

Název habilitační práce Ing. Celestýna SCHOLZE, Ph.D.
v angličtině :

"About the problems of electronics utilization of spark-ignition
gaseous engines "



234
- 46
199

CELESTÝN SCHOLZ

**K problematice využití elektroniky
u plynových zážehových pístových motorů**

*(Soubor uveřejněných prací doplněný komentářem předkládaný jako habilitační práce
podle §72 odst. 3, písm. b, zákona č.111/1998 Sb.)*

Liberec, září 2000

K 20

U 341/2000

S

462, 1000 pr. - 1992

SOUHRN

Uvedený soubor publikovaných prací s komentářem zahrnuje jen ty z vlastních publikovaných prací, které se týkají problematiky využití elektronických systémů při regulaci, řízení a optimalizaci plynových zážehových pístových motorů.

Jedná se v první řadě o práce spojené s aplikací elektronické regulace na plynové motory, provozované v autobusech městské hromadné dopravy měst Mostu a Litvínova. Výsledkem bylo snížení emisí výfukových plynů, spotřeb paliva, náročnosti diagnostiky a seřizovacích nestabilit parametrů. Práce se datují od roku 1995 a podle zkušenosti z provozu 40 autobusů se provádějí dodnes speciální optimalizace a úpravy hardware a software elektronického systému.

V druhé řadě se jedná o práce spojené s experimentální částí projektu GAČR, které zkoumají spalování vodíkového paliva na zkušebním jednoválcovém motoru. V tomto případě, vzhledem k moderní koncepci vefukování paliva přímo do válce motoru, je již nevyhnutelné použití elektronického systému řízení a nastavování jednotlivých parametrů vefukování paliva a zážehu zápalné směsi. Výsledkem je urychlení optimalizačních výzkumných prací v oblastech tvorby a spalování směsi s možností masivního nasazení přístrojové a výpočetní techniky.

Soubor prací do jisté míry dokumentuje potřebu porozumět významu elektroniky pro zvládnutí problémů mechaniky a termodynamiky pístového spalovacího motoru.

Práce je podkladem k jednání pro habilitační řízení.

Poznámka:

Vysvětlivky k bibliografickým citacím

[xx] - citace z literárních údajů použitých v habilitační práci. Souhrnný přehled uveden v kapitole 6.0 v abecedním členění

Pxx - citace ze souboru publikovaných prací autora, jejichž text je (vždy se stručným souhrnem) v příloze

OBSAH

1.0	Úvod	7
2.0	Požadavky na elektroniku pohonu silničních vozidel	9
3.0	Elektronická regulace plynových motorů	10
3.1	Popis činností elektronického systému regulace	11
3.1.1	Palivový systém	11
3.1.2	Zapalovací systém	12
3.1.3	Řídící systém	13
3.2	Základní funkce elektronického systému	14
3.2.1	Start motoru	14
3.2.2	Regulace volnoběhu	14
3.2.3	Regulace pracovní oblasti otáček a zatížení	15
3.2.4	Korekce bohatosti směsi	18
3.2.5	Bezpečnostní omezení parametrů	20
3.2.6	Diagnostika	21
3.3	Přirazení parametrů k elektronickým datům	22
3.3.1	Optimalizace parametrů	22
3.3.2	Kalibrace motoru	28
3.3.3	Ukládání dat do paměti EPROM	29
4.0	Elektronické řízení parametrů zkušebního plynového jednoválce	31
4.1	Popis činnosti elektronického systému řízení	32
4.2	Automatizovaný sběr dat	33
4.2.1	Monitorování parametrů EŘJ a sběr dat motoru pomocí PC	33
4.2.2	Indikace průběhu veličin během pracovního cyklu pomocí PC	35
4.2.3	Analýza výfukových plynů	36
4.2.4	Měření průtoku plynu a paliva	37
4.3	Optimalizace parametrů spalování	37
4.3.1	Vnitřní tvorba směsi	37
4.3.2	Spalování	41
5.0	Závěr	44
6.0	Souhrnný přehled literatury	45

Přílohy: Soubor publikovaných prací P1 až P12

SEZNAM SOUBORU PUBLIKOVANÝCH PRACÍ

„K problematice využití elektroniky u plynových zážehových pístových motorů“

- P1 Optimalizace autobusového motoru na LPG pro splnění výfukových emisí EURO 3
In.: Sborník 9. Mezinárodní Sympozum MOTORSYMPO '95. Štrbské Pleso 1995.
 - P2 Spalovací motor ML 636PB s elektronicky řízenou regulací.
Výzkumná zpráva SM 310/96. TU, Liberec 1996.
 - P3 Optimalizace pístového zážehového motoru na LPG s elektronickou regulací.
In.: Sborník III. Mezinárodní Konference MEKOAUTO '96, Vyhne 1996.
 - P4 Plynový zážehový přeplňovaný motor ML 636 PBEM.
Výzkumná zpráva SM 322/97. TU, Liberec 1997.
 - P5 Plynový zážehový přeplňovaný motor ML 636 PBEM (verse M1.2C).
Výzkumná zpráva SM 334/97. TU, Liberec 1997.
 - P6 Plynový zážehový přeplňovaný motor ML 636 PBE.w.
Výzkumná zpráva SM 346/98. TU, Liberec 1998.
 - P7 Plynový motor ML 636 PBE.w-M1.C.
Výzkumná zpráva SM 365/00. TU, Liberec 2000.
 - P8 Nízkoemisní plynový motor s výkonem 210 kW pro vozidla kategorie M3, N3.
In.: Sborník Konference automobilového průmyslu AUTOSYMPO '2000.
Brno 2000
 - P9 Laboratorní jednoválec pro spalování vodíku a zemního plynu.
In.: Mezinárodní konference kateder a pracovišť spalovacích motorů slovenských a českých VŠ. Gabčíkovo 1998.
 - P10 Analýza výsledků měření na motoru OKC-Oktan s vodíkovým palivem. SM 352/99
Výzkumná zpráva SM 352/99. TU, Liberec 1999.
 - P11 Měření motoru OKC-Oktan s vodíkovým palivem –nevěřivé provedení. SM 357/99
Výzkumná zpráva SM 357/99. TU, Liberec 1999.
 - P12 Vliv víření a komprese na spalování vodíku ve zkušebním pístovém motoru. In.:
Mezinárodní konference kateder a pracovišť spalovacích motorů slovenských a českých VŠ - KOKA '2000. Žilina 2000.
-

Pozn.: V uvedených pracích je habilitant jediným autorem nebo spoluautorem části, týkající se elektronického systému řízení motoru a jeho využití k optimalizaci parametrů.

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK, VELIČIN A JEDNOTEK

Značka	Veličina	Jednotka
A/D	analogodigitální převodník signálu	
ABS	protiblokovací brzdový systém (Antilock Braking System)	
AŘBS	automaticky řízené brzdové stanoviště	
ASR	protiskluzová soustava (z něm. Antriebs Schlupfregelung)	
CAN-BUS	datová sběrnice řídicí sítě (Controller Area Network-Bus system)	
CNG	stlačený zemní plyn (Compressed Natural Gas)	
CO	koncentrace emise oxidu uhelnatého	ppm
CO ₂	koncentrace emise oxidu uhličitého	ppm
CPU	mikroprocesor (Central-Process-Unit)	
DENO _x	absorpční katalyzátor NO _x	
EDS	elektronický závěr diferenciálu (z něm. Elektronische Differentialsperre)	
EHK 49	předpis evropské hospodářské komise pro měření a limity plynných emisí výfukových plynů motorů silničních vozidel	
EPROM	elektronicky programovatelná paměť pouze pro čtení (Electronic programmable read only memory)	
ERJ	elektronická řídicí jednotka	
ESC	testový cyklus složený z ustáleného stavu 13 bodů ve shodě s předpisem EHK	
ESP	elektronický program zajišťující jízdní stabilitu (Electronic Stability Programme)	
ETC	testový cyklus složený ze sekundové sekvence přechodových módů aplikovaných ve shodě s předpisem EHK	
EU2,3,4	předpisy EURO pro výfukové emise motorů silničních vozidel	
GAČR	grantová agentura České republiky	
G _{pal}	hmotové množství paliva	kg s ⁻¹
G _{vz}	hmotové množství vzduchu	kg s ⁻¹
HC	koncentrace emise oxidu uhlovodíku přepočtená na jednouhlikovou molekulu	ppm
H ₂	koncentrace vodíku	ppm
KSD-TUL	katedra strojů průmyslové dopravy technické univerzity v Liberci	
kl	poloha škrtící klapky	%
kl _m	mezí poloha škrtící klapky	%
K{p _s +kl}	kombinovaná hodnota tlaku a polohy škrtící klapky nahrazující zatížení motoru	kPa+%
LPG	kapalné plynné palivo (Liquid Petrol Gas)	
MHD	městská hromadná doprava	
m _e	měrná spotřeba paliva	g/kWh
MIL	světelná indikace chybných funkcí (Malfunction Indicator Light)	
MPI	sekvenční vstřikování před sací ventil (Multiple Point Injection)	
MPK	výpočetní metoda konečnými prvky	
M _{tmax}	maximální točivý moment motoru	Nm
M _t	točivý moment motoru	Nm
M1,2,3	kategorie osobních vozidel a autobusů podle počtu přepravovaných osob	

Značka	Veličina	Jednotka
m	počet proměnných hodnot Y	
n	otáčky motoru, počet proměnných hodnot X	min^{-1} , -
n_j	jmenovité otáčky motoru	min^{-1}
n_{hi}	nejvyšší otáčky motoru při kterých je 70% P_e	min^{-1}
n_{lo}	nejnižší otáčky motoru při kterých je 50% P_e	min^{-1}
NO_x	koncentrace emise oxidů dusíku	ppm
N1,2,3	kategorie užitkových silničních vozidel podle hmotnosti	
OBD	palubní diagnostika (On Board Diagnosis)	
PB	směs propan-butanu	
p	tlak ve válci	kPa
p_A	tlak spalín ve výfukovém potrubí	kPa
p_{D3}	tlak vzduchu před směšovačem	kPa
p_s	tlak směsi (vzduchu) vstupující do motoru	kPa
P_e	efektivní výkon motoru	kW
P_{ej}	jmenovitý efektivní výkon motoru	kW
PC	osobní počítač (Personal Computer)	
PT	pevné částice	g/kWh
RAM	operační paměť s libovolným přístupem (Random access memory)	
SULEV	obzvlášť málo emisní vozidla (Super Ultra Low Emission Vehicle)	
t_A	teplota spalín ve výfukovém potrubí	$^{\circ}\text{C}$
t_{D3}	teplota vzduchu před směšovačem	$^{\circ}\text{C}$
t_G	teplota plynu před směšovačem	$^{\circ}\text{C}$
t_s	teplota směsi (vzduchu) vstupujícího do motoru	$^{\circ}\text{C}$
UEGO	vyhřívaná lambda sonda s převodníkem na měření zbytkového kyslíku ve spalínách (Universal Exhaust Gas Oxygen Sensor)	
v	rychlost vzduchu	ms^{-1}
VN	vysoké napětí	kV
X	proměnná hodnota v souřadném systému x	
Y	proměnná hodnota v souřadném systému y	
Z	závislá hodnota proměnných X,Y	
α_z	úhel předstihu zážehu	$^{\circ}\text{KH}$
Δp	podtlak v difuzéru směšovače	Pa
ε	kompresní poměr	-
λ	součinitel přebytku vzduchu	-
ρ	hustota vzduchu	kgm^{-3}
I°	první stupeň tlakového regulátoru paliva	
II°	druhý stupeň tlakového regulátoru paliva	

1.0 ÚVOD

Citát hospodářského teoretika Fridricha Lista z roku 1840 „*Levná, rychlá, bezpečná a pravidelná přeprava osob a zboží je nejmocnější pákou blahobytu civilizace*“ je platný dodnes. Během 160 let prodělaly dopravní prostředky obrovský rozvoj a masové rozšíření silničních vozidel poháněných spalovacími motory vede v posledních letech k problémům, které vyžadují neodkladné řešení. Jedná se v rozhodující míře o snížení spotřeby neobnovitelných zdrojů energie (fosilních paliv) a zatížení životního prostředí (obzvláště vzduchu škodlivinami výfukových plynů a CO_2).

Pístový spalovací motor představuje v současnosti neefektivnější pohon silničních vozidel a je zřejmé, že z hlediska prognóz zásob fosilních paliv, vývinu škodlivých emisí a CO_2 , jakož i výrobních nákladů poroste dále jeho význam. Ačkoliv základní škodliviny vozidlových motorů (NO_x , HC, CO, PT) od zavedení limitujících předpisů klesly o více než 90% je očekáváno další snížení („rozpůlení“) ještě nezavedených evropských limitů EU3 a EU4 (rok 2005). V USA ve státě Kalifornie se předpokládá, že limity předpisu pro SULEV budou ležet ještě o 50% pod EU4. Největší výzvu spalovacím motorům však představuje požadovaná redukce CO_2 , která u uhlovodíkových paliv závisí přímo na spotřebě paliva. Současný stav produkce CO_2 spalovacím motorem je u osobních vozidel v průměru 170-200g/km a již dnes existují cílové evropské limity na 140g/km pro r. 2008.

Při dnešních okrajových podmínkách se ukazuje, že správnou cestou řešení nízkých spotřeb paliva a emisí (i u zážehových pístových motorů) je přímý vstřik paliva do válce s využitím řídicí a regulační elektroniky. Zážehový pístový motor v dnešním klasickém provedení (s třicetým katalyzátorem a sekvenčním vstřikování paliva před sací ventily) je vybaven plně elektronickou soustavou pro řízení a regulaci jeho parametrů, stejně jako koncepty přímého vstřiku do válce, které jsou již postupně uváděny do výroby.

Rovněž ekologické používání plyných paliv (CNG, LPG) u motorů vozidel provozovaných v oblastech s vysokou zátěží emisí (průmyslové a městské aglomerace) se v posledních letech neobejde bez aplikace principů elektronického řízení a regulací.

Elektronika se však nepoužívá jen k regulaci a řízení spalovacího motoru a k jeho diagnostice, ale i k řízení regeneraci katalyzátorů a k zvýšení aktivní a pasivní bezpečnosti provozu vozidel (protiblokovací systém ABS, protiskluzové systémy EDS a ASR, systém ovlivňující jízdní stabilitu ESP, Airbag, elektronické ovládání bezpečnostních pásů a opěrek hlav přepravovaných osob, navigační a informační systémy s externí komunikací

apod.). Nárůst podílu elektroniky na celkových nákladech vozidla je značný a činí v průměru 25% (v roce 1970 byl podíl elektrických systémů na celkových nákladech jen cca 8%). Ukazuje se, že dnes již nenastávají větší problémy komunikace mezi strojnými a elektronickými specialisty, neboť nová generace inženýrů obou odlišných oborů vyrůstá mezi všeobecně dostupnými počítači.

Potřeba okamžitého řešení ochrany životního prostředí před emisemi výfukových plynů a CO_2 produkovanými motory masově se rozvíjejících silničních dopravních prostředků vyvolala obrovský technický pokrok, jehož základem je mezioborová integrace mechaniky a elektroniky. Tato integrace a z ní vyrůstající porozumění významu elektroniky dnes rozhoduje o dalším pokroku automobilového průmyslu.

Výzkumem spalovacího procesu a konstrukcí plynových motorů s mechanickými a pneumatickými regulačními systémy se pracovníci katedry strojů průmyslové dopravy Technické univerzity v Liberci zabývají již desítky let. V roce 1993 byla použita verze plynového motoru s mechanickou regulací ML636PB (konverze vznětového motoru LIAZ na LPG) pro projekt plynofikace autobusové MHD měst Mostu a Litvínova. V průběhu projektu (v roce 1994-95) vznikl požadavek uživatele na změnu projektu sledující použití systému elektronické regulace dodávaného nizozemskou firmou Deltec (dnes Woodward), na kterém se autor podílel jako řešitel za TUL. V průběhu dalších let se na elektronicky regulované verzi motoru ML636PBE prováděly nejrůznější optimalizace (spalovacího procesu, zvýšení výkonu, regulace a chlazení turbodmychadla a pod.) na nichž se autor podílel jako spoluřešitel nebo řešitel.

Další výzkumnou oblastí, kde se na pracovišti KSD-TUL využívá elektronika k řízení a nastavování jednotlivých parametrů ovlivňujících tvorbu směsi (počátku a délky vefukování paliva do válce) a zážehu směsi (počátku a intenzity jiskry zapalovací svíčky) je zkušební jednoválcové zařízení pro řešení experimentální části spalování vodíku v projektu GAČR. Práce na nichž se autor podílí jako spoluřešitel probíhají od roku 1997 a budou pokračovat do roku 2003.

Podstatnou součástí habilitační práce, která je koncipována jako komentář a výklad, je soubor 12 publikovaných prací autora, které jsou přiloženy. Soubor je tematicky zaměřen na:

- rekonstrukci regulace autobusového LPG motoru na elektronický systém
- optimalizaci parametrů s využitím elektronického řízení u autobusového LPG motoru a výzkumného jednoválce na vodíkové palivo

2.0 POŽADAVKY NA ELEKTRONIKU POHONU SILNIČNÍCH VOZIDEL

Zákonodárství a požadavky trhu vyvíjejí neustálý tlak na zlepšování pohonu silničních vozidel zejména z těchto hledisek:

- zvýšení hospodárnosti, bezpečnosti a komfortu obsluhy
- snížení vlivů na životní prostředí
- zavádění diagnostiky

Řešení těchto rostoucích požadavků se uskutečňuje dalekosáhlými koncepty, technologiemi a systémy, které již vyžadují zapojení regulační a řídicí elektroniky k pohonu vozidel [1, 17, 19, 21, 28, 36, 40]. Od elektroniky je přitom požadováno:

- zlepšení stávajících funkcí dosahovaných mechanickými systémy
- vytváření nových funkcí umožňujících rozšíření informačních možností (snímače) a zabezpečení jejich výsledného zpracování (akční členy)
- použití lepších regulačních strategií (vyšší logika a rychlost).

Zvyšování hospodárnosti vozidel je stálým požadavkem nejen uživatelů, ale dnes i zákonodárců v souvislosti s omezováním produkce CO_2 . Snížování negativního vlivu vozidel na životní prostředí je prakticky v celém světě docilováno zpřísňováním současných legislativních předpisů složek škodlivin výfukových plynů spalovacích motorů (NO_x , HC, CO, PT) a zaváděním nových předpisů omezujících zejména CO_2 . V provozu vozidla je však překročení těchto předpisů (vlivem poruchy či nestability seřízení příslušenství motoru) zjištěné až při namátkové nebo předepsané kontrole. Výrazného pokroku bylo dosaženo v USA ve státě Kalifornie, kde byla poprvé uzákoněna diagnóza okamžitého stavu (předpis OBD) důležitých komponentů ovlivňujících kvalitu výfukových plynů. V roce 1985 zde byl zaveden předpis OBD I, který platil pro všechna vozidla s třicestným katalyzátorem a palivovým systémem regulujícím složení stechiometrické směsi ($\lambda=1$). Od roku 1994 již nový předpis OBD II platí pro všechny osobní automobily, jakož i pro lehká a střední nákladní vozidla. Tento předpis vyžaduje, aby při poruše jakéhokoli systému, který může vést k překročení emisních hodnot, byla závada nejen indikována na přístrojové desce řidiče (indikace MIL), ale i zaznamenána v permanentní paměti elektronického systému pro následnou servisní, nebo namátkovou policejní kontrolu. Je pochopitelné, že takováto elektronická diagnostika okamžitého stavu emisí má výrazné příznivé dopady na ochranu životního prostředí a nelze se proto divit jejímu rozšiřování.

Požadavky na elektroniku pohonné jednotky vozidla musí vycházet z potřeby velmi přesného pochopení okamžitého stavu spalovacího motoru, jakož i velmi rychlé regulace na dosažení jeho optimálního stavu. Těžiště vývoje elektroniky spočívá jak v hardware (snímače, akční členy, řídicí jednotka, spojení, a pod.), tak i v potřebném software [17, 36].

V oblasti hardwaru jsou trendy především k:

- inteligentním čidlům
- od kabelových svazků k multiplexně způsobilým spojovacím systémům (typu CAN-BUS)
- samofidícím akčním členům

V oblasti softwaru je vývoj veden ve směrech:

- adaptivní regulace
- programovatelné logiky (Matrix, Fuzzi).

3.0 ELEKTRONICKÁ REGULACE PLYNOVÝCH MOTORŮ

Pístové zážehové motory spalujících LPG nebo CNG nacházejí v posledních letech stále širšího uplatnění zejména u vozidel provozovaných v centrech měst nebo v oblastech s velkou koncentrací škodlivých emisí v ovzduší.

Ke smíšení paliva se vzduchem se v současné době používá převážně klasických směšovačů. Novější systémy používající vefukování plynu do sacího potrubí nebo přímo do válce motoru se sice intenzivně vyvíjejí ale v praxi jsou dosud ojedinělé. Tyto systémy jsou již plně založené na spolupráci s elektronikou a využívají výhod víceparametrové regulace obdobně jako zážehové motory s přímým vstřikem do válce.

Směšovač a škrtící klapka se umísťují u klasického provedení přeplňovaného motoru obvykle za kompresor turbodmychadla a mezichladič plicního vzduchu, aby se zamezilo možností nasávání mazacího oleje z ložiska kompresoru a nebezpečí z velkého objemu hořlavé směsi v sacím traktu.

Základní parametry zážehového motoru (výkon, spotřeba paliva a emise výfukových plynů) jsou závislé především na poměru vzduchu k palivu (součiniteli přebytku vzduchu λ). Podle velikosti λ rozlišujeme koncepty:

- **stechiometrický** koncept používá ke spalování směs paliva se vzduchem ve stechiometrickém poměru ($\lambda=1$), která je elektronicky regulována na základě údajů snímače měřícího okamžitý obsah kyslíku ve výfukových plynech (lambda sondy). Ke splnění limitů škodlivých emisí výfukových plynů je nezbytné použít třicestný katalyzátor (redukce NO_x , HC, CO). Tato technologie se používá u všech atmosféricky plněných zážehových motorů na LPG a CNG používaných v osobních a užitkových vozidlech. Z mnoha aplikací lze uvést práce z nejbližšího okolí např. [4, 5, 22, 23, 24, 39]. Zbývá podotknout, že koncept byl původně vyvinut pro zážehové benzinové motory osobních automobilů, kde se v kombinaci se sekvenčním vstřikováním paliva před sací ventil dodnes používá v masovém měřítku.
- koncept **chudé směsi** používá ke spalování chudou směs paliva se vzduchem ($\lambda>1$). Škodlivé emise NO_x jsou při spalování chudé směsi dostatečně nízké a emise HC a CO se za dostatečného množství vzduchu redukuje v oxidačním katalyzátoru. Technologie se používá u všech přeplňovaných zážehových motorů na LPG a CNG používaných v užitkových vozidlech a autobusech. Z mnoha aplikací lze uvést zejména práce z nejbližšího okolí [2, 3, 6, 7, 8, 9, 11, 27, 37].
- **kombinovaný** systém používá pro volnoběh stechiometrické regulace ($\lambda=1$) a pro pracovní oblast regulace chudých směsí ($\lambda>1$). Takovéto uspořádání, spojující výhody obou konceptů (stabilního volnoběhu při měnícím se zatížení a nízké spotřeby paliva a emise NO_x v pracovní oblasti), umožňuje aplikace elektronických systémů. S rozvojem elektroniky se používá, vedle regulace poměru složení směsi (λ), regulace dalších parametrů, jako počátku zážehu směsi, tlaku směsi na vstupu do válce (regulací turbíny turbodmychadla) apod. Obdobné řešení bylo použito pro II. etapu projektu plynofikace MHD měst Mostu a Litvínova. Konkrétně byl použit elektronický systém fy Deltec, který byl aplikován na dosavadní motor ML636PB (LPG) v městském autobusu Karosa. Tím byl nahrazen dosavadní mechanicko pneumatický systém regulace [7, 8] motoru a vznikla jeho elektronicky regulovaná verze ML636PB uvedená v P1, P2, P3. Postupně vznikaly další verze ML636PBEM v P4, P5 (motor se zvýšeným výkonem a točivým momentem), ML636PBE.w-M1.2C v P6, P7 (motor vycházející z modernizace vznětového motoru Liaz-M1.2C a aplikace rozšířené elektronické regulace na

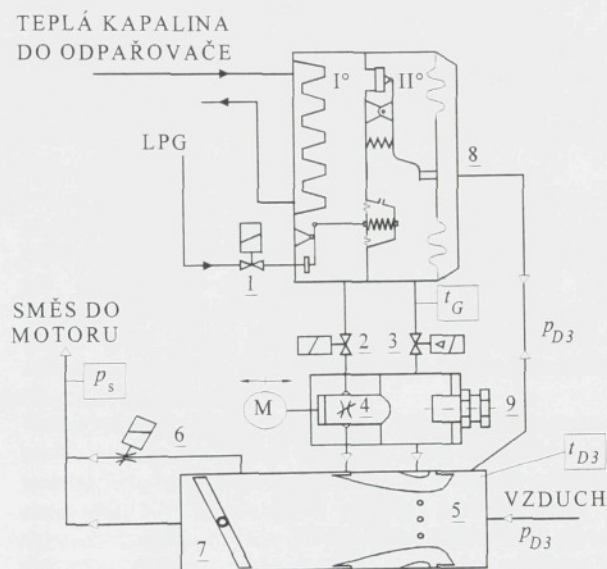
wastegate turbodmychadla). Elektronický systém byl dále použit u obdobného motoru spalujícího CNG, který byl určen pro zástavbu do autobusu a vozidel, blíže v [3] a P8.

3.1 Popis činnosti elektronického systému regulace

Elektronický systém motoru ML636-PB reguluje více parametrů. Používá dvě odlišné regulační větve pro volnoběh a pracovní oblast motoru. Vzhledem ke svým regulačním, řídicím, korekčním, bezpečnostním a diagnostickým funkcím patří mezi vyspělé systémy i když používá k vnější tvorbě směsi klasického směšovače.

3.1.1 Palivový systém

Hlavní funkce palivového systému motoru spalujícího LPG jsou: regulace tlaku a odpaření paliva, smíšení paliva se vzduchem v poměru vyjádřeném součinitelem přebytku vzduchu λ , a regulace množství. Na obr.1 jsou schematicky znázorněny jeho jednotlivé části podrobněji uvedené v P2 a P7.



Legenda k obr. 1:

- 1 - Pojistný hlavní ventil paliva
- 2 - Pojistný volnoběžný ventil
- 3 - Stop ventil paliva
- 4 - Lambda-ventil
- 5 - Směšovač
- 6 - Ventil regulátoru volnoběhu
- 7 - Škrtková klapka
- 8 - Tlakový regulátor paliva
- 9 - Hlavní seřizovací šroub

- p_s - Snímač tlaku směsi vstupující do válců motoru
- t_{D3} - Snímač teploty vzduchu před směšovačem
- t_G - Snímač teploty plynu před směšovačem

Zkapalnělý plyn je veden z palivových nádrží do I.stupně tlakového regulátoru, kde se ohřevem od teplých stěn odpařuje. Při volnoběhu motoru se plyn odtud vede přímo do směšovače. Při vyšších než volnoběžných otáčkách vzniká v difuzéru směšovače vlivem proudění vzduchu o hustotě ρ a rychlosti v podtlak

$$\Delta p = \frac{1}{2} \rho \cdot v^2 \quad (1)$$

který způsobí proudění plynu z II.stupně tlakového regulátoru. Množství plynu je tak úměrné množství vzduchu proudícího směšovačem, který je konstruován na určitý směšovací poměr paliva se vzduchem vyjádřený součinitelem λ . Ventil mezi I.a II.stupně tlakového regulátoru paliva je ovládán membránou, na kterou působí okamžitý tlak vzduchu p_{D3} před směšovačem a kompenzuje tak jeho tlakové rozdíly. Za směšovačem je umístěna škrtková klapka nutná k regulaci množství směsi, kterou motor potřebuje k dosažení určitého výkonu.

Mechanická část regulace složení směsi (vyjádřená součinitelem λ) a jejího množství se skládá (viz. obr.1) z tlakového regulátoru 8, hlavního seřizovacího šroubu 9 (slouží k nastavení základní hodnoty součinitele λ), směšovače 5 a škrtkové klapky 7.

Proměnnost součinitele λ zajišťuje u mechanického provedení regulace (v určitých mezích) pneumatický lambda-regulátor [8], nebo u elektronického provedení regulace, blíže popsané v P2 a P3, lambda-ventil 4, ovládaný krokovacím motorkem. Krokovací motorek dostává signály z elektronické řídicí jednotky pro dva okruhy regulace:

- **otevřený okruh** pro oblast pracovních otáček motoru ($\lambda > 1$).

Pozice krokovacího motorku je určována v závislosti na otáčkách a zatížení spalovacího motoru. Tato závislost je uložena v paměti bloku EPROM umístěným v elektronické řídicí jednotce. Zatížení motoru je zde pro jednoduchost snímače nahrazeno ekvivalentním tlakem směsi vstupující do válců motoru. Podle pozice krokovacího motorku se mění průřez (mezi přední hranou posuvného lambda-ventilu a hlavním seřizovacím šroubem), který ovlivňuje průtok plynu do směšovače.

- **uzavřený okruh** pro oblast volnoběhu ($\lambda = 1$).

Pozice krokového motorku se reguluje zpětnou vazbou pomocí signálu z lambda sondy. V závislosti na rozdílu mezi skutečnou a požadovanou hodnotou ($\lambda = 1$) nastává regulace. Podtlak v difuzéru směšovače je příliš malý nato, aby zajistil přívod přesného množství plynu z II.stupně tlakového regulátoru. Proto při volnoběhu je plyn veden přímo z I.stupně tlakového regulátoru a jeho množství je určováno průřezem obvodových drážek lambda-ventilu ovládaného krokovým motorkem.

Průtok plynu pro volnoběh a hlavní průtok plynu je tedy ovládán jedním krokovacím motorkem a jedním lambda-ventilem se dvěma funkčními průřezy.

3.1.2 Zapalovací systém

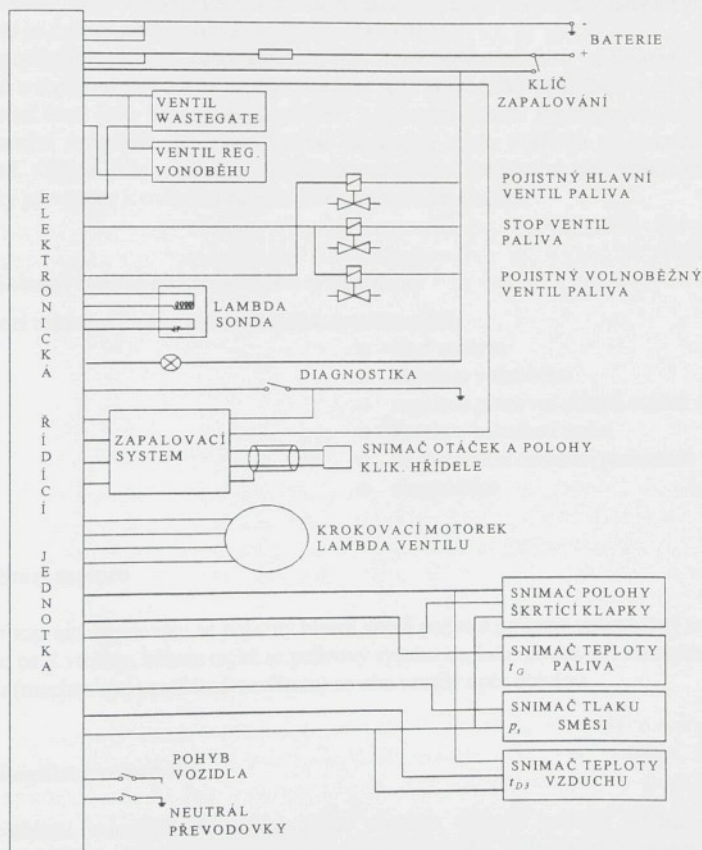
Bezkontaktní zapalovací soustava fy Delco má tři zapalovací cívky z nichž každá dodává zapalovací napětí na svíčky dvou válců (1 a 6, 3 a 4, 5 a 2) šestiválcového motoru. Zapalovací řídicí systém dostává signál ze snímače polohy klikového hřídele umístěného na zadním víku motoru proti značkám setrvačnicku. Značky jsou provedeny ve tvaru zářezů na

obvodě setrvačníku a určují horní úvrať každého válce a nastavení základního předstihu zážehu. Pozice skutečného předstihu zážehu je určena z paměti EPROM elektronické řídicí jednotky v závislosti na otáčkách a zatížení (ekvivalentem je tlak směsi vstupující do válců motoru). Pokud by v elektronické řídicí jednotce, nebo ve spojovacím vedení došlo k chybě, přejde z bezpečnostních důvodů zapalovací soustava do autonomního režimu (Bypass mode), kdy je předstih zážehu proměnný jen v pevně dané závislosti na otáčkách motoru. Tento režim je využíván u motorů bez systému elektronické regulace.

Maximální napětí na zapalovacích cívkách je asi 40 kV, což je vzhledem k předpokládaným ztrátám dostatečná hodnota pro kvalitní výboj na jiskřišti zapalovací svíčky a zapálení i velmi chudých směsí.

3.1.3 Řídicí systém

Řídicí systém jehož blokové schéma je zobrazeno na obr. 2 se skládá z těchto částí:



Obr. 2 Schéma řídicího systému

- Elektronické řídicí jednotky
- Snímačů
 - tlaku směsi vstupující do válců
 - teploty vzduchu před směšovačem
 - teploty plynu před směšovačem
 - polohy a otáček klikového hřídele
 - polohy škrtící klapky
 - množství kyslíku ve výfukových plynech (lambda sonda $\lambda=1$)
- Akčních členů
 - lambda-ventilu s krokovacím motorkem
 - ventilu regulátoru volnoběhu
 - zapalovacího systému
- Bezpečnostních členů
 - stop ventilu paliva
 - pojistného hlavního ventilu paliva
 - pojistného volnoběžného ventilu paliva

Všechny části elektronického systému jsou vzájemně propojeny kabelovými svazky. Napájení je z automobilového akumulátoru o napětí 24V.

V periferní vstupní části elektronické řídicí jednotky jsou analogové vstupy od snímačů a napájení převáděny na digitální tvar A/D převodníky nebo jsou pulsně tvarovány. V ústřední části jsou mikropočítačem CPU s operační pamětí RAM prováděny výpočty a porovnávání vstupních dat s daty pevně uloženými spolu s řídicím programem v paměti EPROM. Odtud jsou výsledné signály přes výstupní periferní část elektronické řídicí jednotky přivedeny k ovládacím akčním a bezpečnostním členům.

3.2 Základní funkce elektronického systému

Mezi základní funkce elektronického systému patří:

- ☐ start motoru
- ☐ regulace volnoběhu
- ☐ regulace pracovní oblasti otáček a zatížení
- ☐ korekce bohatosti směsi
- ☐ bezpečnostní omezení parametrů
- ☐ diagnostika

3.2.1 Start motoru

Při zapnutí zapalování se pojistný hlavní ventil paliva a pojistný volnoběžný ventil paliva otevrou na 2 vteřiny, během nichž se palivový systém naplní palivem. Při vlastním startování motoru (mechanické protáčení startérem) se oba ventily opět otevrou.

3.2.2 Regulace volnoběhu

V oblasti volnoběhu se průtok plynu reguluje změnou průřezů šterbin na obvodě lambda ventilu ovládaného krokovacím motorkem. Při volnoběhu je regulační okruh uzavřen zpětnou vazbou a okamžitá pozice krokovacího motorku se koriguje pomocí

napětíového signálu lambda sondy na úroveň $\lambda=1$. Korekce na teplotu vzduchu a plynu není v tomto případě potřebná.

Vzhledem k tomu, že zatížení při volnoběhu není stálé, provádí se dále zpětnovazební regulace otáček pomocí změny množství směsi přiváděné do válců motoru. Škrtkicí klapka je zcela zavřena a směs je vedena ze směšovače obtokovým vedením přímo do sacího potrubí. V tomto vedení je zařazen ventil regulace otáček volnoběhu, který podle signálu otáček zvětšuje nebo zmenšuje průtok směsi do motoru. Tím jsou otáčky volnoběhu stabilní kolem hodnoty nastavené v paměti EPROM.

Pro bezporuchovou funkci regulace otáček volnoběhu je použit ještě další signál přímo z převodovky, který ovlivňuje pozici ventilu regulace otáček podle druhu zatížení (odpojená nebo připojená hydromechanická převodovka). Aby regulátor volnoběhu pracoval v obou úrovních zatížení, musí být seřizen v dolní části regulačního rozsahu (50-70kroků) pro menší zatížení. Pak má dostatečný prostor pro regulaci při vyšším zatížení (do 255 kroků). Moderní převodovky mají automatické přepínání na neutrál i když řadící páka zůstane v poloze zařazeného převodového stupně. Proto je potřebné snímat rozhodný signál přímo z elektroniky převodovky a ne z polohy řadící páky.

Uzavřený zpětnovazební okruh regulace volnoběhu se přeruší jednak v okamžiku počátku otevírání škrtkicí klapky (signálem od snímače polohy škrtkicí klapky) a jednak v okamžiku začínajícího pohybu vozidla (signálem z převodovky).

3.2.3 Regulace pracovní oblasti otáček a zatížení

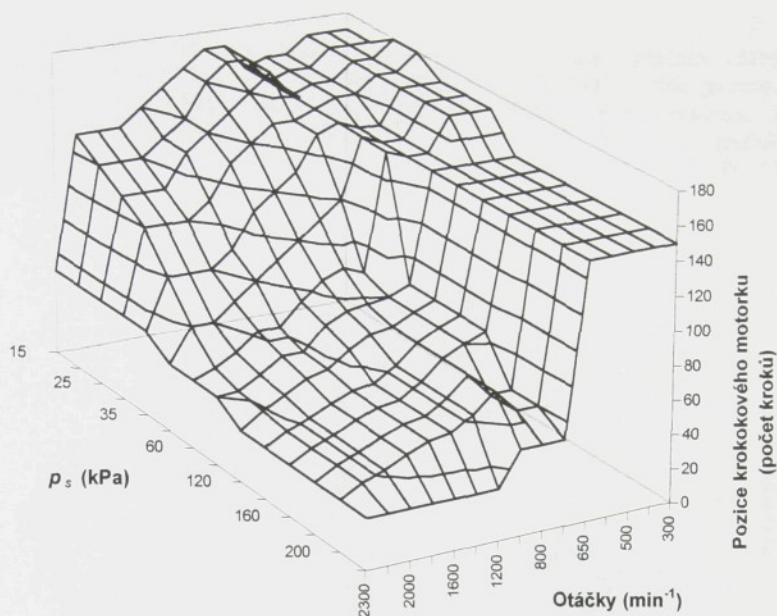
Pracovní oblast tvoří celé pracovní pole motoru mimo volnoběh. Regulace probíhá v otevřeném okruhu a požadované pole hodnot regulovaných veličin musí být předem zjištěno (kalibrací každého nového typu motoru) a uloženo v paměti EPROM. Regulují se obvykle tyto veličiny:

- bohatost směsi
- předstih zážehu
- plnicí tlak

□ **bohatost směsi** (vyjádřená součinitelem λ)

Bohatost směsi se reguluje změnou průřezu mezi přední hranou posuvného lambda-ventilu a pevnou hranou hlavního seřizovacího šroubu. Tímto šroubem se nastaví ve smluvním bodě charakteristiky každého motoru základní průtok plynu a to u výrobce na zkušebním brzdovém stanovišti. Např. při otáčkách 1200-1400 min⁻¹ a plném zatížení na hodnotu $\lambda=1.42$, jak uvedeno v P2. Součinitel přebytku vzduchu se indikuje pomocí diagnostického přístroje UEGO, který se po kalibraci na vnější čistý vzduch montuje do výfukového potrubí. Konkrétní naměřený údaj napětí odpovídá v přepočtu součiniteli přebytku vzduchu λ .

Smluvní bod charakteristiky motoru se tímto nastaví do výchozího stavu v kterém se prováděla kalibrace pozice krokového motorku. Tak je zabezpečeno seřízení parametrů vyráběných motorů a jejich reprodukovatelnost při shodném paměťovém bloku EPROM. V něm jsou uloženy pozice krokového motorku v 3-D tabulce v závislosti na otáčkách a tlaku směsi vstupující do motoru (plnicí tlak v sacím potrubí). Grafické vyjádření této tabulky je patrné z obr. 3. Hodnoty se mění podle seřízení motoru, jak je patrné z P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8.



