZ 232.

4.0 METODA MĚŘENÍ ŠKODLIVÝCH EMISÍ

Měření koncentrací plynných škodlivin NO_x, CO, CH se provádělo při režimech třináctibodového testu stanoveného předpisem EHK 49 Rev. 1/01. Režimy chodu motoru jsou určeny otáčkami motoru a procenty z točivého momentu při vnější otáčkové charakteristice. Jednotlivé režimy jsou zřejmé z tabulky a grafu.

Při každém režimu se zjišťují veličiny stanovené předpisem EHK 49. .

Uvedený předpis rovněž určuje limitní hodnoty škodlivin dle tabulky:

emise	platnost	
	do 10/1992	po 10/1992
NO_x / g/kWh /	14,4	8,0
CO / g/kWh /	11,2	4,5
CH / g/kWh /	2,4	1,1

5.0 VÝSLEDKY MĚŘENÍ

Pro ověření optimálního seřízení motoru, pro splnění hodnot přípustných limitů škodlivých emisí, byla provedena řada měření. Jednalo se zejména o měření při rozsahu:

- předstihu zážehu 0 - 20° před HÚ,
- přebytku vzduchu 0,9 - 1,9.

Jednotlivé varianty uspořádání motoru byly dle tab. :

var.	kompresní poměr	směšovač	sací potrubí	měření
1	13,5 : 1	ČSAO	serie	ověření prov. vlastností
2	10,0 : 1	ČSAO	serie	ověření prov. vlastností
3	10,0 : 1	IMPCO 100	serie	test EHK 49
4	10,0 : 1	IMPCO 150	serie	test EHK 49
5	10,0 : 1	IMPCO 100	uprav. sání	měrné emise test EHK 49

Hodnocení jednotlivých uspořádání

Varianta 1

Provoz motoru při nízkém zatížení bez detonačního spalovaání, při středním zatížení / cca 150 Nm při otáčkách 1800 min^{-1}/ provoz se silnými detonacemi. Koncentrace emisí NO_x pro vyšší zatížení větší než 4000 ppm, při současně vysoké koncentraci CH /150 - 450/ppm. Použitý směšovač nezajišťuje stejný přebytek vzduchu při různých zatíženích /v rozsahu M_t min- M_t max změny 1,45 až 1,15/ a proto nelze dosáhnout optimální složení směsi v celém rozsahu zatížení a otáček.
Po demontáži motoru, při výměně pístů s ϵ=10:1, bylo zjištěno výrazné opotřebení horních částí ojničních ložisek způsobené zvýšeným tlakovým namáháním při detonačním spalování.

Varianta 2

Provoz motoru bez detonací v celém rozsahu otáček a zatížení. Koncentrace NO_x pro vyšší zatížení nad 4000 ppm, pouze proti variantě 1 zlepšení vlastností snížením koncentrace CH /max. 100 ppm/. Hodnocení funkce směšovače konstrukce ČSAO podobné jako ve variantě 1.

Varianta 3

Koncentrace škodlivých emisí jsou uvedeny v příloze P1, P2, P3 při měření dle režimů EHK 49. Úroveň koncentrací je značně závislá na velikosti úhlu předstihu zážehu. Optimální seřízení:

- 6^0 pro 1800 min^{-1},
- 10^0 pro 3000 min^{-1}.

Vzhledem ke zjištěné závislosti koncentrací škodlivých emisí /zejména NO_x/ na úhlu předstihu zážehu, jsou výsledky testu značně ovlivněny odchylkami úhlu předstihu zážehu mezi jednotlivými válci, které u použitého rozdělovače byly:

- 1. válec základní seřízení
- 2. válec + 2^0
- 3. válec + 1^0
- 4. válec + 4^0.