Obr. 3 Pole pozic krokového motoru

Plnicí tlak zde zastupuje zatížení motoru (snímač zatížení motoru je náročný na zástavbu a dosud cenově nepřístupný), což dobře odpovídá skutečnosti v poli nízkých a středních zatížení, ale neumožňuje kvalitní rozlišitelnost při plném zatížení. V této oblasti lépe vyhovuje svou rozlišitelností údaj polohy škrticí klapky. Proto se někdy používá kombinace plnicího tlaku s polohou škrticí klapky, která dává nejlepší rozlišitelnost při všech druzích zatíženích. Takové kombinované hodnoty, nahrazující zatížení motoru se dají vypočítat pomocí vzorce:

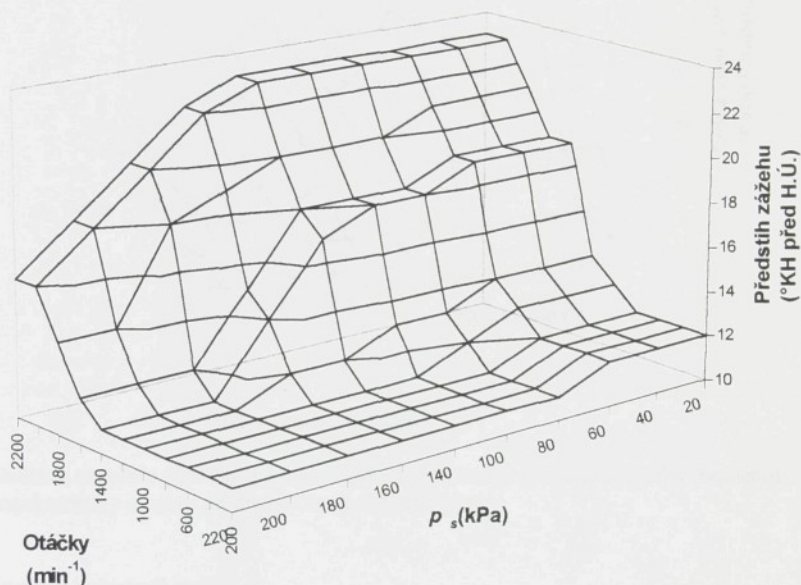
$$K\{p_s + kl\} = p_s + (kl - kl_m) \quad \text{přičemž} \quad (kl - kl_m) \geq 0 \quad (2)$$

Příklad výpočtu pro zadanou mezní hodnotu polohy škrticí klapky $kl_m = 35\%$ (hodnota rozděluje oblast zatížení na dvě části. První část nahrazuje zatížení pouze plnicím tlakem, druhá část kombinací plnicího tlaku a polohy škrticí klapky)

p_s (kPa)	kl (%)	$K\{p_s + kl\}$ (kPa + %)	
20	0	$20 + (0 - 35) = 30 + 0$	$= 20$
50	10	$50 + (10 - 35) = 50 + 0$	$= 50$
75	20	$75 + (20 - 35) = 75 + 0$	$= 75$
100	30	$100 + (30 - 35) = 100 + 0$	$= 100$
115	40	$115 + (40 - 35) = 115 + 5$	$= 120$
130	60	$130 + (60 - 35) = 130 + 25$	$= 155$
145	80	$145 + (80 - 35) = 145 + 45$	$= 190$
150	100	$150 + (100 - 35) = 150 + 65$	$= 215$

□ předstih zážehu

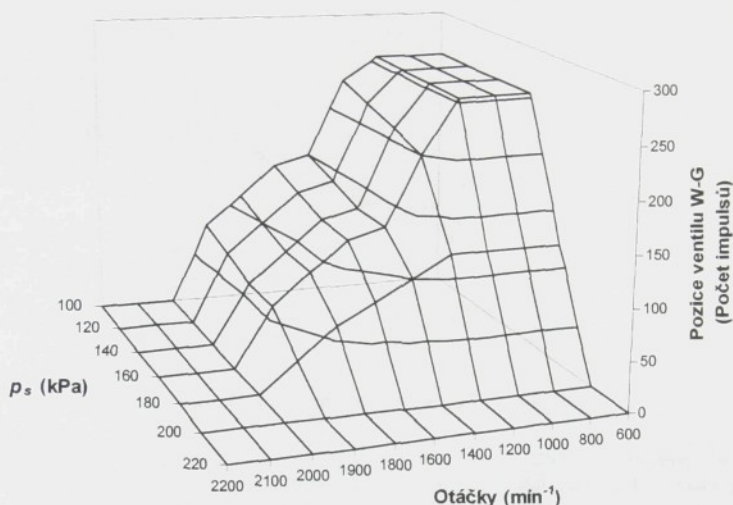
Zapalovací systém má pevně nastaven svůj autonomní režim změny předstihu zážehu v závislosti na otáčkách. Pokud je systém připojen na elektronickou řídicí jednotku, můžeme ovládat předstih zážehu z paměti EPROM v závislosti nejen na otáčkách, ale i zatížení motoru. Předstih je v paměti uložen v 3-D tabulce, kterou lze v grafické podobě znázornit obr. 4. Tabulky se mění podle seřízení viz. P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8.



Obr. 4 Pole předstihů zážehu

□ plicní tlak

Velikost plicního tlaku je dána stlačením kompresoru, které je přímo závislé na otáčkách turbodmychadla. Otáčky lze regulovat na straně vstupu do turbíny odpouštěním částí výfukových plynů obtokem přímo do výfuku. Tento systém regulace plicního tlaku (wastegate) používá v obtoku regulační klapku ovládanou pneumatickým akčním členem, který je řízen tlakem vzduchu p_{D3} odebíraným z potrubí před směšovačem. Tento tlak je upravován v elektromagnetickém škrticím ventilu wastegate, který je pak ovládán signálem z paměti EPROM v závislosti na otáčkách a zatížení motoru. Pozice škrticího ventilu wastegate je v paměti uložena opět v 3-D tabulce, kterou lze znázornit grafem v obr. 5. Pozice se opět mění podle seřízení motoru viz. P6, P7.



Obr. 5 Pozice ventilu wastegate

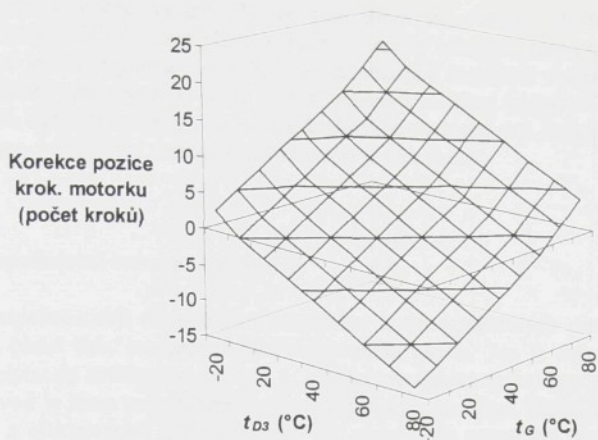
Výsledkem regulace plicního tlaku je dosažení potřebného průběhu točivého momentu vnější charakteristiky motoru při plném otevření škrtící klapky.

3.2.4 Korekce bohatosti směsi

Při regulaci v pracovní oblasti otáček a zatížení motoru (regulační okruh je otevřen) elektronický systém řídí regulované veličiny pomocí naprogramovaných hodnot pozic krokového motorku v závislosti na dvou parametrech, otáčkách motoru a plicním tlaku. Tyto hodnoty jsou zjištěné při kalibraci motoru, kdy další parametry, které mohou ovlivnit bohatost směsi, jsou na zkušebně udržovány v úzkém rozmezí. Jedná se konkrétně o teplotu vzduchu t_{D3} před směšovačem (závislou na teplotě okolního nasávaného vzduchu, množství a teplotě chladicího vzduchu přiváděného k mezichladiči plicního vzduchu) a o teplotu paliva t_G před směšovačem (závislou na množství a teplotě chladicí kapaliny přiváděné k odpařovači paliva v tlakovém regulátoru), viz. obr. 1.

V provozu motoru mohou tyto parametry (t_{D3} , t_G) značně kolísat vlivem okolní teploty vzduchu a zahřátí motoru. Proto jsou v systému zabudované snímače (t_{D3} , t_G) a podle jejich okamžitých hodnot se korigují pozice krokového motorku a tím i bohatost směsi λ .

Korekce podle těchto teplot může být kladná nebo záporná, proto se vyjadřuje relativně ke středu rozsahu pozic krokového motorku (0 - 254). Korekce vyjádřená číslem 128 znamená nulovou korekci, korekce 123 pak zápornou korekci -5 kroků (směs se ochuzuje). Aktuální pozice krokového motorku je vždy o korekci změněná proti příslušné hodnotě uložené v EPROM. Grafické vyjádření tabulek, pro seřízení podle P6 a P7, je na obr. 6.

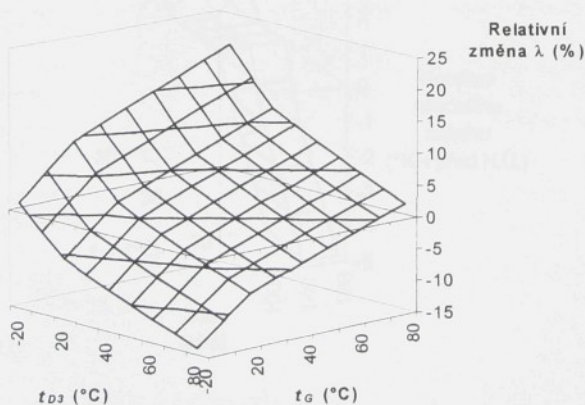


Obr. 6 Korekce pozice krokového motorku

Důsledkem korekce je udržování předepsané bohatosti směsi v každém bodě pracovního pole motoru bez ohledu na měnící se okolní tepelné podmínky. Velikosti korekce se dají zjistit simulací podmínek na motorové zkušebně (snížením množství chladicího vzduchu k mezichladiči a snížením množství teplé kapaliny do odpařovače tlakového regulátoru plynu), viz. obr.6, nebo zjednodušeným výpočtem uvedeným blíže v P7.

Zanedbáme-li nastavení na základní statický přetlak I. stupně regulátoru (30 kPa), lze výsledný vztah pro bohatost směsi λ zjednodušit jen na proměnné teploty plynu t_G a vzduchu t_{D3} .

$$\lambda \doteq konst. \cdot \sqrt{\frac{t_G + 273}{t_{D3} + 273}} \quad (3)$$



Obr. 7 Změna λ v závislosti na teplotách vzduchu a paliva dle vztahu (3)

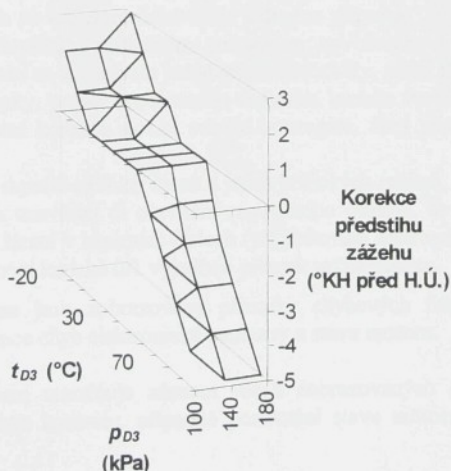
Podle zjednodušeného vztahu (3) lze vůči dříve stanovenému bodu nulové korekce ($t_{D3}=40^{\circ}\text{C}$, $t_G=30^{\circ}\text{C}$) stanovit přibližné relativní změny bohatosti směsi při proměnných t_{D3} , t_G . Situace je dobře patrná z obr. 7, který je podobný naměřené skutečnosti, viz. obr. 6. Změna teploty vzduchu nebo plynu o 10°C znamená relativní změnu bohatosti směsi cca o 1.5 až 2%, což odpovídá změně pozice krokového motorku o 2 kroky. Vliv změny tlaku vzduchu p_{D3} na relativní změnu bohatosti směsi je irelevantní.

3.2.5 Bezpečnostní omezení parametrů

Z bezpečnostních důvodů jsou maximální hodnoty některých parametrů, jako jsou otáčky a plnicí tlak, omezeny funkcí stop ventilu paliva. Ten je zařazen v hlavní větvi přívodu plynu do směšovače, viz. obr.1, a je zavírán tlakem vzduchu z brzdového systému, jehož přívod je řízen trojcestným elektromagnetickým ventilem. Signál k tomuto ventilu je přiveden z elektronické řídicí jednotky, viz. obr. 2, po porovnání okamžité hodnoty ze snímačů a hodnot uložených v EPROM.

Stop ventil paliva dále zavírá přívod paliva při brždění motorem. Tento stav registruje elektronická řídicí jednotka v závislosti na podtlaku v sání, otáčkách a poloze škrtků klapky.

Pro provoz motoru je nebezpečné detonační spalování, které lze identifikovat snímačem klepání umístěným na boku klikové skříně v úrovni horní úvrati pístu, a odstranit signálem z řídicí jednotky snížením předstihu zážehu. Pokud elektronický systém nemá čidlo klepání, lze stavy detonačního spalování zjistit při kalibraci ze snímaného průběhu tlaku ve válci, blíže uvedeno v P1, P2 a P3 metodou [31], a korigovat je snížením hodnot předstihů zapalování v poli zatížení v závislosti na rostoucí okamžité teplotě vzduchu před směšovačem viz. obr. 9.



Obr. 9 Korekce předstihu zážehu

3.2.6 Diagnostika

Pro okamžitou diagnózu je elektronický systém motoru vybaven diagnostickou žárovkou a tlačítkem, které jsou umístěny na ovládacím panelu řidiče. Svítí-li žárovka, je v elektronickém systému chyba. Regulace volnoběhu nebo pracovního pole motoru pak není optimální vlivem vadných snímačů nebo kabelových spojů. K lokalizaci těchto chyb je systém dále vybaven zařízením, které hlásí chyby pomocí blikajícího kódu. Ke čtení je zapotřebí zastavit motor, vypnout zapalování a trvale tisknout tlačítko pro diagnózu. Kódování tvoří čísla mezi 11 a 99, kdy jedno číslo označuje jednu chybu.

Když motor stojí a zapalování je vypnuto, nejsou sice aktivní výstupy z elektronické řídicí jednotky, ale ona sama zůstává v pohotovostním stavu a zachovává záznam o chybách. Z tohoto důvodu musí být řídicí jednotka trvale připojena na plusovou svorku baterie. K vynulování všech chyb je zapotřebí jednotku zcela odpojit od napájení.

Za chodu motoru lze z místa řidiče kontrolovat správnou funkci volnoběhu. Při stlačení tlačítka žárovka buď svítí (příliš bohatá směs), nebo nesvítí (příliš chudá směs) a nebo bliká ($\lambda=1$, optimální stav).

Indikovaná chyba nemusí vždy znamenat vadný snímač. Označuje pomocí kódu jen nenormální stav určitého snímače, který se obvykle projevuje příliš vysokým, nebo nízkým napětím, nedostatečným signálem a pod. Chyba je pak v obvodu příslušného snímače, nebo ukazuje na příčinu způsobenou špatným stavem akčního členu, nebo poruchu samotného motoru.

Při servisních pracích se k elektronické řídicí jednotce připojuje běžný přenosný počítač (Laptop), který ve spolupráci s příslušným softwarem na obrazovce monitoruje všechna důležitá data motoru měnící se v intervalu jedné sekundy (otáčky, plnicí tlak, teploty vzduchu a plynu, polohu škrtníci klapky, pozici krokovacího motoru lambda ventilu, pozici regulačního ventilu volnoběhu, teplotní korekci, pozici ventilu wastegate, úhel předstihu zážehu, napětí baterie a pod).

Pro indikaci řídicích signálů akčních členů a jejich kritických režimů, signálů z převodovky a stop ventilu, signálů o uzavírání či otevírání regulačního okruhu, se na monitoru zobrazí potřebný počet příznaků řízení v binárních číslech (při 8bitovém mikroprocesoru s osmi čísly). Každá binární číslice pomocí logické 0/1 vyjadřuje příznak určité funkce.

Obdobným způsobem jsou zobrazovány příznaky chybových funkcí, které podstatně rozšiřují možnosti lokalizace chyb elektronické soustavy a stavu motoru.

Monitorovací program umožňuje záznam všech zobrazovaných dat a údajů na disk počítače a jejich následnou kontrolu, případně porovnání stavu motoru v určitém časovém období.

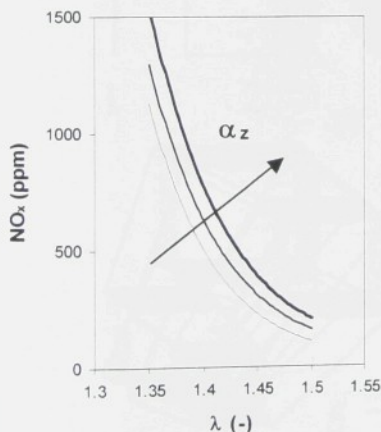
3.3 Přiřazení parametrů k elektronickým datům

Elektronické systémy umožňují provádět současně mnohem více funkcí než systémy mechanicko-pneumatické. Obzvláště regulace parametrů v pracovní oblasti úplné charakteristiky motoru umožňuje změny jejichž průběh může splňovat libovolnou nelineární funkci. To dává spolu s víceparametrovou regulací velké možnosti pro optimální nastavení každého bodu pole charakteristiky motoru s ohledem na požadované výstupy (spotřeba paliva, CO_2 , NO_x , CO, PM). Tím se však na druhou stranu zvyšuje náročnost vývojových prací pro stanovení optimálních vstupních parametrů (bohatosti směsi, úhlu zážehu, plnicího tlaku) pro každý bod charakteristiky motoru určité konstrukce (tvar spalovacího prostoru, kompresní poměr, rozvodová data ventilů, charakteristika sacího kanálu a pod).

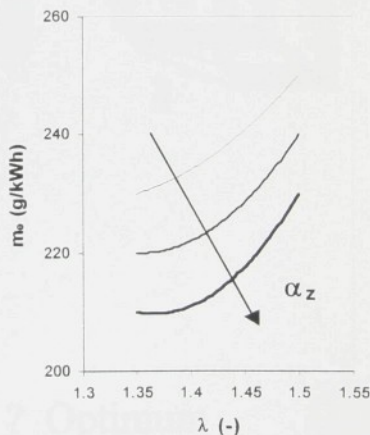
Teprve po získání těchto vstupních parametrů motoru je můžeme přiřadit k elektronickým datům pomocí kalibrace a ty pak uložit v paměti EPROM. Kalibrace je činnost při které zjišťujeme vztah mezi parametry motoru a pozicí akčního členu. Konkrétně se jedná např. o vztah mezi součinitelem přebytku vzduchu a počtem kroků krokovacího motorku a vztah mezi plnicím tlakem a počtem kroků ventilu wastegate.

3.3.1 Optimalizace parametrů

Při optimalizaci výstupních parametrů určitého motoru je třeba znát jejich závislost na vstupních regulovaných parametrech. Obvykle se stanoví základní závislosti spotřeby paliva a emisí výfukových plynů na součiniteli přebytku vzduchu a předstihu zážehu v několika režimech otáček a zatížení. Příklad takovýto závislosti pro jeden režim otáček a zatížení přepínaného plynového motoru spalujícího chudé směsi, je na obrázcích 10 a 11, podrobněji v P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8.

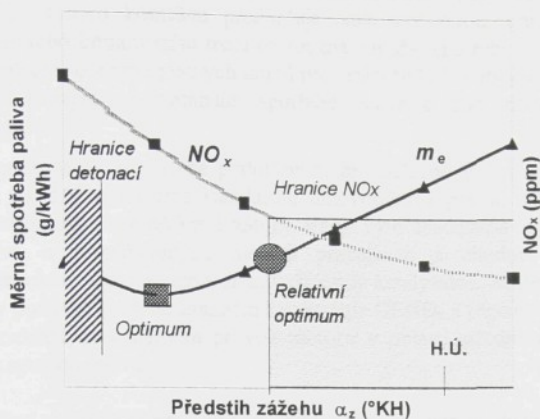


Obr. 10 Vliv NO_x na λ a α_z



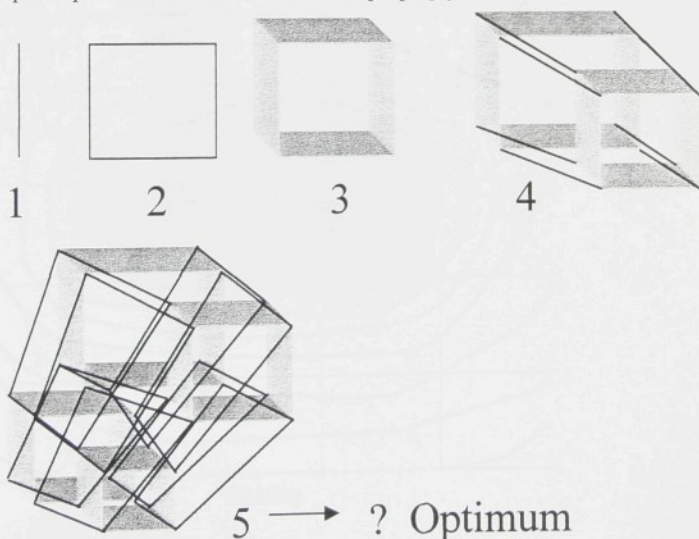
Obr. 11 Vliv m_e na λ a α_z

Přitom pro každý přebytek vzduchu λ je potřebná jednoparametrická (jednodimenzionální) optimalizace spotřeby paliva $m_e = f(\alpha_z)$. Relativní optimum spotřeby paliva je dáno dovoleným limitem NO_x a hranici detonací, jak je patrné z obr. 12.



Obr. 12 Jednoparametrická optimalizace spotřeby paliva

Minimální spotřeba paliva je ovlivněna dalšími parametry, proto je potřebná víceparametrická optimalizace $m_e = f(\alpha_z, \lambda, n, M_b, t_s, \dots)$ při omezení limity NO_x , HC , CO , PT , t_A . Podle počtu parametrů se úloha stává složitější [20], jak znázorňuje obr.13.

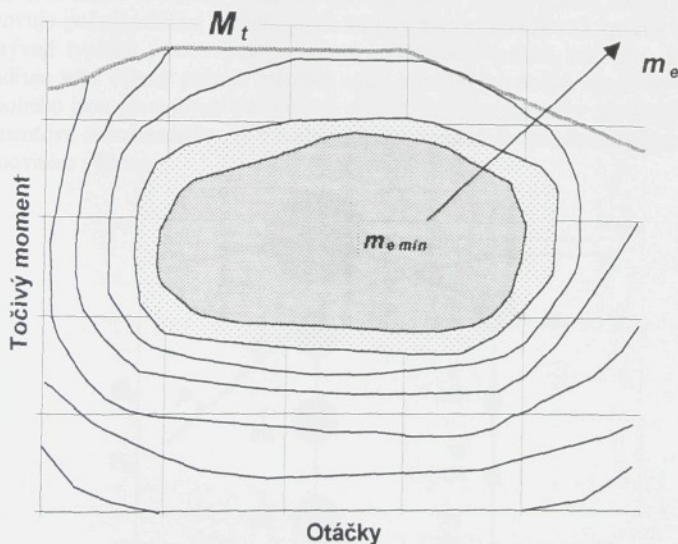


Obr. 13 Počet parametrů (dimenzí) při optimalizaci

Z těchto závislostí jsou patrné protichůdné tendence mezi spotřebou paliva m_e a produkcí NO_x . Řešení tohoto konfliktu předurčuje další vývojovou strategii spočívající obvykle v nalezení určitého kompromisu mezi co možná nejnižší spotřebou paliva, tím i nízké produkce CO_2 při splnění současně platných limitů pro emisi NO_x . Limity pro emisi HC a CO se obvykle splní díky seřízení na minimální spotřebu paliva a díky nasazení účinného oxidačního katalyzátoru.

Na tomto místě je potřeba podotknout, že současné limity, natož budoucí, u zážehových pístových motorů spalujících standardní uhlovodíková paliva, nelze splnit bez dodatečného dočištění výfukových plynů katalyzátory. Vedle výše uváděného oxidačního katalyzátoru, který se používá u přeplňovaných motorů pracujících s chudou směsí, se u motorů se stechiometrickou směsí používá známý třicestný katalyzátor. Mezeru mezi těmito katalyzátory zaplňuje v poslední době akumulární katalyzátor DENO_x s regenerací. Tato technika umožňuje díky elektronickým systémům provoz motoru v oblasti středně chudé směsi, tedy v oblasti nejnižších spotřeb paliva.

Pro dosažení co nejnižší provozní spotřeby paliva (vyjádřené nejčastěji v $\text{dm}^3/100\text{km}$) je vedle vhodné volby optimálního převodu mezi motorem a hnacími koly vozidla stejně důležité rozdělení měrných spotřeb paliva v úplné charakteristice motoru. Optimální je pak takové rozdělení při kterém pole minimální spotřeby paliva je vzhledem k rozsahu otáček a zatížení dostatečně široké, jak je naznačeno v obr. 14.



Obr. 14

Pole spotřeb paliva v úplné charakteristice motoru.

Plnění zákonných limitů emisí škodlivin výfukových plynů je stále obtížnější, neboť vedle snižování měrných limitů škodlivin (NO_x , HC, CO, PT) se zpřísňují i předpisy pro měření. Výhodou plynových motorů zůstává, že u nich nejsou zatím problémy se splněním limitů některých škodlivin. U motorů používajících uhlovodíková paliva (LPG, CNG) to jsou limity CO a PT a při použití neuhlovodíkového paliva (H_2) i limit HC.

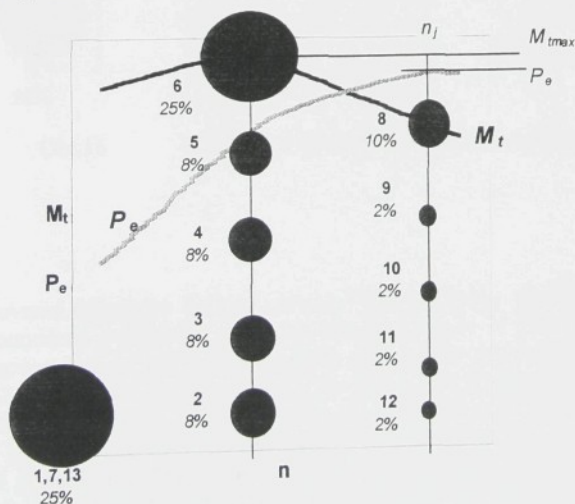
Ponecháme stranou dosavadní neharmonizovaný vývoj předpisů emisí výfukových plynů motorových vozidel ve světě (USA, Evropa, Japonsko) a porovnejme současný evropský předpis EU2 s budoucím EU3 (platnost od 1.10.2000) se zaměřením na střední a těžká silniční vozidla pro přepravu osob a nákladů (kategorie M2, M3, N2, N3) z hledisek:

- **Limitů** (mezních hodnot specifických hmotností složek škodlivin)

	NO_x (g/kWh)	HC (g/kWh)	CO (g/kWh)	PT (g/kWh)
EU2	7,0	1,1	4,0	0,15
EU3	5,0	0,7	2,1	0,10

• Předpisu měření

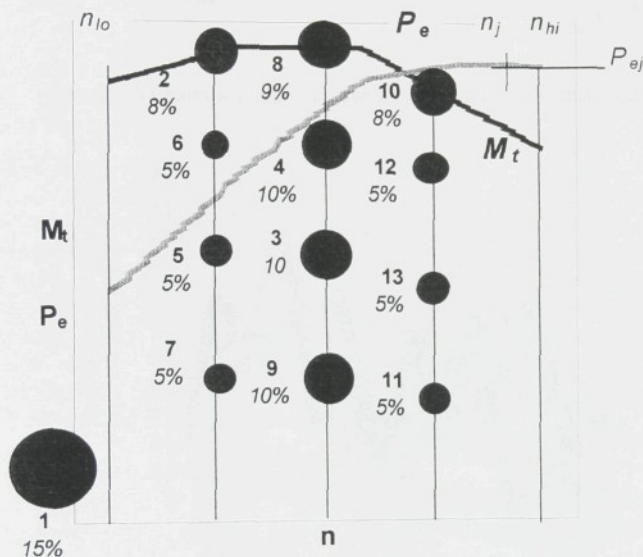
U předpisu EU2 se emisní vlastnosti zjišťují podle jediného testu stanoveným předpisem EHK 49, který obsahuje 13 ustálených režimů (délka modu 6 min). Předpis stanovuje pořadí střídání režimů, jejich váhový faktor (důležitost), otáčky a zatížení, které pokrývají typické pracovní pole motorů užitkových vozidel, viz. obr. 15. Výsledek se vyjadřuje jako vážený průměr měrných emisí jednotlivých složek škodlivin v g/kWh. Mimo volnoběhu jsou předepsány dvě úrovně otáček. První se stanoví v závislosti na tvaru vnější momentové charakteristiky, tj. v hodnotě jejího maxima, druhá představuje přímo otáčky při jmenovitém výkonu.



Obr.15

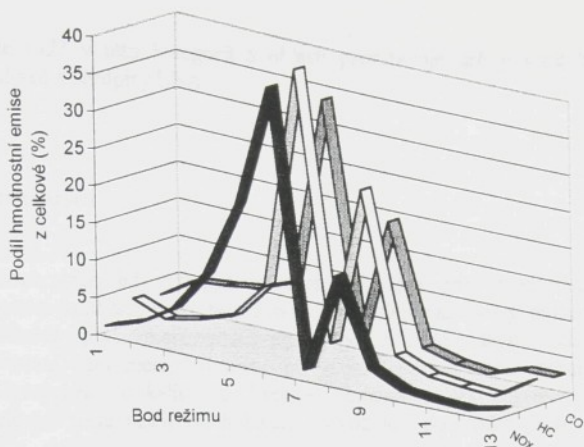
Rozdělení režimů u 13-ti bodového testu podle EU2

U předpisu EU3 se emisní vlastnosti zjišťují testem ESC, který je rovněž složen z 13 ustálených režimů (délka modu jen 2min). Předpis umožňuje použít nestacionární test ETC, který je složen ze sekundových sekvencí přechodových režimů. Pro tento nestacionární test jsou povolené vyšší hodnoty limitů škodlivin než je uvedeno výše. Předpis ESC stanovuje zcela odlišné (od EU2) pořadí střídání režimů, jejich váhový faktor (důležitost), otáčky a zatížení, viz. obr. 16. Mimo volnoběhu jsou předepsány tři úrovně otáček, které se stanoví výpočtem uvnitř rozsahu otáček určeného z průběhu vnější výkonové charakteristiky. Rozsah otáček je omezen nejnižšími otáčkami při nichž je výkon 50% jmenovitého a nejvyššími otáčkami při nichž je výkon 70% jmenovitého (v oblasti otáček přeběhu). Úrovně otáček pak záleží na okrajových otáčkách určených z koncových bodů křivky výkonu a nezávisí již na poloze maxima točivého momentu.

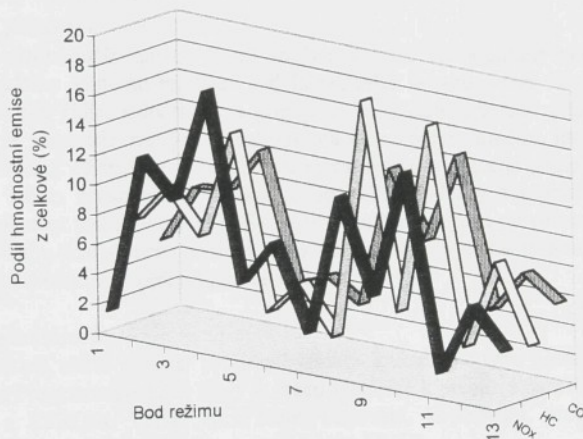


Obr.16 Rozdělení režimů u 13-ti bodového testu podle EU2

Z porovnání stávajícího EU2 a budoucího EU3 předpisu, viz. obr. 15 a 16, je zřejmá snaha zákonodárců o přiblížení testu skutečnému provozu. V EU3 měřené režimy lépe vyplňují provozní oblast úplné charakteristiky motoru a to nejen polohou, ale i váhovým faktorem. Z konkrétních měření je patrné, viz. obr. 17, že u současného testu představuje režim maximálního točivého momentu (to je jeden režim z 13) zhruba 35-40% z celkové vypočtené hodnoty specifické hmotnosti emise NO_x , totéž platí i pro HC a CO. U testu podle EU3 je podíl jednotlivých režimů na celkové hodnotě rovnoměrnější, viz. obr. 18; maximální hodnotu 15-20% tu dosahují 3 až 4 režimy (obvykle při 75-100% zatížení).



Obr. 17 Významnost režimů na celkovou hmotnostní emisi podle EU2



Obr. 18 Významnost režimů na celkovou hmotnostní emisi podle EU3

Dále pro simulaci skutečného provozu je přínosem přiblížení stávajícího testu stacionárního testu nestacionárnímu. To se projevuje jednak zkrácením délky modu na třetinu a větším střídáním režimů, a dokonce zavedením alternativního nestacionárního testu. Tato snaha je plně odůvodnitelná, neboť skutečný provoz vozidel zatěžujících životní prostředí je převážně nestacionární a v těchto přechodových režimech je nejvyšší vývin škodlivých emisí v motoru. Pro osobní a lehká užitková vozidla (kategorie M1 a N1) se používá nestacionární test simulující průběh zatížení válcovým dynamometrem. V USA se však používají povinně nestacionární testy i pro motory vozidel střední a těžké kategorie.

To znamená, že EU3 v této kategorii a oblasti představuje určitý krok k harmonizaci evropských předpisů s předpisy USA.

3.3.2 Kalibrace motoru

Pokud známe optimální výstupní parametry motoru pro charakteristický provoz vozidla, lze provést kalibraci mezi příslušnými vstupními parametry motoru a pozicemi akčních členů. Právě zjištění konkrétních pozic (počtu kroků) akčních členů pro určité vstupní (nastavovací) parametry motoru, při nichž jsou výstupní parametry motoru optimální, je hlavní činností kalibrace. Vedlejší činností je pak zjišťování odchylek od základních pozic při simulacích odchylných provozních podmínek jako podkladů pro korekce.

Při kalibraci se vždy používá kombinace některého způsobu přímého elektronického řízení pozic akčních členů s monitorováním okamžitých hodnot všech snímačů. Pozice akčních členů řídíme několika způsoby a to pomocí:

- **autonomních přístrojů**

Tento nejjednodušší způsob řízení spočívá v tom, že odpojíme akční člen od elektronického systému regulace (od kabelového svazku, který ho propojuje s elektronickou řídicí jednotkou) a připojíme ho k autonomnímu přístroji. Tento přístroj je nezávisle napájen a ručním otáčením potenciometru měníme pozici akčního členu. Přístroj je vybaven čtecím zařízením nastavené pozice (0 až 254 kroků). Tímto způsobem si jednotlivé optimální hodnoty vstupních parametrů (např. bohatost směsi) v celém poli otáček a zatížení motoru převedeme na pozice akčního členu (krokovacího motoru) v krocích, které si poznamenejeme do tabulky, jejímž vyjádřením je například graf na obr. 3.

- **speciálních kalkulátorů**

Jako příklad může sloužit programovatelný kalkulátor typu Dataman S4 fy. Dataman Programmers Ltd., který je určen speciálně k práci s paměťovými bloky PROM a EPROM. Vedle jejich čtení, editování, kopírování, programování a vypalování umí je také nahradit pomocí funkce EMUL.

V případě kalibrace motoru vyjmeme EPROM ze slotu v elektronické řídicí jednotce a výchozí data s programem vložíme z paměti EPROM do paměti RAM kalkulátoru. Ten propojíme s elektronickou řídicí jednotkou kabelem v místě uvolněného slotu po EPROM. Pro monitorování parametrů motoru připojíme k elektronické řídicí jednotce Laptop. Motor je regulován pomocí dat a programu uložených v RAM kalkulátoru při aktivované funkci EMUL. Abychom mohli editovat data je potřebné přejít z funkce EMUL na funkci EDIT. Před tím je však nutné motor zastavit nebo přepojit na náhradní PROM, který může být spolu s přepínačem součástí propojovacího vedení. Náhradní PROM slouží k udržování chodu motoru během editace. Právě přepínání funkce EMUL na EDIT slouží ke změně hodnoty pozice akčního členu vyjádřené dekadickým číslem v počtech kroků převedených na hexadecimální číslo na programem určené adrese a po přepnutí na funkci EMUL jejího ověření na změnu sledovaných parametrů.

Tento způsob kalibrace je zdoluhavý pro kalibraci rozsáhlých optimalizačních úloh a proto se používá většinou jen pro závěrečné ověření programu a dat, nebo pro drobné editační úpravy.

• uživatelského software

Jako příklad lze uvést software MONIO od fy.Woodward. Tento software nainstalovaný v běžném Laptopu umožňuje komfortní kontakt mezi uživatelem a elektronickým systémem regulace motoru. Vedle monitorovacích a kontrolních funkcí všech snímačů, umožňuje přímo z klávesnice (nebo pomocí myši) Laptopu pomocí aktivace funkce „slave“ postupně řídit výstupní signály k akčním členům (jako jsou: krokovací motorek lambda ventilu, zapalovací soustava, ventil volnoběhu a ventil waste-gate). To znamená, že elektronická řídicí jednotka s vloženým blokem paměti EPROM, je ve výstupních funkcích podřízena a pod kontrolou počítače Laptop. Propojení s elektronickou řídicí jednotkou je přes sériové rozhraní PC s firemním datovým propojením zahrnujícím hardwarové rozhraní.

Takto prováděná kalibrace se vyznačuje úsporou času a určitým komfortem. Nutnost ručního zápisu dat (počtu kroků, úhlu předstihu zážehu) v tabulkách pro následné vložení do paměti EPROM zůstává však i u tohoto způsobu kalibrace.

3.3.3 Ukládání dat do paměti EPROM

Paměti EPROM jsou elektronicky programovatelné a ultrafialovým světlem opět mazatelné paměťové integrované obvody. Používají se pro uložení řídicích a regulačních programů a dat elektronických systémů. Výše uvedený kalkulátor Dataman S4 má na čelní straně přípojovací slot pro připojení EPROM a příkazem LOAD lze okopírovat obsah EPROM do paměti RAM kalkulátoru. Poté se může obsah jednotlivých adres programu měnit příkazem EDIT. Po ukončení editace programu a dat lze obsah RAM okopírovat (vypálit) do čistého EPROM příkazem BURN. Čistotu EPROM (vymazání ultrafialovým světlem) kontrolujeme příkazem TEST.

Použitá EPROM má celkovou kapacitu paměti 128kB (což je přesně $2 \times 2^{16} = 131072\text{B}$). Každé paměťové místo lze obsadit 8 bity, respektive 2 hexadecimálními čísly 00 až FF (což znamená v převodu dekadickými čísly 0 až 255). Paměťové místo je pak v celkové kapacitě EPROM určené adresou udávanou hexadecimálním číslem 00000 až 1FFFF.

Obsahem EPROM jsou jednak programy pro regulaci a řízení, a jednak obsáhlý soubor jmenovitých dat parametrů regulovaných veličin, včetně korekcí, bezpečnostních kódů parametrů apod.

Datová část EPROM obsahuje soubor dat v dekadické číselné formě (0 až 255) převedených na hexadecimální čísla (00 až FF). Tato část je uživatelsky přístupná (pro motoráře provádějícího optimalizaci a kalibraci motoru) pomocí manuálu popisujícího přesně obsah jednotlivých adres a způsob zakódování větších čísel než 255 (např. počet otáček), záporných čísel (např.teplot) nebo procentuelně vyjádřených hodnot (např.

polohy škrticí klapky, polohy ventilu wastegate). Číselným označením se určují dále měřicí rozsahy snímačů, diagnostické limity (horní a dolní) napětových signálů, základní údaje pro výpočty (např. pro výpočet otáček počet pulsů čidla na otáčku, filtrační koeficienty), data výroby a editace EPROM, apod.

Pro účely optimalizace parametrů motoru jsou nejdůležitější datovou částí EPROM oblasti vymezené 3-D a 2-D tabulkám. V nich jsou uloženy pole pozic krokového motorku (obr.3), hodnot předstihů zážehů (obr.4), pozic ventilu wastegate (obr.5), korekce pozic krokového motorku a předstihu zážehu (obr.6 a 9).

Obecné schéma hodnot 3-D tabulky $Z = f(X, Y)$ je znázorněné na obr. 19. Rozsah tabulky je omezen počtem n , m proměnných X , Y v souřadném systému x , y (max. $n = 17$, $m = 17$; tj. 289 míst závislých hodnot Z)

	Y_1	Y_2			Y_m	$y \rightarrow$
X_1	Z_{11}	Z_{12}			Z_{1m}	
X_2	Z_{21}	Z_{22}			Z_{2m}	
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	
X_n	Z_{n1}	Z_{n2}			Z_{nm}	

$x \downarrow$

Obr. 19 Obecné schéma tabulky

Číselným kódem se přiřadí k proměnným X , Y příslušný typ parametru např.:

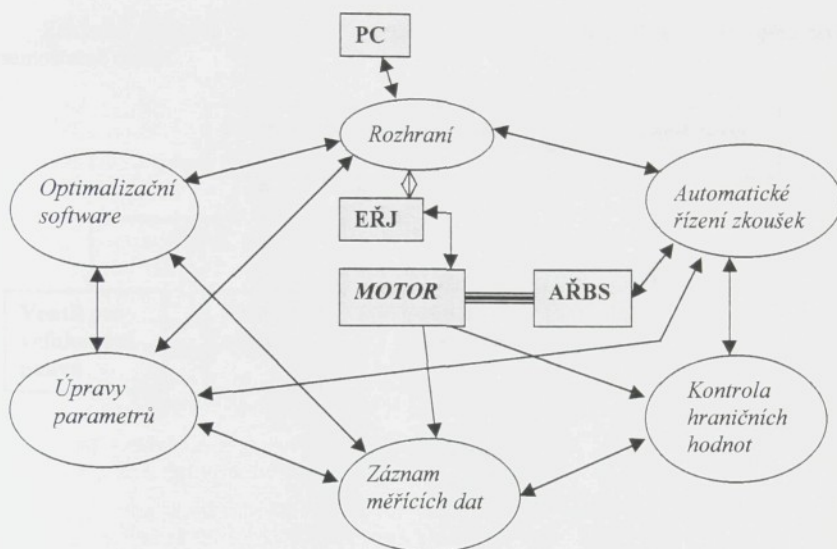
- 00 – otáčky motoru ($\text{min}^{-1}/25$)
- 01 – absolutní tlak v sacím potrubí (kPa)
- 02 – pozice škrticí klapky ($\% \times 2.56$)
- 03 – teplota paliva ($^{\circ}\text{C} + 100$)
- 04 – teplota vzduchu ($^{\circ}\text{C} + 100$)
- 05 – pozice krokového motorku (krok)
- atd.

Na programem určené adrese konkrétní tabulky se kódem přiřadí k ose x typ parametrů, na další adrese se zadá počet řádků proměnné X , a bezprostředně následují hodnoty proměnné X . Stejným způsobem se vyplní osa y a hodnoty proměnné Y a posléze i pole tabulky závislých hodnot Z .

Obdobně se vytvářejí 2-D tabulky hodnot $Z = f(X)$, které se používají zejména pro nejruznější korekce akčních členů při měnících se pracovních podmínkách.

4.0 ELEKTRONICKÉ ŘÍZENÍ PARAMETRŮ ZKUŠEBNÍHO PLYNOVÉHO JEDNOVÁLCE

Při optimalizaci parametrů elektronicky regulovaného motoru s řídicí jednotkou (EŘJ) se používají elektronické systémy [20, 29], které podstatně zkracují dobu vývoje typu motoru. Systém je řízen balíkem programů a bezpodmínečně předpokládá ve všech funkcích plně automaticky řízené brzdové stanoviště (AŘBS). Blokové schéma takového systému je patrné z obr. 20 [20].