Podle výsledku měření v příloze P2 bylo pro konstantní úhel předstihu zážehu 6^0 před HÚ /1.válec/ v celém rozsahu otáček /1800 - 3000 min^{-1}/ dosaženo přibližné hodnot limitu testu EHK 49 pro max. výkon motoru 42,5 kW. Uvedené seřízení vykazuje pro střední otáčky /1800 min^{-1}/ pokles výkonu o 9,5 % proti naftovému motoru a pro maximální otáčky pokles o 27%.
Měření na P1 a P2 se uskutečnilo za tlakových podmínek odpovídajících skutečnému provozu motoru se sacím filtrem /náhrada tlakové ztráty filtru clonkovou tratí/. Vliv zvýšené tlakové ztráty na koncentraci škodlivých emisí lze posoudit z přílohy P3 /měření se sacím filtrem a clonkovou tratí/.
Vliv přebytku vzduchu /seřízení bohatosti směsi na směšovači/ pro otáčky 1800 min^{-1} a předstih zážehu 3^0 dokumentuje následující tabulka měrných emisí škodlivin:

přebytek vzduchu / - /	výkon Pe /kW/	měrné emise NO_x /g/kWh/	CO /g/kWh/	CH /g/kWh/	pokles výkonu /%/
1,23	36,54	24,87	0,48	0,13	4,5
1,33	35,41	21,57	0,96	0,25	7,3
1,40	34,47	17,54	0,98	0,15	9,9

Vliv předstihu zážehu pro konstantní seřízení přebytku vzduchu pro otáčky n= 1800 a 3000 min^{-1} udávají tabulky:

otáčky motoru n = 1800 min^{-1}
přebytek vzduchu = 1,33

předstih zážehu /°/	výkon Pe /kW/	měrné emise NO_x /g/kWh/	CO /g/kWh/	CH g/kWh/	pokles výkonu /%/
3	35,41	21,57	0,96	0,25	7,3
6	35,79	23,70	0,95	0,29	6,5
12	35,79	28,56	0,95	0,36	6,5

otáčky motoru n = 3000 min^{-1}
přebytek vzduchu = 1,40

předstih zážehu /°/	výkon Pe /kW/	měrné emise NO_x /g/kWh/	CO /g/kWh/	CH /g/kWh/	pokles výkonu /%/
3	40,82	9,72	2,49	0,19	29,7
6	42,39	10,61	1,79	0,14	26,9
8	45,53	19,25	1,66	0,13	21,5
12	46,15	23,09	1,64	0,16	20,4
15	47,10	36,33	1,07	0,27	18,6

Maximální teploty výfukových plynů při měření byly pod 700° C.

Varianta 4

Ověření funkce směšovače s většími průtokovými průřezy bylo provedeno použitím směšovače IMPCO 150 při seřízení přebytku vzduchu v mezích 1,33 - 1,25. Výsledky měření při testu EHK 49 jsou na příloze P 5. Při tomto směšovači bylo pro otáčky 1800 min^{-1} dosažen výkon o 2,5% větší než při provozu na naftu, pro otáčky 3000 min^{-1} byl pokles

výkonu o -18,8 %. Při uvedeném seřízení však motor neplní limity škodlivin dle EHK 49.

Varianta 5

Uspořádání plynového palivového příslušenství jako ve var.3 s úpravou sacího potrubí motoru spočívající v napojení sací trubky mezi 2. a 3. válec. Úprava se projevila v částečném zvýšení dopravní účinnosti v oblasti středních otáček motoru.

Změny měrných koncentrací škodlivých emisí v závislosti na úhlu předstihu zážehu pro otáčky 1800 min^{-1} jsou v příloze P - 6 .

Pro toto uspořádání sací soustavy motoru bylo zjištěno optimální seřízení předstihu zážehu:

- 1^0 před HÚ pro n = 1800 min^{-1},
- 6^0 před HÚ pro n = 3000 min^{-1}.

Měření byla prováděna při přebytku vzduchu 1,30 až 1,35. Maximální teploty výfukových plynů do 690°C při teplotě nasávaného vzduchu 28 - 30 °C.

Maximální výkon motoru je dosahován již při otáčkách motoru 2800 min^{-1} z důvodu klesajícího naplnění motoru při rostoucích otáčkách. Výsledek měření škodlivin při režimech testu EHK 49 pro předstih zážehu 1^0 je uveden na příloze P - 5, pro max. otáčky motoru 2800 min^{-1}.

6.0 ELEKTRONICKÝ OMEZOVAČ OTÁČEK

Plynový zážehový motor rekonstruovaný z původně vznětového motoru je nutné z bezpečnostních a provozních důvodů vybavit omezovačem maximálních přípustných otáček.

Navržený elektronický regulátor s integrovaným obvodem MAF 115 ovládá prostřednictvím dvou elektromagnetických ventilů V 1 a V 2 provoz regulátoru plynu a tím řídí průtok propan-butanu na výstupu z regulátoru plynu. Blokové schema zapojení regulace otáček je v příloze P-8.

Na vstup omezovacího regulátoru se přivádějí impulsy ze zapalovací soupravy o kmitočtu úměrném otáčkám motoru vstup č. 1. Elektromagnetické ventily V 1 a V 2 jsou připojeny na vstupy:

- ventil V 1 .... č. 3 a 6,
- ventil V 2 .... č. 5 a 6,

přičemž v normálním provozním stavu motoru je ventil V 1 otevřen a ventil V 2 uzavřen /tlak za membránou regulátoru tlaku plynu je vyrovnán s atmosferickým tlakem /. Při dosažení maximálních provozních otáček /3000 min^{-1} pro motor AVIA 712 - PB/ se funkce ventilů změní na opačnou / V 1 uzavřen , V 2 otevřen/. Tím se přivede na stranu membrány regulátoru tlaku podtlak v sacím potrubí, regulátor uzavře výstup propan-butanu z regulátoru tlaku, otáčky motoru se sníží. Při poklesu otáček motoru cca o 50 min^{-1}, omezovací regulátor znovu obrátí funkci ventilů čímž se otevře výstup plynu z regulátoru tlaku a otáčky motoru se zvýší. Popsaný regulační děj se opakuje a projeví se kolísáním otáček motoru. Tento stav je upozorněním pro obsluhu, aby v regulačním stavu motor zbytečně dlouho neprovozovala a upravila otáčky motoru snížením dodávky plynu změnou polohy škrticí klapky směšovače - polohou pedálu plynu.

Napájení omezovacího regulátoru je z akumulátoru vozidla /napětí v rozmezí 12 - 15 V/,přívod + na svorku 2 a 4 ze spínací skříňky zapalování. Svorka č. 6 je uzemněna /připojena na - pol akumulátoru/.

Schema zapojení navrženého elektronického omezovacího regulátoru viz příloha P-7.Vlastní funkce je následující:

impulsy z vysokonapěťové zapalovací cívky /č.15/ se přes odpor R3 přivádí do Schmittova klopného obvodu ,jehož výstupní signál spouští sestupnou hranou vstupních impulsů monostabilní klopný obvod /MKO/. Časová konstanta MKO se nastavuje R 6 a C5. MKO ovládá analogový přepínač přes komparátor. Na jeden vstup komparátoru je přivedeno referenční napětí odpovídající maximálním otáčkám motoru z děliče R4, P1 , R5, napájeného ze stabilizovaného zdroje 5,2 V. Na druhý vstup je přivedeno napětí úměrné

vstupnímu kmitočtu z analogového přepínače. Výstup komparátoru je tvořen tranzistorem a pomocí tranzistoru T2 se ovládá relé.

Zapojení elektromagnetických ventilů V1 a V2 na kontakty relé je zřejmé z přílohy P8.

Hodnoty součástí omezovače otáček:

C1	-	M1	D2	-	KY 130
C2	-	M1	R3	-	6k2
R3	-	15k	R9	-	1k2
D1	-	KZ 160	T1	-	KF 508
R4	-	2k2	D4	-	KY 130
P1	-	3k3	R10	-	100
R5	-	3k6	C6	-	50M
R6	-	M1	T2	-	KU 611
IO	-	MAF 115	R11	-	1k5
C4	-	10M	R12	-	20
C6	-	68k	D5	-	KZ 724
R7	-	2k2			

7.0 OPTIMÁLNÍ SEŘÍZENÍ MOTORU

Na základě zkoušek rekonstruovaného motoru AVIA 712 lze doporučit pro splnění limitů škodlivin dle EHK 49, rev.01, pro úroveň do 10/1992, následující seřízení:

a/ předstih zážehu

- seriové sání 6°/1800 až 10°/3000 min^{-1},
- upravené sání 1°/1800 až 6°/3000 min^{-1}.