Obr. 20 Elektronický systém pro optimalizaci parametrů motoru

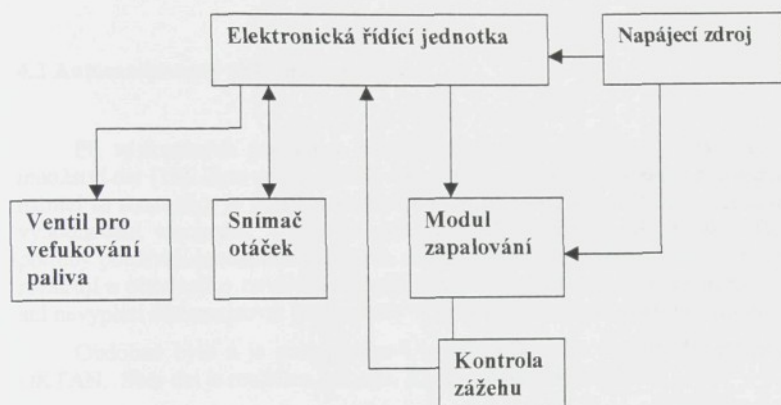
Pro práce výzkumného charakteru, kdy pracovník řídící experiment nemá přesně definovanou strategii postupu k dosažení cíle, kdy se souběžně provádí vývoj spalovacího procesu a základních komponentů, je výhodnější vazby mezi jednotlivými činnostmi oddělit. Změnu (úpravu) parametrů pak pracovník provede na základě vlastního vyhodnocení vzniklé situace. Zde není zapotřebí automatizovaného zkušebního stanoviště a jako nástroje lze použít programů (např. od fy. AVL program *Concerto*) pro zpracování a grafické vyhodnocení měřených statických a dynamických průběhů dat motoru.

Při výzkumných úlohách řešících otázky spalovacího procesu (obvykle na zkušebních jednoválcových motorech) se používají specializovaná měřící zařízení umožňující vyhodnocovat on-line, po případě of-line parametry spalování termodynamickým výpočtem z průběhu tlaků plynů ve válci motoru. Jako příklad z mnoha dnes používaných zařízení lze uvést zařízení *Indimetr-AVL* a *INDI-KSD* [33, 34]. Dále se obvykle používá elektronické řídicí jednotky pro řízení důležitých parametrů motoru (úhlu předstihu zážehu, počátku a délky vefukování paliva apod.) a automatizovaného sběru měřených dat (spotřeby paliva, vstupních a výstupních tlaků, teplot apod.). Využití elektronického řízení parametrů motoru má dnes zásadní význam i pro jednoválcová

zařízení, neboť zkracuje dobu výzkumu a usnadňuje přenos parametrů na potencionální elektronicky řízený a regulovaný plnohodnotný motor. V následujících kapitolách se popisuje takový elektronický systém zhotovený fou. VAPE (podle schéma a požadavků KSD) doplněný automatizovaným sběrem dat pro rekonstruované jednoválcové pracoviště OKC-OKTAN na KSD-TUL podle P9 a [41], které je využíváno k výzkumu spalování vodíku, blíže v P10, P11, P12, a [35, 38].

4.1 Popis činnosti elektronického systému řízení

Základní blokové schéma je uvedeno na obr. 21. Jednotlivé bloky představují samostatné celky.



Obr. 21 Blokové schéma elektronického systému řízení (EŘS)

Elektronická řídicí jednotka je mikropočítačový řídicí systém s časovým rozlišením dějů 10 μ s, který ovládá počátek a délku otevření ventilu pro vefukování paliva přímo do válce motoru. Dále ovládá okamžik zážehu směsi paliva jiskrou na zapalovací svíče s možností nastavení velikosti akumulované elektrické energie v zapalovací cívice.

Jednotka pracuje zcela autonomně, jednotlivé provozní parametry se nastavují pomocí potenciometrů a jejich hodnoty jsou vysílány po sériové lince RS 232C spolu s okamžitými otáčkami.

Hallův **snímač otáček** je instalován proti synchronizačnímu kotoučku z magneticky vodivého materiálu upevněného na vačkovém hřídeli (otáčka za 2 otáčky klikového hřídele) v předem definované poloze počátku výřezu. Řídicí jednotka vyhodnotí pomocí synchronizačního kotoučku a snímače okamžité otáčky, polohu úvrati pístu a podle okamžitého nastavení parametrů na potenciometrech v určených okamžicích otvírá a zavírá ventil pro vefukování paliva a připojuje a odpojuje primární vinutí zapalovací cívky.

Ventil pro vefukování paliva přímo do válce motoru je základem palivového systému zkušebního motoru. Řešení je postaveno na elektromagnetickém ventilu fy SERVOJET SP 014 (resp. SP 021) ovládaným řídicí jednotkou v širokém rozsahu počátku

vefuku od začátku sacího zdvihu až do pokročilé fáze komprese. Systém má ochranu před vefukováním plynu (vodík) při vypnutém nebo nefunkčním zapalování a při otáčkách mimo definovaný rozsah. Kontrola je prováděna pomocí snímače na vysokonapětovém kabelu vedoucího ke svíče. Signál z tohoto snímače je monitorován řídicím programem a zároveň tento signál (v případě uskutečněných výbojů) udržuje sepnuté relé, které přivádí napájecí napětí k ventilu vefukování paliva. Blokování činnosti vefukovacího ventilu je tedy ve dvou na sobě nezávislých úrovních, a to jednak programem při nepřítomnosti impulsů a jednak odpojením napájecího napětí při nepřítomnosti impulsů na vysokonapětovém kabelu.

Modul zapalování využívá jedné sekce sériově vyráběného bezkontaktního, plně elektronického zapalování. Pomocí řídicí jednotky lze za provozu měnit v širokém rozmezí předstih zážehu a energii vysokonapětového výboje.

4.2 Automatizovaný sběr měřených dat

Při výzkumných pracích je potřeba kontrolovat, zapisovat a vyhodnocovat velké množství dat [18]. Tyto práce jsou obvykle úzce zaměřené k určitému cílovému řešení při měnící se strategii a je téměř nemožné předem připravit jednotný automatizovaný sběr a vyhodnocení všech dat. V praxi se proto obvykle postupuje tak, že se podle okamžité potřeby používají autonomní celky pro měření a sběr dat určitého typu a tyto se postupně rozšiřují a obnovují o nové. Celky mají značně rozdílný stupeň automatizace, některé se ani nevyplácí automatizovat (analyzátory a průtokoměry plynů staršího výrobního data).

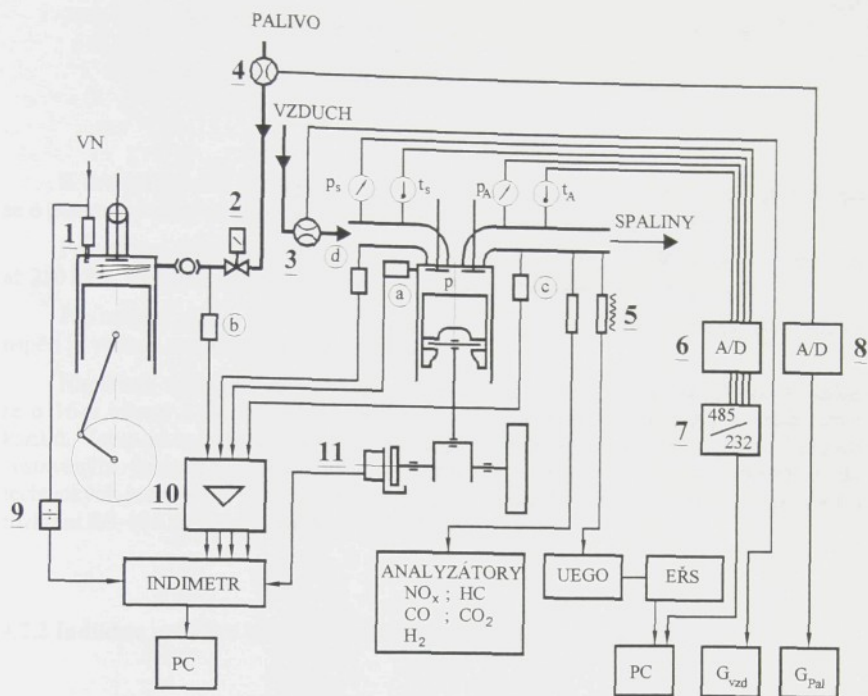
Obdobně bylo a je postupováno i u jednoválcového zkušebního stanoviště OKC-Oktan. Sběr dat je rozdělen, viz. obr. 22, do autonomních celků:

- ❑ monitorování parametrů ERS a sběr základních dat motoru pomocí PC
- ❑ indikace průběhu veličin během pracovního cyklu pomocí PC
- ❑ analýza výfukových plynů
- ❑ měření průtoku vzduchu a paliva

4.2.1 Monitorování parametrů ERS a sběr dat motoru pomocí PC

Po připojení PC k elektronicky řídicí jednotce ERS přes rozhraní RS 232 je možno v reálném čase vizualizovat a následně ukládat do databáze tyto parametry:

- ❑ předstih zážehu (v rozsahu -60 až 10°KH od HÚ na začátku expansního zdvihu)
- ❑ počátek vefuku paliva (v rozsahu -9 až 230°KH od HÚ na začátku sacího zdvihu)
- ❑ délky vefuku (v rozsahu 0 až 140°KH)
- ❑ doby zapnutí zapalovací cívky (1.5 až 6 ms)
- ❑ otáček motoru (min^{-1})
- ❑ napětí (V), určující velikost součinitele přebytku vzduchu λ pomocí vztahu, kde napětí je funkcí zbytkového kyslíku ve spalínách určeného přístrojem UEGO



Obr. 22 Schéma sběru dat u jednoválcového zkušebního motoru

Legenda k obrázku 22:

- 1 - zapalovací svíčka
- 2 - elektromagnetický ventil Servojet
- 3 - objemový průtokoměr GZDA na měření množství vzduchu
- 4 - snímač hmotového průtokoměru Micro Motion na měření množství paliva
- 5 - přístroj UEGO (vyhřívaná lambda sonda pro měření zbytkového kyslíku ve výfukových plynech s vyhodnocovacím převodníkem)
- 6 - A/D převodník napětí ADAM-4018
- 7 - převodník rozhraní RS 485 na RS 232 – ADAM-4520
- 8 - A/D převodník signálu snímače Micro Motion – RFT 9739
- 9 - vysokonapěťová sonda s kompenzačním děličem napětí
- 10 - zesilovače nábojů AVL 3066-A01, AVL 3056-A01 piezoelektrických snímačů
- 11 - rotační inkrementální snímač polohy klikového hřídele IRC 205/720
- (a) - piezoelektrický snímač tlaku p ve válci motoru
- (b) - piezoelektrický snímač tlaku

- c) - piezoelektrický snímač tlaku p_A ve výfukovém potrubí motoru
- d) - piezoelektrický snímač tlaku p_s v sacím potrubí motoru

K druhému portu PC je přes rozhraní RS 232 připojen sběr dalších parametrů. Jedná se o parametry tlaku a teploty vzduchu na vstupu a spalín na výstupu z motoru.

Pro měření tlaku jsou použitý piezoresistivní snímače absolutního tlaku v rozsahu 20 až 250 kPa. Výstupní napětí v rozsahu 0.2 až 4.8 V je vedeno k A/D převodníku.

Pro měření teploty se používají odporové NTC snímače, nebo termočlánky: výstupní napětí je vedeno rovněž k A/D převodníku.

Napětové výstupy 8 snímačů lze připojit na vstup převodníku ADAM-4018. Jedná se o 16-ti bitový A/D převodník s programovým nastavováním vstupních rozsahů všech kanálů. Vstup je opatřen analogovým přepínačem (multiplexorem). Převodník je vybaven vestavěným časovačem s rychlostí 10 vzorků za sekundu. Data jsou převáděna do technických jednotek a vysílána komunikačním rozhraním RS-485 a pomocí převodníku rozhraní RS-485 na RS-232 nadřazenému běžnému počítači.

4.2.2 Indikace průběhu veličin během pracovního cyklu pomocí PC

Indikace průběhu veličin dynamicky se měnících během pracovního cyklu jsou důležitým nástrojem při výzkumu a vývoji motoru. Indikovanými veličinami obvykle jsou:

- tlak ve válci
- tlak v sacím potrubí
- tlak ve výfukovém potrubí
- vysoké napětí na zapalovací svíčke

Vzorkovací rychlost výsledného digitálního záznamu výše uvedených veličin je dána počtem rysek na otáčku na odměřovacím kotouči optoelektronického inkrementálního snímače umístěného na klikovém hřídeli. V našem případě, viz. obr. 22, bylo použito dělení 720 rysek na otáčku, což znamená šířku vzorku 0.5° pootočení klikového hřídele.

K indikaci průběhu tlaku se používají většinou piezoelektrické snímače s citlivostí 2 až 80 pC/bar. Náboj je přenášen speciálním koaxiálním kabelem s vysokým svodovým odporem (řádu $> 10^{13} \Omega$) k zesilovači (např. podle počtu kanálů *AVL-3056*, nebo *AVL-3066*). Zesilovač zabezpečí zesílení náboje a jeho převod na napětí v rozsahu do 20V.

Průběh vysokého napětí (řádu 10^4 V) se přivede ze zapalovací svíčky na vstupní hrot vysokonapětové sondy, která dělí napětí v poměru 1:1000. Výstup je přiveden do kompenzačního nízkonapětového děliče, kde je dokončeno dělení napětí a odstraněno zkreslení jeho průběhu.

Všechny nízkonapětové průběhy signálů se přivedou do měřicího systému (např. *INDI-KSD* [10, 33, 34] nebo *Indimetr-AVL*). Měřicí systémy převedou analogový signál na digitální, který vzorkují inkrementem polohy klikového hřídele nebo časem.

Systém INDI-KSD používá software *DISYS-Analyzer* pro průběžné měření signálu a ukládání jeho dat v reálném čase. Všechny další operace (převod do technických jednotek, kontrola, filtrace, hledání extrémů a gradientů, termodynamické výpočty parametrů jednotlivých cyklů a jejich statistické zpracování, grafika, identifikace detonačního spalování apod.) jsou prováděny souborem programů v prostředí MS-Excel a lze je realizovat jen v režimu off-line. Tento systém sice umožňuje náročné rozborů měření, ale v průběhu měření neposkytuje dostatek informací pro okamžité rozhodování při řízení experimentu. Systém byl postupně vytvářen v letech 1995-98 a má ojedinělé nadstavbové software pro souběžné vyhodnocování dvojice signálů (tlaku ve válci a vysokého napětí na zapalovací svíčke).

Systém Indimetr-AVL byl pořízen počátkem roku 2000 a je vybaven softwarem pro převod do technických jednotek, a v případě indikace tlaku ve válci výpočtem gradientů a extrémů průběhu, dále vybraných termodynamických parametrů jednotlivých cyklů a jejich statistického zpracování ze souboru cyklů. Výpočty a zobrazování jejich výsledků se provádí v reálném čase (on-line). Vybrané úseky lze uložit a v režimu off-line provádět náročnější rozborů měření. Systém je moderní a lze ho doplňovat pro režim on-line softwarem Concerto, nebo v režimu off-line specializovanými programy v prostředí MS-Excel.

4.2.3 Analýza výfukových plynů

Při měření plynných emisí ve výfukových plynech spalovacích motorů se analyzátory zjišťují objemové koncentrace základních škodlivin NO_x , HC, CO, CO_2 a ve zvláštních případech i koncentrace zbytkových plynů O_2 a H_2 . Analyzátory jsou většinou autonomní s odlišnými měřicími principy a sdružují se do sestav zpravidla se společným odběrným místem. V popisovaném případě, viz. obr. 22, používáme následující analyzátory, jejichž princip je blíže popsán v [26]:

- **Chemiluminiscenční analyzátor (CLA)** pro měření oxidu dusíku NO_x (typ 951A od výrobce Beckman)
 - **Plamenoionizační analyzátor (FID)** pro měření nespálených uhlovodíků HC (typ FIDAS 2T od výrobce Hartmann-Braun)
 - **Nedispersní infračervený analyzátor (NDIR)** pro měření oxidu uhelnatého CO a oxidu uhličitého CO_2 (typ URAS 3E od výrobce Hartmann-Braun)
 - **Paramagnetický analyzátor** pro měření kyslíku O_2 (typ OXYMAT 5E od výrobce Siemens)
 - **Elektrochemický analyzátor spalín** pro měření O_2 , CO, CO_2 , NO_x a nespáleného vodíku H_2 (typ 95/3CD SRE od výrobce MRU)
- Tento analyzátor byl pořízen v roce 1999 speciálně pro kontrolu množství nespáleného paliva při výzkumu spalování vodíku v pístovém motoru. Přístroj je vybaven mikroprocesorem, který umožňuje automatizovat jeho kalibrační, bezpečnostní, zálohovací a vizualizační funkce. Propojením přes rozhraní RS 232 lze provádět přenos dat a jejich uložení na PC. Při výzkumu spalování vodíku jsou důležité další snímače tohoto přístroje pro zachycení a měření složek spalín NO_x , O_2 a nakonec i CO (kontrola těsnosti pístové a ventilové skupiny z hlediska pronikání oleje do spalovacích prostorů). Nahrazení výše uvedených autonomních přístrojů jedním sdruženým zvyšuje operativnost měření.

4.2.3 Měření průtoku vzduchu a paliva

Přesnost měření množství těchto medií ovlivňuje následný výpočet hodnoty spotřeby paliva, a v našem případě i kontrolu součinitele přebytku vzduchu λ z nezávislého měření zbytkového kyslíku O_2 ve výfukových plynech (přístrojem UEGO, nebo analyzátozem OXYMAT). Z těchto důvodů byly k měření použity přístroje:

- **Objemový průtokoměr s rotačními písty** pro měření množství vzduchu vstupujícího do motoru (typ GZDA od výrobce Gaselan).
Tento přesný průtokoměr (+2% v rozsahu 20-200 m³/h) s malou průtočnou ztrátou je prozatím nejslabším místem pro automatizovaný sběr dat
- **Hmotový průtokoměr** pro měření množství paliva (sestavá ze snímače CMF 010M a převodníku RFT 9739 od výrobce Micro Motion).
Princip činnosti snímače umožňuje přesné měření médií s velmi nízkou hmotností, jakou má plynný vodík. K automatizovanému sběru dat slouží A/D převodník se samostatným displejem nebo možností napojení na PC.

4.3 Optimalizace parametrů spalování

Elektronické řízení nastavovacích vstupních parametrů jednak podstatně urychluje výzkum optimálních parametrů spalování a jednak je i nezbytnou podmínkou pro realizaci těchto výsledků v praxi. Právě přenositelnost výsledků víceparametrové optimalizace na plnorozměrný víceválcový motor a jejich kalibrace vyžaduje nezbytně elektronické řízení a regulaci.

4.3.1 Vnitřní tvorba směsi

Podstatný vliv na kvalitu spalování má fáze tvorby směsi před vlastním zážehem. Vývojový trend v této oblasti směřuje ke konceptům využívajících vnitřní tvorbu směsi (injektáž paliva přímo do válce).

Tento koncept je vlastní vznětovým motorům (přímý vstřik paliva je zde standardem) ale i u zážehových motorů lze v minulosti nalézt obdobná řešení. Ve třicátých letech to bylo přímé vstřikování paliva u vysokovýkonných motorů letadel, a v automobilech poprvé u typu Mercedes-Benz 300SL. Koncem sedmdesátých let se použil přímý vstřik i pro spalování chudých směsí v motoru Ford PROCO (Programmed Combustion). Zde se palivo vstříkovalo v kompresním zdvihu do rotující vzduchové náplně, která unášela palivo k jiskřišti zapalovací svíčky. Tím se zajistila lokálně bohatá směs u svíčky v okamžiku zážehu. Toto řešení se ve své době nerozšířilo pro nákladné vstřikovací zařízení s omezenou mechanickou regulací a nízký měrný výkon, který byl tehdy hlavním měřítkem úspěšnosti řešení při dosud neregulovaných emisích výfukových plynů.

Dnešní masové rozšíření elektronických systémů ovládání a regulací v automobilovém průmyslu, které umožňují ovládat počátek a délku injektáže paliva jednoduchým elektromagnetickým ventilem, podstatně usnadňuje realizaci konceptů vnitřní tvorby směsi u zážehových motorů. Koncepty mohou být založeny na tvorbě jak nehomogenní (vrstvené) směsi (injektáž v kompresním zdvihu), tak na homogenní směsi (injektáž v sacím zdvihu) přičemž v obou případech s libovolně měnitelným součinitelem přebytku

vzduchu (od stechiometrické směsi k chudé), viz. [13, 15, 16]. To teoreticky vede ke kvalitativní regulaci, tj. ke zrušení škrtící klapky (výchozí stechiometrická směs je ochuzována za účelem snížení středního efektivního tlaku). Vývojové práce směřující k zajištění katalyzátoru na redukcí výfukových škodlivin NO_x a HC v širokém rozsahu součinitele přebytku vzduchu probíhají [12, 14] a nejsou dosud ve stavu pro použití v sériové výrobě.

Vývojové aktivity v oblasti vrstvených směsí se koncentrují na chudé směsi s primárním cílem snížit co nejvíce spotřebu paliva v legislativou regulovaných limitech škodlivin. Vrstvená chudá směs se realizuje prostorovým uspořádáním injektoru vůči jiskřišti zapalovací svíčky, které podstatně ovlivňuje způsob transportu paliva a tvorby směsi [16]. Ten může být uskutečněn:

- **Paprskem** –injektor je umístěn v malé vzdálenosti od zapalovací svíčky, transport se uskutečňuje prakticky jen energií injektovaného paprsku. Malý odstup mezi injektorem a svíčkou umožňuje spolehlivé zažehnutí malého oblaku lokálně bohaté směsi, i když střední hodnota celého objemu směsi je extrémně chudá (např. až $\lambda > 6$). V takto silně vyhraněné vrstvené směsi začíná spalování téměř vždy v oblasti bohaté směsi a to v podstatě nezávisle na střední hodnotě λ celého pracovního objemu. Tím je i vývin NO_x vyšší a v podstatě nezávislý na této střední hodnotě λ . Redukce NO_x je pak možná jen recirkulací výfukových plynů nebo změnou počátku zážehu nebo vstřiku paliva. Dosud je však nedořešená otázka studených startů a životnosti zapalovacích svíček.
- **Stěnou** –injektor je ve velké vzdálenosti od zapalovací svíčky, transport paliva a tvorba směsi se uskutečňuje dlouhou dobu a jsou ovlivněny turbulentními fluktuacemi ve spalovacím prostoru. To se projeví na celkovém snížení gradientů λ a stability vrstvení. Pro zabezpečení této stability se paprsky paliva vedou tvarovanou stěnou v pístu. Výsledkem je méně vyhraněné vrstvení směsi s menším vývinem NO_x .

Oba základní způsoby transportu paliva a tvorby směsi se dají kombinovat rozdílnými koncepty víření vzduchu (tangenciální, tumble). Pohyb vzduchové náplně podporuje obecně transport paliva a homogenizaci směsi. Způsob transportu paliva stěnou vyžaduje relativně vysokou míru orientovaného víření. Turbulence vzduchu pak podporuje homogenizaci směsi a působí obecně proti vrstvitelnosti.

U zážehových motorů spalujících plynná paliva (CNG , LPG , H_2) lze očekávat podobné trendy ve tvorbě směsi jako u zážehových motorů spalujících kapalná paliva (benzín, alkoholy). Určité zpoždění v aplikaci těchto trendů se u plynových motorů dá vysvětlit tím, že hlavní výzkumné kapacity se vždy koncentrují v prvé řadě na motory spalující klasická kapalná paliva, které jsou předmětem hromadných výrob. Podobnost trendů a jejich zpoždění je patrné i z následujícího srovnání:

- **Benzinové motory** – standardem je sekvenční vstřikování (MPI) před sací ventily, homogenní vně tvořená stechiometrická směs a třicestný katalyzátor k dočištění výfukových plynů. Vývoj směřuje k přímému vstřikování do válce (vnitřní tvorbě homogenní nebo vrstvené chudé směsi). Příkladem jsou na trh uvedené motory firem:

- Mitsubishi 4G64, GDI 2.4 (Gasoline Direct Injection), čtyřválcový řadový motor o zdvihovém objemu 2.35dm^3

s výkonem 110kW při 5500min⁻¹, s chudou směsí (v režimu relaxační jízdy obzvlášť chudé $\lambda=2.6$). Firma již disponuje paletou obdobných motorů se zdvihovými objemy 1.8; 2.4; 3.5; 4.5dm³.

- Renault F5R, IDE (Injection Directe Essence), motor o zdvihovém objemu 2 dm³ s výkonem 103 kW a točivém momentu 200 Nm, s homogenní stechiometrickou směsí a recirkulací výfukových plynů.
- Volkswagen, FSI (Fuel Stratified Injection), motor o zdvihovém objemu 1.39dm³ s výkonem 77 kW při 6000min⁻¹ a točivém momentu 130 Nm, s chudou vrstvenou směsí v částečných zatíženích.
- Mazda, Opel a Ford rovněž oznámily vývoj motorů s přímým vstřikem.

□ **Plynové motory** - standardem je jednobodové vnější směšování homogenní chudé nebo stechiometrické směsi ve společném sacím potrubí a oxidační nebo třicestný katalyzátor. Vývoj směřuje k sekvenční inžektáži chudé nebo stechiometrické směsi (MPI) před sací ventily. Příkladem jsou na trh uvedené motory firem:

- Mercedes-Benz OM 906 LAG na palivo CNG, motor o zdvihovém objemu 6.9 dm³ s výkonem 205 kW při 2500 min⁻¹ a točivém momentu 1000 Nm, s homogenní chudou směsí, přepínán turbodmychadlem s mezichlazením plnicího vzduchu.
- DAF LT 160L na palivo LPG, motor o zdvihovém objemu 11.63 dm³ s výkonem 160 kW při 2000 min⁻¹ a točivém momentu 1000 Nm, se stechiometrickou směsí tvořenou vstřikováním kapalného plynu způsobem MPI.
- MAN H 2866 UH01 spalující stlačený plyn H₂, motor o zdvihovém objemu 11.97 dm³ s výkonem 140 kW při 2200 min⁻¹, stechiometrická směs.

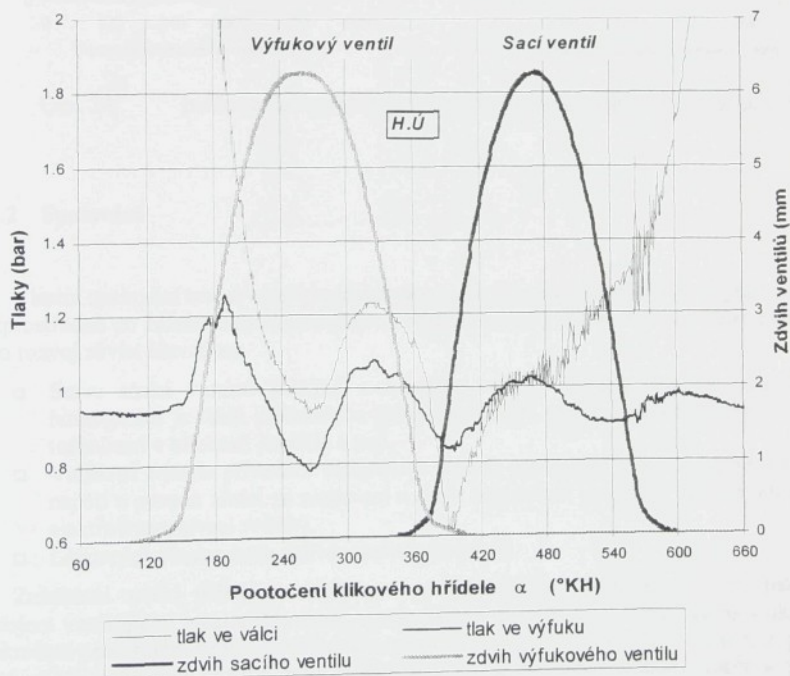
Uváděné novinky v provedení plynových motorů s vnější tvorbou směsi MPI jsou již dlouhodobým standardem u benzinových motorů. Je proto logické, že se v poslední době výzkumné práce u plynových motorů zaměřují na aplikace způsobů vnitřní tvorby směsi, které jsou již známé z úspěšných realizací na benzinových motorech. Při těchto aplikacích je třeba mít však na paměti rozdílnost paliv co se týče stavu fáze (kapalná, plyná), měrné hustoty, výhřevnosti, meze zápalnosti apod.

Způsobů vnitřní tvorby směsi v kombinaci s odlišnými koncepty víření vzduchu bylo proto použito při experimentálním výzkumu spalování H₂ na jednoválcovém pracovišti OKC-OKTAN. Právě elektronická řídicí jednotka spolu s elektromagnetickým ventilem dovoluje modelovat stavy tvorby směsi v závislosti na počátku a délce inžektáže paliva do válce s ohledem na vzájemné uspořádání inžektoru a jiskřiště svíčky a použitý druh víření vzduchu. Hypoteticky lze získat stavy směsi v místě jiskřiště zapalovací svíčky z hlediska turbulence a homogenity a tyto částečně ověřit nepřímým experimentem (rychlostí jednotlivých fází spalování získaných termodynamickým výpočtem z indikovaného průběhu tlaků ve válci), viz. P12.

Sledování celého procesu tvorby směsi ve válci, nebo jeho jednotlivých fází (tvaru a průrazu injektovaného paprsku paliva, jeho ovlivnění vířením vzduchové náplně, homogenita a turbulence směsi v okolí jiskřiště svíčky, okamžiku zážehu a rozvoje jeho ohniska apod.) umožňují dnes další nástroje jako jsou výpočetní modely MKP, experimentální metody LDA (Laser Doppler Anemometry), HWA (Hot Wire Anemometry) pro měření rychlosti v určitém bodě, PIV (Particle-image Velocimetry) pro sledování orientovaných vírových polí a v neposlední řadě vizualizační prostředky založené na digitálním snímání obrazu uvnitř válce motoru.

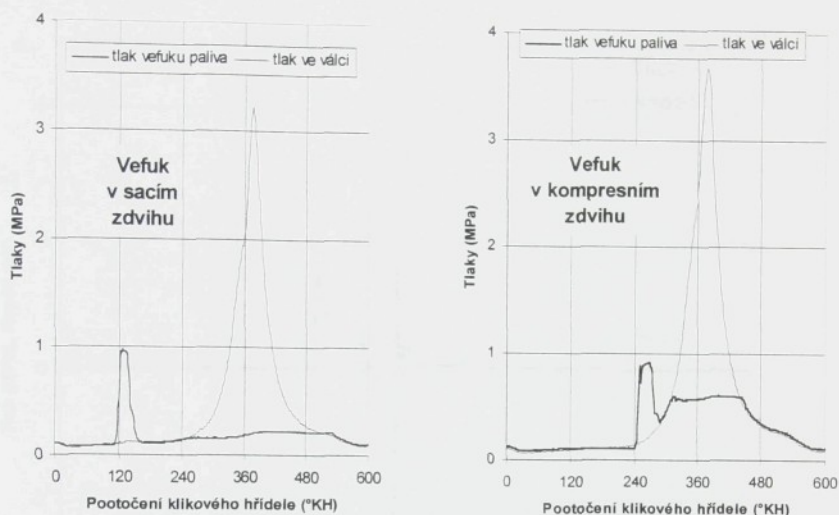
Posledně jmenovaná digitálně obrazová technika (Engine Videoscope) ve spojení s výpočetní technikou umožňuje sledovat vizuálně (v režimu on-line) průběh dějů ve válci během celého pracovního cyklu, jejich variabilitu a rozložení teplot (metoda termovize). S pořízením této techniky se na pracovišti katedry TUL (v části laboratoře J. Božka) do budoucna počítá.

Další důležité informace lze získat ze standardně prováděných experimentů s nízkotlakou indikací. Ty nám umožňují porovnání průběhů tlaků ve válci motoru vůči tlakům na vstupu a výstupu válce a stanovit optimální proces výměny obsahu náplně válce. Pak se znalostí časovacích dat regulačních orgánů (sací a výfukových ventilů) lze posoudit (nepřímo ze směru proudění) účinnost vypláchnutí válce čerstvým vzduchem a případnou recirkulaci výfukových plynů. Na obr. 23 je příklad nízkotlaké indikace na straně výfuku.



Obr.23 Nízkotlaká indikace na straně výfuku

Správnost funkce injektoru (ověření nastavovacích dat počátku a délky otevření elektromagnetického ventilu, funkce těsnosti zpětného ventilku apod.) lze kontrolovat souběžnou indikací okamžitého průběhu vefukovacího tlaku v injektoru a tlaku ve válci. Příklady pro odlišné počátky vefukování paliva jsou uvedeny v obr. 24, blíže v P10.



Obr. 24 Indikace tlakových průběhů při vefukování paliva do válce motoru

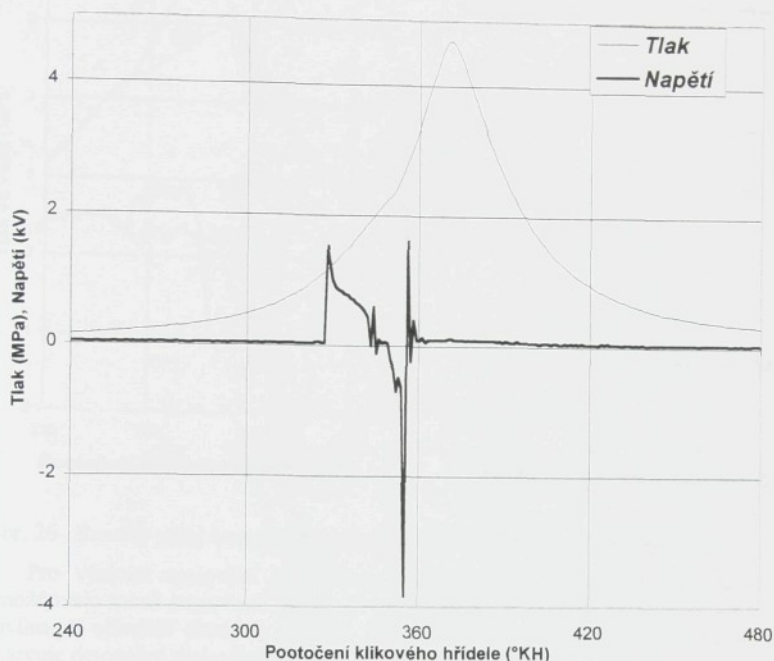
4.3.2 Spalování

Vlastní spalování směsi ve válci zážehového pístového motoru se odvíjí od jádra plamene bezprostředně po zážehu elektrickou jiskrou od zapalovací svíčky. Velikost jádra plamene a jeho rozvoj závisí hlavně na:

- ❑ Stavů směsi v místě jiskřiště v okamžiku zážehu (lokální bohatost směsi a její homogenita je daná předchozím procesem tvorby směsi a předoxidačních reakcí), turbulenci v blízkosti jiskřiště a pod.
- ❑ Velikosti energie přivedené elektrickou jiskrou zapalovací svíčky (průběh vysokého napětí a proudu závisí na nastavení a stavu zapalovací soustavy, vzdálenosti a stavu elektrod zapalovací svíčky).
- ❑ Látkových vlastnostech paliva (aktivační energií).

Zažehnání směsi paliva se vzduchem se uskutečňuje vysokonapěťovým jiskrovým výbojem vznikajícím mezi elektrodami zapalovací svíčky. Jiskrový výboj začíná v okamžiku překročení průrazného napětí, poté nastává silný pokles napětí provázený průchodem proudu, čímž se dále ionizuje prostor mezi elektrodami za současného nárůstu teploty a poklesu odporu. Po vyčerpání akumulované energie vysokonapěťový výboj končí s případným dokmitáním napětí.

Znalost počátku průrazového napětí (z indikace průběhu vysokého napětí) a počátku hoření (z termodynamického výpočtu vývinu tepla z indikovaného průběhu tlaku ve válci) pomáhá určit průtah zážehu, tj. délku prvotní fáze hoření zahrnující předoxidační reakce a prvotní vývoj jádra plamene, blíže [34]. Na obr. 25 je příklad takového dvoukanálové indikace.

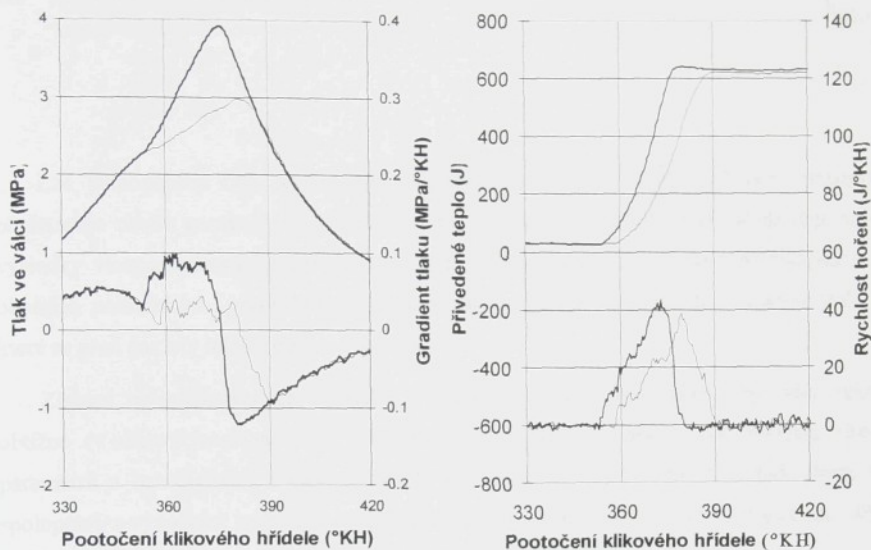


Obr. 25 Indikace průběhu tlaku ve válci a vysokého napětí na zapalovací svíčke

Průběh spalování ve všech jeho fázích se většinou zjišťuje nepřímými algoritmy termodynamiky z indikovaného průběhu tlaku ve válci, které slouží k výpočtu vývinu přiváděného tepla palivem do pracovního cyklu. Z energetické diferenciální rovnice získáme derivaci přiváděného tepla, která představuje rychlost přivodu tepla do oběhu, neboli přeneseně rychlost hoření. Její integraci dostaneme průběh přiváděného tepla.

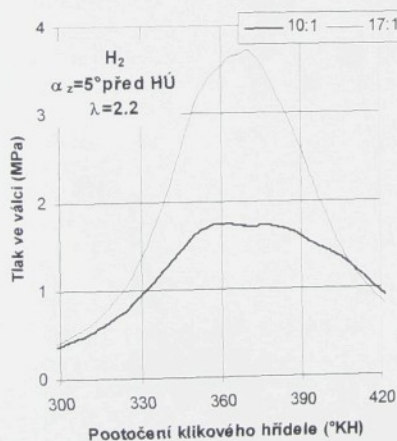
Jednotlivé fáze spalování určujeme výpočtem délek hoření úseků definovaných procentuelním množstvím přiváděného tepla palivem, konkrétně 0.5%, 5% a 50%. Délky úseků jsou v jednotkách ($^{\circ}\text{KH}$), nebo v přepočtu (ms). Často se používá vypočtených středních rychlostí hoření ve výše uvedených úsecích v jednotkách (J/ms), pak lze porovnávat střední rychlosti hoření v jednotlivých jeho fázích a při určitém součiniteli přebytku vzduchu λ u odlišných paliv, např. CHG a H_2 , blíže v P10, P11, P12. U zážehových motorů vzhledem k vysoké variabilitě [30, 32, 34, 35] mezi jednotlivými pracovními oběhy jsou relevantní pouze hodnoty získané statistickými metodami ze souborů o délce 150-300 cyklů.

Ukázka průběhů tlaků sousedních cyklů z jednoho souboru a příslušných vypočtených průběhů přiváděných tepel a jejich rychlostí na obr. 26 demonstruje výše zmíněnou variabilitu.

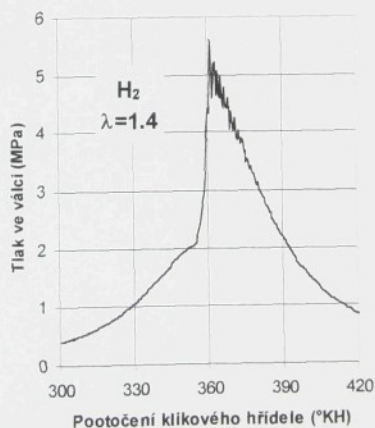


Obr. 26 Rozdíly mezi sousedními cykly v průbězích tlaků a přiváděných tepel

Pro výzkum spalování je nakonec potřebné, aby jednoválcové zkušební stanoviště umožňovalo měnit kompresní poměr. U spalování H_2 se ukazuje možné zvýšení kompresního zdvihu při obzvláště chudých směsích, viz. obr.27. Při obohacení směsi palivem se však již objevuje detonační spalování, viz. obr.28 (blíže v P11, P12).



Obr. 27 Vliv kompresního poměru



Obr. 28 Detonační spalování

5.0 ZÁVĚR

Lze jednoznačně říci, že masivní využívání elektroniky v automobilovém průmyslu představuje novou generaci pístových spalovacích motorů. Elektronika umožňuje realizovat výsledky víceparametrických optimalizací, mnohačetné korekce a regulace při proměnných okolních podmínkách, prvky bezpečnostní ochrany a palubní diagnostiku v takové míře o které se před pár lety motorářům ani nesnilo.

Získání optimalizovaných výsledků v celém pracovním poli motoru by bylo velice obtížné (v některých případech i nemožné) bez pomoci elektronických systému řízení parametrů a bez digitálních elektronických indikačních a vizualizačních technik, které ve spolupráci s výpočetní technikou umožňují nepřímé nebo dokonce přímé sledování dějů uvnitř válce motoru včetně jejich výpočetního vyhodnocení.

Je zřejmé, že elektronika významně posiluje pozici experimentu v možnostech získávání hlubších detailů při vysvětlení některých dosud okrajových dějů, které mohou zajistit potřebný efekt v dalším zkvalitňování energetických, výkonových i emisních parametrů pístových spalovacích motorů.