Dosažení těchto hodnot odstředivou regulací, s podtlakovou regulací se neuvažuje. Pokud bude nastaven konstantní předstih zážehu /pro otáčky 1800 min^{-1}/ dojde k částečnému snížení max.výkonu motoru při otáčkách 3000 min^{-1},

b/ mechanický rozdělovač s minimální odchylkou počátku předstihu mezi jednotlivými válci /v mezích + 0,5°/,

c/ pro volnoběžné otáčky provést propojení výstupu za sacím filtrem s regulátorem tlaku plynu potrubím o světlosti 6 mm do prostoru za klapkou směšovače,

d/ výkonové seřízení motoru odpovídající přebytku vzduchu v mezích 1,30 - 1,35, což odpovídá výkonu motoru cca 45kW/2800 min^{-1} event. 42,5 kW/3000 min^{-1}. Toto seřízení současně zajistí pokles výkonu ve středních otáčkách pouze o cca 6% vznětové verse motoru,

e/ maximální teploty výfukových plynů v uvedeném výkonovém seřízení jsou do 700°C a lze proto použít stávajících ventilů,

f/ z limitů škodlivin platných po 10/92 rekonstruovaný motor v uvedeném seřízení plní limit pro CO a CH, obsah NO_x není plněn.

8.0 ZÁVĚR

Limity škodlivin dle předpisu EHK 49, Rev.01 platné po 10/1992 lze u motoru AVIA 712 bez přeplňování lze splnit jen při dalším snížení výkonu motoru, předpoklad 38 kW/3000 min^{-1}, event. 40 kW při 2800 min^{-1}.

Lze proto doporučit rekonstrukci motoru na motor s přeplňováním, čímž se zvýší naplnění válců a dosáhne původní výkon motoru při provozu na naftu.

Seřízení plynového palivového příslušenství u přeplňovaného motoru bude možné zajistit s přebytkem vzduchu cca. 1,40 a spalovaní této chudé směsi zajistí snížení koncentrace škodlivých emisí zejmé - na NO_x. Z vyhodnocení stávajících výsledků zkoušek motoru AVIA 712 - PB vyplývá reálná možnost splnění limitů EHK 49 platných po 10/92.

Příloha P — 1

EMISE MOTORU AVIA 712 - PB

při režimech EHK č. 49, Rev. 01
podmínky : měřeno bez sacího filtru pouze
s clonkovou tratí
atmosferický tlak 97,20 kPa
relativní vlhkost 60 %
základní předstih 1.válec 3° před HÚ
směšovač IMPCO 100

č.	n	Pe	NO_x		CO		CH	
	1/min	kW	ppm	g/kWh	ppm	g/kWh	ppm	g/kWh
1	800	0,42	260	16,33	900	34,40	136	3,30
2	1800	3,57	270	6,41	700	10,11	24	0,22
3	1800	9,17	540	7,27	600	4,77	40	0,20
4	1800	17,19	1110	10,37	400	2,27	54	0,19
5	1800	27,13	1810	15,37	300	1,55	62	0,20
6	1800	35,79	2570	20,98	200	0,99	34	0,10
7	800	0,42	260	16,33	900	34,40	136	3,30
8	3000	42,82	950	9,72	400	2,49	50	0,19
9	3000	30,77	570	6,34	400	2,71	36	0,15
10	3000	20,41	398	5,38	500	4,11	46	0,24
11	3000	10,36	265	5,39	600	7,43	40	0,31
12	3000	4,08	145	6,39	1000	26,84	72	1,23
13	800	0,42	265	16,33	900	34,40	138	3,30

NO_x = 15,43 / g/kWh /

CO = 2,14 / g/kWh /

CH = 0,17 / g/kWh /

Příloha P – 2

EMISE MOTORU AVIA 712 – PB

při režimech EHK č. 49, Rev. 01
podmínky : měřeno bez sacího filtru pouze
s clonkovou tratí
atmosferický tlak 96,93 kPa
relativní vlhkost 55 %
základní předstih 1.válec 6° před HÚ
. směšovač IMPCO 100

č.	n	P_e	NO_x		CO		CH	
	1/min	kW	ppm	g/kWh	ppm	g/kWh	ppm	g/kWh
1	800	0,42	306	19,21	300	11,45	310	7,57
2	1800	3,39	340	8,48	700	10,63	58	1,26
3	1800	8,66	540	7,27	600	4,92	94	0,49
4	1800	17,33	925	8,91	400	2,34	112	0,42
5	1800	25,99	1350	11,92	300	1,61	124	0,42
6	1800	34,47	2195	18,52	200	1,02	94	0,31
7	800	0,42	305	19,21	300	11,45	312	7,57
8	3000	42,39	1125	10,61	300	1,79	38	0,14
9	3000	31,71	1015	10,91	400	2,63	44	0,19
10	3000	21,35	645	8,33	600	4,71	58	0,29
11	3000	10,67	305	6,01	600	7,20	54	0,41
12	3000	4,08	152	6,69	1000	26,82	114	1,95
13	800	0,42	304	19,21	300	11,45	310	7,57

NO_x = 14,19 / g/kWh /

CO = 2,02 / g/kWh /

CH = 0,35 / g/kWh /

Příloha P – 3

EMISE MOTORU AVIA 712 – PB

při režimech EHK č. 49, Rev. 01
podmínky : měřeno se sacím filtrem
a s clonkovou tratí
atmosferický tlak 96,73 kPa
relativní vlhkost 60 %
základní předstih 1.válec 30° před HÚ
směšovač IMPCO 100

č.	n	P_e	NO_x		CO		CH	
	1/min	kW	ppm	g/kWh	ppm	g/kWh	ppm	g/kWh
1	800	0,42	90	5,71	900	34,85	166	4,09
2	1800	3,58	730	15,44	500	6,43	16	0,13
3	1800	8,95	910	11,07	500	3,70	38	0,17
4	1800	17,90	2050	18,04	300	1,60	49	0,17
5	1800	26,86	2490	18,13	200	0,88	77	0,22
6	1800	35,81	2580	20,29	100	0,47	56	0,17
7	800	0,42	92	5,71	900	34,85	165	4,09
8	3000	41,46	1479	14,56	200	1,19	10	0,04
9	3000	31,09	1535	16,54	300	1,96	18	0,07
10	3000	20,73	995	12,94	500	3,95	16	0,08
11	3000	10,36	580	11,52	500	6,04	22	0,17
12	3000	4,15	518	21,97	600	15,48	28	0,46
13	800	0,42	90	5,71	900	34,85	166	4,09

NO_x = 17,77 / g/kWh /

CO = 1,41 / g/kWh /

CH = 0,17 / g/kWh /

Příloha P – 4

EMISE MOTORU AVIA 712 – PB

při režimech EHK č. 49, Rev. 01
podmínky : měřeno bez sacího filtru pouze
s clonkovou tratí
atmosferický tlak 96,73 kPa
relativní vlhkost 62 %
základní předstih 1.válec 2° před HÚ
směšovač IMPCO 150

č.	n	P_e	NO_x		CO		CH	
	1/min	kW	ppm	g/kWh	ppm	g/kWh	ppm	g/kWh
1	800	1,47	295	5,32	700	7,69	62	0,33
2	1800	3,95	680	12,35	1600	17,68	20	0,11
3	1800	9,80	1100	12,48	1000	6,90	28	0,06
4	1800	19,60	2070	16,67	500	2,45	50	0,12
5	1800	29,40	2970	21,20	200	0,86	62	0,13
6	1800	39,20	4028	26,54	100	0,40	23	0,05
7	800	1,47	295	5,32	700	7,69	62	0,33
8	3000	47,12	2850	22,43	200	0,96	16	0,04
9	3000	35,18	2160	19,27	275	1,49	18	0,05
10	3000	23,56	1510	15,13	350	2,13	17	0,05
11	3000	11,93	860	10,34	450	3,30	16	0,06
12	3000	4,71	450	7,99	600	6,49	15	0,08
13	800	1,47	295	5,32	700	7,69	20	0,11

NO_x = 22,51 / g/kWh /

CO = 1,47 / g/kWh /

CH = 0,07 / g/kWh /

Příloha P – 5

EMISE MOTORU AVIA 712 – PB

při režimech EHK č. 49, Rev. 01
podmínky : měřeno bez sacího filtru pouze
s clonkovou tratí
atmosferický tlak 97,33 kPa
relativní vlhkost 54 %
základní předstih 1.válec 1° před HÚ
směšovač IMPCO 100
upravené sání ČSAO