6.0 SOUHRNÝ PŘEHLED LITERATURY

- [1] ACHLEITNER, E.-HOSP, W.: Elektronische Motorsteuerungssysteme zur Erfüllung zukünftiger Verbrauchs- und Emissionsanforderungen. In.: Tagung Motor und Umwelt '92, Graz 1992.
- [2] BARTONIČEK, L.: Motor M636 na metanové palivo. In.: Sborník 24. Konference kateder a pracovišť spalovacích motorů VŠ. Liberec 1993.
- [3] BARTONIČEK, L.: Plynový motor ŠKODA LIAZ ML 636 NG. (Výzkumná zpráva SM 342/98). TU, Liberec 1998.
- [4] BARTONIČEK, L.-LAURIN, J.-MYŠKA, M.: Výzkum a vývoj plynového motoru ML 636NGS- I.etapa. (Výzkumná zpráva SM 355/99). TU, Liberec 1999.
- [5] BARTONIČEK, L.-LAURIN, J.-MYŠKA, M.: Výzkum a vývoj plynového motoru ML 636NGS- II.etapa. (Výzkumná zpráva SM 360/99). TU, Liberec 1999.
- [6] BEROUN, S.: Předpoklady dosažení nízkých emisí u rychloběžného plynového motoru. In.: Sborník 8. mezinárodního symposia MOTORSYMPO '92. Rájecké Teplice 1992.
- [7] BEROUN, S.: Stálost seřízení plynového zážehového motoru z hlediska výfukových emisí. In.: Sborník 9. mezinárodního symposia MOTORSYMPO '95. Štrbské Pleso 1995.
- [8] BEROUN, S.: Plynový zážehový přepřlňovaný motor ML 636 PB. (Výzkumná zpráva SM 305/95). TU, Liberec 1995.
- [9] BEROUN, S. -BARTONIČEK, L. -SCHOLZ, C.: Gas fuelled vehicles engines and their pollution parameters. In.: Int. Conference - SILNIKI GAZOWE 2000. Vyšné Ružbachy 2000.
- [10] BEROUN, S. -SCHOLZ, C.: Pohony s nízkými výfukovými emisemi škodlivin pro malé energetické stroje a vozidla. (Grantový projekt č.2013, SM 290/94). TU, Liberec 1994.
- [11] BEROUN, S. -TUČEK, G.: Autobus MHD s motorem ML 636PB. In.: Sborník 24. Konference kateder a pracovišť spalovacích motorů VŠ. Liberec 1993.
- [12] BURK, P. -PUNKE, A. -DAHLE, U.: Future after treatment strategies for gasoline lean burn engines. In.: Tagung Motor und Umwelt '97, Graz 1997.
- [13] CARSTENSEN, H. -PIOCK, W. -WIRTH, M.: Gasoline direct injection - a major step towards more economical gasoline engines. In.: 4th Russian Auto Industry Conference. Togliatti 1998.
- [14] CARTUS, T. -HOLY, G. -HERZOG, P.: NO_x - Adsorbertechnologie für direct-einspritzende Otto- und Dieselmotoren. In.: Innovative Fahrzeugantriebe Konferenz. Dresden 1998.
- [15] FRAIDL, G. -PIOCK, W. - SCHÖGGL, P. -WIRTH, M.: Otto - Direkteinspritzung. Ein ganzheitlicher Systemansatz. In.: Tagung Motor und Umwelt '97, Graz 1997.
- [16] FRAIDL, G. -PIOCK, W. -WIRTH, M.: The potential of the direct injection gasoline engine. In.: 18th Int. Vienna Motor Symposium. Wien 1997.
- [17] HERZOG, P. -GILL, D.W. -SCHNEIDER, R.: Anforderung der Dieselmotor-entwicklung an die Elektronik. In.: Tagung Motor und Umwelt '92, Graz 1992.
- [18] HLAVŇA, V. -LACK, T. -GERLICI, J.: Systém pre automatický zber dát a vyhodnotenie skúšok spaľovacích motorov. In.: Sborník 26. Mezinárodní konference kateder a pracovišť spalovacích motorů VŠ. Ráčkova dolina 1995.
- [19] HOLZINGER, O.: Elektronik spart Kraftstoff. In.: Tagung Motor und Umwelt '92, Graz 1992.
- [20] KAMPELMÜHLER, T.F.: Automatische Motormanagement-Abstimmung-Ergänzung oder Alternative zur konventionellen Methode. In.: Tagung Motor und Umwelt '92, Graz 1992.

- [21] KLEINLOGEL, A.: Anforderungen an ein digitales Motormanagementsystem. In.: Sborník 8. Mezinárodní Symposium MOTORSYMPO '92. Rájecké Teplice 1992.
- [22] LAURIN, J.: Plynový zážehový motor s nízkými emisemi plyných škodlivin. In.: Sborník 24. Konference kateder a pracovišť spalovacích motorů VŠ. Liberec 1993.
- [23] LAURIN, J. - BARTONIČEK, L., -MOC, L.: Zážehový motor AVIA 712 NG na zemní plyn. (Výzkumná zpráva SM 313/96). TU, Liberec 1996.
- [24] LAURIN, J. - BARTONIČEK, L., -MOC, L.: Výzkum a vývoj motoru AVIA na zemní plyn. (Výzkumná zpráva SM 333/97). TU, Liberec 1997.
- [25] MACEK, J. - SUK, B.: Spalovací motory I. Vysokoškolská skripta ČVUT. Praha 1994.
- [26] MOC, L.: Zpracování výsledků měření plyných emisí ve výfukových plynech spalovacího motoru. (Studijní pomůcka SM 337/97). TU, Liberec 1997.
- [27] MOC, L. - LAURIN, J.: Vývoj motoru AVIA 712 na pohon propan-butan. (Výzkumná zpráva SM 276/92). VŠST, Liberec 1992.
- [28] QUISSEK, F. - BANDEL, W.: Anforderungen zukünftiger ottomotorischer Niedrigemissionskonzepte an das Motorsteuerungssystem. In.: Tagung Motor und Umwelt '92, Graz 1992.
- [29] RAMÍK, P. - ŠTĚTINA, J.: Integrované systémy pro měření a analýzu fyzikálních veličin na spalovacích motorech. In.: Sborník 9. Mezinárodní Symposium MOTORSYMPO '95. Trbské Pleso 1995.
- [30] SCHOLZ, C.: Variabilita pracovního cyklu plynového zážehového motoru. In.: Sborník 25. Konference kateder a pracovišť spalovacích motorů VŠ. Praha 1994.
- [31] SCHOLZ, C.: Identifikace meze detonačního spalování zážehových motorů. In.: Sborník 26. Mezinárodní konference kateder a pracovišť spalovacích motorů VŠ. Ráčkova dolina 1995.
- [32] SCHOLZ, C.: Dynamika parametrů průběhu tlaku ve válci pístového zážehového motoru. In.: Sborník 27. Mezinárodní konference kateder a pracovišť spalovacích motorů VŠ. Brno 1996.
- [33] SCHOLZ, C.: Měření a vyhodnocování průběhu tlaku ve válci. (Studijní pomůcka SM 336/97). TU, Liberec 1997.
- [34] SCHOLZ, C.: Variabilita spalovacího procesu zážehových pístových motorů. Disertační práce TU. Liberec 1998.
- [35] SCHOLZ, C.: Variabilita pracovního procesu zážehového motoru při spalování vodíku. In.: Sborník 11. Mezinárodní Symposium MOTORSYMPO '99. Brno 1999.
- [36] STOCKER, H.: Benzindirekteinspritzung und Motorsteuerung – Herausforderung und Umsetzung. In.: Tagung Motor und Umwelt '97, Graz 1997.
- [37] TAKÁTS, M. - MACEK, J.: Vehicle lean mixture gas engines. In.: 20th CIMAC Congress, FISITA Session. London 1993.
- [38] TAKÁTS, M.: Pístový spalovací motor pro spalování vodíku – termodynamika pracovního oběhu. In.: Sborník 11. Mezinárodní Symposium MOTORSYMPO '99. Brno 1999.
- [39] TAKÁTS, M.: Koncepce palivové aparatury pro plynové motory s řízením katalytickým systémem. In.: Sborník Konference automobilového průmyslu AUTOSYMPO '2000. Brno 2000.
- [40] TICHÝ, M.: Možnosti motormanagementu při seřizování emisí zážehových motorů. In.: Sborník 26. Mezinárodní konference kateder a pracovišť spalovacích motorů VŠ. Ráčkova dolina, 1995.
- [41] ZUZÁNEK, L.: Pístový motor pro spalování vodíku – vefukování paliva do válce. In.: Sborník 11. Mezinárodní Symposium MOTORSYMPO '99. Brno 1999.

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI



HABILITAČNÍ PRÁCE

PŘÍLOHY

2000

Celestýn Scholz

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI



CELESTÝN SCHOLZ

**K problematice využití elektroniky
u plynových zážehových pístových motorů**

*(Soubor uveřejněných prací doplněný komentářem předkládaný jako habilitační práce
podle §72 odst. 3, písm. b, zákona č.111/1998 Sb.)*

PŘÍLOHY

Liberec, září 2000

K problematice využití elektroniky u plynových zážehových pístových motorů

*(Soubor uveřejněných prací doplněný komentářem předkládaný jako habilitační práce
podle §72 odst. 3, písm. b, zákona č.111/1998 Sb.)*

PŘÍLOHY

Ing. Celestýn Scholz, Ph.D.
Technická univerzita v Liberci

Liberec, září 2000

Příloha P1

Optimalizace autobusového motoru na LPG pro splnění výfukových emisí EURO 3

Souhrn: Jedná se o publikovaný článek ve sborníku 9. Mezinárodního symposia MOTORSYMPO '95 na Štrbském Plese, SAITS v roce 1995.

V článku je zdůvodněna možná strategie víceparametrické optimalizace spočívající ve výběru dvou nejvýznamnějších bodů z13-ti bodového emisního testu. Vychází se z předpisů EHK č.49, výsledků měření na plynových motorech a prognóz vývoje předpisů.

Na příkladě víceparametrické optimalizace zážehového motoru ML 636PB s elektronickou regulací se ukazuje nutnost použití oxidačního katalyzátoru pro splnění předpokládaných limitů škodlivin výfukových plynů EURO 3. Oxidační katalyzátor umožnil optimalizovat seřízení motoru (součinitel přebytku vzduchu a předstih zážehu) blíže k hranicím detonačního spalování a maximální teploty výfukových plynů, což se projevilo příznivě ve snížení spotřeby paliva.

MOTOR SYMPO '95

Štrbské pleso - Slovak Republic

Optimizing LPG-gas-bus-engine to fulfil the requirements of the EURO 3 regulation for exhaust emissions.

Celestýn Scholz

Ing.

Radim Havlík

Ing.

Technical University in Liberec, KSD, 46117 LIBEREC, Czech Republic.

Summary

Intensive research into power units designed to run liquefied petroleum gas (LPG), or compressed natural gas (CNG), reflects the growing concern over city center pollution.

For our research about optimizing the combustion system engine gas, a 12 liters spark-ignited engine (150 kW at 2000 rpm) was used for LPG. In the engine, the special pistons and cylinder heads with fitting of the spark plugs were modified, as well as an electrical ignition system a fuel system with microprocessor controlled engine management for lean burn operation $\lambda > 1$ and stoichiometric idle operation $\lambda = 1$, a catalyst and other auxiliary equipment. The results indicate the continuity between exhaust gas emissions, fuel economy, spark timing and air-fuel ratio.

The work provides a piece of information about the necessary adjustment of gas engine for the fulfilment of the requirements of the EURO 3 regulation in the ECE R49 test procedure for good fuel economy.

Úvod

Zážehové spalovací motory používající jako palivo zkapalnělý plyn propan-butan (LPG) nebo stlačený zemní plyn (CNG) nacházejí stále širšího uplatnění u silničních vozidel a dopravních prostředků provozovaných v centrech měst nebo v oblastech s velkou koncentrací emisí v ovzduší. Nahrazují zde zejména vznětové motory v městských autobusech díky tomu, že při spalování plynu nevznikají ve výfukových plynech téměř žádné částice (PT). Právě emise částic, obzvláště pak jejich viditelná forma známá pod pojmem kouřivost, jsou důvodem stále klesajícího použití vznětových motorů v oblastech kde se požadují extrémně vysoké požadavky na čistotu ovzduší. Co se týče plyných škodlivin (NO_x , HC, CO) je situace příznivější pro vznětové motory, pokud zážehové motory neseřídíme na velmi chudou směs, nebo výfukové plyny nepodrobíme dodatečné přeměně v katalyzátoru.

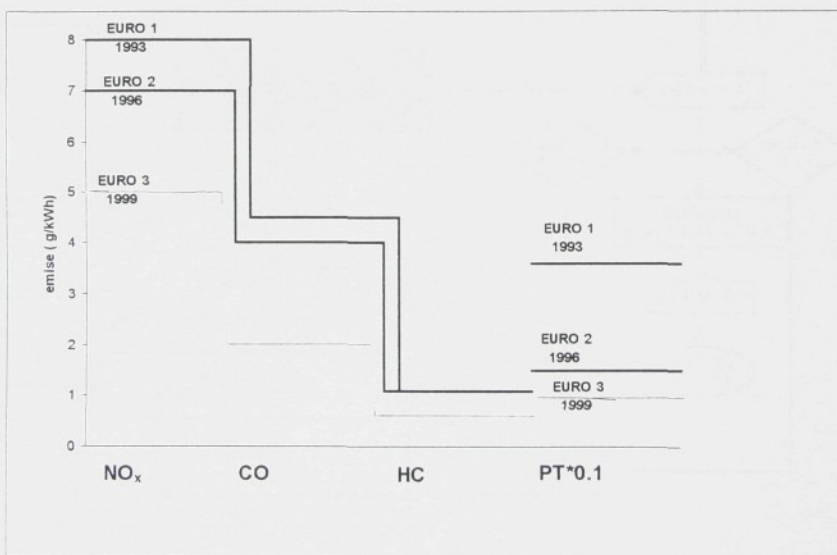
V současné době se používají dva koncepty zážehových plynových motorů. Oba dva mají své zastánce a uživatele. První koncept [1] používá ke spalování směs plyného paliva se vzduchem ve stechiometrickém poměru, t.j. $\lambda = 1$. Ke splnění povolených limitů plyných emisí je nezbytné použít 3-cestný katalyzátor s uzavřenou elektronickou regulací stechiometrického poměru složení směsi pomocí lambda sondy. Tato technologie byla vyvinuta původně pro menší zážehové benzinové motory osobních automobilů, kde se osvědčila a používá se v masovém měřítku. Druhý koncept [2,3] používá ke spalování chudou směs paliva se vzduchem s přebytkem vzduchu $\lambda > 1$, konkrétně v mezích 1,3 až 1,6.

Plynné emise oxidu dusíku (NO_x) se tak podstatně sníží a emise uhlovodíků (HC) a oxidu uhelnatého (CO) jsou na hranici povoleného limitu, nebo se k jejich redukci použije oxidační katalyzátor. Výhodou je, že použití oxidačního katalyzátoru zde nenaráží na problém obsahu síry v palivu, jak tomu je u vznětových motorů. S rozvojem elektronických regulací, zejména u motorů pro silniční vozidla, začíná i tento systém v poslední době používat elektronickou regulaci složení směsi a předstihu zážehu v závislosti na otáčkách a zatížení. Pro režim volnoběhu se pak s výhodou dá použít uzavřeného okruhu pro dodržení stechiometrického poměru složení směsi pomocí lambda sondy vzhledem k docílení vyšší pravidelnosti chodu.

Účelem příspěvku není vyzdvihovat přednosti jednoho systému před druhým, neboť oba mají stejné předpoklady pro splnění nejprísnejších limitů emisí, ale na daném systému ukázat na možnosti optimalizace nejen plyných emisí ale i spotřeby paliva. Spotřeba paliva ovlivňuje nejen ekonomii provozu u uživatele, ale produkci oxidu uhličitého (CO_2). To má v dnešní době ovzvláštní význam pro řešení otázky životního prostředí v globálním měřítku.

Strategie

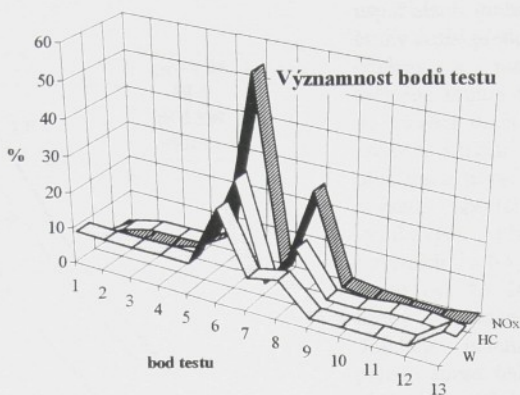
Pro spalovací motory užitkových silničních vozidel a autobusů platí řadu let předpisy ECE R49 testu. Limity emisí podle tohoto textu jsou nejprísnejší z oboru spalovacích motorů a jsou pravidelně zpřísňovány. Na obrázku 1 je názorně vidět jejich vyvoj. Je nutné upozornit, že limity EURO 3 s platností od roku 1999 nebyly dosud schváleny a jsou proto uváděny



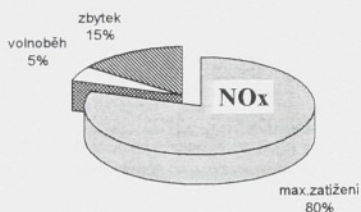
Obr. 1: trend snižování limitů emisí výfukových plynů motorů podle ECE R49 testu

jako možná prognóza. Všeobecně se předpokládá, že limity pro EURO 3 budou stanoveny ještě v tomto roce, neboť bývá pravidlem poskytnout automobilovému průmyslu dostatečný předstih pro jejich realizaci. V obrázku 1 uvedené termíny náběhu platí již pro seriovou výrobu, přičemž pro homologace nových typů platí limity s ročním předstihem.

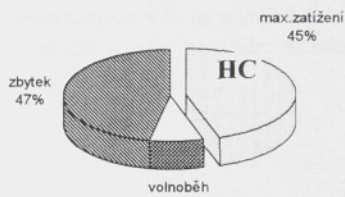
Stávající ECE R49 test vychází z měření v ustálených režimech 13-ti bodů výkonové charakteristiky motoru. Na obrázku 2 je znázorněna významnost jednotlivých bodů testu na celkovém výsledku určujícího splnění limitů pro emise HC a NO_x .



Obr. 2: Procentuální významnost bodů ECE R49 testu na celkový výsledek emisí



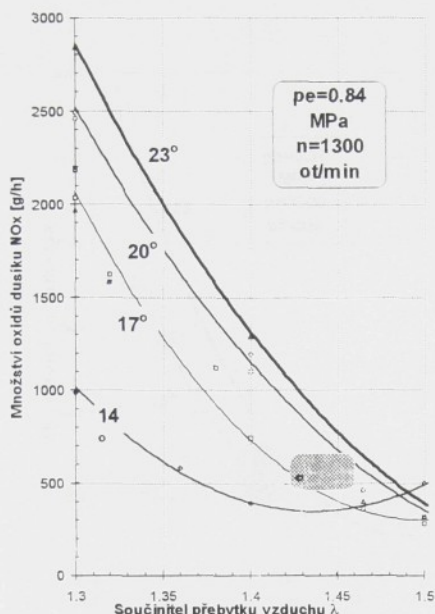
Obr. 3: Významnost druhu režimu na celkové emisí NOx



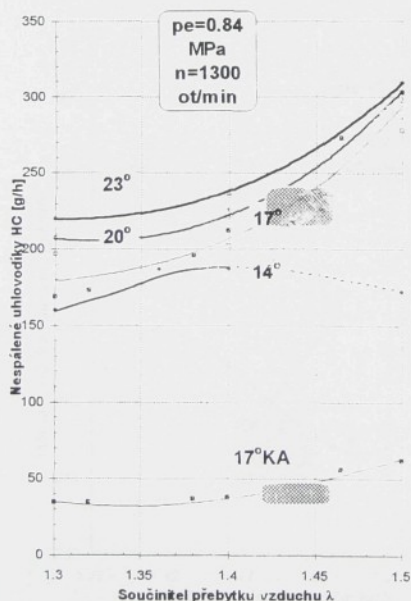
Obr. 4: Významnost druhu režimu na celkové emisí HC

Váhovou preferenci bodů samotného testu, v obrázku 2, ukazuje graf s označením W. Zde jsou nejvíce znevýhodněny body maximálního zatížení, jmenovitě bod č.6 maximálního točivého momentu (25%) a bod č.8 jmenovitého výkonu (10%). Hodně jsou dále znevýhodněny body 1,7,13 volnoběhu (celkem 25%). Z mnoha emisních měření lze vypořádat, že pro jednotlivé emise se významnost jednotlivých bodů liší, jak dokumentuje příklad na obrázku 2 na grafech pro emise NO_x a HC. Příklad platí pro námi sledovaný plynový motor a na obázcích 3 a 4 je znázorněna významnost druhu režimu na celkových emisích. Nejvíce se tedy na celkovém výsledku v 13-ti bodovém testu uplatní body č.6 a č.8, což jsou body maximálního zatížení, přičemž volnoběh se uplatní značně méně. Na základě této kalkulace, lze pro vádět nákladnou víceparametrovou optimalizaci jen ve dvou bodech režimu motoru.

K optimalizaci byl použit zážehový motor na LPG, označení M636 PB, v uspořádání řadového šestiválce o zdvihovém objemu 11,94dm³, kompresním poměru 10,1:1, se svíčkami BOSCH, turbodmychadlem ČZM s mezichadičem plnicího vzduchu, zapalováním DELCO, směšovačem a elektronikou regulaci DELTEC a variantně s oxidačním katalyzátorem. Motor má pro autobusové provedení předepsán výkon 150 kW při 2000ot/min a točivý moment 840 Nm při 1300ot/min. Uspořádání motoru a jeho regulace je zřejmá z blokového schéma na obrázku 5. Elektronický regulační systém DELTEC umožňuje měnit během chodu motoru předstih zážehu a součinitel přebytku vzduchu. Dále bylo použito podpory počítačového systému pro měření a vyhodnocení průběhu tlaku ve válci motoru a k měření emisí sada analyzátorů. Vedle lambda sondy byl ve výfukovém potrubí zabudován sensor kyslíku (O₂) pro průběžnou kontrolu přebytku vzduchu. Indikace průběhu tlaku ve válci se prováděla pro každý

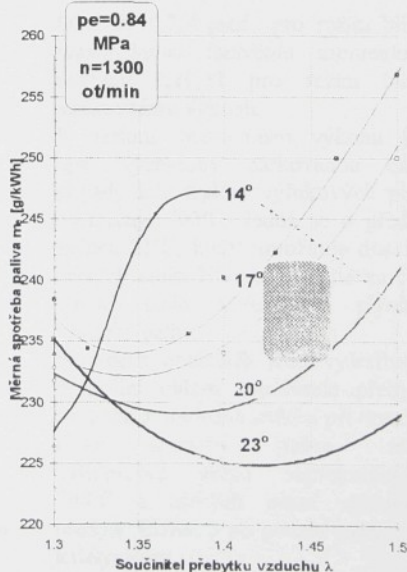


Obr. 6: závislost emise NO_x na přebytku vzduchu a předstihu zážehu

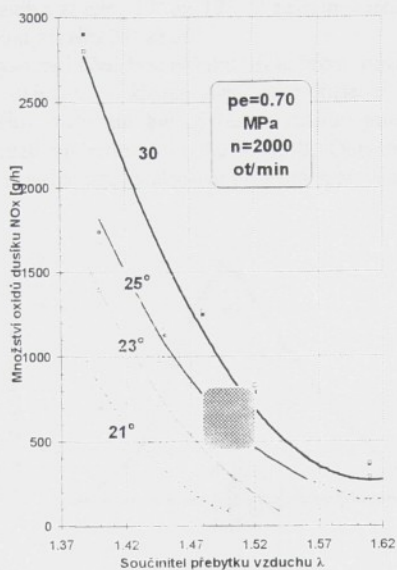


Obr. 7: závislost emise HC na přebytku vzduchu a předstihu zážehu

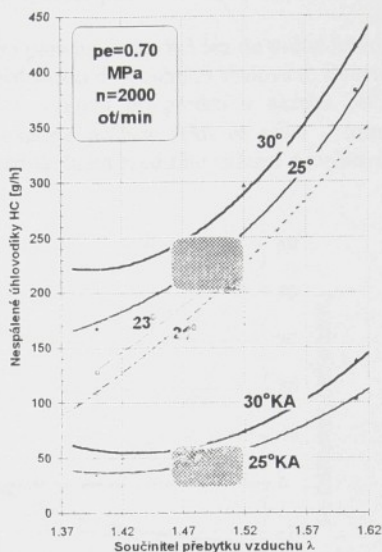
Bez oxidačního katalyzátoru u daného uspořádání motoru lze splnit pouze limity emisí předpisu EURO 2. Za tímto účelem je nutné tvarovat průběh točivého momentu s posunutím maxima do vyšších otáček a zde nastavit nízký předstih zážehu v rozsahu 13° až 14° před horní úvratí pístu. To pak vede ke zvýšení spotřeby paliva a teplot výfukových plynů nad 700°C (v obrázcích 7 a 8 vyznačeno čárkovaně). Proto byl do dalších zkoušek zařazen běžný oxidační katalyzátor, který dosahuje účinnosti kolem 80 % pro plynné emise uhlovodíku (HC) a oxidu uhelnatého (CO). Sledované veličiny plynných emisí NO_x a HC, jakož i spotřeby paliva jsou znázorněny na obrázcích 6 až 11 v závislosti na dvou parametrech a to na součiniteli přebytku vzduchu λ , a na předstihu zážehu.



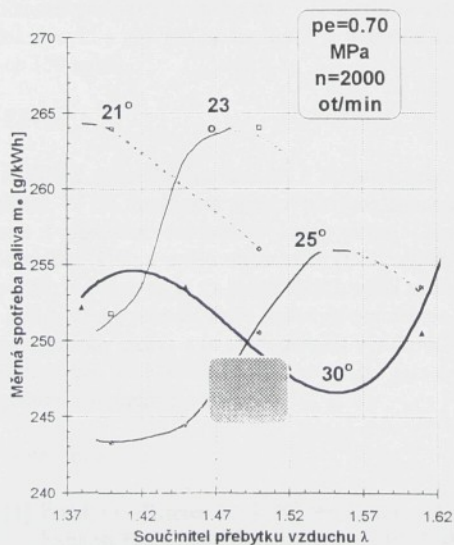
Obr. 8: závislost spotřeby paliva na přebytku vzduchu a předstihu zážehu



Obr.9: závislost emise NOx na přebytku vzduchu a předstihu



Obr.10: závislost emise HC na přebytku vzduchu a předstihu



Obr.11: závislost spotřeby paliva na přebytku vzduchu a předstihu zážehu

Obrázky 6,7,8 platí pro režim blízký maximálnímu točivému momentu a obrázky 9,10,11 pro režim blízký jmenovitému výkonu.

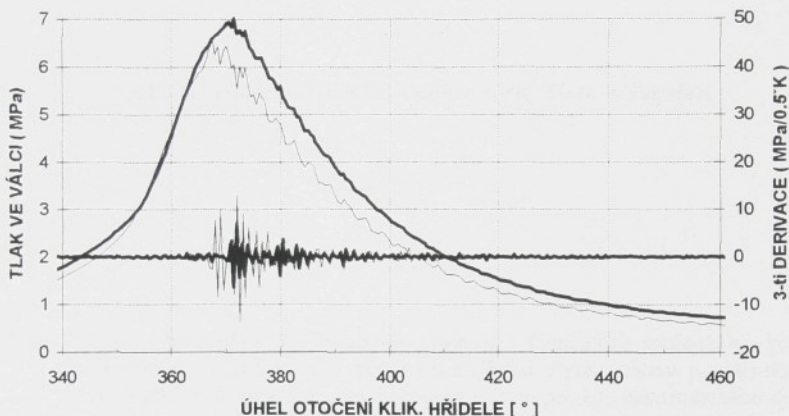
V režimu jmenovitého výkonu jsou opět vyznačeny čárkovanou čarou případy kde teplota výfukových plynů překračuje 700°C. Jedná se o předstih zážehu 21°C, který umožňuje dosažení nízkých emisí NOx a HC, ale za cenu vyšších teplot výfukových plynů a spotřeby paliva.

Na všech obrázcích jsou vyšrafovány optimální oblasti součinitele přebytku vzduchu a předstihu zážehu při dosažení nízké spotřeby paliva, teplot výfukových plynů nepřekračujících 700°C a nízkých emisí splňujících předpis EURO 3 při použití oxidačního katalyzátoru.

Hodnoty emisí oxidu uhelnatého (CO) v příspěvku nejsou uvedeny, neboť splňují předpis s velkou rezervou.

Z předchozího je zřejmé, že u daného motoru se dosáhne optimálních hodnot v režimu otáček maximálního točivého momentu v oblasti součinitele přebytku vzduchu $\lambda=1,42$ až $1,46$ a předstihu zážehu 17° až 19° . V režimu jmenovitého výkonu pak v ob-
 ti $\lambda=1,46$ až $1,52$ a předstihu zážehu 24° až 29° .

Zvyšování předstihu zážehu při určitém kompresním poměru je možné jen do určité hranice než se objeví t. zv. klepání pístů, jako důsledek nepravidelného detonačního spalování. Počátek takového spalování byl zjištěn v režimu jmenovitého výkonu při předstihu zážehu 30° a součiniteli přebytku vzduchu $\lambda=1,38$. Obrázek 12 ukazuje průběh tlaků ve válci v tomto režimu (slabá čára) a zlepšení průběhu spalování při nezměněném předstihu zážehu a zvýšeném



Obr. 12: Průběhy tlaků ve válci motoru a jejich 3-tí derivace.

součiniteli přebytku vzduchu na $\lambda=1,52$ (tlustá čára). Je třeba říci, že v obou dvou případech se jedná o cykl s největší hodnotou 3-tí derivace tlaků ve válci, který byl nalezen v souboru o délce 150 cyklů.

Závěr

Z dosud provedených měření a optimalizace na plynovém spalovacím motoru M636 PB vyplývá, že lze dosáhnout splnění předpokládaných emisí v připravovaném předpisu EURO 3, pouze s použitím oxidačního katalyzátoru. Ten pak díky redukci plynných složek emisí uhlovodíků (HC) a oxidu uhelnatého (CO) umožní takové serížení motoru, které je z hlediska provozu žádoucí, to je na jedné straně vyšší předstih zážehu s určitou rezervou vůči klepání a na druhé straně chudší směs paliva se vzduchem pro dosažení nízkých oxidů dusíku (NO_x) a nízké spotřeby paliva a to při teplotách výfukových plynů nepřevyšující 700°C . Vyšší investice v pořizovací ceně katalyzátoru se vrátí jak uživateli v ekonomii, tak celé společnosti v zlepšeném životním prostředí.

Reference

- [1] Frank G.- Bruner G.: LPG and CNG - Their Use in City Busses and the Effects on the Exhaust Emissions. Fisita-Congress 1994, Peking, SAE-Reprint 945147.
- [2] Chmela F.G.- Kapus P.E.: The TRI-Flow Combustion System and its Effects on Lean Burn Gas Engine Performace. Symposium 1994, Bad Aibling.
- [3] Bartoniček L.- Beroun S.- Scholz C.: Plynové motory pro městské autobusy. Automobil Revue 12/1993, Praha.

Příloha P2

Spalovací motor ML 636PB s elektronicky řízenou regulací

Souhrn: Zpráva pojednává o výzkumně-vývojových činnostech spojených s konverzí mechanicky regulovaného motoru spalujícího plyné palivo propan-butan na víceparametrovou elektronickou regulaci. Bylo použito elektronického systému fy. Deltec umožňujícího regulaci bohatosti směsi, předstihu zapalování, otáček volnoběhu, teplotní korekce a stop ventilu plynu při deceleraci vozidla. Motor byl určen pro provoz MHD v DPMML Most.

Po přestavbě byl motor optimalizován z hlediska plyných emisí a spotřeb paliva a kalibrační údaje o bohatosti směsi a předstihu zážehu byly naprogramovány v celé provozní polo do EPROM elektronické řídicí jednotky.

Režim maximálního výkonu byl testován na náchylnost k detonačnímu spalování. K tomuto bylo použito systému pro měření průběhu tlaku ve válci v délce 150 cyklů. Na základě výsledků byla stanovena korekce předstihu zapalování v závislosti na teplotě směsi v sacím potrubí.

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

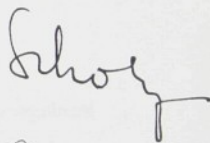
Fakulta : Strojní

Katedra : Strojů průmyslové dopravy

Spalovací motor ML 636 PB s elektronicky řízenou regulací

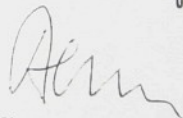
Vypracoval:

Ing. Celestýn SCHOLZ



Schválil:

Doc. Ing. Stanislav BEROUN, CSc.
vedoucí katedry a ředitel státní zkušebny



V Liberci, únor 1996

Č. úkolu: č. 6022/710

Č. zprávy: SM č. 310/96

Počet listů : 7

Počet příloh : 24

SOUHRN

Zpráva pojednává o výzkumně-vývojových činnostech spojených s přestavbou mechanicky regulovaného motoru spalujícího plyné palivo propan-butan na elektronickou víceparametrovou regulaci. Bylo použito elektronického řídicího systému Deltec umožňujícího regulaci bohatosti směsi, předstihu zapalování, otáček vonoběhu, korekce na teplotu vzduchu a paliva a funkce stop ventilu při deceleraci vozidla. Po přestavbě byl motor optimalizován z hlediska minimálních plyných emisí a spotřeb paliva a odpovídající údaje bohatosti směsi a předstihu zapalování byly naprogramovány do paměti elektronické řídicí jednotky. Motor byl předán do Krušnohorských strojiren a.s. k zástavbě do městského autobusu.

OBSAH

1. Úvod	str. 2
2. Funkce elektronického systému	str. 2
3. Zástavba elektronického systému	str. 4
4. Optimalizace parametrů motoru	str. 5
5. Program a jeho ověření	str. 5
6. Dodatečná ověření	str. 6
7. Závěr	str. 7
8. Literatura	str. 7

1. ÚVOD

Na základě příznivých ekologických a provozních výsledků spalovacího motoru ML 636 PB v městských autobusech provozovaných DP měst Mostu a Litvínova vznikl, z popudu uživatele (DPMML), dodavatele plynového příslušenství (Deltec) a sponzora (Holandské ministerstvo UROM), v r. 1994 vývojový projekt na použití elektronické regulace u těchto motorů. K řešení tohoto projektu byl vyzván výrobce Krušnohorské strojirny a.s.(KSK), který zabezpečuje přestavbu autobusů na propan-butan v ČR, a výzkumně-vývojové pracoviště spalovacích motorů Technické univerzity v Liberci (TUL).

Cílem projektu je snížit plyné emise ve výfukových plynech při nízké spotřebě paliva pomocí elektronické regulace, zejména pak zabezpečit stálost těchto parametrů během provozu.

Na etapu týkající se přípravy motoru na zkušební TUL a spolupráce při zkouškách v provozu byla mezi TUL a KSK uzavřena HS č.6022/710.

2. FUNKCE ELEKTRONICKÉHO SYSTÉMU

Elektronický systém Deltec je po určitých úpravách připojitelný na dosavadní mechanický regulační systém. Jednotlivé funkce spočívají v regulaci a nastavení:

- bohatosti směsi paliva se vzduchem
- předstihu zážehu
- volnoběžných otáček
- korekci v závislosti na teplotě vzduchu a paliva
- stop ventilu paliva při deceleraci vozidla.

2.1. Regulace bohatosti směsi

Regulace bohatosti směsi paliva se vzduchem je základním principem systému Deltec. Ten se skládá ze dvou regulačních okruhů:

- uzavřeného okruhu pro volnoběžné otáčky motoru
- otevřeného okruhu pro provozní otáčky motoru

Uzavřený okruh regulace se stechiometrickým poměrem směsi vzduchu k palivu $\lambda = 1$ slouží pro oblast volnoběžných otáček motoru. Podle schématu na příloze **P1** se z regulátoru otevřeným ventilem (6) přivádí hadicí (13) plyn k vedlejšímu ventilu plynu (12) řízeného krokovacím motorkem v rozmezí

kroků od 140 do 255 a odtud do obvodové drážky kolem hlavního vstupu plynu do směšovače (1). Z této obvodové drážky se vede plyn přímo před škrtící klapku. Tento otvor byl do směšovače (1) dodatečně vyvrtán. V přívodní hadici (13) bylo dodatečně provedeno rozvětvení (13') do víka regulátoru (prostoru nad membránou II.stupně) přes mechanicky nastavitelný jehlový ventil. Tento by-pass slouží pro hrubé nastavení bohatosti směsi při volnoběhu.

Regulace stechiometrického poměru směsi paliva se vzduchem při volnoběhu je prováděna automaticky tím, že krokovacím motorkem ovládaný vedlejší ventil (12) dává množství paliva podle údajů vyhřívané lambda sondy (8) umístěné ve výfukovém potrubí za turbodmychadlem. Řídící funkci zde má elektronická řídící jednotka (4), která vyhodnocuje údaje lambda sondy (8) a elektricky ovládá krokovací motorek.

Otevřený okruh regulace s naprogramovatelnou velikostí bohatosti směsi ($\lambda > 1$) slouží pro oblast pracovních otáček motoru při plném i částečném zatížení. Z regulátoru je veden plyn hadicí (22) do tělesa stop ventilu (21) a odtud do tělesa hlavního ventilu plynu (12) řízeného krokovacím motorkem v rozmezí kroků od 0 do 255. V tělese proti ventilu je hlavní seřizovací šroub. Za ventilem je pak přívod do směšovače (1).

Regulace bohatosti směsi je prováděna tím, že krokovacím motorkem ovládaný hlavní ventil plynu (12) řídí přiváděné množství paliva podle naprogramovaných hodnot. Naprogramované hodnoty jsou uloženy ve výměnném paměťovém bloku EPROM elektronické řídící jednotky (4) a to v diskrétní závislosti na dvou parametrech (otáčkách motoru měřených čidlem (15) a tlaku směsi snímaném v sacím potrubí čidlem (9)). V příloze **P2** je znázorněna pomocná tabulka těchto hodnot pro programování. Každý řádek představuje hodnoty při konstantních otáčkách (RPM), které jsou uvedeny v levé části tabulky (např. 300 až 2300 min^{-1}). Hodnota otáček se dá zadat nebo editovat tím, že po vyvolání adresy příslušného řádku v kalkulátoru DATAMAN spojeného s blokem EPROM změníme kódované číslo otáček v hexagonální soustavě. Příklad: na adrese 002A7 je vloženo hex. číslo 2C, které odpovídá v desítkové soustavě číslu 44 a po překódování (násobeno 25) odpovídá ot. 1100 min^{-1} . Podobně každý sloupec představuje hodnoty při konstantním absolutním tlaku směsi v sacím potrubí (MAP), které jsou uvedeny v horní části tabulky (např. 15 až 160 kPa). Každému tlaku směsi v sacím potrubí (MAP) při určitých otáčkách (RPM) odpovídá naprogramovaná hodnota polohy krokovacího motoru, která pro konkrétní motor představuje určitou bohatost směsi (přebytek vzduchu λ). Např. (viz. tabulku na **P2**) pro tlak směsi v sacím potrubí 60 kPa a otáčky 2000 min^{-1} byla byla doporučena z optimalizačních zkoušek hodnota přebytku vzduchu $\lambda = 1.432$ což odpovídá, podle tabulky viz. příloha **P3**, napětí 3.43 V na měřicím zařízení pro stanovení přebytku vzduchu (UEGO). Při tomto režimu byla pomocným zařízením, které nebylo předmětem dodávky, změněna poloha krokovacího motoru, která v našem případě odpovídala počtu kroků daných číslem 55 v desítkové soustavě. Ve spojení s kalkulátorem DATAMAN bylo pak na adrese 0037F vloženo číslo 37 v hexagonální soustavě. Pokud bude v budoucnosti třeba změnit při určitém režimu bohatost směsi, změní se na příslušné adrese hex. číslo.

2.2. Regulace předstihu zapalování

Regulace předstihu zapalování umožňuje nastavit pro každý provozní bod, daný otáčkami a zatížením (v našem případě tlakem směsi v sacím potrubí), libovolný předstih zážehu doporučený optimalizačními měřeními. Naprogramované hodnoty jsou uloženy ve výměnném paměťovém bloku EPROM elektronické řídící jednotky a to v diskrétní závislosti opět na dvou parametrech (otáčkách RPM a tlaku směsi v sacím potrubí MAP) viz. pomocná tabulka na příloze **P4**. Např. pro tlak směsi v sacím potrubí 60 kPa a otáčky 2000 min^{-1} byla doporučena z optimalizačních zkoušek hodnota předstihu zapalování 20° pootočení klikového hřídele před horní úvratí válce. Tuto hodnotu zakodujeme vztahem $(20 \cdot 256/90) + 64 = 120.888$ zaokrouhleno na 121 v desítkové soustavě. Ve spojení s kalkulátorem DATAMAN je na adrese 001A1 vloženo odpovídající konečné číslo 79 v hexagonální soustavě. Pokud bude v budoucnosti třeba změnit při určitém režimu předstih zážehu, změní se opět na příslušné adrese hex. číslo.

2.3. Regulace volnoběžných otáček

Regulace volnoběžných otáček umožňuje jejich stabilitu kolem naprogramované hodnoty bez ohledu na okolní rušivé vlivy. Funkce je zřetelná z obrázku na příloze **P1**, kde z tělesa škrtící klapky (7) je před zavřenou klapkou odváděna směs by-passem (10) přímo do sacího potrubí. Množství směsi je regulováno řídicím ventilem (11) v závislosti na změně volnoběžných otáček.

2.4. Korekce v závislosti na teplotě vzduchu a paliva

V závislosti na teplotě vzduchu, která je měřena čidlem (18) za mezichladičem plnicího vzduchu viz. příloha **P1**, a teplotě paliva, která je měřena čidlem (19), můžeme korigovat, jak množství plynu, tak i předstih zážehu. Korekce předstihu zážehu na teplotě vzduchu se hlavně používá v horním rozsahu otáček jako záruka bezdetonačního spalování. Ve výměnném paměťovém bloku EPROM elektronické řídicí jednotky jsou naprogramované hodnoty předstihu zážehu v závislosti na otáčkách a teplotě vzduchu. Se zvyšující teplotou vzduchu se doporučuje snížit předstih zážehu.

2.5. Stop ventil paliva při deceleraci vozidla

Stop ventil paliva (21), viz. obrázek na příloze **P1**, uzavírá hlavní přívod plynu z regulátoru do směšovače během decelerace vozidla, nebo je uzavřen během parkování vozidla. Je ovládán tlakovým vzduchem, který je přiváděn hadicí (25) od třicetného ventilu (16), který je řízen elektronickým řídicím systémem (4). Tlakový vzduch je přiváděn od tlakového systému vozidla jehož součástí jsou brzdy a otírání dveří.

3. ZÁSTAVBA ELEKTRONICKÉHO SYSTÉMU

Zástavba elektronického systému proběhla koncem roku 1994 za účasti pracovníků fy. Deltec. Byl použit motor ML 636 PB v.č. 03720, r.v. 1992 s mechanickou otáčkovou regulací polohy škrtící klapky pomocí otáčkového regulátoru a tlakovou korekcí. Motor byl osazen písty s vyšším kompresní poměrem $\epsilon = 10.1$ (původní $\epsilon = 8$) a vzhledem k probíhajícímu výzkumu i nekonvekčním tvarem spalovacího prostoru. Na motoru byla instalována upravená hlava válců pro zabudování piezoelektrického snímače tlaku umožňujícího měřit průběh tlaku ve válci.

Postupně byl upraven tlakový regulátor plynu a směšovač, které spolu s novými díly byly namontovány na motor dle obrázku na příloze **P1**. Ovládací ventily a čidla byly propojeny s elektronickou řídicí jednotkou (4), diagnostickou žárovkou (3) a diagnostickým tlačítkem (2). Elektronická řídicí jednotka byla napájena stejnosměrným proudem o napětí 24 V z akumulátorových baterií. Elektrické schéma zapojení je v příloze **P5**. Elektronická řídicí jednotka byla propojena s elektronickým zapalováním Delco, počítačem PC Laptop a kalkulátorem DATAMAN viz. celkové blokové schéma v příloze **P6**.

PC Laptop slouží k diagnostice systému [L1] při optimalizačních zkouškách na brzdovém stanovišti, nebo při údržbě motoru ve vozidle a to i za jízdy. Na obrazovce jsou zobrazovány hodnoty vybraných parametrů jako jsou: otáčky motoru, tlak směsi v sacím potrubí, poloha škrtící klapky, teplota vzduchu za mezichladičem, teplota paliva, poloha krokovacího motoru, napětí baterie, předstih zážehu, hodnoty hlášení FLAG o defektech a špatných funkcích systému v bitech dvojkové soustavy.

Kalkulátor DATAMAN slouží, jak již bylo uvedeno, k programování a editaci kodovaných hodnot v hexagonální číselné soustavě v EPROMu elektronické řídicí jednotky.

Při zprovoznování a ověřování systému vznikly problémy spočívající v :

- **nedostatků a kolísání množství plynu** v horní oblasti otáček způsobeném nízkým tlakem paliva na vstupu do regulátoru paliva, menším než 3 bary. Ukázalo se, že tlaková ztráta vedení mezi zásobníkem a motorem je velká, kolem 1 bar. Ve spojení s nízkým tlakem v zásobníku způsobeným mrazivým počasím byl vysvětlen nízký tlak u motoru. Pro další bezproblémový provoz byl udržován tlak paliva na vstupu do regulátoru kolem hodnoty 4 bar a to zvyšováním tlaku nad hladinou paliva v zásobníku přípouštěním inertního plynu.

- **hrubém překročení napájecího napětí 24 V** elektronické řídicí jednotky (>35 V), které bylo způsobeno závadou na alternátoru. Toto vyšší napětí zničilo výkonový transistor v řídicí jednotce.

Transistor byl vyměněn a pro další provoz byl alektor odpojen a akumulátorové baterie byly dobíjeny nabíjecí soupravou napájenou z elektrické sítě.

4. OPTIMALIZACE PARAMETRŮ MOTORU

Během ledna až března 1995 byla provedena rozsáhlá optimalizace seřizovacích parametrů motoru (bohatosti směsi a předstihu zážehu) s cílem dosáhnout ekologického předpisu EURO 3 při nízké spotřebě paliva.

Při této práci bylo plně využito předností elektronického regulačního systému, který umožňuje měnit předstih zážehu a bohatost směsi za chodu motoru. Ve výfukovém potrubí byl zabudován vedle lambda sondy, odběr pro měření plynných emisí CO, HC a NO_x a senzor UEGO pro měření bohatosti směsi. Dále bylo použito podpory počítačového systému pro měření a vyhodnocení průběhů tlaků ve válci motoru.

Z provedených měření vyplynulo [L2], že lze dosáhnout splnění emisí v připravovaném předpisu EURO 3 (za předpoladu stacionárního 13-bodového testu s limity CO= 5g/kWh, HC= 0.6g/kWh a NO_x=5g/kWh) pouze s použitím vhodného oxidačního katalyzátoru. Ten díky redukcí plynných složek emisí uhlovodíků (HC) a oxidu uhelnatého (CO) umožní takové seřízení motoru, které vedle splnění limitů ekologie zaručuje i nízkou spotřebu paliva. Seřízení spočívá ve vyšším předstihu zážehu s určitou rezervou vůči klepání (detonacím) z hlediska nízké spotřeby paliva a teplot výfukových plynů nepřevyšujících 700°C, a chudší směsi paliva pro dosažení nízkých oxidů dusíku (NO_x). Zvyšování předstihu zážehu při určitém kompresním poměru, jmenovitém výkonu a teplotě směsi paliva se vzduchem je možné jen do určité hranice než se objeví tzv. klepání, jako důsledek detonačního spalování. Způsob námi použité identifikace detonačního spalování je uveden [L3].

V průběhu roku 1995 se na TUL prováděl rovněž vývoj motorů s mechanickou regulací zaměřený na zlepšení funkce regulace a na zvyšování kompresního poměru spalovacího prostoru. Pozitivní výsledky tohoto vývoje týkající se, jednak posledního provedení regulace bez otáčkového regulátoru, tak i výrobně jednoduchého tvaru spalovacího prostoru s kompresním poměrem $\varepsilon = 10.8$, blíže viz [L4], byly aplikovány na motor s elektronickou regulací. Po realizaci těchto úprav spojených se změnou polohy tělesa škrtků klapy, vynucené zástavbovou dispozicí v autobuse, bylo nutné opakovat některá optimalizační měření.

Pro tato měření, která byla prováděna koncem roku 1995 za účasti pracovníka fy. Deltec, byl dále použit oxidační katalyzátor Eltos Pt, zapůjčený DPMML. Z výsledků optimalizačních měření, které jsou znázorněny na přílohách (**P7, P8, P9, P10, P11**), byla zvolena tato optimální seřízení:

- *předstih zážehu 17°a bohatost směsi 1,418* pro body blízké maximálnímu točivému momentu při otáčkách 1300 min⁻¹
- *předstih zážehu 20°a bohatost směsi 1,446* pro body blízké jmenovitému výkonu při otáčkách 2000 min⁻¹ -

Na základě znalostí optimálních seřizovacích parametrů pro tyto dva body vnější charakteristiky byla konstruována úplná charakteristika předstihu zážehu a bohatosti směsi pro celý rozsah otáček a zatížení, viz grafy na příloze (**P12**) a tabulky pro programování (**P4, P3**).

Katalyzátor Eltos Pt vykazoval nízkou účinnost zachycování plynných škodlivin HC a CO (jmenovitě 50 až 60%) a po informaci z DLMML, že se jedná o katalyzátor odebraný z provozu autobusu s vznětovým motorem po 90 000 km, byl z dalších zkoušek vyrazen. Na jeho místo byl zapůjčen účinný katalyzátor Eltos Pd-Cu, který byl výrobcem katalyzátorů ve spolupráci s TUL vyvinut pro motor spalující zemní plyn.

5. PROGRAM A JEHO OVĚŘENÍ

Vlastní program s konkrétními hlavními vložnými parametry, které řídí změny předstihu zážehu, bohatosti směsi, volnoběhu, a pomocnými parametry pro korekci, filtraci, ošetření vstupů a výstupů, je uložen v paměti EPROM. Vkládání hodnot, či jejich editace je možná pomocí kalkulátoru DATAMAN

se znalostí adres a kodovacích vzorců uvedených v 60 stránkovém firemním manuálu důvěrného charakteru. Tuto práci prováděl pracovník firmy Deltec a naše znalosti byly omezeny pouze na editaci a vkládání hlavních parametrů (předstihu zážehu a bohatosti směsi).

Velmi pečlivě byl testován provozní bod jmenovitého výkonu při max. otáčkách 2000 min^{-1} na náchylnost tohoto režimu k detonačnímu hoření tzv. klepání. K identifikaci bylo použito systému pro měření průběhu tlaku ve válci v délce 150 pracovních cyklů. Cykl s nejvyšším spalovacím tlakem se zvětšil a sledoval se průběh počátku sestupné části od jeho maxima. Při přepočtu elektrického napětí (V) na tlak (MPa) se postupuje tak, že průběh elektrického napětí posuneme na nulu, násobíme 1.0 ($1\text{V}=1\text{MPa}$) a připočteme tlak v sacím potrubí (MAP). Konkrétně při testování byl posuzován:

- **východí bod jmenovitého výkonu** při normálním předstihu zapalování 20° a teplotě směsi v sacím potrubí 34°C . Vybraný cykl A, viz příloha (P13), s maximálním spalovacím tlakem 5.6 Mpa, po zvětšení, viz příloha (P14), nevykazuje rozkmitání spalovacího tlaku v blízkosti svého maxima,

- **vliv zvýšení výkonu** o 20 kW tj. na 175kW při nezměněném předstihu zapalování a nezměněné teplotě směsi. Vybraný cykl B, viz příloha (P15), s maximálním spalovacím tlakem 6.7 Mpa, po zvětšení, viz příloha (P16), vykazuje rozkmitání spalovacího tlaku v blízkosti svého maxima s amplitudou 0.2 Mpa, které poskytuje informaci o možném počátku detonačního spalování,

- **vliv zvýšení teploty** směsi v sacím potrubí o 25°C tj. na 59°C při výchozím jmenovitém výkonu a nezměněném předstihu zapalování. Vybraný cykl C, viz příloha (P17), s maximálním spalovacím tlakem 6.3 Mpa, po zvětšení, viz příloha (P18), vykazuje silné rozkmitání spalovacího tlaku v blízkosti svého maxima s amplitudou 0.7 Mpa, které poskytuje informaci o detonačním spalování v četnosti cca 3 cyklů z celkových 150 cyklů,

- **vliv snižování předstihu zapalování** při zvýšené teplotě směsi v sacím potrubí a při nezměněném výchozím jmenovitém výkonu. Při snížení o 3° tj. na hodnotu 17°KH , vybraný cykl D, viz příloha (P19), s maximálním spalovacím tlakem 5.5 Mpa, po zvětšení, viz příloha (P20), nevykazuje rozkmitání spalovacího tlaku v blízkosti svého maxima (rozkmitání obecně svědčí o výskytu detonačního spalování). Při snížení o 2° tj. na hodnotu 18°KH , vybraný cykl E, viz příloha (P21), s maximálním spalovacím tlakem 5.6 Mpa, po zvětšení, viz příloha (P22), vykazuje velmi mírné rozkmitání spalovacího tlaku v blízkosti svého maxima s amplitudou menší než 0.05 Mpa, které ještě neposkytuje dostatečnou informaci pro identifikaci detonačního spalování.

Na základě těchto měření byla naprogramována korekce předstihu spalování na teplotě směsi v sacím potrubí v otáčkovém režimu 2000 min^{-1} , spočívající v postupném snižování předstihu zapalování při nárůstu teploty směsi v sacím potrubí. Toto opatření chrání motor před možným, a to i málo četným, detonačním spalováním.

Po skončení naprogramování paměťového bloku EPROM, byl tento blok uzavřen v elektronické řídící jednotce, a motor byl podroben 13-ti bodovému testu měření plyných emisí výfukových plynů, podle předpisu EHK č. 49, viz příloha (P23, P24). Příloha (P23) znázorňuje výsledky měření emisí výfukových plynů odebíraných před katalyzátorem a příloha (P24) konečné výsledky měření motoru s katalyzátorem.

6. DODATEČNÁ OVĚŘENÍ

Na schůzce zúčastněných stran, dne 22.12.95, byla vznesena pracovníky Deltec pochybnost o dostatečné šířce zářezů na setrvačniku pro indikaci polohy horní úvratí pístů a předstihu zapalování. Tím pracovník fy. Deltec zdůvodnil výtku, proč byla všechna měření prováděna se snímačem umístěným proti zářezům kotočce umístěného na řemenici předního konce klikového hřídele. Na setrvačniku byla vzhledem k jeho většímu průměru požadována dvojnásobná šířka drážek tj. cca 16mm.

Před touto eventuální úpravou drážek byla na TUL provedena dodatečná měření spočívající v porovnání vlivu dvou poloh umístění čidla polohy (na předním konci klikového hřídele a na setrvačniku) na hodnotách předstihu zážehu zjištěných servisní pistolí a porovnaných s údaji na obrazovce diagnostického Laptopu.

Umístění snimače polohy	Hodnoty z obrazovky Laptop						M.pistole	Odchylka
	RPM (min-1)	MAP (kPa)	Step m. (-)	MAT (C)	GAT (C)	α (KH)	$\alpha \times$ (KH)	$\alpha - \alpha \times$ (KH)
Přední konec k.hřídele	1100	70	56	24	40	14.4	14.10	0.30
	1800	72	47	29	44	18.6	18.15	0.45
	800	31	180	30	48	14.1	14.15	-0.05
Setrvačnick	800	31	180	29	47	14.1	15.90	-1.80
	1100	69	57	29	48	14.4	16.40	-2.00
	1800	71	47	31	46	18.6	20.40	-1.80
	800	31	181	32	49	14.1	16.05	-1.95

Z odchylek hodnot předstihů zážehů je zřejmé, že drážky na setrvačnicku jsou úhlově posunuté cca o 2°KH proti drážkám na kotouči umístěném na předním konci klikového hřídele. Toto bylo ověřeno dodatečnou kontrolou za klidu motoru, a s tou. Deltec bylo dále domluveno, že při prvním spuštění motoru v autobuse bude provedena softwarová korekce výchozího bodu.

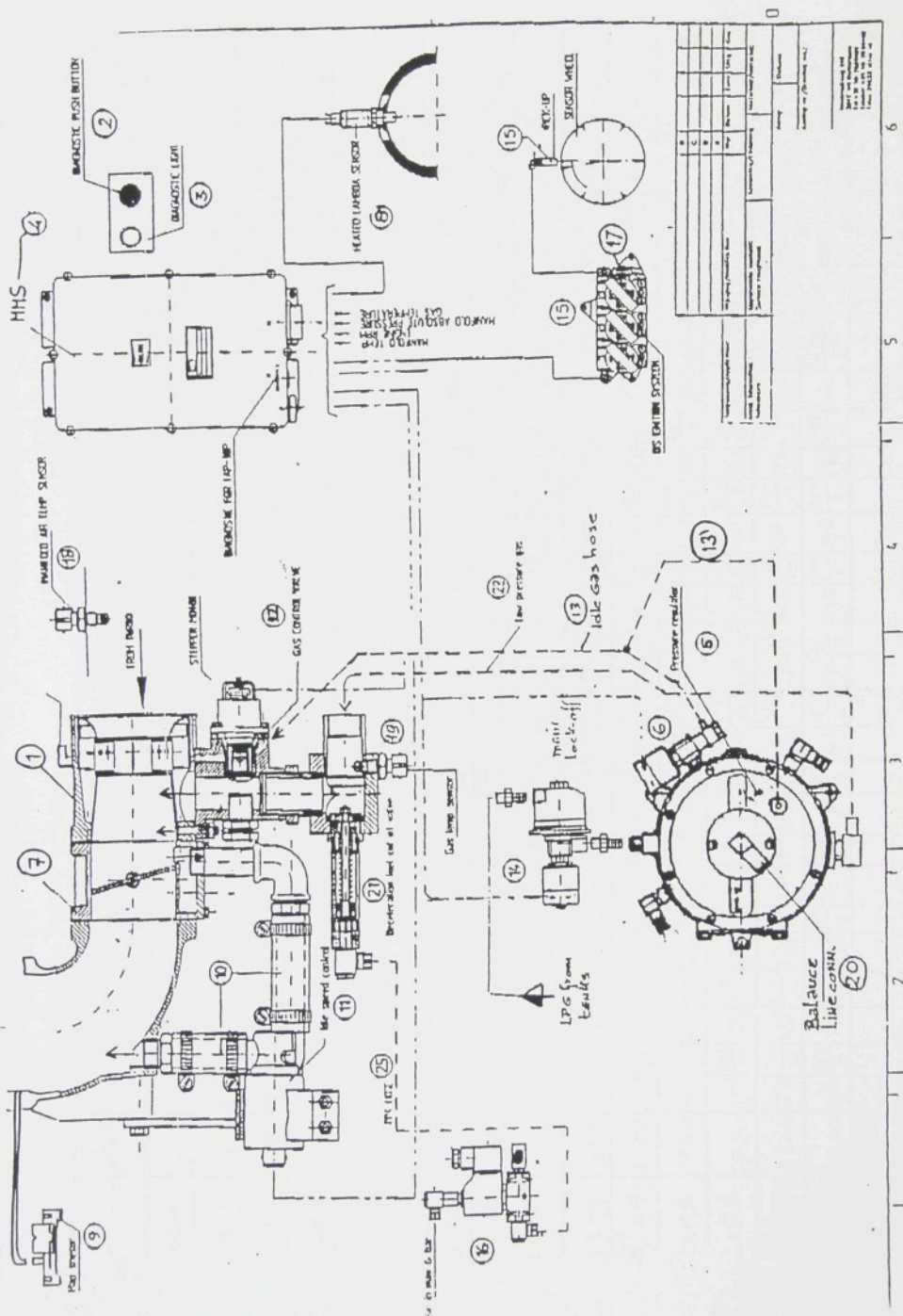
7. ZÁVĚR

Na brzdovém stanovišti TUL byly za dílčí účasti pracovníků firmy Deltec provedeny výzkumně-vývojové práce spojené s přestavbou motoru ML 636PB na elektronicky řízenou regulaci. Optimální hodnoty seřízení, byly naprogramovány v celém provozním poli, tak aby motor splňoval předpokládaný předpis Euro 3 při příznivé spotřebě paliva.

Další výhody elektronického řízení, jako jsou stálost parametrů v celém pracovním rozsahu, spolehlivost čidel a systémů, bude možné vyhodnotit až po určité době provozu motoru v městském autobuse.

8. LITERATURA

- [L1] - K.H.J.: Manual Monitor Program [soubor 94M007.WP], Rotterdam, Deltec Fuel Sys. BV 1994
- [L2] - SCHOLZ,C.-HAVLÍK,R.: Optimizing LPG-gas-bus-engine to fulfil the requirements of the EURO 3 regulation for exhaust emissions. In: 9. mezinárodní konference Motor Sympo '95, Štrbské Pleso 1995
- [L3] - SCHOLZ,C.: Identifikace meze detonačního spalování zážehových motorů. In: XXVI. mezinárodní konference kateder a pracovišť spalovacích motorů českých a slovenských VŠ, Račkova dolina 1995
- [L4] - BEROUN,S.: Plynový zážehový přepínávací motor ML 636PB, SM 308/95, Technická Univerzita v Liberci, Liberec 1995



$$M_A T = 26.0^\circ C - 27 -$$

$$0.63 = 42^{\circ}C - 44$$

HAP $\uparrow$

SCHRITTMOTOR TABELLE $[U_{\text{WEGO}}]$

[illegible]

Lambda berekening uit uego spanning

LPG 50% PROPAAAN / 50% BUTAAN HC Verhouding = 2.58

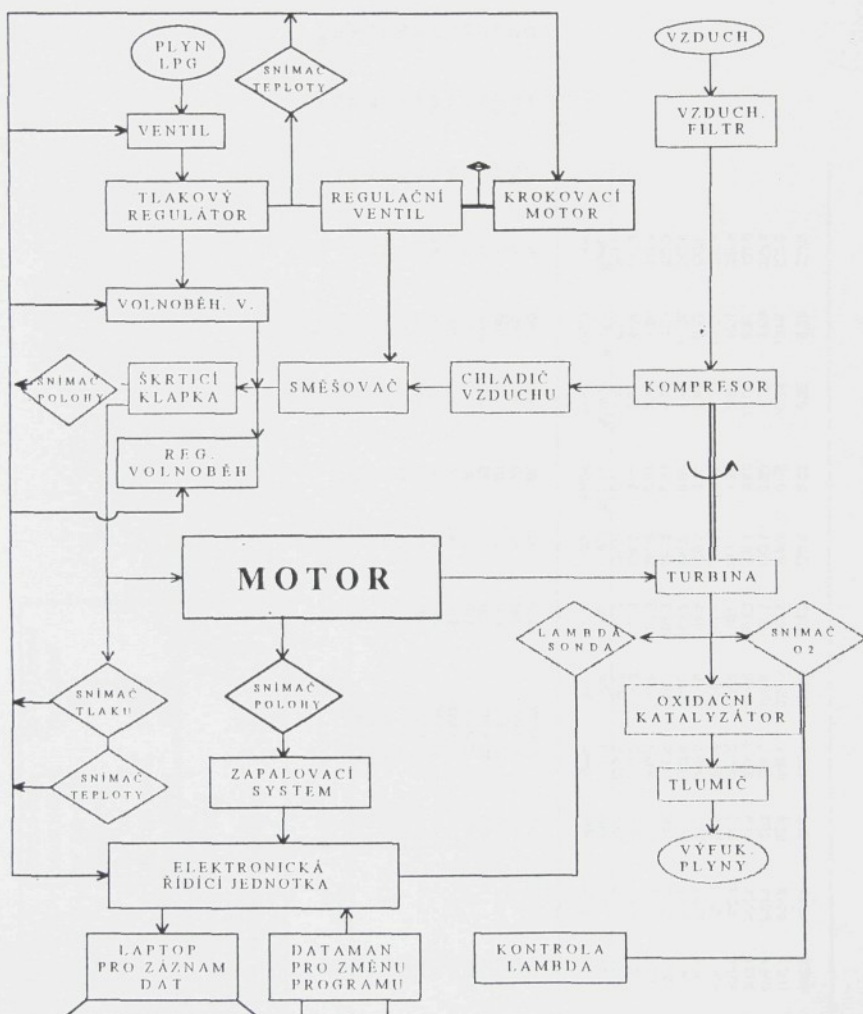
U-uego		lambda		U_uego		lambda	
3	1	3.25	1.215136	3.5	1.537009		
3.01	1.007227	3.26	1.225534	3.51	1.553239		
3.02	1.01455	3.27	1.236101	3.52	1.569797		
3.03	1.021973	3.28	1.246839	3.53	1.586694		
3.04	1.029497	3.29	1.257754	3.54	1.60394		
3.05	1.037124	3.3	1.26885	3.55	1.621547		
3.06	1.044857	3.31	1.280131	3.56	1.639525		
3.07	1.052697	3.32	1.291602	3.57	1.657886		
3.08	1.060647	3.33	1.303268	3.58	1.676644		
3.09	1.068709	3.34	1.315134	3.59	1.69581		
3.1	1.076885	3.35	1.327204	3.6	1.715398		
3.11	1.085179	3.36	1.339485	3.61	1.735423		
3.12	1.093592	3.37	1.351982	3.62	1.755898		
3.13	1.102127	3.38	1.3647	3.63	1.776841		
3.14	1.110787	3.39	1.377646	3.64	1.798266		
3.15	1.119575	3.4	1.390826	3.65	1.82019		
3.16	1.128493	3.41	1.404246	3.66	1.842632		
3.17	1.137544	3.42	1.417912	3.67	1.865609		
3.18	1.146732	3.43	1.431833	3.68	1.889142		
3.19	1.156059	3.44	1.446013	3.69	1.91325		
3.2	1.165528	3.45	1.460462	3.7	1.937955		
3.21	1.175144	3.46	1.475187	3.71	1.963279		
3.22	1.184909	3.47	1.490196	3.72	1.989247		
3.23	1.194827	3.48	1.505496	3.73	2.015882		
3.24	1.204901	3.49	1.521098	3.74	2.04321		

ZÜNDUNGSTABELLE

MAP →

→ RPM

	0146	0147	0148	0149	0150	014B	014C	014D
	20	40	60	80	100	120	140	160
0133 200	13 0157 65	13 0158 65	13 0159 65	13 015A 65	13 015B 65	13 015C 65	13 015D 65	13 015E 65
0134 400	13 015F 65	13 0160 65	13 0161 65	13 0162 65	13 0163 65	13 0164 65	13 0165 65	13 0166 65
0135 600	13 0167 65	13 0168 65	13 0169 65	13 016A 65	13 016B 65	13 016C 65	13 016D 65	13 016E 65
0136 800	14 016F 68	14 0170 68	14 0171 68	14 0172 68	14 0173 68	14 0174 68	14 0175 68	14 0176 68
0137 1000	14 0177 68	14 0178 68	14 0179 68	14 017A 68	14 017B 68	14 017C 68	14 017D 68	14 017E 68
0138 1200	14 017F 68	14 0180 68	14 0181 68	14 0182 68	14 0183 68	14 0184 68	14 0185 68	14 0186 68
0139 1400	14 0187 68	14 0188 68	14 0189 68	14 018A 68	14 018B 68	14 018C 68	14 018D 68	14 018E 68
013A 1600	16 018F 70	16 0190 70	16 0191 70	16 0192 70	16 0193 70	16 0194 70	16 0195 70	16 0196 70
013B 1800	18 0197 73	18 0198 73	18 0199 73	18 019A 73	18 019B 73	18 019C 73	18 019D 73	18 019E 73
013C 2000	20 019F 79	20 01A0 79	20 01A1 79	20 01A2 79	20 01A3 79	20 01A4 79	20 01A5 79	20 01A6 79
013D 2200	20 01A7 79	20 01A8 79	20 01A9 79	20 01AA 79	20 01AB 79	20 01AC 79	20 01AD 79	20 01AE 79



OPTIMALIZACE PARAMETRU

Typ motoru	ML636 PB	Protokol číslo	1a-TU Liberec
Vrtání (mm)	130	Datum měření	"15.12.1995"
Zdvih (mm)	150	Bar. tlak (kPa)	98.7
Počet válců	6	Vlhkost (%)	42
Kompres. poměr	11	Tepl. vzd. (°C)	22
Předstřih		Obj. mot. (dm3)	11.946
Palivo	PB 60/40	Konst. clonky	10.331
Paliv. systém	Deltec- elektronické řízení		
Zapal. systém	Delco, svíčky Bosch XR 4CS		
Turbodmychadlo	CZM 3566/35.21		
Mezichladič	TUL, el. ventilátor		
Poznámky	KAT Ellos Pt		

Měření	n	Mt	me	larnsda	td1	Bod	HC	CO	p. zážeh	NOx	HC	CO	FI	MAP	MAT
1/min	Nm	g/kwh	°C	°C	°C	°C	g/kwh	g/kwh	g/kwh	g/kwh	g/kwh	g/kwh	%	kPa	°C
3	1300	774	1510	22 v Kat	850	14	106	106	106	106	106	106	42	125	28
3	1300	774	1510	22 n Kat	850	14	106	106	106	106	106	106	42	125	28
4	1300	774	1448	22 v Kat	860	14	93	93	93	93	93	93	49	118	29
4	1300	774	1448	22 n Kat	860	14	93	93	93	93	93	93	49	118	29
5	1300	767	1418	22 v Kat	860	14	85	85	85	85	85	85	49	114	29
5	1300	767	1418	22 n Kat	860	14	85	85	85	85	85	85	49	114	29
6	1300	767	1395	22 v Kat	875	14	80	80	80	80	80	80	49	111	28
6	1300	767	1395	22 n Kat	875	14	80	80	80	80	80	80	49	111	28
7	1300	774	1510	22 v Kat	840	17	93	93	93	93	93	93	49	119	27
7	1300	774	1510	22 n Kat	840	17	93	93	93	93	93	93	49	119	27
8	1300	774	1448	22 v Kat	840	17	85	85	85	85	85	85	49	114	27
8	1300	774	1448	22 n Kat	840	17	85	85	85	85	85	85	49	114	27

Výpočty	Bod	Pj	Gvzd	Gpal	Gsch	NOx	HC	CO	mNOx	mHC	mCO	me
MPa	kg/h	kg/h	kg/h	kg/h	kg/h	g/kwh	g/kwh	g/kwh	g/kwh	g/kwh	g/kwh	g/kwh
3	0.814	105.4	801.7	25.5	827.2	187.2	30.3	23.4	0.15	11.83	4.58	241.8
3	0.814	105.4	801.7	25.5	827.2	187.2	30.3	23.4	0.15	11.83	4.58	241.8
4	0.814	105.4	801.7	25.5	827.2	187.2	30.3	23.4	0.15	11.83	4.58	241.8
4	0.814	105.4	801.7	25.5	827.2	187.2	30.3	23.4	0.15	11.83	4.58	241.8
5	0.807	104.4	801.7	25.5	827.2	187.2	30.3	23.4	0.15	11.83	4.58	241.8
5	0.807	104.4	801.7	25.5	827.2	187.2	30.3	23.4	0.15	11.83	4.58	241.8
6	0.807	104.4	801.7	25.5	827.2	187.2	30.3	23.4	0.15	11.83	4.58	241.8
6	0.807	104.4	801.7	25.5	827.2	187.2	30.3	23.4	0.15	11.83	4.58	241.8
7	0.814	105.4	801.7	25.5	827.2	187.2	30.3	23.4	0.15	11.83	4.58	241.8
7	0.814	105.4	801.7	25.5	827.2	187.2	30.3	23.4	0.15	11.83	4.58	241.8
8	0.814	105.4	801.7	25.5	827.2	187.2	30.3	23.4	0.15	11.83	4.58	241.8
8	0.814	105.4	801.7	25.5	827.2	187.2	30.3	23.4	0.15	11.83	4.58	241.8

OPTIMALIZACE PARAMETRU

Typ motoru	ML636 PB	Protokol číslo	1b-TU Liberec
Vrtání (mm)	130	Datum měření	*15.12.1995*
Zavřít (mm)	150	Bar. tlak (kPa)	98.7
Počet válců	6	Vlhkost (%)	42
Kompres. poměr	11	Tepl. vzduchu (°C)	22
Předstřih	PB 60/40	Obj. mot. (dm³)	11.946
Palivo	PB 60/40	15.64 / Konst. clonky	10.331
Paliv. systém	Delltec- elektronické řízení		
Zapal. systém	Delco, svíčky Bosch XR 4CS		
Turbodmychadlo	CZM 3566/35.21		
Mezichladič	TUL, el. ventilátor		
Poznamky	KAT Elitos Pt		

Měření	n 1/min	Mt Nm	me g/kwh	lancs	td1 °C	Bod měření	td1 °C	p. zátěž pCi g/kh mmH2O	NOx ppm	HC ppm	CO %	FI %	MAP kPa	MAT °C
9	1300	774	1.418	22	n.Kat	830	17	79	870	785	838	42	111	27
10	1300	767	1.395	22	n.Kat	830	17	78	895	420	259	42	111	27
10	1300	767	1.395	22	n.Kat	840	17	78	1020	785	548	49	108	25
11	2000	700	1.510	22	n.Kat	710	19	208	1030	405	248	49	108	25
11	2000	700	1.510	22	n.Kat	710	19	208	225	540	840	49	118	35
12	2000	714	1.475	22	n.Kat	710	19	211	250	165	350	49	118	35
12	2000	714	1.475	22	n.Kat	710	19	211	340	420	890	49	118	35
13	2000	707	1.448	22	n.Kat	710	19	197	375	135	358	49	118	35
13	2000	707	1.448	22	n.Kat	710	19	197	520	330	740	49	115	35
14	2000	707	1.405	22	n.Kat	710	19	175	550	120	344	49	115	35
14	2000	707	1.405	22	n.Kat	710	19	175	865	315	763	49	109	33
14	2000	707	1.405	22	n.Kat	710	19	175	950	105	325	49	109	33

Výpočty	pe MPa	Pj kw	Gzsd kg/h	Gpal kg/h	Gsch kg/h	NOx g/h	HC g/h	CO g/h	mNOx g/kgvzd	mHC g/kgpal	mCO g/kgpal	me g/kwh
9	0.814	105.4	520.3	23.5	543.7	551.3	208.8	259.0	1.08	8.81	11.04	222.8
9	0.814	105.4	520.3	23.5	543.7	571.8	109.2	124.7	1.10	4.95	5.32	222.8
10	0.807	104.4	510.2	23.6	533.7	823.8	185.2	258.4	1.81	8.29	10.97	225.8
10	0.807	104.4	510.2	23.6	533.7	831.7	103.3	116.9	1.83	4.39	4.97	225.8
11	0.795	146.8	839.8	36.6	875.4	298.3	228.0	498.8	0.36	6.35	14.03	242.8
11	0.795	146.8	839.8	36.6	875.4	331.4	99.0	272.8	0.36	1.94	7.87	242.8
12	0.751	149.5	843.7	36.8	890.3	453.1	178.7	539.7	0.54	4.83	14.78	244.8
12	0.751	149.5	843.7	36.8	890.3	498.8	58.6	280.0	0.56	1.55	7.88	244.8
13	0.744	146.1	815.9	36.1	852.0	670.8	134.4	559.2	0.82	3.73	15.50	243.8
13	0.744	146.1	815.9	36.1	852.0	706.2	48.9	280.0	0.87	1.35	7.21	243.8
14	0.744	148.1	789.9	35.0	805.0	1053.6	121.2	543.4	1.37	3.48	15.51	236.8
14	0.744	148.1	789.9	35.0	805.0	1157.1	40.4	231.4	1.50	1.15	6.81	236.8

OPTIMALIZACE PARAMETRU

Typ motoru	ML636 PB	Protokol číslo	1c-TU Liberec
Vrtání (mm)	130	Datum měření	*15.12.1995*
Zdvih (mm)	150	Bar. tlak (kPa)	98.7
Počet válců	6	Vlhkost (%)	42
Kompres.poměr	11	Tepl. vzd. (°C)	22
Předstih		Obj. mot. (dm³)	11.946
Palivo	PB 80/40	Konst. clonky	10.331
Paliv. systém	Deltec- elektronické řízení		
Zapal. systém	Delco, svíčky Bosch XR 4CS		
Turbodmychadlo	CZM 3568/35.21		
Mezichladič	TUL, el. ventilátor		
Poznamky	KAT Ellos Pt		

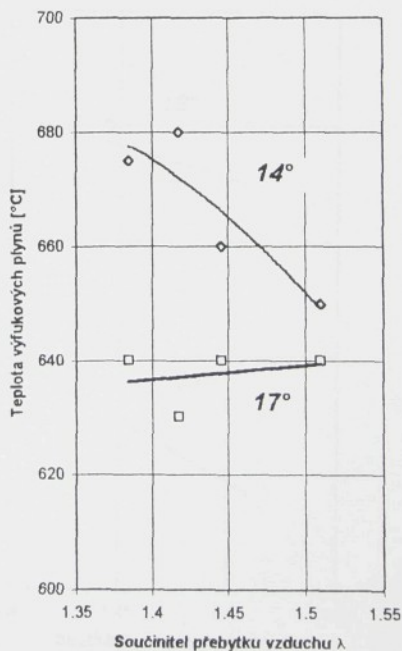
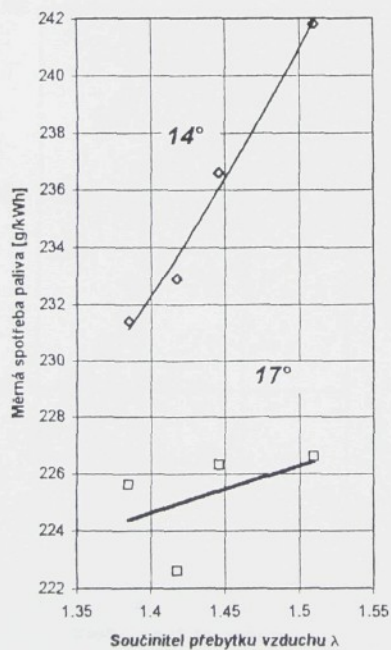
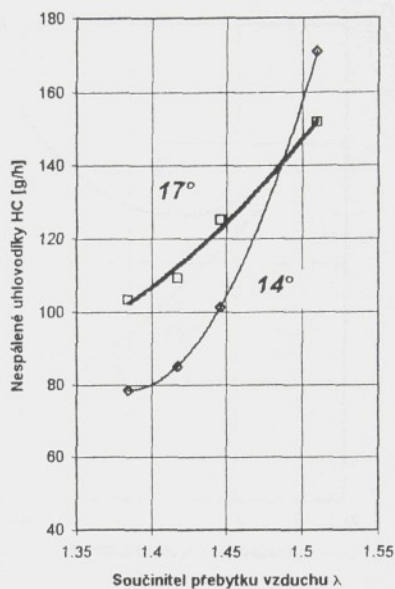
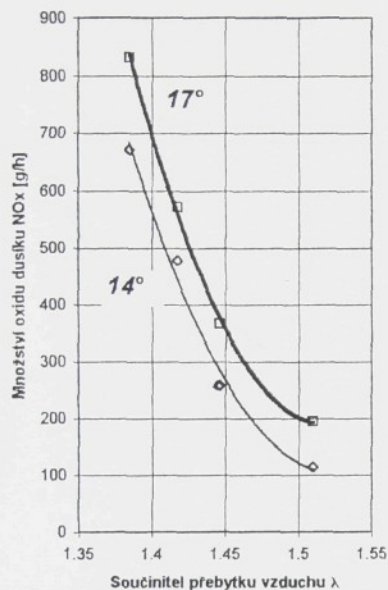
Měření

	n 1/min	Mt Nm	me g/kwh	bernda	td1 C	Bod měření	tt1 C	p zátěž pCl g/ kWh mmH2O	NOx ppm	HC ppm	CO %	FI %	MAP MPa	MAT C
15	2000	707		1.500	22	v.Kat	700	19	209	485	625	42	118	34
16	2000	707		1.500	22	n.Kat	700	19	209	165	329	42	118	34
18	2000	700		1.475	22	n.Kat	700	19	200	300	435	42	115	34
17	2000	700		1.475	22	n.Kat	700	19	200	355	120	42	115	34
16	2000	707		1.445	22	v.Kat	710	19	187	500	360	42	113	34
17	2000	707		1.445	22	n.Kat	710	19	187	535	105	42	113	34
18	2000	707		1.405	22	v.Kat	710	19	177	875	300	42	109	34
18	2000	707		1.405	22	n.Kat	710	19	177	1000	90	42	109	34
20	2000	700		1.400	22	v.Kat	690	23	168	1450	450	42	106	30
20	2000	700		1.400	22	n.Kat	690	23	168	1550	225	42	106	30
21	2000	694		1.446	22	v.Kat	685	23	179	810	465	42	106	32
21	2000	694		1.446	22	n.Kat	685	23	179	810	295	42	106	32

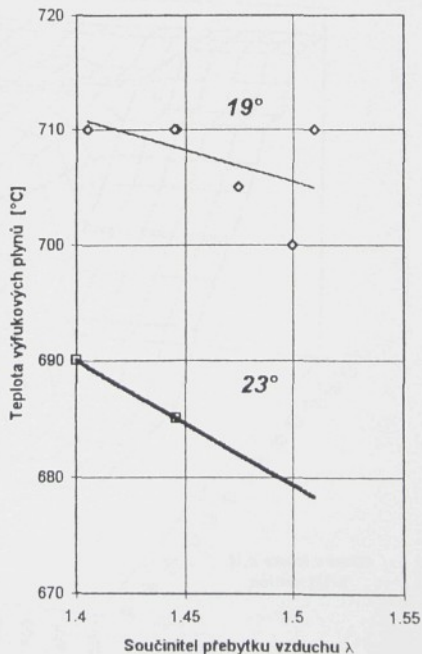
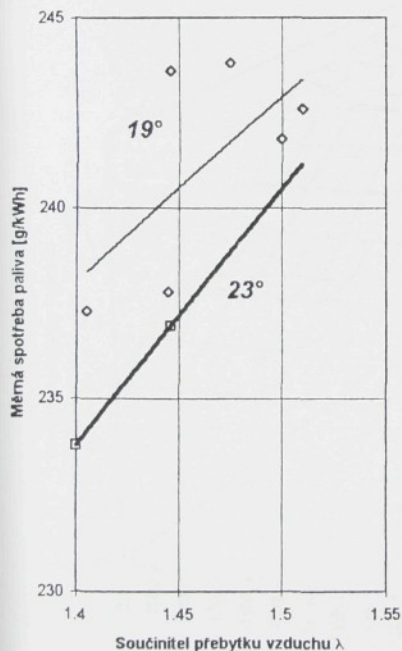
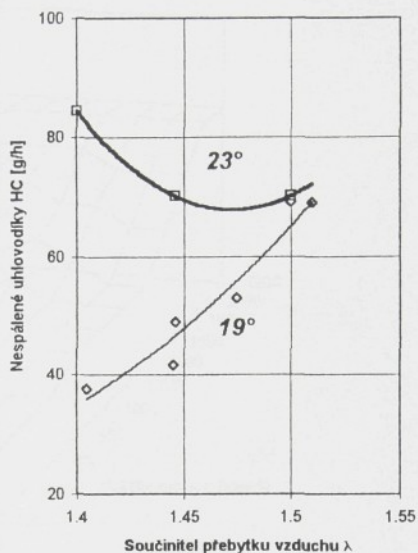
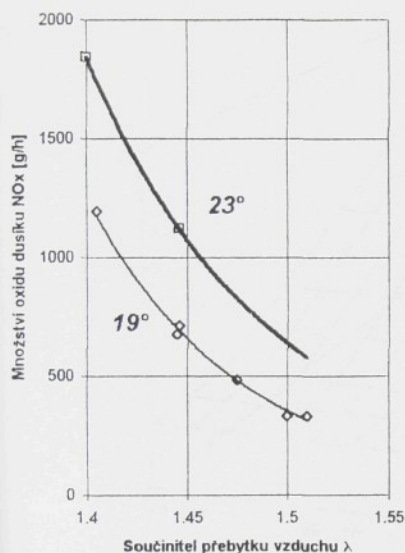
Výpočty

	pe MPa	Pj kw	Gvzd kg/h	Gpal kg/h	Gech kg/h	NOx g/h	HC g/h	CO g/h	mnNOx g/kgvzd	mHC g/kgpal	mCO g/kgpal	me g/kwh
15	0.744	148.1	840.1	35.6	875.9	265.3	207.3	487.1	0.32	5.76	13.60	241.8
15	0.744	148.1	840.1	35.6	875.9	331.8	66.1	256.4	0.39	1.93	7.18	241.8
16	0.736	146.6	822.3	35.6	857.9	398.8	178.4	516.9	0.47	5.00	14.59	243.1
18	0.736	146.6	822.3	35.6	857.9	461.1	49.2	298.8	0.56	1.38	7.57	243.1
17	0.744	148.1	795.7	35.2	830.9	628.8	143.0	544.6	0.79	4.08	15.47	237.8
17	0.744	148.1	795.7	35.2	830.9	672.8	41.7	259.4	0.65	1.18	7.37	237.8
18	0.744	148.1	774.5	35.2	809.8	1072.1	116.1	537.3	1.38	3.29	15.24	238.0
18	0.744	148.1	774.5	35.2	809.8	1225.2	34.8	230.0	1.58	0.99	6.52	238.0
20	0.736	146.6	750.5	34.3	784.8	1721.8	168.8	442.8	2.29	4.92	12.92	233.8
20	0.736	146.6	750.5	34.3	784.8	1940.5	84.4	177.7	2.45	5.18	233.8	233.8
21	0.730	145.4	778.8	34.4	813.2	987.0	160.8	479.7	1.28	5.25	13.93	236.9
21	0.730	145.4	778.8	34.4	813.2	1120.1	70.0	205.6	1.44	2.03	5.97	236.9