č.	n	Pe	NO_x		CO		CH	
	1/min	kW	ppm	g/kWh	ppm	g/kWh	ppm	g/kWh
1	800	0,41	92	5,51	5000	190,82	88	2,14
2	1800	3,58	140	3,72	300	4,86	18	0,18
3	1800	8,85	240	3,28	300	2,49	28	0,15
4	1800	17,70	582	5,67	300	1,78	56	0,21
5	1800	26,38	1260	10,89	300	1,58	62	0,21
6	1800	35,23	2032	16,99	200	1,11	56	0,18
7	800	0,41	94	5,87	5200	198,46	82	2,00
8	2800	42,50	1375	13,36	300	1,77	11	0,04
9	2800	31,94	710	7,77	400	2,66	31	0,13
10	2800	21,68	352	4,57	400	3,16	45	0,22
11	2800	10,55	210	4,20	500	6,09	52	0,40
12	2800	4,10	165	6,78	700	17,51	65	1,04
13	800	0,41	94	5,87	5500	209,92	82	2,09

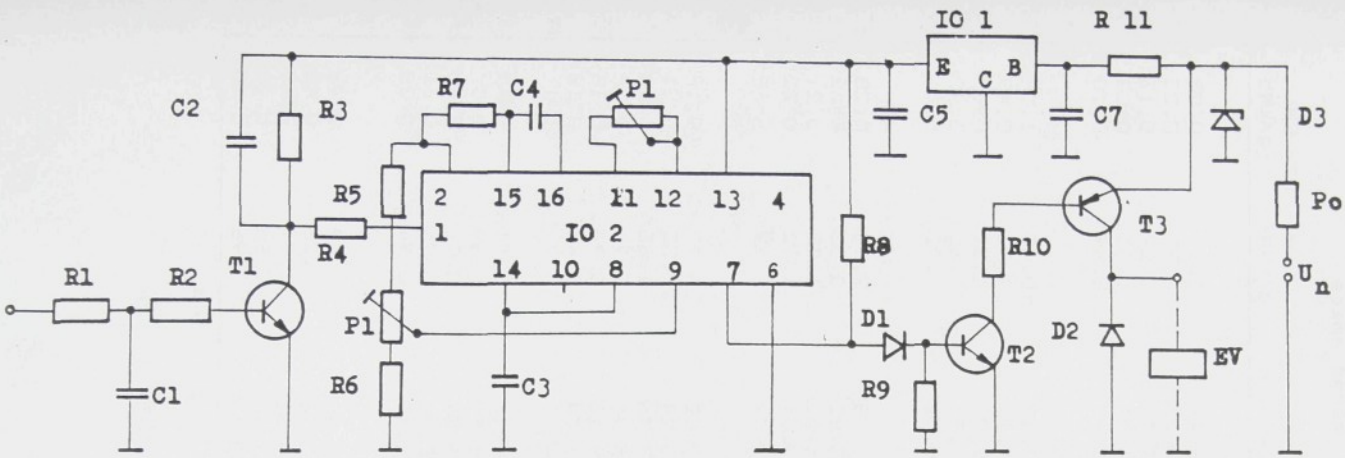
NO_x = 13,12 / g/kWh /

CO = 2,72 / g/kWh /

CH = 0,17 / g/kWh /

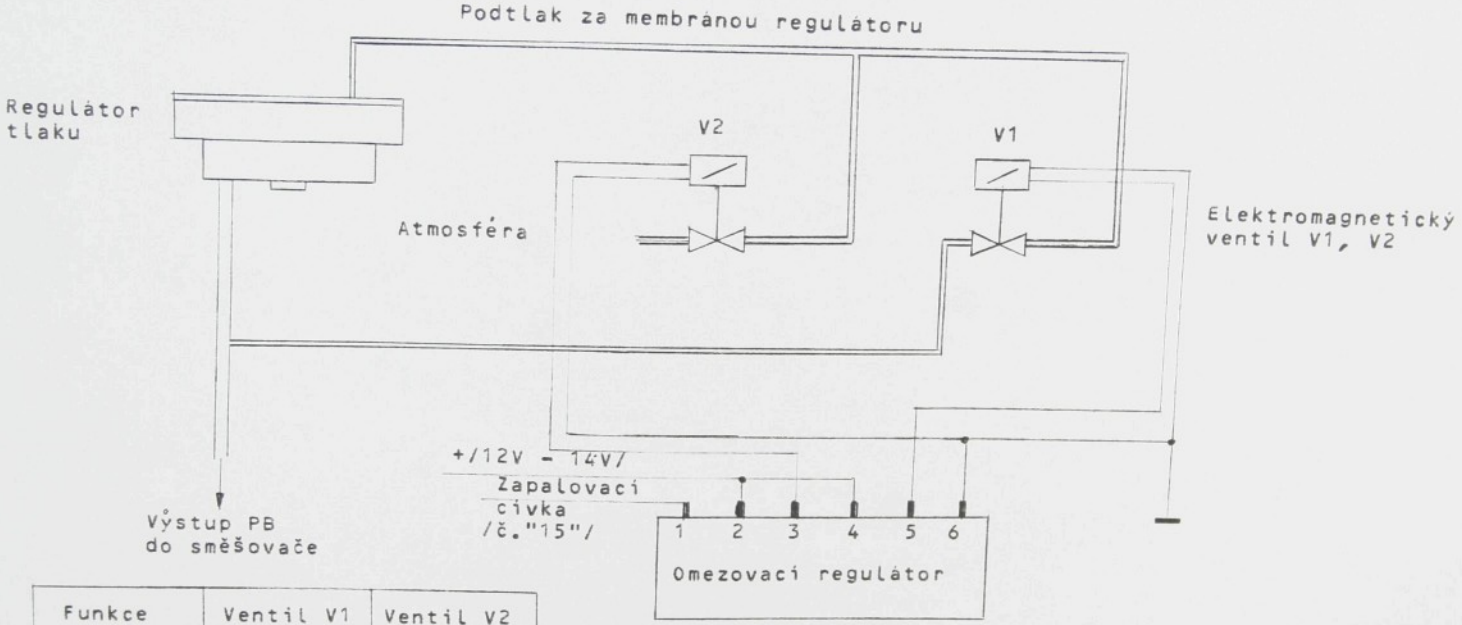
Závislost měrných emisí na předstihu zážehu a uspořádání sacího potrubí - otáčky motoru n = 1800 min-1

předstih zážehu /°/	výkon Pe /kW/	měrné emise NO_x /g/kWh/	CO /g/kWh/	CH /g/kWh/
3 serie	3,57	6,41	10,11	0,22