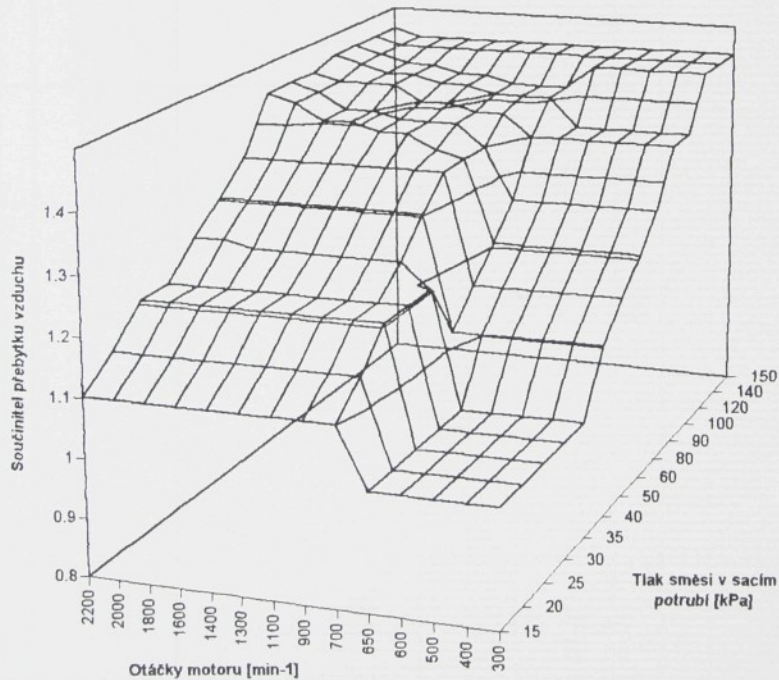
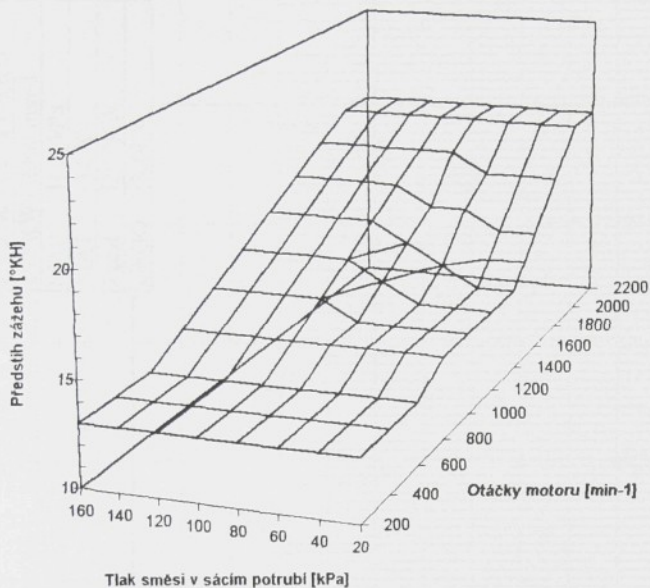
Střední efektivní tlak 0.81 MPa, otáčky motoru 1300 min⁻¹



Střední efektivní tlak 0.74 MPa, otáčky motoru 2000 min⁻¹



Průběh parametrů předstihu zážehu a součinitele přebytku vzduchu
v poli zatížení motoru



INDIKACE TLAKU

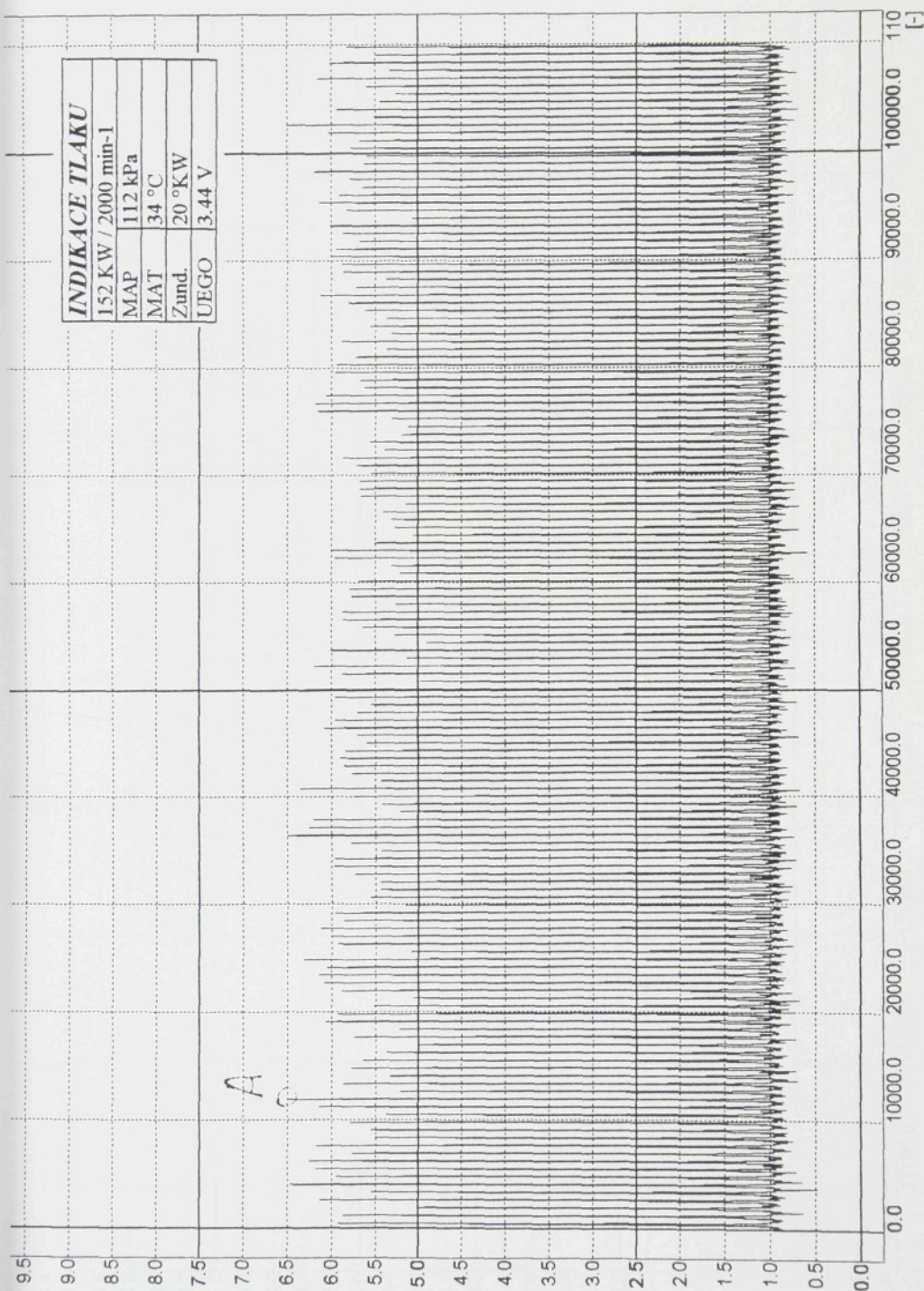
152 KW / 2000 min-1

MAP 112 kPa

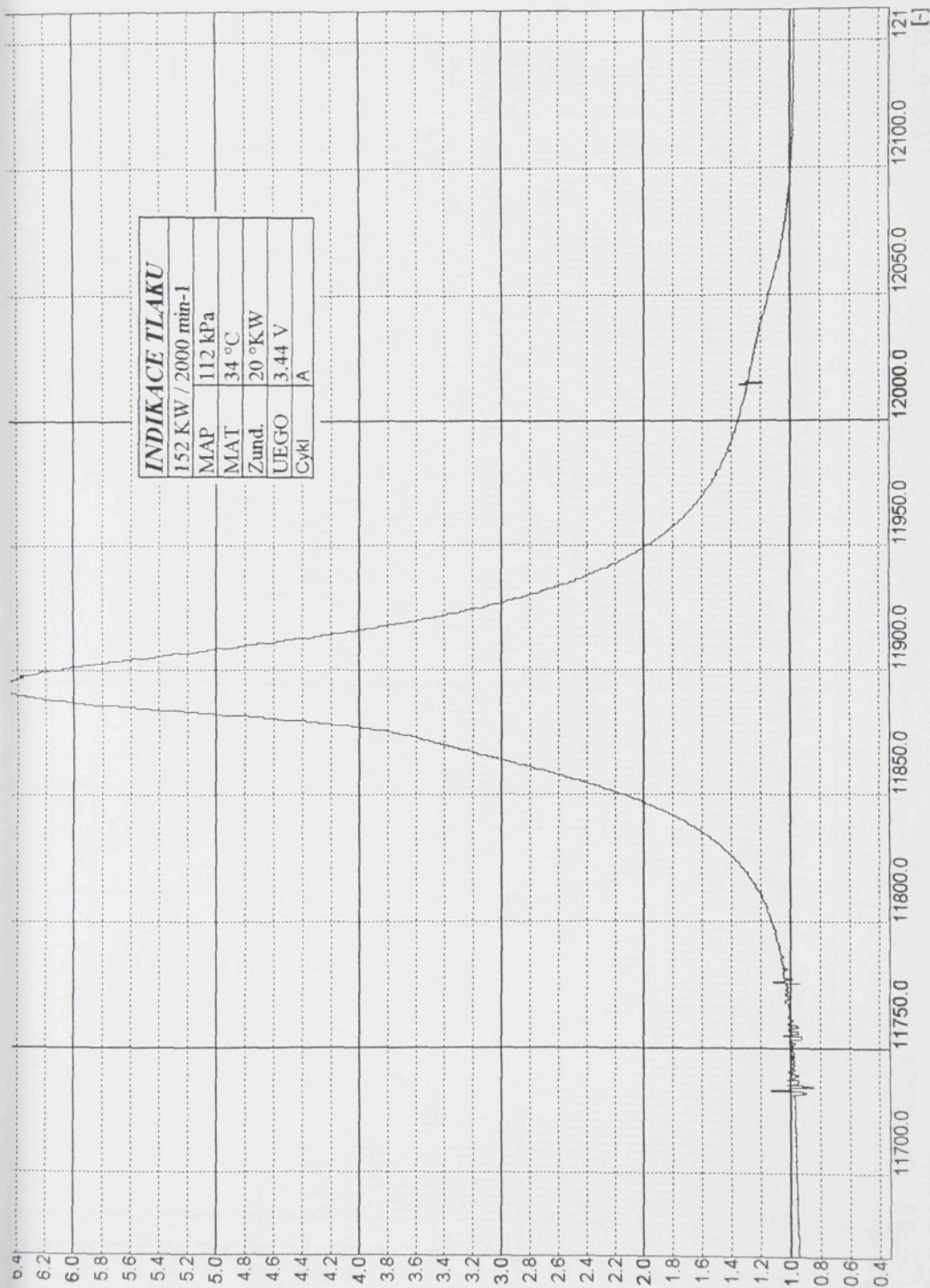
MAT 34 °C

Zund. 20 °KW

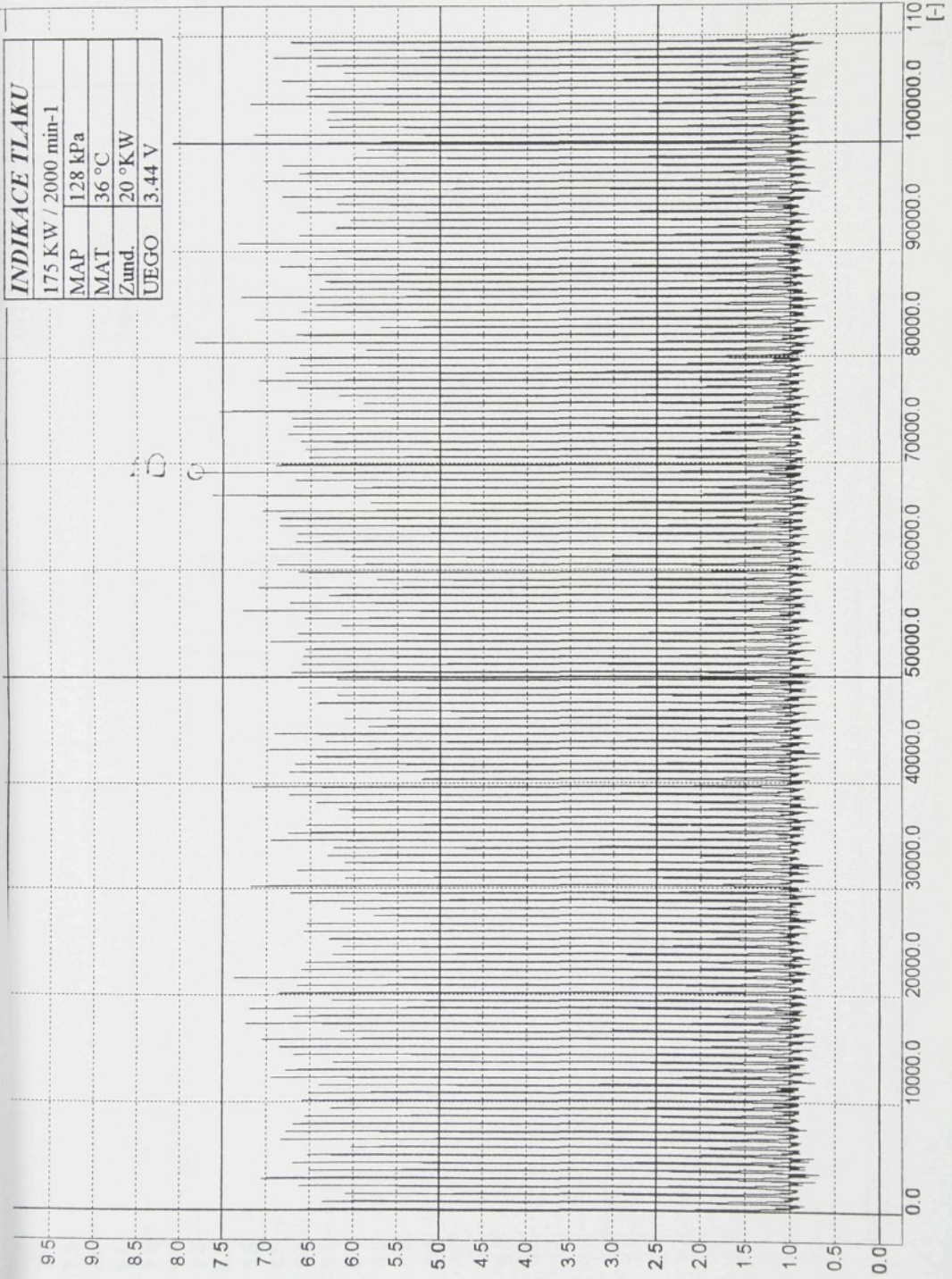
UEGO 3.44 V



INDIKACE TLAKU	
152 KW / 2000 min-1	
MAP	112 kPa
MAT	34 °C
Zund.	20 °KW
UEGO	3.44 V
Cykl	A



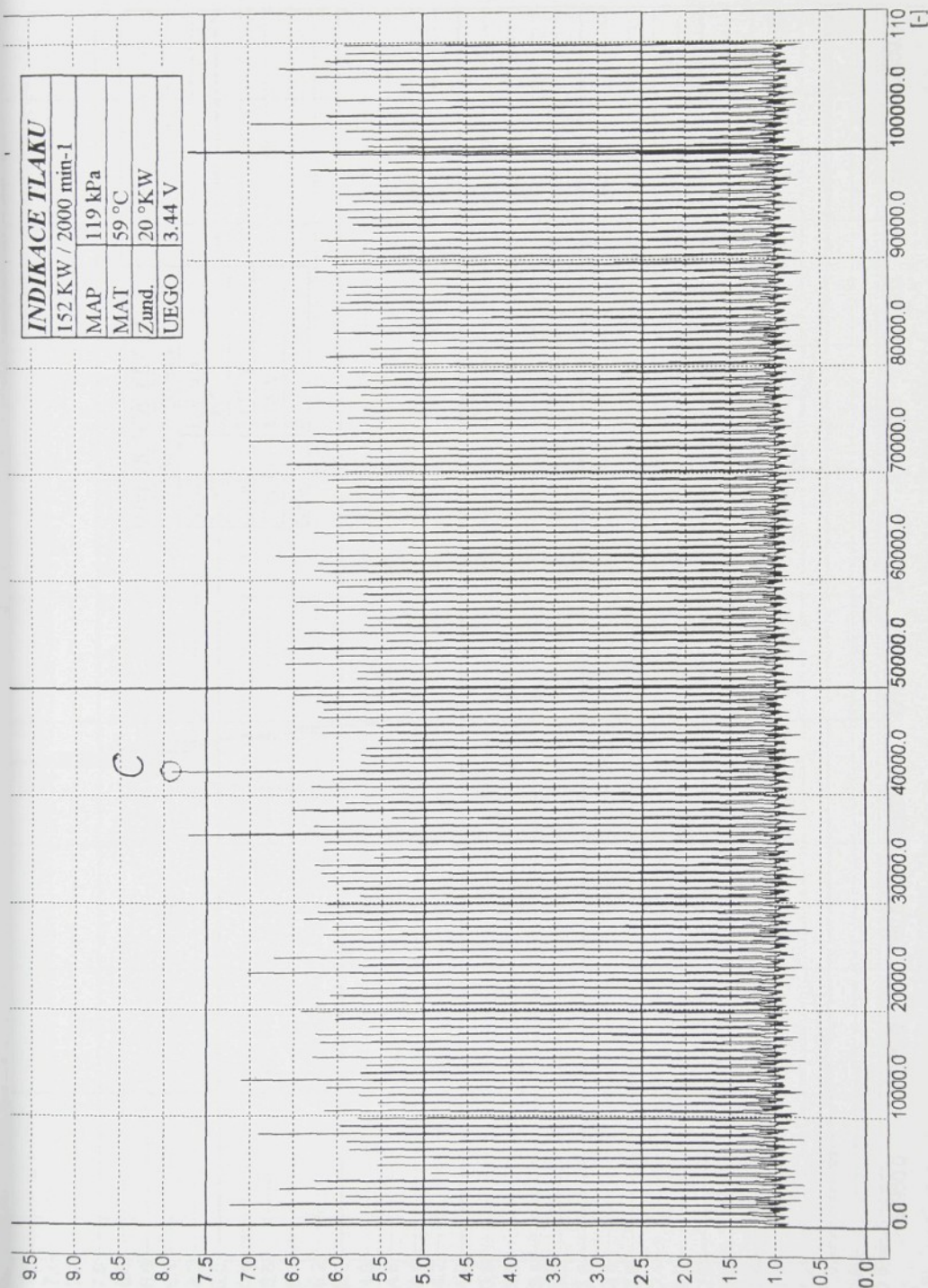
INDIKACE TLAKU	
175 KW / 2000 min-1	
MAP	128 kPa
MAT	36 °C
Zund.	20 °KW
UEGO	3.44 V

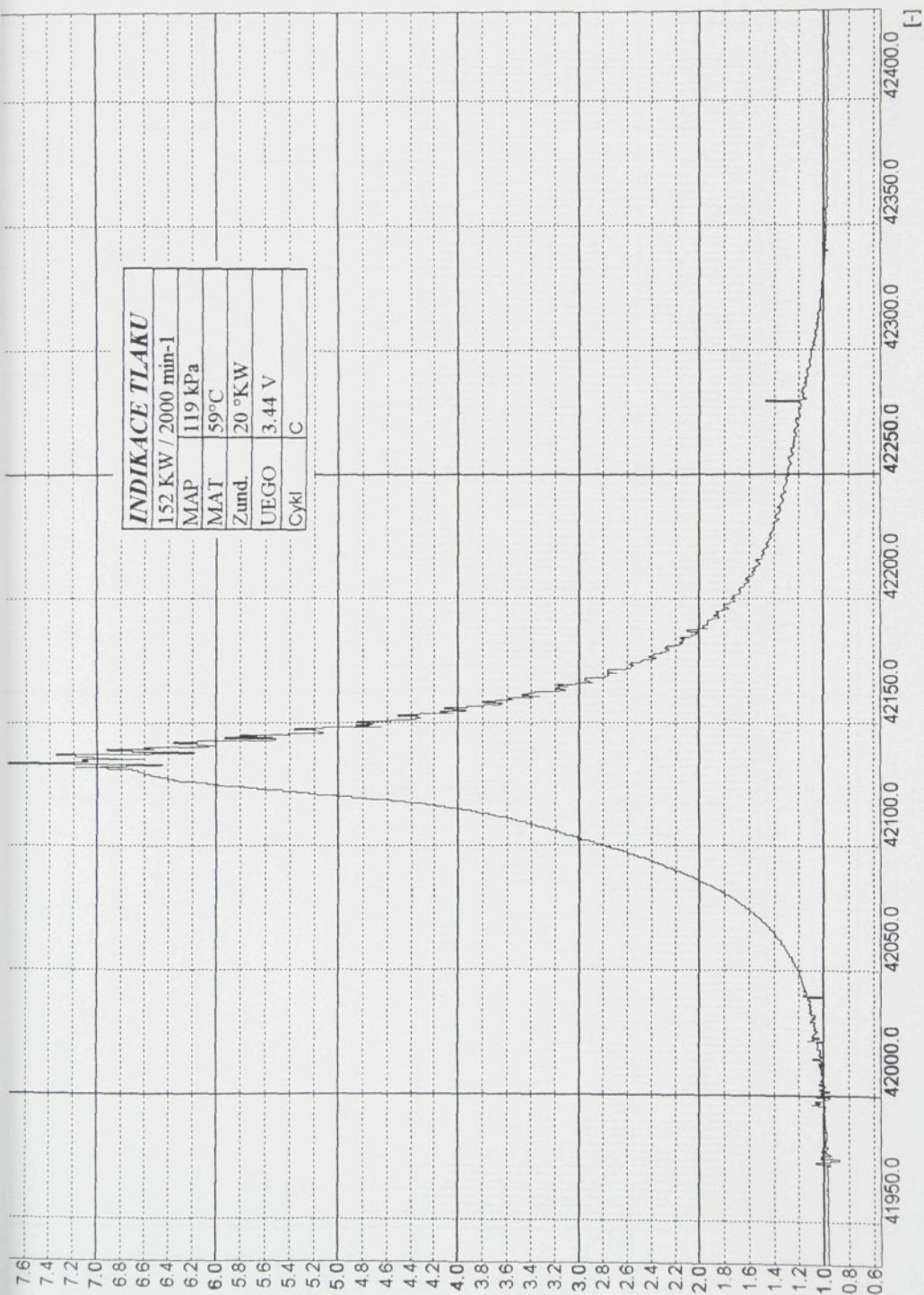


INDIKACE TLAKU	
175 KW / 2000 min-1	
MAP	128 kPa
MAT	36 °C
Zund	20 °KW
UEGO	3.44 V
Cykl	B



INDIKACE TLAKU	
152 KW / 2000 min-1	
MAP	119 kPa
MAT	59 °C
Zund.	20 °KW
UEGO	3.44 V





INDIKACE TLAKU

152 KW / 2000 min-1

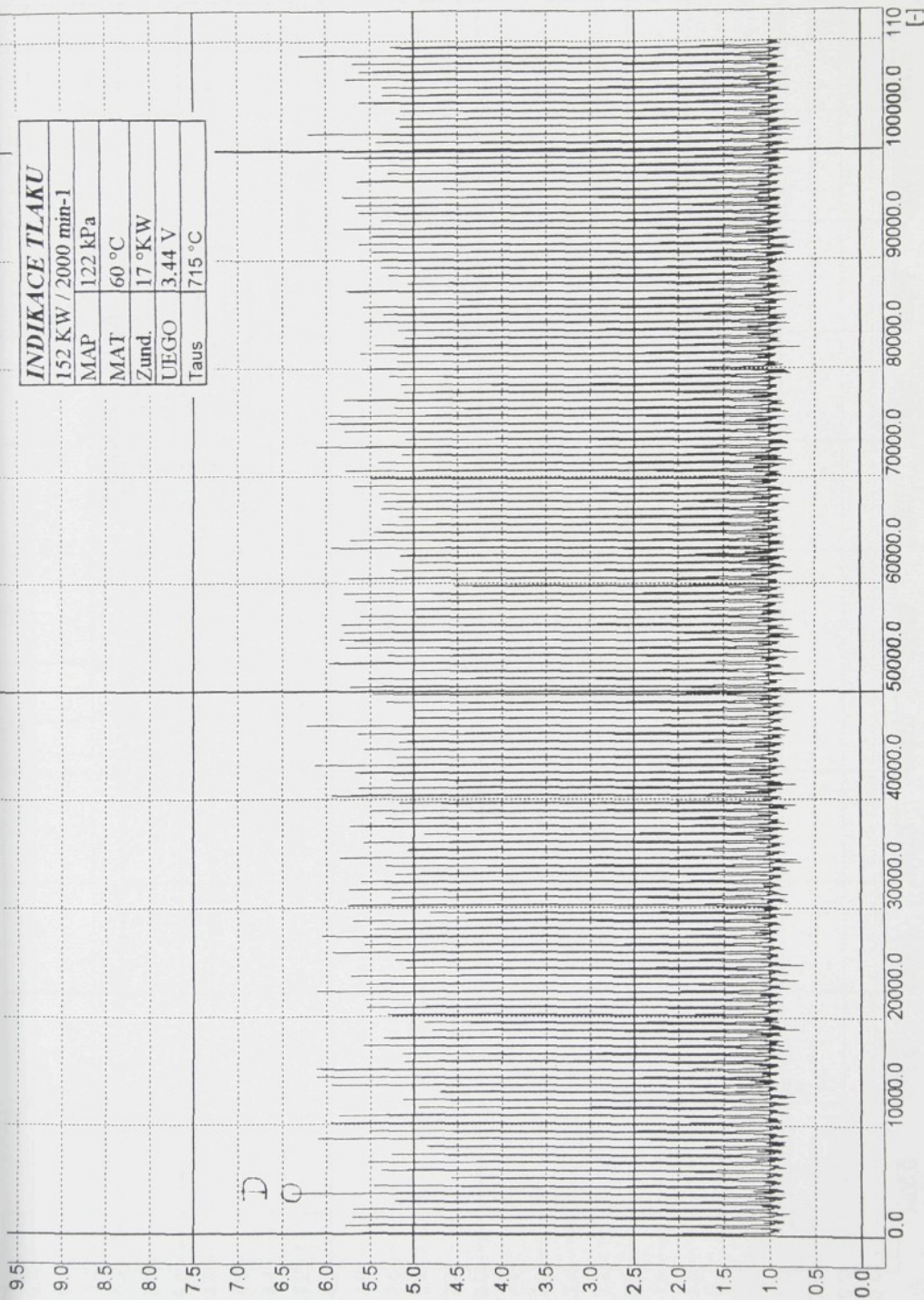
MAP 122 kPa

MAT 60 °C

Zünd. 17 °KW

UEGO 3.44 V

Taus 715 °C

D
Q

INDIKACE TLAKU

152 KW / 2000 min-1

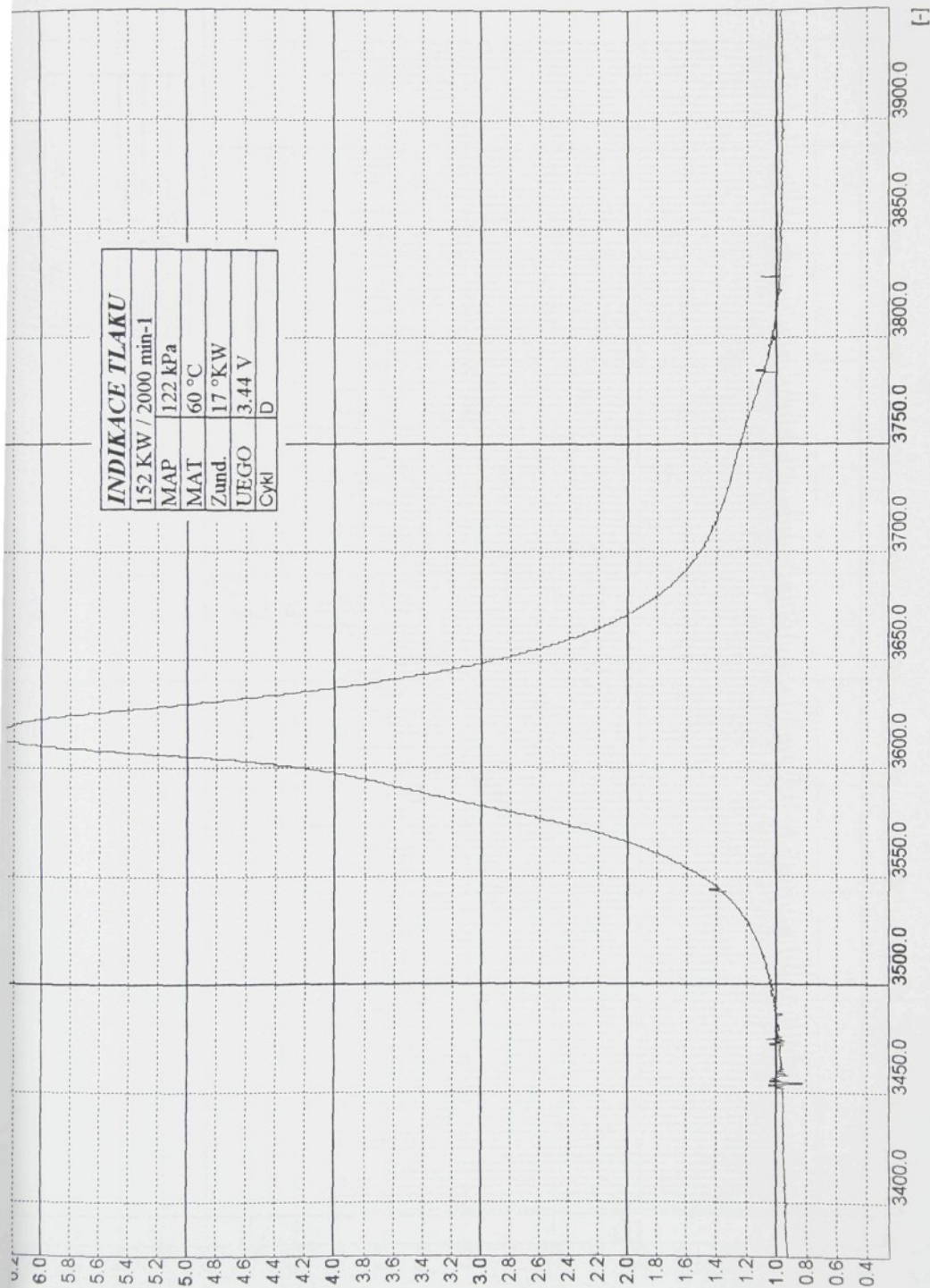
MAP 122 kPa

MAT 60 °C

Zund. 17 °KW

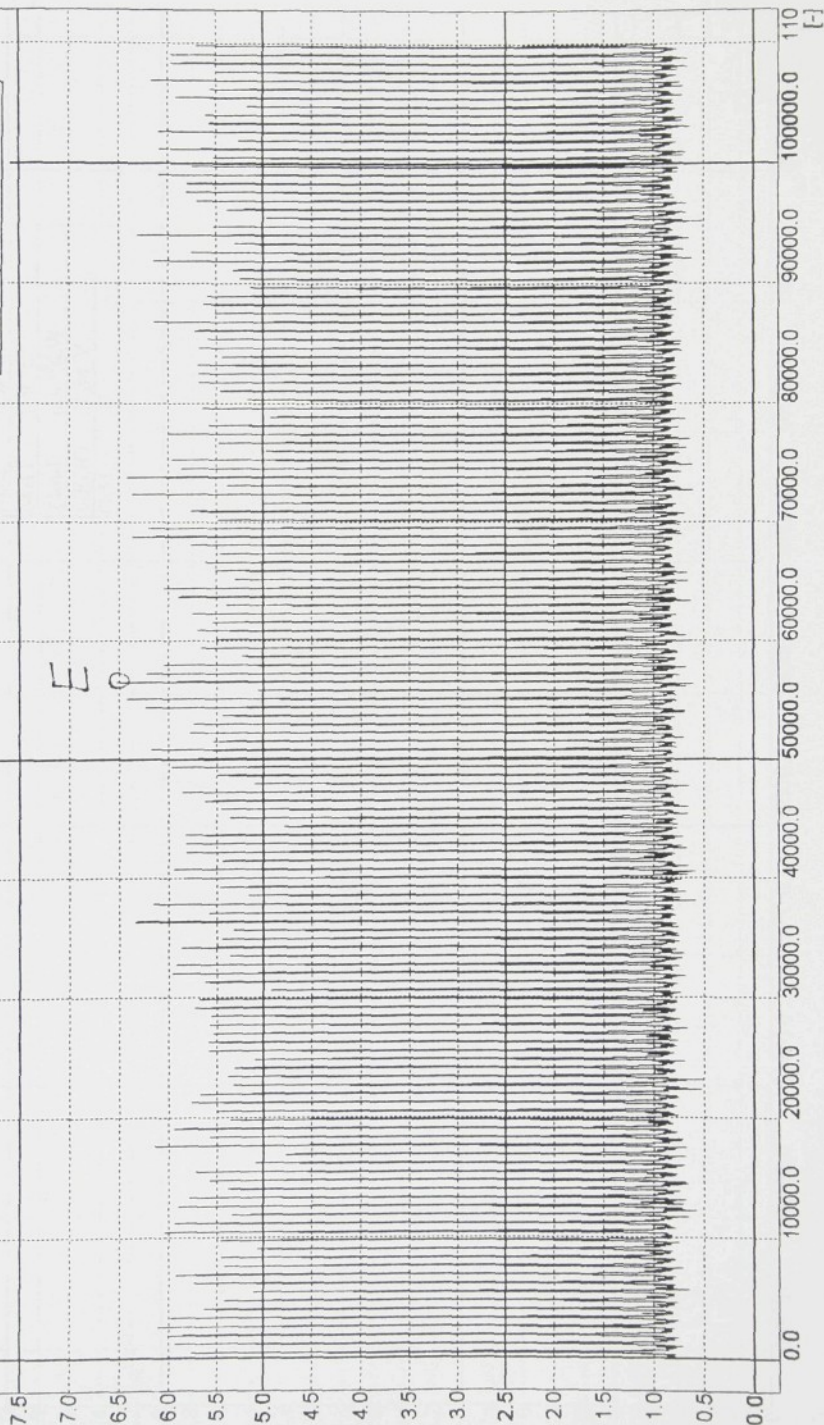
UEGO 3.44 V

Cykl D



[-]

INDIKACE TLAKU	
152 KW / 2000 min-1	
MAP	120 kPa
MAT	59 °C
Zund.	18 °KW
UEGO	3.44 V
Taus	705 °C



INDIKACE TLAKU

152 KW / 2000 min-1

MAP

120 kPa

MAT

59 °C

Zumd.

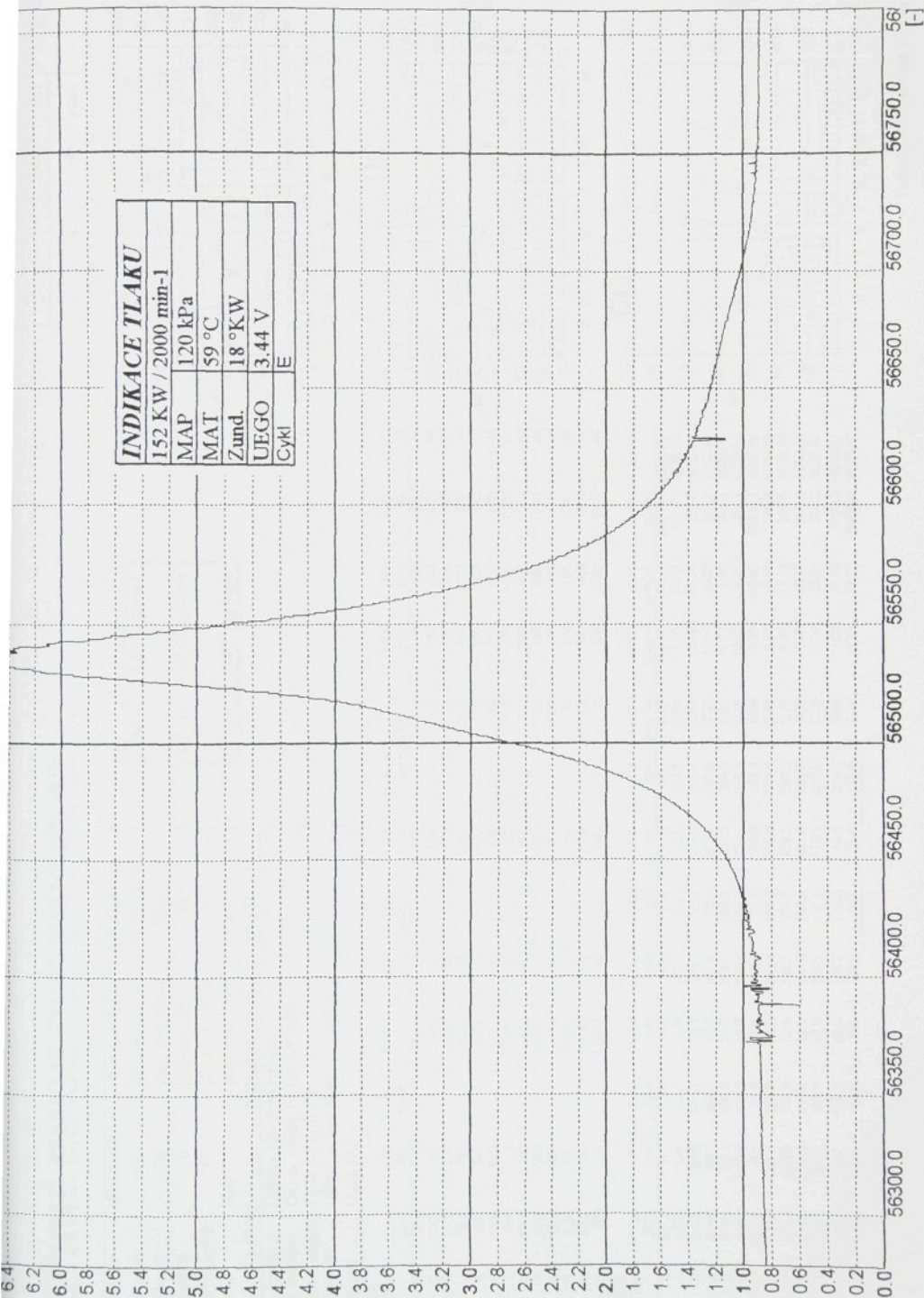
18 °KW

UEGO

3.44 V

Cykl

E

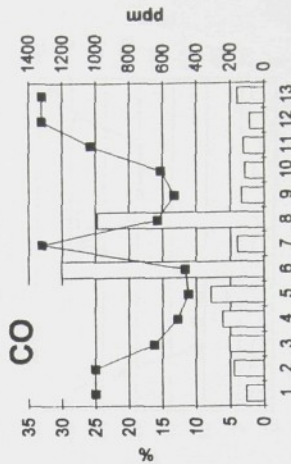
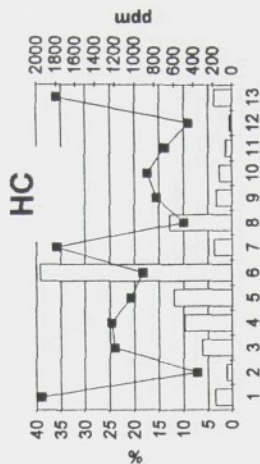
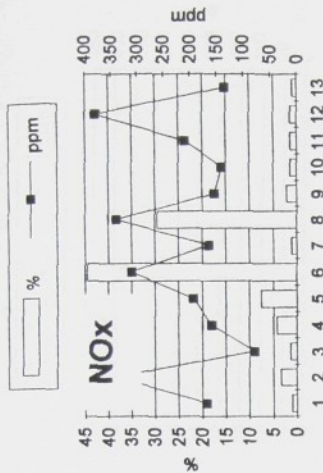


PLYNNÉ EMISE DLE EHK 49.02

Typ motoru	ML638 PB	Protokol číslo	2-TU Liberec
Vrtání (mm)	130	Datum měření	"20.12.1995"
Zdvih (mm)	150	Bar. tlak (kPa)	96,8
Počet válců	6	Vlhkost (%)	44
Kompres. poměr	11	Tepl. vzd. (°C)	20
PI-Předstih	Map	Obj. mot. (dm ³)	11,946
Palivo	PB 60/40	Konst. donky	10,331
Paliv. systém	Deltec. elektronické řízení		
Zapal. systém	Delco, svíčky Bosch XR 4CS		
Turbodmychadlo	CZM 3566/35.21		
Mezichladič	VŠST, el. ventilátor		
Poznamky	Liaz 475 mm ohne KAT		

Météri		n	Mt Nm	me g/wh	lamda	tD1 °C	Bod m/wh	tT1 °C
Bod	1/mn							
1	845	2	10000	18	430			
2	1300	40	1,1467	18	596			
3	1300	210	1,3647	18	596			
4	1300	427	1,4043	20	614			
5	1300	647	1,4452	20	628			
6	1300	800	1,4452	20	636			
7	845	2	1,0000	20	450			
8	2000	740	1,4670	20	688			
9	2000	554	1,4670	20	682			
10	2000	367	1,4318	20	670			
11	2000	194	1,3520	21	654			
12	2000	10	1,1467	21	652			
13	665	2	1,0000	20	440			

Výpočet	Bod	pe MFe	Pj kw	Gvad kg/h	Gpal kg/h	Gezh kg/h	NOx g/h	HC g/h
1	0.002	0.1	71.8	4.6	6.9	131.1	68.3	71.2
2	0.042	5.4	124.1	10.3	229.1	87.4	131.4	22.6
3	0.221	26.6	216.8	15.2	347.6	83.7	204.4	131.4
4	0.449	56.1	332.5	21.7	512.3	150.3	253.3	204.4
5	0.681	88.1	490.3	25.6	603.7	281.7	284.1	253.3
6	0.842	108.9	578.1	5.3	87.9	21.6	75.8	284.1
7	0.002	0.1	82.6	38.2	812.8	467.2	216.0	75.8
8	0.778	155.0	874.6	30.8	736.7	171.7	274.3	216.0
9	0.593	118.0	704.9	23.1	536.4	113.4	223.9	274.3
10	0.396	78.9	515.4	15.9	350.3	111.1	115.5	223.9
11	0.204	40.8	334.4	10.0	186.7	108.5	40.8	115.5
12	0.011	2.1	179.7	5.3	87.9	21.6	75.8	40.8
13	0.002	0.1	82.6	5.3	87.9	21.6	75.8	75.8



Technická univerzita v Liberci

PLYNNÉ EMISE DLE EHK 49.02

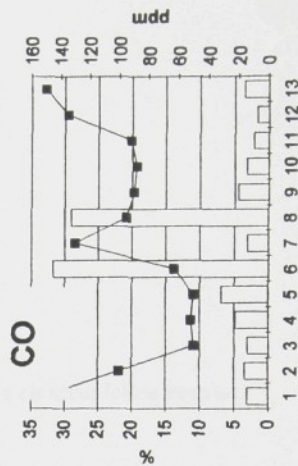
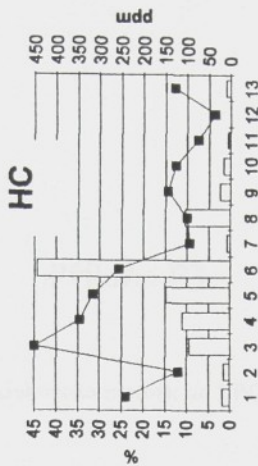
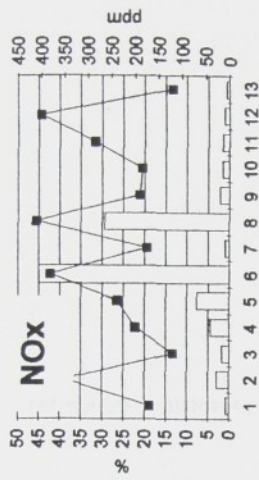
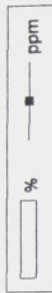
Typ motoru	ML536 PB	Protokol číslo	2-TU Liberec
Vrtání (mm)	130	Datum měření	"20.12.1995"
Zdvih (mm)	150	Bar. tlak (kPa)	96,8
Počet válců	6	Vlhkost (%)	44
Kompres. poměr	11	Tepl. vzd (°C)	20
Předstřih	Map	Obj. mot. (dm3)	11.946
Palivo	PB 80/40	Obj. mot. (dm3)	15,6
Paliv. systém	Deltec- elektronická řízení	Konst. clonky	10.331
Zapal. systém	Delco, svíčky Bosch XR 4CS		
Turbodmychadlo	CZM 3566/35.21		
Mezichladič	VŠST, el. ventilátor	Liaz 475 mm	
Poznamky	KAT Ellos Pd-Cu		

Měření

Bod	n 1/min	Mt Nm	me g/kwh	lambda	id1 °C	Bod m/ten	ti1 °C	pŠeni pCi bar mmH2O	NOx ppm	HC ppm	CO %	FI %
1	845	2		1,0000	18		430	1,5	170	230	150	44
2	1300	40	1,1467	19	596		596	4,5	350	120	100	44
3	1300	210	1,3647	19	596		596	14	120	450	50	44
4	1300	427	1,4043	20	614		614	32,5	200	345	52	44
5	1300	647	1,4452	20	626		626	71	238	315	50	44
6	1300	800	1,4452	20	636		636	99	390	256	63	44
7	845	2	1,0000	20	450		450	2	175	94	130	44
8	2000	740	1,4670	20	696		696	230	410	99	95	44
9	2000	554	1,4670	20	682		682	148	190	144	90	44
10	2000	367	1,4318	20	670		670	78,5	185	126	88	44
11	2000	194	1,3520	21	654		654	33	285	75	92	44
12	2000	10	1,1467	21	652		652	8,5	400	36	135	44
13	665	2	1,0000	20	440		440	2	120	129	150	44

Výpočty

Bod	pe MPa	Pj kw	Gvzd kg/h	Gpal kg/h	Gexh kg/h	NOx g/h	HC g/h	CO g/h	mNOx g/kgpal	mHC g/kgpal	mCO g/kgpal	me g/kwh	Lambda
1	0,002	0,1	71,8	4,8	78,4	18,1	8,8	8,8	0,27	1,90	2,12	34077,8	IDELOJ
2	0,042	5,4	124,1	6,9	131,1	66,3	7,5	11,4	0,95	1,06	1,84	1274,4	IDELOJ
3	0,221	26,6	216,8	10,3	228,1	41,1	49,3	10,1	0,19	4,79	0,98	359,8	IDELOJ
4	0,449	58,1	332,5	15,2	347,6	104,6	57,3	16,0	0,31	3,78	1,05	261,1	IDELOJ
5	0,661	88,1	490,3	21,7	512,1	183,4	77,1	22,7	0,37	3,55	1,04	246,9	IDELOJ
6	0,842	106,9	578,1	25,6	603,7	345,3	73,9	33,7	0,80	2,88	1,32	235,4	IDELOJ
7	0,002	0,1	82,6	5,3	87,9	22,8	4,0	9,7	0,28	1,13	1,84	36204,1	IDELOJ
8	0,778	155,0	874,6	36,2	912,8	593,4	43,2	77,0	0,64	1,13	2,01	246,8	IDELOJ
9	0,593	116,0	704,9	30,8	735,7	210,4	50,6	58,8	0,30	1,64	1,91	295,5	IDELOJ
10	0,396	76,9	515,4	23,1	538,4	148,9	32,4	42,0	0,28	1,41	1,82	300,2	IDELOJ
11	0,204	40,6	334,4	15,9	350,3	150,7	12,6	28,4	0,45	0,79	1,79	380,2	IDELOJ
12	0,011	2,1	179,7	10,0	189,7	114,2	3,3	22,2	0,64	0,33	2,21	4795,2	IDELOJ
13	0,002	0,1	82,6	5,3	87,9	15,7	5,4	11,2	0,19	1,02	2,12	38605,6	IDELOJ



Příloha P3

Optimalizace pístového zážehového motoru na LPG s elektronickou regulací

Souhrn: Jedná se o publikovaný článek ve sborníku III. Mezinárodní konference MEKOAUTO '96 ve Vyhne, NMC v roce 1996.

V článku se blíže popisují jednotlivé funkce elektronického systému zážehového přeplňovaného motoru ML 636PB, způsob víceparametrové optimalizace vstupních parametrů a jejich 3-D vyjádření v tabulkách předstihu zážehu a součiniteli přebytku vzduchu.

Popisuje se zde použitý způsob zjišťování náchylnosti k detonačnímu spalování, který spočívá v analýze změřeného průběhu tlaku ve válci (vyhodnocení hodnot maxim jeho třetí derivace v souboru 150 cyklů).

Výsledky 13-ti bodového testu měření plynných emisí výfukových plynů podle EHK č.49 jsou porovnány se stávající a předpokládanou budoucí legislativou.

OPTIMALIZACE PÍSTOVÉHO ZÁŽEHOVÉHO MOTORU NA LPG S ELEKTRONICKOU REGULACÍ.

Ing. Celestýn Scholz, TU v Liberci.

Příspěvek pojednává o výzkumně-vývojovém projektu zabývajícím se přestavbou plynového zážehového motoru na propan-butan mechanicky regulovaného na motor s elektronickou víceparametrovou regulací. Bylo použito elektronického řídicího systému Deltec umožňujícího regulaci bohatosti směsi, předstihu zapalování, otáček vonoběhu, korekce na teplotu vzduchu a paliva a funkce stop ventilu při deceleraci vozidla. Po přestavbě byl motor optimalizován z hlediska minimálních plyných emisí a spotřeb paliva a odpovídající údaje bohatosti směsi a předstihu zapalování byly naprogramovány do paměti elektronické řídicí jednotky. Motor byl zastaven do městského autobusu, kde probíhá ověřování v provozu.

Projekt vznikl na základě příznivých ekologických a provozních výsledků spalovacího motoru ML 636 PB v městských autobusech provozovaných dopravním podnikem měst Mostu a Litvínova (DPMML) a jeho cílem bylo dosáhnout další zlepšení ekologických a provozních parametrů. Na projektu se účastnilo více organizací: vedle Technické Univerzity v Liberci (TUL) a fy. Deltec Fuel Systems BV Rotterdam, také výrobce autobusů na LPG fa. Krušnohorské Strojírny Komořany a.s. (KSK) a uživatel autobusů na LPG fa. Dopravní podnik měst Mostu a Litvínova (DPMML). Ve fázích planování, přestavby a zkoušek motoru a autobusu se podílel široký okruh pracovníků, zejména pak pánové:

Doc.Beroun, Ing.Rutkovský, Ing.Machián, Ing.Ginzel, Ing.Šturma, M.Myška (všichni TUL), Ing.Jordan (Deltec), Ing.Tuček, K.Beneš, M.Šoltys (všichni DPMML), J.Kyndl, J.Cingel (oba KSK), kterým všem patří dík.

1. ÚVOD

Zážehové spalovací motory používající jako palivo zkapalnělý plyn propan-butan (LPG) nebo stlačený zemní plyn (CNG) nacházejí v posledních letech stále širšího uplatnění zejména pak u hromadných dopravních prostředků provozovaných v centrech měst nebo v oblastech s velkou koncentrací emisí v ovzduší. Nahrazují zde vznětové motory obzvláště v městských

autobusech díky tomu, že při spalování plynu nevznikají ve výfukových plynech téměř žádné částice (PT). Právě tlak zákonodárců na snižování emisí částic, jakož i tlak laické veřejnosti proti jejich viditelné formě známé pod pojmem kouřivost, jsou důvodem stále klesajícího použití vznětových motorů v oblastech kde se požadují extrémně vysoké požadavky na čistotu ovzduší. Co se týče plynných škodlivin (NO_x , HC, CO) je situace příznivější pro vznětové motory, pokud zážehové motory neseřídíme na velmi chudou směs, nebo výfukové plyny nepodrobíme dodatečné přeměně v katalyzátoru.

Současný stav vývoje ve světě ukazuje, že plynové motory vznikají převážně konverzí klasického vznětového motoru, jehož díly jsou vyráběny ve velkých sériích. Při přestavbě se dává přednost zážehovému způsobu zapálení směsi plynu se vzduchem a to ve dvou zásadně odlišných koncepcích. Ke smíšení paliva se vzduchem obě koncepce používají zatím klasického směšovače. Systémy používající vefukování plynu tryskou přímo do sacího potrubí, jsou ve stádiu vývoje a v praxi zatím ojedinělé.

První koncept používá ke spalování směs plynného paliva se vzduchem ve stechiometrickém poměru, t.j. se součinitelem přebytku vzduchu $\lambda = 1$. Ke splnění povolených limitů plynných emisí je nezbytné použít 3-cestný katalyzátor s uzavřenou elektronickou regulací stechiometrického poměru složení směsi pomocí lambda sondy. Tato technologie byla vyvinuta původně pro menší zážehové benzinové motory osobních automobilů, kde se používá v masovém měřítku. Zdánlivě jednoduché řešení je však komplikováno s řadou problémů spojených, jednak s vyšším teplotním namáháním dílů než je obvyklé u vznětových motorů, jednak s ochranou před poškozením třicestného katalyzátoru.

Druhý koncept používá ke spalování chudou směs paliva se vzduchem, t.j. se součinitelem přebytku vzduchu $\lambda > 1$, konkrétně v mezích 1,3 až 1,6. Plynné emise oxidu dusíku (NO_x) se tak podstatně sníží a emise uhlovodíků (HC) a oxidu uhelnatého (CO) jsou na hranici povoleného limitu, nebo se k jejich redukci použije oxidační katalyzátor. Výhodou je, že použití oxidačního katalyzátoru zde nenaráží na problém obsahu síry v palivu, jak tomu je u vznětových motorů. S rozvojem elektronických regulací, zejména u motorů pro silniční vozidla, začíná i tento systém v poslední době používat elektronickou regulaci složení směsi a předstihu zážehu v závislosti na otáčkách a zatížení. Pro režim volnoběhu se pak s výhodou může použít uzavřeného okruhu s lambda sondou pro dodržení stechiometrického poměru složení směsi vzhledem a tím docílení vyšší pravidelnosti chodu. Takovýto elektronický systém potom spojuje výhody obou konceptů a proto byl v projektu použit.

2. FUNKCE ELEKTRONICKÉHO SYSTÉMU

Elektronický systém Deltec je po určitých úpravách připojitelný na dosavadní mechanický regulační systém. Jednotlivé funkce spočívají v regulaci a nastavení:

- bohatosti směsi paliva se vzduchem
- předstihu zážehu
- volnoběžných otáček
- korekci v závislosti na teplotě vzduchu a paliva
- stop ventilu přívodu paliva do směšovače při deceleraci vozidla.

2.1. Regulace bohatosti směsi

Regulace bohatosti směsi paliva se vzduchem je základním principem systému Deltec. Ten se skládá ze dvou regulačních okruhů: - uzavřeného okruhu pro volnoběžné otáčky

- otevřeného okruhu pro provozní otáčky

Uzavřený okruh regulace se stechiometrickým složením směsi vzduchu k palivu $\lambda = 1$ slouží pro oblast volnoběžných otáček motoru. Z regulátoru tlaku plynu se otevřeným volnoběžným ventilem přivádí plyn k vedlejšímu ventilu plynu, který je řízen krokovacím motorkem. Odtud se vede plyn do potrubí přímo před škrťací klapku. Regulace stechiometrického složení směsi paliva se vzduchem při volnoběhu je prováděna automaticky tím, že krokovacím motorkem ovládaný vedlejší ventil dává množství paliva podle údajů vyhřívané lambda sondy umístěné ve výfukovém potrubí za turbodmychadlem. Hlavní funkci zde má elektronická řídicí jednotka, která vyhodnocuje údaje lambda sondy a elektricky ovládá krokovací motorek.

Otevřený okruh regulace s naprogramovatelnou velikostí bohatosti směsi ($\lambda > 1$) slouží pro oblast pracovních otáček motoru při plném i částečném zatížení. Z regulátoru je veden plyn přes stop ventil k hlavnímu ventilu plynu řízeného krokovacím motorkem v rozmezí kroků od 0 do 255. Za ventilem je pak přívod do směšovače. Regulace bohatosti směsi je prováděna tím, že krokovacím motorkem ovládaný hlavní ventil plynu řídí přiváděné množství paliva podle předem naprogramovaných hodnot. Naprogramované hodnoty jsou uloženy ve výměnném paměťovém bloku EPROM elektronické řídicí jednotky a to v diskrétní závislosti na dvou parametrech (otáčkách motoru měřených čidlem umístěným proti zářezům na setrvačniku a tlaku směsi snímaném čidlem umístěným v sacím potrubí). V křížové pomocné tabulce těchto hodnot představuje každý řádek hodnoty při konstantních otáčkách (RPM), které jsou uvedeny v levé části tabulky (např. 300 až 2300 min⁻¹). Hodnota otáček se může zadat nebo editovat tím, že po vyvolání adresy příslušného řádku v kalkulátoru DATAMAN

spojeného s blokem EPROM změním kódované číslo otáček v hexagonální soustavě. Podobně každý sloupec představuje hodnoty při konstantním absolutním tlaku směsi v sacím potrubí, které jsou uvedeny v horní části tabulky (např. 15 až 160 kPa). Každému tlaku směsi v sacím potrubí při určitých otáčkách odpovídá pevně naprogramovaná hodnota polohy krokovacího motoru, která pro konkrétní motor představuje určitou bohatost směsi podle součinitele přebytku vzduchu λ . Pokud je třeba změnit při určitém režimu bohatost směsi, změní se ve spojení s kalkulátorem DATAMAN na příslušné adrese hex. číslo, které odpovídá počtu kroků krokovacího motoru.

2.2. Regulace předstihu zapalování

Regulace předstihu zapalování umožňuje nastavit pro každý provozní bod, daný otáčkami a zatížením, libovolný předstih zážehu doporučený optimalizačními měřeními. Naprogramované hodnoty jsou uloženy ve výměnném paměťovém bloku EPROM elektronické řídicí jednotky a to v diskrétní závislosti opět na dvou parametrech (otáčkách a tlaku směsi v sacím potrubí). Opět pomocí další křížové tabulky ve spojení s kalkulátorem DATAMAN se ukládají zakódované hodnoty předstihu zapalování v pootočení klikového hřídele před horní úvrati válce, které byly doporučeny z optimalizačních zkoušek motoru. Pokud bude v budoucnosti třeba změnit při určitém režimu předstih zážehu, změní se opět na příslušné adrese číslo v hexagonální soustavě.

2.3. Regulace volnoběžných otáček

Regulace volnoběžných otáček zajišťuje jejich stabilitu kolem naprogramované hodnoty bez ohledu na okolní rušivé vlivy. Z tělesa škrtkové klapky je před zavřenou klapkou odváděna směs plynu se vzduchem by-passem přímo do sacího potrubí. Množství směsi je regulováno řídicím ventilem v závislosti na změně volnoběžných otáček.

2.4. Korekce v závislosti na teplotě vzduchu a paliva

V závislosti na teplotě vzduchu a paliva, které jsou měřeny čidly umístěnými v potrubí za mezichladičem plicního vzduchu a v přívodu plynu před směšovačem, můžeme korigovat jak množství plynu, tak i předstih zážehu. Korekce předstihu zážehu na teplotě vzduchu se hlavně používá v horním rozsahu otáček jako záruka bezdetonačního spalování. Ve výměnném paměťovém bloku EPROM elektronické řídicí jednotky jsou naprogramované hodnoty předstihu zážehu v závislosti na otáčkách a teplotě vzduchu. Se zvyšující teplotou vzduchu se obvykle doporučuje snížení předstihu zážehu.

2.5. Stop ventil paliva při deceleraci vozidla

Stop ventil paliva uzavírá hlavní přívod plynu z regulátoru do směšovače během decelerace vozidla a při parkování vozidla. Je ovládán tlakovým vzduchem přiváděným hadicí

od třicestného ventilu, který je řízen elektronickým systémem. Tlakový vzduch je přiváděn z tlakového systému vozidla jehož součásti jsou i brzdy a otevírání dveří.

3. ZÁSTAVBA ELEKTRONICKÉHO SYSTÉMU

Pro zástavbu elektronického systému byl použit motor ML 636 PB s mechanickou regulací polohy škrtící klapky pomocí tlakové korekce. Motor byl osazen písty s kompresní poměrem $\varepsilon = 10.8$ a upravenou hlavou válců pro zabudování piezoelektrického snímače tlaku k měření průběhu tlaku ve válci. Dále byl upraven regulátor tlaku plynu a směšovač, které spolu s novými díly byly namontovány na motor. Ovládací ventily, čidla a elektronické zapalování Delco byly propojeny s elektronickou řídicí jednotkou Deltec, která byla spojena s počítačem PC Laptop a kalkulátorem DATAMAN

PC Laptop slouží k diagnostice systému při optimalizačních zkouškách na brzdovém stanovišti, při údržbě motoru ve vozidle a to i za jízdy. Na monitoru jsou zobrazovány hodnoty vybraných parametrů jako jsou: otáčky motoru, tlak směsi v sacím potrubí, poloha škrtící klapky, teplota vzduchu za mezichladičem, teplota paliva, poloha krokovacího motoru, napětí baterie, předstih zážehu, hodnoty hlášení FLAG o defektech a špatných funkcích systému v bitech dvojkové soustavy.

Kalkulátor DATAMAN slouží, jak již bylo uvedeno, k programování a editaci kodovaných hodnot v hexagonální číselné soustavě v EPROMu elektronické řídicí jednotky.

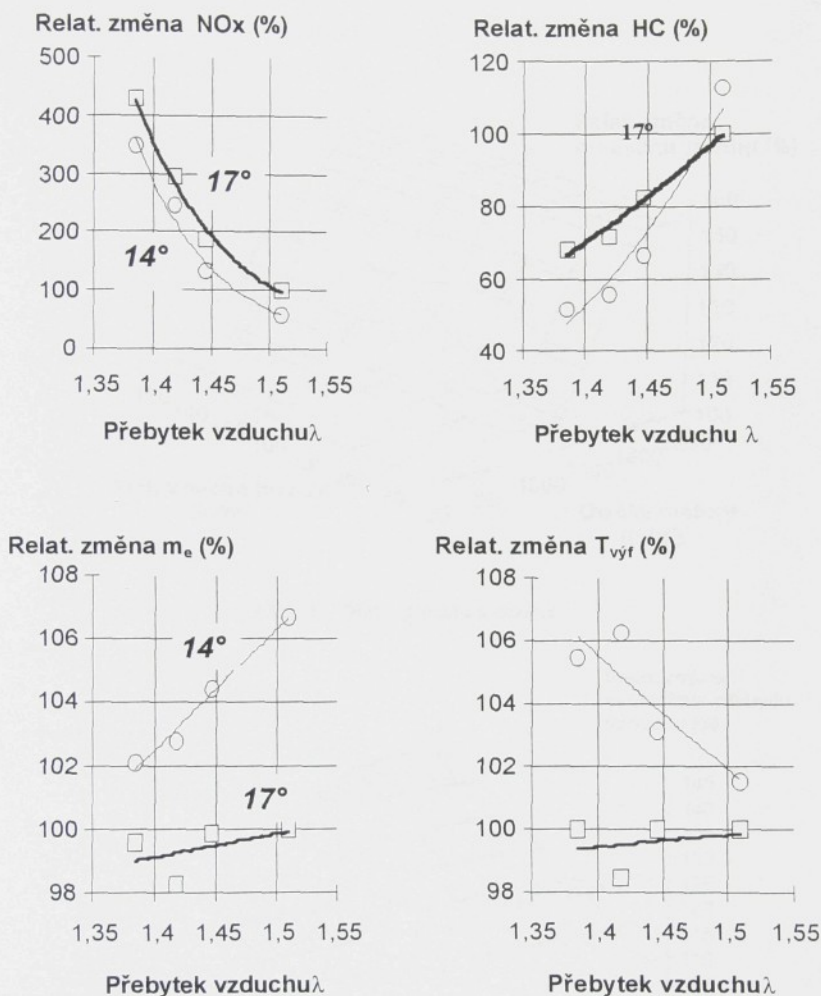
4. OPTIMALIZACE PARAMETRŮ MOTORU

Během roku 1995 byla provedena rozsáhlá optimalizace seřizovacích parametrů motoru (bohatosti směsi a předstihu zážehu) s cílem dosáhnout ekologického předpisu EURO 3 při nízké spotřebě paliva.

Při této práci bylo plně využito předností elektronického regulačního systému, který umožňuje měnit předstih zážehu a bohatost směsi za chodu motoru. Ve výfukovém potrubí byl zabudován vedle lambda sondy, odběr pro měření plynných emisí CO , HC a NO_x a senzor UEGO pro měření bohatosti směsi. Dále bylo použito podpory počítačového systému pro měření a vyhodnocení průběhů tlaků ve válci motoru.

Z provedených měření vyplynulo, že lze dosáhnout splnění emisí v připravovaném předpisu EURO 3 (za předpokladu stacionárního 13-bodového testu s limity $\text{CO} = 2 \text{ g/kWh}$, $\text{HC} = 0.7 \text{ g/kWh}$ a $\text{NO}_x = 5 \text{ g/kWh}$) pouze s použitím vhodného oxidačního katalyzátoru. Ten díky redukci plynných složek emisí uhlovodíků (HC) a oxidu uhelnatého (CO) umožní takové seřízení motoru, které vedle splnění limitů ekologie zaručuje i nízkou spotřebu paliva. Seřízení spočívá ve vyšším předstihu zážehu s určitou rezervou vůči klepání (detonacím) při teplotách

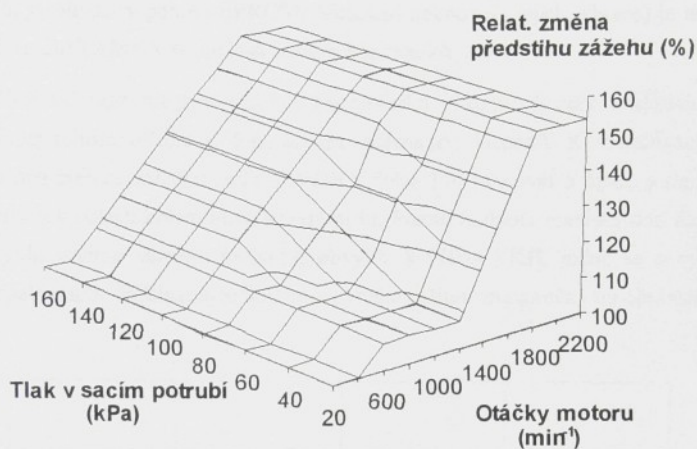
výfukových plynů nepřevyšujících 700°C a chudší směsi paliva pro dosažení nízkých oxidů dusíku (NO_x). Na obrázku 1 je naznačena optimalizace jednoho provozního bodu.



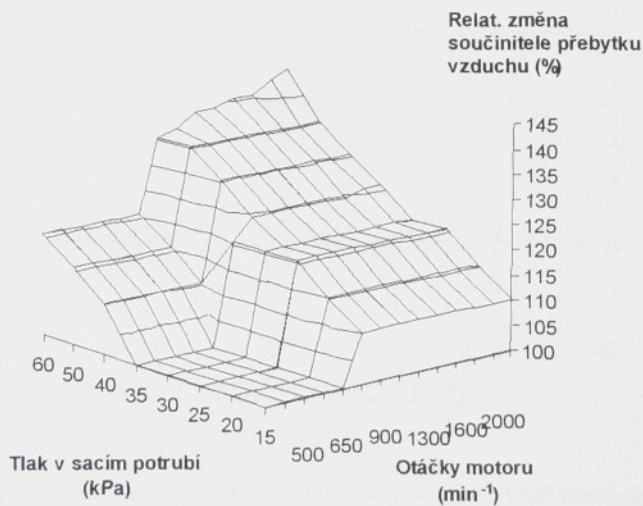
Obr. 1 Závislosti parametrů při středním efekt. tlaku 0,8 Mpa a otáčkách motoru 1300 min^{-1}

Na základě znalosti optimálních seřizovacích parametrů, jako jsou předstih zážehu a bohatost směsi (daná přebytkem vzduchu λ) pro celý rozsah otáček a zatížení, lze sestavit příslušné

křížové tabulky pro programování. Hodnoty parametrů jsou pro informaci znázorněny graficky na obrázcích 2 a 3



Obr. 2 Mapa předstihu zážehu

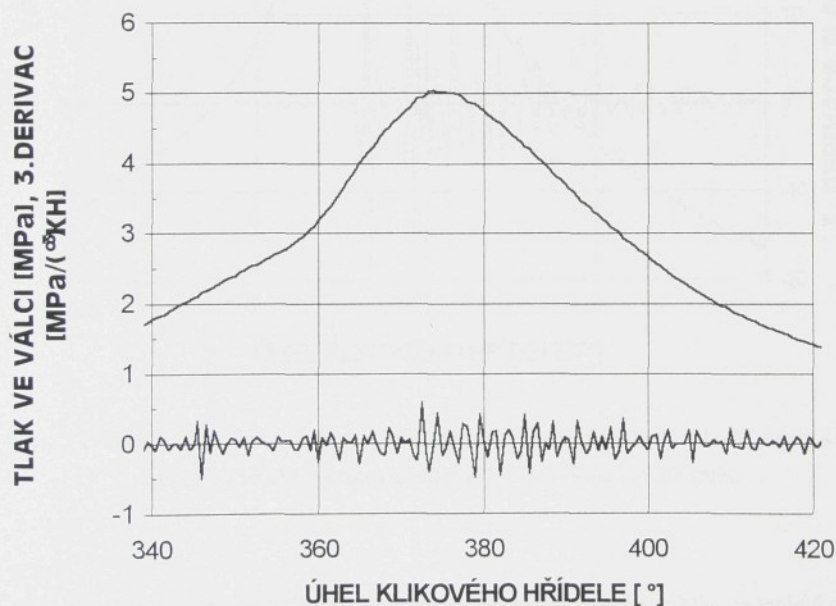


Obr. 3 Mapa součinitele přebytku vzduchu

5.PROGRAM A JEHO OVĚŘENÍ

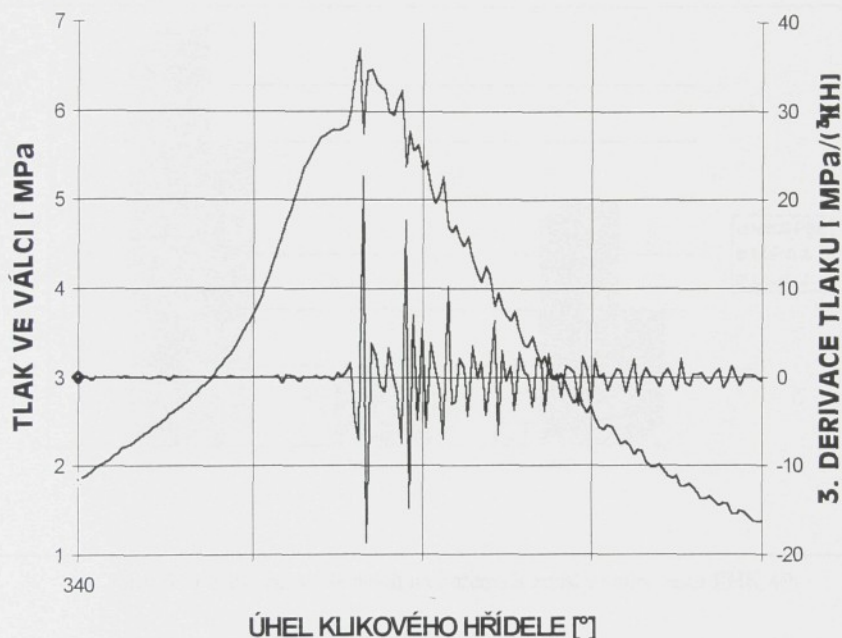
Vlastní program s konkrétními hlavními vloženými parametry, které řídí změny předstihu zážehu, bohatosti směsi, volnoběhu, a pomocnými parametry pro korekci, filtraci, ošetření vstupů a výstupů, je uložen v paměti EPROM. Vkládání hodnot (či jejich editace) je možná pomocí kalkulatoru DATAMAN se znalostí adres a kodovacích vzorců.

Velmi pečlivě byl testován provozní bod jmenovitého výkonu při max. otáčkách 2000 min^{-1} na náchylnost tohoto režimu k detonačnímu hoření (tzv. klepání). K identifikaci bylo použito systému pro měření průběhu tlaku ve válci v délce 150 pracovních cyklů a sledování jejich třetích derivací v oblasti kolem horní úvratě pístu. Pokud hodnota maxima třetí derivace nepřestoupí v cyklu určitou smluvní hodnotu, obvykle $8 \text{ MPa}/(^{\circ}\text{KH})$, jedná se o cykly s bezdetonačním spalováním. Příkladem je bod jmenovitého režimu znázorněný na obrázku 4.



Obr. 4 Průběh tlaku ve válci motoru a jeho třetí derivace ve jmenovitém bodě maximálního výkonu 150 kW a otáček 2000 min^{-1} .

Při zvýšení teploty směsi v sacím potrubí o 25 °C (např. v důsledku zvýšení teploty okolního vzduchu nebo snížení výkonu mezichladiče plnicího vzduchu) nastane ve výše uvedeném režimu detonační spalování, znázorněné na obrázku 5. Zde se jedná o cykl s nejvyšším maximem třetí derivace, přičemž cyklů s hodnotami většími než 8 MPa/(°K)H je v délce 150 cyklů celkem 5. Pokud při tomto extrémním režimu snížíme předstih zážehu o 2°, dostaneme opět bezdetonační spalování obdobné obrázku 4.



Obr. 5 Průběh tlaku ve válci motoru a jeho třetí derivace ve jmenovitém bodě maximálního výkonu 150 kW a otáček 2000 min⁻¹, při zvýšené teplotě směsi.

Na základě těchto měření byla naprogramována korekce předstihu zážehu na teplotě směsi v sacím potrubí v otáčkovém režimu 2000 min⁻¹, spočívající v postupném snižování předstihu zapalování při nárustu teploty směsi v sacím potrubí. Toto opatření chrání motor před možným, a to i málo četným, detonačním spalováním.

Po skončení naprogramování paměťového bloku EPROM byl tento blok uzavřen v elektronické řídicí jednotce, a motor s oxidačním katalyzátorem Eltos Pd-Cu byl podroben

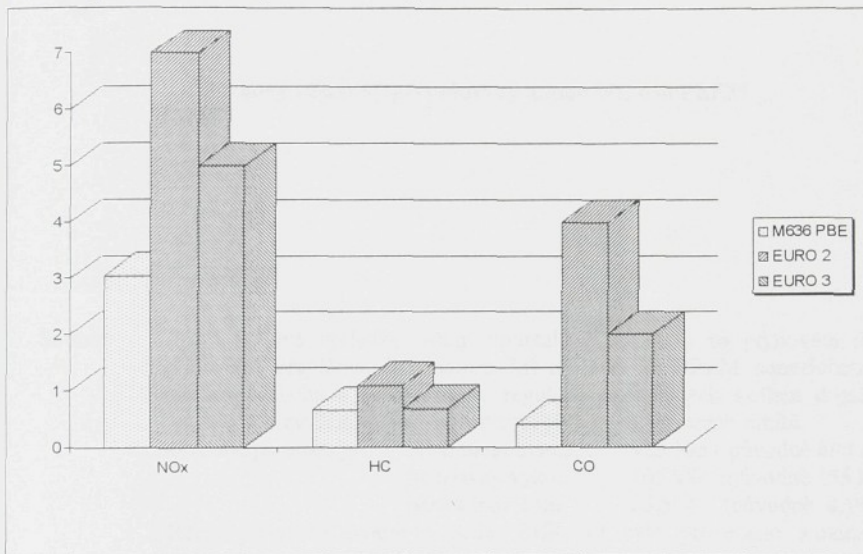
Po skončeném naprogramování paměťového bloku EPROM byl tento blok uzavřen v elektronické řídicí jednotce, a motor s oxidačním katalyzátorem Eltos Pd-Cu byl podroben 13-ti bodovému testu měření plynných emisí výfukových plynů, podle předpisu EHK č. 49.

Výsledkem jsou hodnoty $\text{Nox} = 3,05 \text{ g/kWh}$

$\text{HC} = 0,66 \text{ g/kWh}$

$\text{CO} = 0,42 \text{ g/kWh}$

kteřé lze porovnat se stávající a budoucí legislativou na obrázku 6.



Obr. 6 Porovnání výsledných naměřených emisí s limity testu EHK 49

7. ZÁVĚR

Na brzdovém stanovišti TUL byly za dílčí účasti pracovníků firmy Deltec provedeny výzkumně-vývojové práce spojené s přestavbou motoru ML 636PB na elektronicky řízenou regulaci. Optimální hodnoty seřízení byly naprogramovány v celém provozním poli tak, aby motor splňoval předpokládaný předpis Euro 3 při příznivé spotřebě paliva.

Další výhody elektronického řízení, jako jsou stálost parametrů v celém pracovním rozsahu, spolehlivost čidel a systémů, bude možné vyhodnotit až po určité době provozu motoru v nasazení městského autobusu do normálního jízdního režimu na linkách MHD.

Příloha P4

Plynový zážehový přeplňovaný motor ML 636 PBEM

Souhrn: Zpráva podává výsledky řešení optimalizačních úloh na plynovém (LPG) zážehovém přeplňovaném motoru M1.2A ML 636PBEM s mezichlazením plnicího vzduchu a elektronickou regulací, prováděných s cílem dosáhnout výraznějšího zvýšení točivého momentu při splnění emisních limitů.

Dosažené parametry:

maximální moment	985 Nm (původně 800 Nm)
jmenovitý výkon	165 kW (původně 155 kW)
nárůst momentu	25,5 % (původně 8,1%).

Měření plynných škodlivin podle EHK 49 bylo provedeno s oxidačním katalyzátorem typu ECOS T41.

Technická univerzita v Liberci

Fakulta strojní

Katedra strojů průmyslové dopravy

PLYNOVÝ ZÁŽEHOVÝ PŘEPLŇOVANÝ MOTOR ML 636 PBEM

Optimalizační práce na motoru ML 636 PB s chladičem plicního vzduchu
AUTOPAL / KAROSA, ovládacím a regulačním ústrojím motoru pro zvýšení točivého
momentu motoru a elektronickou regulací bohatosti směsi
Měření plyných škodlivin podle EHK 49

Řešitelé: Doc.Ing., Stanislav BEROUN, CSc
Ing. Celestýn SCHOLZ

Emisní měření prac. SZ č. 232

Vedoucí katedry: Doc.Ing. Stanislav BEROUN, CSc



Č. úkolu: 6166/710

Č. zprávy: SM 322/97

Počet stran zprávy: 7

Počet příloh: 8

Počet stran celkem: 19

Liberec, leden 1997

Souhrn

Zpráva podává výsledky řešení optimalizačních úloh na plynovém zážehovém motoru M 1.2A ML 636 PB s elektronickou regulací bohatosti směsi, prováděných s cílem dosáhnout výraznějšího zvýšení točivého momentu motoru (proti verzi motoru ML 636 PB E z r. 1995) a splnění emisních limitů EURO III. Práce v jistém smyslu navazovaly na řešení motoru ML 636 PB/96 (pracovní název) s pneumaticko-mechanickým systémem regulace bohatosti směsi (zpráva SM 314/96), dosažené výsledky na motoru ML 636 PBEM (návrh označení motoru se zvýšeným točivým momentem a elektronickou regulací) ukazují prakticky shodu se závěry zmíněné zprávy k motoru ML 636 PB/96 z hlediska výkonových i emisních parametrů - kromě mírného překročení limitů (EURO III - 1999) nespálených CH byly cíle úkolu splněny: zvýšené emise CH jdou zčásti na vrub seřízení motoru pro chudší směs, z větší části však jsou způsobeny nižší účinností použitého oxidačního katalyzátoru). Výsledky řešení umožňují bezprostřední aplikaci pro ověřovací provoz motorů ML 636 PBEM v autobusech MHD (DPmMaL - provozovna Most) a dále se předpokládá využití výsledků při oficiálním emisním testu motoru M 1.2C ML 636 PBEM. Pro tyto práce se doporučuje rozšířit program přípravných zkoušek o optimalizaci oxidačního katalyzátoru (především s ohledem na jeho potřebnou účinnost, spolehlivost a životnost).

Technická zpráva z řešení úkolu podle Smlouvy o dílo č. 6166/710

Objednatel: Dopravní podnik měst Mostu a Litvínova, a.s. (DPmMaL)

Předmět smlouvy: a). Optimalizační práce na motoru ML 636 PB s úpravou základního nastavení škrticí klapky pro zvýšení točivého momentu motoru, s mezichladičem plicního vzduchu v provedení B 731.1657.3 a s elektronickou regulací bohatosti směsi.
b). Emisní měření (plynné škodliviny) podle EHK 49 a jeho zpracování.
c). Technická zpráva z optimalizačních prací a předpis seřízení ovládacího a regulačního ústrojí motoru.

Úkol byl řešen v několika na sebe navazujících dílčích úlohách:

1. Ovládací a regulační mechanismus (ORM) motoru.
2. Seřízení elektronického systému Deltec pro regulaci bohatosti směsi a předstihu zážehu v závislosti na otáčkách a zatížení.
3. Vnější otáčková charakteristika motoru s úplným ORM podle bodu 1) a seřízením 3elektronického řídicího systému Deltec podle bodu 2).
4. Emisní test motoru podle EHK 49 a jeho zpracování.
5. Vyhodnocení, závěr.

Průběh řešení jednotlivých úloh a dosažené výsledky popisují následující kapitoly. Motor v tomto provedení je označován jako typ M 1.2A ML 636 PBEM.

1.0 Ovládací a regulační mechanismus (ORM) motoru ML 636 PBEM - jeho seřízení

Řešení ORM vychází z koncepce, uvedené v kap. 4.0 a nákresu P5 již zmíněné zprávy SM 314/96 jako 2. varianta ORM. Pro dosažení potřebného průběhu točivého momentu motoru zůstává základní seřízení ORM stejné jak uvádí zpráva SM 314/96, tj. s maximálním otevřením škrticí klapky 75°. Nově byla navržena pružina tlakového korektoru a spolu s menšími úpravami na tlakovém korektoru a v nastavení dorazových šroubů, vymezujících posuvy teleskopického táhla hydraulického válečku (H1) a táhla tlakového korektoru (H3) bylo dosaženo požadovaného průběhu točivého momentu motoru na vnější otáčkové charakteristice motoru při seřízení bohatosti směsi jak s ohledem na výfukové emise, tak z hlediska zabezpečení bezdetonačního chodu motoru.

Pro usnadnění a zajištění výroby kvalitní pružiny pro tlakový korektor byl v a.s. Pérovna Hostivař vyhledán typ pružiny, k jejímuž zhotovení lze využít existující zařízení v a.s. Pérovna - zkušební vzorek pro ověření v ORM motoru byl v a.s. Pérovna vyroben podle výkresu TU Liberec, č. KSD 3-1.08/a (z 21.11.96). Po měřeních na motoru v laboratoři KSD TU Liberec byly ještě provedeny malé změny rozměrů pružiny (snížení volné délky z původního návrhu $L_0 = 69$ mm na definitivní rozměr $L_0 = 68$ mm a změna stoupání šroubovice

z $s = 7,25$ mm na $s = 7,20$ mm) a výkres této pružiny pod č. KSD 3-1.08/c s datem vydání 12.12.1966 byl zařazen do výrobní dokumentace motoru ML 636 PB (a předán DPmMaL a KSK pro zajištění výroby a úprav tlakového korektoru). Nově byl rovněž zpracován výkres opěrky pružiny, č.v. KSD 13 - 2.02; od dřívějšího provedení se však liší pouze změnou b, provedenou 12.12.1996 (nový výkres se předává s touto zprávou DPmMaL, KSK byl již předán pro technickou dokumentaci a příp. úpravy stávajících tlakových korektorů).

Uspořádání ORM s vyznačením nových rozměrů některých dílů (osová vzdálenost závěsných bodů spojovacího táhla 175 mm, poloměr R 19 na páce škrťací klapky pro zavěšení spojovacího táhla) a nastavení dorazů pro základní seřízení ORM je zřejmé s nákresem na příloze P1. Důležité pro správnou funkci ORM (zejména pro režimy plného zatížení motoru) je spolehlivé dotlačení teleskopického táhla hydraulickým válečkem na dorazový šroub, přičemž předpětí pružiny v teleskopickém táhle při jeho dotlačení na dorazový šroub musí zajistit udržení teleskopického táhla (resp. vidlice, napojující teleskopické táhlo na dvojramennou regulační páku) na tomto dorazovém šroubu proti silovému působení dynamického účinku vzduchového proudu na škrťací klapku - síla, přenášená z páky škrťací klapky na dvojramennou regulační páku se odhaduje na cca 15 N. Seřízení, uvedené na nákrese v příloze P1 i dostatečnost předpětí v teleskopickém táhle při jeho dotlačení na dorazový šroub při plně sešlápnutém ovládacím pedálu u řidiče je třeba zkontrolovat (posuvy, max. výchylku škrťací klapky i udržení vidlice teleskopického táhla na dorazovém šroubu při působení rukou vyvolané síly cca 15 N na spojovací táhlo od páky škrťací klapky) - bez této kontroly nemusí být zaručena správná funkce ORM motoru.