	9,17	7,27	4,77	0,20
	17,19	10,37	2,27	0,17
	27,13	15,37	1,55	0,20
	35,79	20,98	0,99	0,10
6 serie	3,39	8,48	10,63	1,26
	8,66	7,27	4,92	0,49
	17,33	8,91	2,34	0,42
	25,99	11,92	1,61	0,42
	34,47	18,52	1,02	0,31
1 úprava	2,07	3,78	7,50	0,28
	12,24	3,82	2,03	0,22
	17,89	5,53	1,72	0,21
	25,62	9,71	1,52	0,22
	35,23	16,99	1,10	0,18
3 úprava	4,52	10,28	4,97	0,19
	10,36	10,24	2,82	0,21
	17,70	13,36	1,65	0,20
	27,69	15,46	0,96	0,24
	31,34	19,16	0,94	0,18
	36,36	21,84	0,95	0,18
6 úprava	9,42	12,13	3,01	0,45
	17,70	15,59	1,69	0,37
	26,37	16,81	0,96	0,35
	31,46	20,40	0,96	0,31
	34,85	22,17	0,96	0,28
12 úprava	10,36	22,80	3,48	0,46
	17,70	22,66	2,26	0,42
	25,43	24,61	1,51	0,41
	31,41	27,36	0,96	0,40
	34,66	30,16	0,96	0,35



Obr. 2
Elektronický omezovač maximálních otáček motoru

ZAPOJENÍ REGULACE OTÁČEK PRO MOTOR AVIA 712-PB



Funkce	Ventil V1	Ventil V2
provoz	otevřen	uzavřen
regulace /omezení otáček/	uzavřen	otevřen