2.0 Optimalizace seřízení elektronického regulačního systému DELTEC

Optimalizační práce byly prováděny na motoru vybaveném ORM, popsaným v kap. 1.0 a byly vedeny s cílem dosáhnout jak zamýšleného průběhu točivého momentu na vnější otáčkové charakteristice s výrazným posílením momentu od nejnižších provozních otáček motoru (v režimu $n = 1100$ 1/min točivý moment M_t cca 900 Nm) a s $M_{t,MAX}$ cca 980 Nm při $n = 1400$ 1/min, tak nízkých výfukových emisí v celé provozní oblasti motoru. Při optimalizaci bylo seřízení bohatosti a předstihu zážehu upravováno pomocí vnějších vstupů do regulačního systému Deltec (elektronické ovládání krokového motorku pro řízení bohatosti směsí potenciometrem s indikací kroku a změny předstihu pomocí vstupu přes Dataman). Výsledek těchto prací je přehledně zpracován v protokolech, zařazených v přílohách P2 až P4.

P2: Optimalizace na $M_{t,MAX}$ při otáčkách $n = 1400$ 1/min - proti dřívějšímu seřízení byl v tomto režimu snížen (elektronicky) předstih ze 17° na 15° (eliminace výskytu možných detonací v zatíženích blízko 1000 Nm, snížení emisí CH i NO_x), ke zvýšení stability chodu motoru v plném zatížení bylo nutno seřídit bohatost směsi na lambda cca 1,46. Pro vytvoření programové mapy bohatosti směsí a předstihu byly vybrány příslušné seřizovací hodnoty z režimů č. 4, 5, 6, 7, 8, 9, a 11.

P3: Režimy podle bodů 1 až 11 lze považovat z hlediska seřízení na nízké výfukové emise i měrnou spotřebu paliva za optimalizované, bohatost směsí pro jmenovitý výkon motoru je vyjádřena hodnotou lambda 1,47 až 1,48.

P4: Měření byla využita k doplnění tabulek (seřizovací mapy) v oblasti nízkých otáček ve vztahu bohatosti směsi a předstihu zážehu na plnicím tlaku (resp. tlaku v plnicím potrubí motoru), ve volnoběhu byl (elektronicky) snížen předstih zážehu o 2°, tj. na 11°.

Hodnoty pro regulaci bohatosti směsi, reprezentované počtem kroků nastavovacího elektromotorku, byly podle provedených měření doplněny pro celou provozní oblast motoru. Podle těchto podkladů byl vytvořen a nově nastaven (p. K. Jordaán) řídicí program pro regulační systém Deltec. Tabulka pro naprogramování regulace bohatosti je v příloze P5. Podobně byla sestavena (podle výsledků optimalizačních měření) i tabulka pro regulaci předstihu zážehu.

Po emisním testu motoru ML 636 PBEM požadoval pracovník firmy Deltec (p. K. Jordaán) doplnění řídicího programu pro regulaci bohatosti směsi korekcemi s ohledem na možné změny teplot (vzduchu i plynu): zanesením korekcí do řídicího programu však došlo k nežádoucím změnám v regulaci základní (tj. původně naprogramované) bohatosti, po diskusi bylo proto od těchto korekcí upuštěno a řídicí program by měl pracovat podle základní (tj. nekorigované) varianty, určené tabulkou z optimalizačních měření.

Při pozdějších (začátek ledna 1997) měřeních na motoru ML 636 PBEM, uskutečněných již po novém seřízení regulačního systému Deltec, po měření vnější otáčkové charakteristiky a po emisním testu motoru, byly opakovaně zjišťovány odchylky v nastavení bohatosti směsi (obohacování proti seřízení, které bylo vloženo do řídicího programu) - tato skutečnost poněkud připomíná situaci ze září a října 1996, kdy u první varianty elektronické regulace Deltec na motoru ML 636 PBE rovněž docházelo k odchýlkám v seřízení bohatosti proti požadovaným hodnotám. Kontrola funkce elektronické řídicí jednotky, provedená podle údajů na připojeném monitoru, nevykazovala větší odchylky proti naprogramovaným hodnotám, bohatost směsi však byla prokazatelně vyšší než měla být (údaj UEGO ukazoval na bohatší směs a při stejném otevření škrtící klapky byl vyšší točivý moment, teplotní stavy na motoru odpovídaly dřívějším, tj. laboratorním podmínkám,); uspokojivé vysvětlení tohoto chování se nepodařilo nalézt.

3.0 Vnější otáčková charakteristika motoru ML 636 PBEM

Vnější otáčková charakteristika motoru byla měřena s úplným ORM podle kap. 1.0 a s nově naprogramovaným regulačním systémem Deltec. Výsledek měření je zpracován tabulkově i graficky v příloze P6: lze konstatovat, že všechny významnější výkonové i provozní parametry motoru zaznamenaly proti dřívějším variantám motorů typu ML 636 PB zlepšení, průběhy některých veličin (např. M_i , m_{pe}) vykazují velmi příznivý průběh pro využití ve vozidle. Ze změřené vnější otáčkové charakteristiky motoru ML 636 PBEM se stanovily zkušební režimy pro emisní test dle EHK 49.

4.0 Emisní měření plynných výfukových škodlivin podle EHK 49

Motor ML 636 PBEM byl podroben úplnému emisnímu testu (pouze plynné škodliviny) podle EHK 49. Emisní měření byla provedena na vzorku výfukových plynů, odebíraném za oxidačním katalyzátorem Ecos T 41. Výsledek měření a zpracování emisního

testu je spolu s údaji o způsobu a podmínkách měření je obsažen v úplném protokolu č. P1/01/97P, zařazeném jako příloha P7 této zprávy.

Celkový výsledek emisního testu nesplnil očekávání pokud jde o předpoklad, že měrné emise budou pod pravděpodobnými limitními hodnotami budoucího předpisu EURO III: emise CH překračují hodnotu 0,6 g/kWh o cca 7% a jsou vyšší proti měření (0,522 g/kWh) při obdobném seřízení motoru v provedení ML 636 PB/96 (viz protokol P19/08/96 ve zprávě SM 314/96). Podobně jsou u motoru ML 636 PBEM proti motoru ML 636 PB/96 zvýšeny i měrné emise CO (z 0,91 na 0,96 g/kWh). Pro kontrolu účinnosti katalyzátoru byly ve vybraných režimech později opakovaně změřeny výfukové emise škodlivin před a za katalyzátorem. Z porovnání emisí před a za katalyzátorem byla zjištěna účinnost katalyzátoru Ecos T 41 při těchto měřeních pro složku CH ve velikosti η_{CH} (46-65)%, pro CO se potom účinnost katalyzátoru pohybovala v hodnotách $\eta_{CO} \sim (65-68)$ %. Srovnáme-li tento výsledek s měřením na motoru ML 636 PB/96 (měření 15.7.1996, fyzicky stejný katalyzátor T 41), ukazuje se, že s dobou provozu katalyzátoru (s časem ?) se jeho účinnost snižuje:

měření 15.7.96	měření 13.12.96
η_{CH} 73%	(46-65)%
η_{CO} 74,5%	(65-68)%

Je tedy zřejmé, že používané katalyzátory (jejich kvalita a zejména životnost) významným způsobem ovlivňují emisní (ekologické) vlastnosti motoru i autobusu.

5.0 Vyhodnocení, závěr

1). Práce provedené na motoru ML 636 PB s upraveným ovládacím a regulačním mechanismem pro řízení výkonu motoru (a tvarování průběhu momentové charakteristiky) a nově seřízeným (naprogramovaným) elektronickým regulačním systémem Deltec pro řízení bohatosti směsi a předstihu zážehu (v závislosti na otáčkách a zatížení) umožnily vytvořit zatím poslední vývojovou variantu autobusového plynového motoru (s označením ML 636 PBEM) s výrazným zvýšením (a tím zlepšením) výkonových a provozních vlastností, zejména v oblasti nízkých a středních provozních otáček. Díky novému uspořádání ORM motoru došlo k dalšímu posílení účinku přeplňování (při výměně obsahu válců) v režimech plného zatížení a tím k dalšímu snížení měrných (a jistě i jízdních) spotřeb paliva. Toto řešení ORM by mělo být ověřeno i na motorech ML 636 PB (s pneumaticko-mechanickou regulací bohatosti směsi) v provozovně DP v Litvínově, kde po menších úpravách v seřízení ORM (nastavení dorazového šroubu pod tlakovým korektorem) by mělo dojít ke znatelnému zlepšení provozních vlastností motoru.

2). Z důvodů, uvedených na konci kapitoly 2.0, doporučujeme podrobnější sledování hodnot bohatosti směsi u motorů ML 636 PBEM v provozu, zejména v režimech plného zatížení.

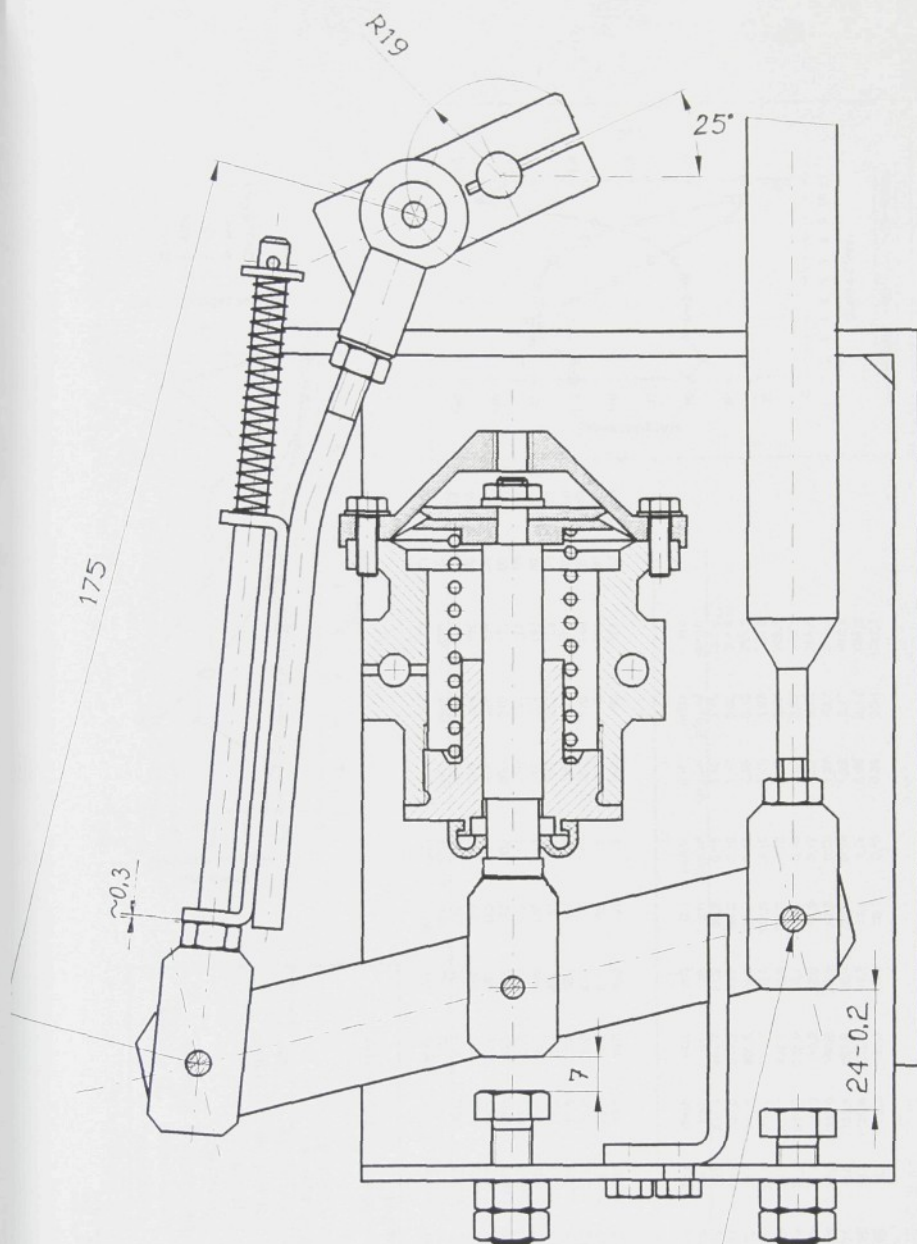
3). Pro zajištění vyšší účinnosti oxidačního katalyzátoru a zejména jeho potřebné životnosti doporučujeme ověřit i jiné typy katalyzátorů než granulový katalyzátor T 41. Podle měření s oxidačním katalyzátorem MINE-X i údajů z některých firemních materiálů o oxidačních katalyzátorech by se účinnost katalyzátorů pro CH i CO měla pro LPG pohybovat

vždy nad 80%: např. oxidační katalyzátor MINE-X DC 10 měl při měření na motoru ML 636 PB (test plyných škodlivin EHK 49, 20.10.1994) účinnosti $\eta_{CH} = 81,1\%$ a $\eta_{CO} = 95,6\%$; účinnosti oxidačních katalyzátorů ENGELHARD ukazují diagramy v příloze P8. Podle informací od firmy AUTOMETAL by zřejmě bylo možné vyrobit oxidační katalyzátor jako vložku do stávajícího tělesa tlumiče výfuku autobusu Karosa (zřejmě náhradou za koš z granulemi). Možností je tedy několik - kontaktní adresy na firmy pro příp. zajištění jiných katalyzátorů jsou uvedeny na P8.

4). Ke zlepšení provozních vlastností motoru ML 636 PBEM by přispěla i další úprava v regulaci výkonu motoru - řízení plnicího tlaku způsobem waste-gate. Doporučujeme zvážit možnost řešit tuto záležitost podobně, jak bylo postupováno v případě chlazení ložiskové skříně plnicího turbodmychadla, tj. vlastním konstrukčním zpracováním s realizací funkčních vzorků (vč. modelového zařízení pro nové provedení turbinového tělesa). Autoři této zprávy a zkušební laboratoř jsou připraveni, pokud ze strany DPmMaL nebo KSK bude zájem, věnovat tomuto řešení potřebnou tvůrčí i zkušební kapacitu.

Přílohy:

- P1 - náčrty ORM
- P2 - protokol z optimalizačních měření při $n = 1400$ 1/min
- P3 - protokol z optimalizačních měření při $n = 1600$ 1/min až 2000 1/min
- P4 - protokol z optimalizačních měření při $n = 700$ 1/min až 1300 1/min
- P5 - tabulka hodnot pro sestavení řídicího programu pro regulaci bohatosti směsi
- P6 - protokol z měření vnější rychlostní charakteristiky motoru ML 636 PBEM
- P7 - protokol z emisního měření plyných škodlivin podle EHK 49 (5 stran)
- P8 - materiály k oxidačním katalyzátorům, kontaktní adresy na dodavatele, příp. výrobce



PŘIPOJENÍ SNIMAČE PRO ŘÍZENÍ PŘEVODOVKY

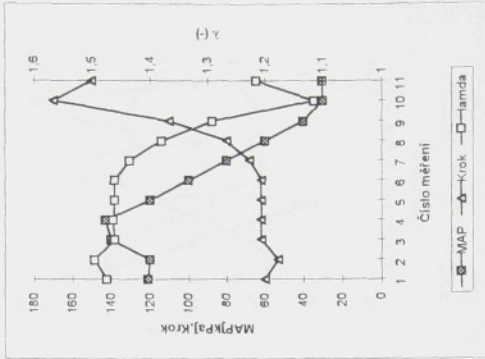
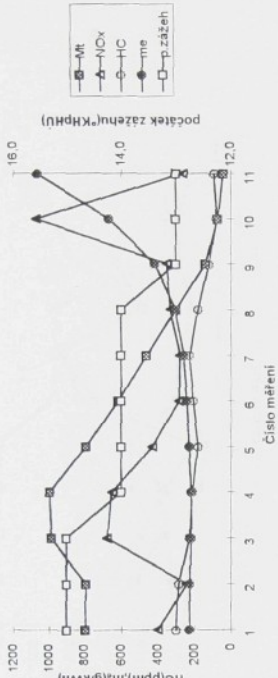
TU LIBEREC 10.1.1997

OPTIMALIZACE

Typ motoru	ML636 PBEM	Protokol číslu	"11.12.1996"
Vrtání (mm)	130	Datum měření	97,46
Zdvih (mm)	150	Bar. tlak (kPa)	
Počet válců	6	Vlhkost (%)	
Kompres. poměr	10,8	Tepl. vzdu. (°C)	
Předsřih		Obj. vzd. (dm3)	11,946
Palivo	PB 60/40	15,64	Konst. clonky 7,4886
Paliv. systém	Deltec- elektronika regulace		
Zapal. systém	Delco, svíčky Bosch XR 4CS		
Turbodmychadlo	CZM 3566/35.21		
Mezichladič	Karosa, ventilátor 450 mm, Klinové řemeny		
Poznamky	Katalyzátor Ecos T41		

Měření	Bod	n	Mt	p-zážeh	lamda	IdT	MAT	IT1	MAP	pCl	NOx	HC	CO	FI	Krok
		1/min	Nm	°K ^h		°C	°C	°C	kPa	mmH ₂ O	ppm	ppm	ppm	%	
1	1400	795	15,0	14752	23,0	31,0	850	850	121	215	400	300	159	60	50
2	1400	790	15,0	14950	24,0	32,0	850	850	120	213	240	285	167	60	53
3	1400	995	15,0	14605	25,0	35,0	855	855	140	285	874	225	165	60	62
4	1400	995	14,0	14634	26,0	36,0	855	855	143	307	850	210	171	60	62
5	1400	790	14,0	14605	25,0	33,0	850	850	120	209	430	180	187	60	62
6	1400	815	14,0	14605	26,0	30,0	845	845	100	141	282	204	183	60	62
7	1400	480	14,0	14347	25,0	28,0	830	830	87	87	279	225	163	60	68
8	1400	300	14,0	13900	25,0	27,0	820	820	60	47	330	180	164	60	80
9	1400	140	13,0	12916	25,0	26,0	800	800	40	17	350	120	149	60	110
10	1400	70	13,0	11150	25,0	26,0	610	610	30	8	1070	75	136	60	170
11	1400	40	13,0	12151	25,0	26,0	590	590	30	8	260	90	160	60	150
12															
13															

Výpočty	Bod	pe	PI	Gvzd	Gpal	Gexh	NOx	HC	CO	mNOx	mHC	mCO	me
		MPa	kw	kg/h	kg/h	kg/h	g/h	g/h	g/h	g/kgvzd	g/kgpal	g/kgpal	g/kwh
1	0,836	116,8	611,76	26,5	638,3	638,3	404,7	91,5	90,2	0,66	3,45	3,40	227,5
2	0,831	115,8	607,85	26,0	633,8	633,8	243,3	86,3	94,2	0,40	3,32	3,62	224,5
3	1,036	144,4	710,72	31,1	741,8	741,8	805,8	79,8	108,7	1,13	2,56	3,49	215,5
4	1,047	145,9	723,20	31,6	754,8	754,8	798,2	75,8	114,6	1,10	2,40	3,63	216,6
5	0,831	115,8	600,03	26,3	626,3	626,3	438,1	53,9	104,0	0,73	2,05	3,96	226,8
6	0,647	90,2	494,74	21,7	516,4	516,4	236,9	50,4	83,9	0,48	2,32	3,87	240,2
7	0,484	67,4	390,52	17,4	407,9	407,9	183,2	43,9	58,9	0,47	2,52	3,39	258,1
8	0,316	44,0	287,68	13,3	301,0	301,0	159,6	25,9	43,6	0,55	1,94	3,27	303,1
9	0,147	20,5	173,31	8,6	181,9	181,9	101,9	10,5	23,8	0,59	1,22	2,77	418,0
10	0,074	10,3	118,95	6,8	125,8	125,8	213,5	4,5	14,8	1,79	0,66	2,17	664,6
11	0,042	5,9	118,95	6,3	125,2	125,2	51,9	5,4	19,7	0,44	0,86	3,14	1067,3
12													
13													



OPTIMALIZACE

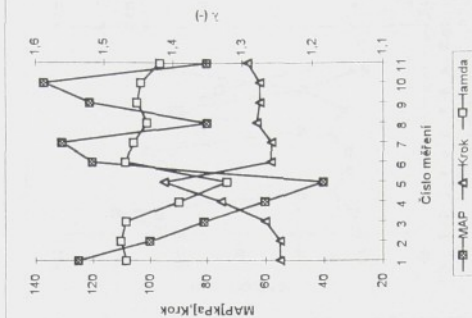
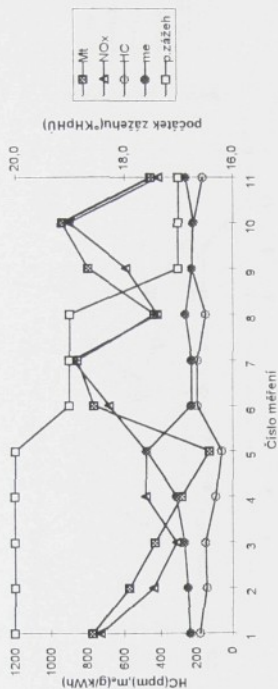
Typ motoru	ML636 PBEM	Protokol číslo	"11.12.1996"
Vrtání (mm)	130	Datum měření	97,46
Zdvih (mm)	150	Bar. tlak (kPa)	
Počet válců	6	Vlhkost (%)	
Kompres. poměr	10,8	Tepl. vzd. (°C)	
Předstřih		Obj. mot. (dm3)	11,946
Palivo	PB 60/40	Konst. clonky	7,4886
Paliv. systém	Deltec- elektronická regulace		
Zapal. systém	Delco, svíčky Bosch XR 4CS		
Turbodmychadlo	CZM 3566/35.21		
Mezichladič	Karosa, ventilátor 450 mm, klinové řemeny		
Poznamky	Katalyzátor Ecots T41		

Měření

Bod	n 1/min	Mt Nm	Mt p-zářeh %KH	lamda	td1 °C	MAT °C	IT1 °C	MAP kPa	pCl mmHg2O	NOx ppm	HC ppm	CO ppm	FI %	Krok
1	2000	770	20,0	1,4878	28,0	43,0	690	125	452	729	180	233	60	55
2	2000	570	20,0	1,4752	28,0	38,0	675	100	282	439	144	240	60	55
3	2000	430	20,0	1,4678	28,0	33,0	665	81	180	310	150	237	60	60
4	2000	280	20,0	1,3908	27,0	31,0	660	60	91	479	90	224	60	75
5	2000	130	20,0	1,3212	26,0	30,0	655	40	41	481	60	203	60	95
6	1800	785	19,0	1,4680	27,0	38,0	670	120	339	683	195	226	60	58
7	1800	855	19,0	1,4570	28,0	41,0	680	131	413	880	195	224	60	58
8	1600	435	19,0	1,4380	28,0	35,0	655	80	138	419	150	253	60	63
9	1600	795	17,0	1,4520	27,0	36,0	660	121	274	589	225	215	60	62
10	1600	940	17,0	1,4460	27,0	40,0	670	137	351	899	216	204	60	62
11	1600	455	17,0	1,4180	27,0	33,0	645	80	112	411	165	235	60	66

Výpočty

Bod	MPa	Pj	Gvzd kg/h	Gpal kg/h	Gexh kg/h	NOx g/h	HC g/h	CO g/h	mNOx g/kgvzd	mHC g/kgpal	mCO g/kgpal	me g/kwh
1	0,810	161,3	887,10	37,8	904,9	1056,0	77,9	187,3	1,26	2,06	4,96	334,2
2	0,600	119,4	691,57	30,0	721,5	526,4	49,7	153,9	0,78	1,66	5,13	251,1
3	0,452	90,1	555,71	24,2	579,9	288,7	41,6	122,1	0,54	1,72	5,04	268,8
4	0,295	56,6	397,84	18,3	416,1	326,6	17,9	82,4	0,42	0,98	4,50	311,9
5	0,137	27,2	268,28	13,0	281,3	218,9	8,1	50,2	0,82	0,62	3,87	478,9
6	0,805	144,2	757,18	33,0	790,2	887,1	73,7	158,6	1,17	2,23	4,81	228,7
7	0,899	161,2	830,70	36,5	867,2	1267,3	80,8	172,4	1,53	2,22	4,73	226,2
8	0,458	82,0	484,24	21,5	505,8	351,7	36,3	113,4	0,73	1,68	5,27	262,6
9	0,836	133,2	683,25	30,1	713,3	690,2	76,7	136,1	1,01	2,55	4,52	225,9
10	0,989	157,5	769,94	34,0	804,0	1187,0	83,0	145,5	1,54	2,44	4,27	216,2
11	0,479	76,2	440,84	19,9	460,7	310,6	36,3	95,9	0,70	1,83	4,82	260,7
12												
13												

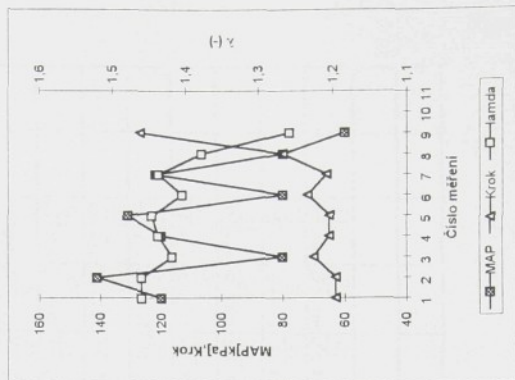
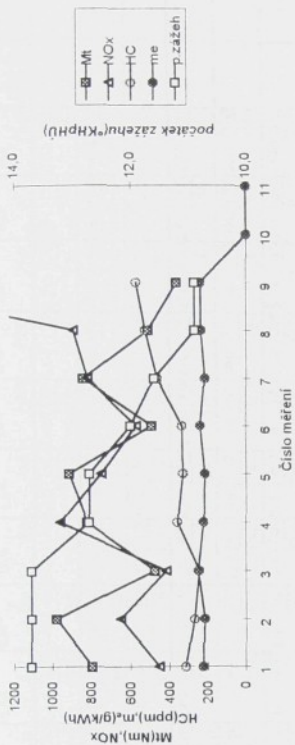


OPTIMALIZACE

Typ motoru	ML636 PBEM	Protokol číslo	"11.12.1996"
Vrtání (mm)	130	Datum měření	
Zdvih (mm)	150	Bar. tlak (kPa)	97.46
Počet válců	6	Vlhkost (%)	
Kompres.poměr	10.8	Tepl. vzdu. (°C)	
Předstih		Obj. mot. (dm³)	11.946
Palivo	PB 60/40	Konst. clonky	7.4886
Paliv. systém	Deltec- elektronická regulace		
Zapal. systém	Delco, svíčky Bosch XR 4CS		
Turbodmychadlo	CZM 3566/35.21		
Mezichladič	Karosa, ventilátor 450 mm, klinové řemeny		
Poznámky	Katalyzátor Ecos T41		

Meřeni	Bod	n	Mt	p-zážeh	lamda	ID1	MAT	IT1
		1/min	Nm	°KHz		°C	°C	°C
	1	1300	795	13,7	1,4805	25,0	32,0	635
	2	1300	980	13,7	1,4805	26,0	36,0	645
	3	1300	475	13,7	1,4179	26,0	31,0	620
	4	1100	820	12,7	1,4380	26,0	33,0	620
	5	1100	915	12,7	1,4460	26,0	33,0	620
	6	1100	490	12,0	1,4042	26,0	31,0	600
	7	900	845	11,6	1,4380	25,0	31,0	590
	8	800	510	10,9	1,3776	25,0	29,0	555
	9	700	365	10,9	1,2577	24,0	27,0	500
	10							
	11							
	12							
	13							

Vypočty	Bod	pe	Pj	Gvzd	Gpal	Gexh	NOx	HC	CO	mNOx	nHGC	mCO	me
		MPa	kw	kg/h	kg/h	kg/h	g/h	g/h	g/h	g/kgvzd	g/kgpal	g/kgpal	g/kgvhd
1	1300	108.2	558.79	24.5	533.3	425.8	87.5	87.8	87.5	0.76	3.59	3.53	228.0
2	1300	133.4	691.06	28.9	690.0	730.7	89.1	105.0	111	1.11	3.08	3.66	215.9
3	1300	64.7	359.76	16.2	376.0	354.7	55.6	44.2	55.6	0.71	2.73	3.49	250.9
4	1100	94.5	469.90	20.9	490.8	785.9	84.5	55.7	84.5	1.63	4.04	2.87	221.2
5	1100	105.4	518.31	22.9	541.2	860.0	85.4	64.8	85.4	1.27	3.73	2.83	217.4
6	1100	56.4	296.12	13.5	309.6	286.5	49.7	32.9	32.9	0.97	3.69	2.44	238.9
7	900	79.6	390.52	17.4	407.9	538.6	90.7	53.8	90.7	1.38	5.22	2.21	215.0
8	800	42.7	218.29	10.1	228.4	328.4	57.3	16.5	16.5	1.50	5.66	1.63	237.1
9	700	26.8	126.39	6.4	132.8	420.9	36.2	8.1	3.33	3.33	5.63	1.27	240.1
10	#DIV/0!	0.0	0.00	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
11	#DIV/0!	0.0	0.00	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
12													
13													



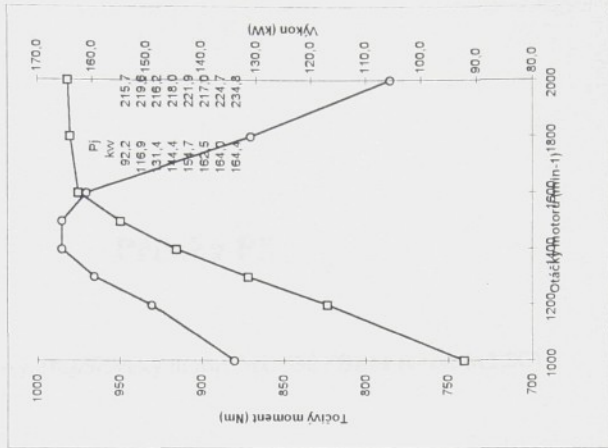
		203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	
		15	20	25		30	35	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160																					
2A0	300	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	
2A1		200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	
2A2	400	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	
2A3	500	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	
2A4	600	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	
2A5	700	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	
2A6	800	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	
2A7	900	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	
2A8	1100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	
2A9	1300	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	
2A9	1400	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	
2A9	1600	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	
2A9	1800	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	
2A9	2000	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	
2A9	2200	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	
2A9	2400	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	
2A9	2600	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	
2A9	2800	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	
2A9	3000	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	

RYCHLOSTNÍ CHARAKTERISTIKA

Typ motoru	ML636 PBM	Protokol číslo	"12.12.1996"
Vrtání (mm)	130	Datum měření	
Zdvih (mm)	150	Bar. tlak (kPa)	97,06
Počet válců	6	Vlhkost (%)	
Kompres. poměr	10,8	Tepl. vzd. (°C)	
Předstih		Obj. mot. (dm3)	11,946
Palivo	PB 60/40	Konst. clonky	7,4886
Páliv. systém	Deltec- elektronická regulace		
Zapal. systém	Delco, svíčky Bosch XR 4CS		
Turbodmychadlo	CZM 3566/35.21		
Mezichladič	Karosa, ventilátor 450 mm, klínové řemeny		
Poznamky	Katalyzátor Ecos T41		

Měření	Bod	n	Mt	p	z	střeh	lambda	Id1	Id3	IdT1	ps	mmHg	IdCl	NOx	HC	CO	FI
			Nm	kg/h	kg/h			°C	°C	°C	kg/h	mmHg	ppm	ppm	ppm	ppm	%
1	1000	840	12,0	1,4380	28,0	34,5	630	33,0	34,5	630	233	118	801	360	255	182	39
2	1200	930	13,0	1,4510	28,0	36,5	645	30,0	36,5	645	301	197	851	255	182	182	39
3	1300	945	13,7	1,4480	28,5	38,0	655	330	38,0	655	301	242	704	255	178	39	39
4	1400	985	14,1	1,4510	27,0	40,0	665	382	40,0	665	352	301	673	185	188	40	40
5	1500	985	15,8	1,4480	27,0	40,0	670	385	359	670	352	359	610	210	189	40	40
6	1600	970	16,5	1,4600	28,0	42,5	680	352	380	680	352	425	930	185	192	40	40
7	1800	870	18,6	1,4600	28,0	42,5	690	292	425	690	292	425	802	180	209	40	40
8	2000	785	20,0	1,4820	28,0	43,0	695	246	484	695	246	484	571	180	226	40	40

Výpočty	Bod	pe	Pj	Gvzd	Gpal	Gexh	NOx	HC	CO	mNOx	mHC	mCO	me
		MPa	kw	kg/h	kg/h	kg/h	g/h	g/h	g/h	g/kgpal	g/kgpal	g/kgpal	g/kgpal
1	1000	0,926	92,2	44,11	19,9	487,0	574,0	80,4	51,8	1,26	4,04	2,50	215,7
2	1200	0,978	116,9	562,48	25,7	606,1	507,9	74,1	87,4	1,04	2,89	3,41	219,6
3	1300	1,015	131,4	643,37	26,4	671,8	425,3	81,9	104,9	1,13	2,86	3,69	216,2
4	1400	1,036	144,4	714,43	31,5	745,9	777,6	89,5	124,4	1,09	2,51	3,85	219,4
5	1500	1,036	154,7	777,65	34,3	812,0	1016,8	91,5	135,4	1,31	2,37	3,66	219,9
6	1600	1,020	162,5	797,69	35,3	833,0	1207,8	77,6	141,9	1,31	2,20	4,02	217,0
7	1800	0,915	164,0	841,43	36,8	878,3	1086,2	75,6	163,0	1,31	2,05	4,42	224,7
8	2000	0,826	164,4	894,89	38,6	933,5	830,9	80,3	167,5	0,93	2,06	4,86	234,8



Příloha P5

Plynový zážehový přepíňovaný motor ML 636 PBEM (verse M1.2C)

Souhrn: Zpráva podává výsledky řešení optimalizačních úloh na plynovém (LPG) zážehovém přepíňovaném motoru M1.2C ML 636PBEM s mezichlazením plnicího vzduchu a elektronickou regulací. Cílem bylo ověření výkonových a emisních parametrů na modernizované verzi motoru M1.2C při aplikaci elektronického systému regulace. Byly zjištěny a opraveny závady v provedení ovládacího a regulačního mechanismu a odchylky v nastavování bohatosti směsi systémem EŘJ.

Dosažené parametry: maximální moment 1015 Nm
 jmenovitý výkon 182 kW

Měření plynných škodlivin podle EHK 49 bylo provedeno s oxidačním katalyzátorem typu ECOS T41 a variantně s Minex DC-10.

Technická univerzita v Liberci

Fakulta strojní

Katedra strojů průmyslové dopravy

PLYNOVÝ ZÁŽEHOVÝ PŘEPLŇOVANÝ MOTOR ML 636 PBEM

Prověření výkonových a emisních parametrů motoru ML 636 PBEM
ve verzi M 1.2C

Řešitelé: Doc. Ing. Stanislav BEROUN, CSc.
Ing. Celestyn SCHOLZ
Emisní měření prac. SZ č. 232

Vedoucí katedry: Doc. Ing. Stanislav BEROUN, CSc.

Č. úkolu: 7097/710
Č. zprávy: SM 334/97
Počet stran zprávy: 4
Počet příloh: 8
Počet stran celkem: 12

Liberec, září 1997

Technická zpráva z řešení úkolu podle Smlouvy o dílo č. 7097/710

Objednatel: Krušnohorské strojirny, a.s., Most - Komořany (KSK)

Předmět smlouvy: a). Prověření výkonových a emisních parametrů plynového zážehového motoru ML 636 PBEM ve verzi motoru LIAZ M 1.2C
b). Technická zpráva s výsledky měření

K provedení práce předal objednatel úplný motor s příslušenstvím. Motor byl v laboratoři nainstalován na zkušebním stanovišti č. 10 prakticky ve stejném uspořádání, jako při jeho zástavbě v motorovém prostoru autobusu Karosa; místo filtru sání bylo použito přírodní potrubí vzduchu s měřicí clonkou pro určení průtočného množství vzduchu do motoru, chladič plyního vzduchu (Autopal/Karosa) vč. jeho připojení k motoru a výfukový systém motoru (s oxidačním katalyzátorem Ecos T 41) odpovídají autobusové zástavbě.

Úkol byl řešen v několika na sebe navazujících dílech úlohách:

1. Záběh motoru vč. základního seřízení bohatosti směsi.
2. Seřízení ovládaciho a regulačního mechanismu motoru.
3. Měření vnější otáčkové charakteristiky.
4. Měření plyných výfukových emisí.

1. Záběh motoru a základní seřízení bohatosti směsi

Po instalaci motoru na zkušební stanoviště byl proveden zkrácený záběh motoru s celkovou dobou chodu cca 6 hodin. V průběhu záběhu bylo pomocí seřizovacího šroubu v odměřovacím průřezu přítoku plynu do směšovače nastaveno základní seřízení bohatosti a pomocí seřizovacích prvků pro volnoběh bylo provedeno nastavení systému regulace volnoběžného režimu; kontrola bohatosti směsi při seřizování se prováděla sondou UEGO. Protokol se seřizovacími hodnotami je v příloze P1.

2. Seřízení ovládaciho a regulačního mechanismu motoru

Ovládací a regulační mechanismus motoru (ORM) byl dodán společně s motorem objednatel, při jeho seřizování na motoru se postupovalo podle nákresu P1 z technické zprávy SM 322/97 (KSD TU Liberec, leden 1997). Vzhledem k tomu, že se nepodařilo dosáhnout předepsaných hodnot podle P1, byla provedena kontrola některých důležitých rozměrů mechanismu - ukázalo se, hlavní příčinou byl chybný rozměr na páčce škrťací klapky. Ovládací a regulační mechanismus byl proto nastaven tak, aby účinkem tlakového korektoru bylo dosaženo požadované přivěření škrťací klapky ve jmenovitém režimu (30^o); touto úpravou se ovšem významně ovlivní průběh výkonových parametrů motoru.

Pozn.: Výkresové podklady k poslední variantě ovládaciho a regulačního mechanismu motoru ML 636 PBEM byly předány KSK i DPmMaL a tato prováděná práce má ověřit vlastnosti plynového autobusového motoru ML 636 PBEM z produkce KSK, zhotovitel proto kromě seřízení mechanismu na něm žádné další úpravy neprováděl. Seřízení ORM pro následná měření na motoru je vyznačeno na doplněném nákresu v příloze P 2.

3. Měření vnější otáčkové charakteristiky

Měření bylo provedeno s ovládáním motoru pomocí hydraulického přenosu výchylky na ovládací a regulační mechanismus (shodně s vozidlovou zástavbou) při plné výchylce ovládacího pedálu. Kromě měření běžných výkonových a provozních parametrů motoru byly měřeny i plynné škodliviny. Výsledek měření je zaznamenán v protokole na P3 a průběhy významných veličin jsou zakresleny na diagramu P4.

Celkově lze konstatovat:

1. Motor ML 636 PBEM dosahuje uspokojivých, kvalitních výkonových, provozních i emisních parametrů, odchylky v provedení (a v důsledku toho i v seřízení) ovládacího a regulačního mechanismu motoru však významně pozměnily průběh momentové charakteristiky motoru (maximum M_t leží v oblasti vysokých otáček). Při správném provedení ORM bude $M_{t, \text{MAX}}$ situován do oblasti otáček $n = 1300 - 1400 \text{ 1/min}$ a jeho velikost dosáhne bez problémů hodnot 1000 Nm (příznivě se zde zřejmě projevují vhodnější průtokové vlastnosti plnicího systému motoru M 1.2C proti provedení u motoru M 1.2A).

2. Určité odchylky proti hodnotám z optimalizace motoru ML 636 PBEM vykazují některé parametry, nastavované elektronickou řídicí jednotkou: předstih je v celém rozsahu menší o 1° , průběh bohatosti směsi se rovněž v některých bodech mírně odchyluje; jsou to však změny nepodstatné a ve svých důsledcích se často navzájem eliminují.

3. Pro dosažení uspokojivých výkonových, provozních a emisních parametrů motoru má zcela zásadní význam správné základní seřízení regulačních prvků palivového systému a to jak pro volnoběh motoru, tak pro plné zatížení. Při instalaci motoru na zkušební toto nebude dělat problémy, pokud se však takové seřízení bude provádět až po instalaci motoru do vozidla, doporučujeme důkladně prověřit zvolený postup, aby chybným seřízením neměl motor vysoké výfukové emise, ale taky aby nemohlo dojít ke zvýšenému mechanickému a tepelnému zatížení motoru: **v každém případě se seřizování palivového systému na motoru ML 636 PBEM musí provádět v režimu plného zatížení motoru.**

4. Měření plynných výfukových emisí.

Měření plynných výfukových emisí bylo provedeno v režimech 13 bodového emisního cyklu EHK 49; pro možnost porovnání s obdobnými měřeními na motoru ML 636 PBEM (prosinec 1996, techn. zpráva SM 322/97) byly střední otáčky zvoleny $n = 1400 \text{ 1/min}$ (přestože změřená vnější otáčková charakteristika má $M_{t, \text{MAX}}$ až ve vyšších otáčkách). Při těchto měřeních je z důvodů bezproblémového nastavování jednotlivých režimů ovládaní motoru zajištěno přímým napojením servopohonu na páčku škrtkací klapky. Maximální točivý moment na středních otáčkách byl nastaven na hodnotu $M_{t, \text{MAX}} = 1000 \text{ Nm}$. Odběr vzorku výfukových plynů pro analýzu byl proveden v místech před i za oxidačním katalyzátorem, aby bylo možné určit účinnost katalyzátoru. Výsledek těchto měření je zpracován v protokolech na P5 a P6.

Pro ověření vlivu provedení oxidačního katalyzátoru na úroveň výfukových emisí motoru ML 636 PBEM zajistila s.r.o. ČEMAT Bohumín nový katalyzátor MINE-X DC 10 (klasický oxidační katalyzátor na kovovém nosiči); tento katalyzátor byl zabudován dovnitř tělesa tlumiče výfuku (DPmMaL - náhradou za koš granulového katalyzátoru Ecos T 41). Měření výfukových škodlivin s tímto katalyzátorem bylo provedeno stejným způsobem jako u

předcházejícího měření s katalyzátorem Ecos T 41; výsledek těchto měření je zpracován v protokolech na P7 a P8.

Pozn. Před emisním měřením s oxidačním katalyzátorem byl do 6. válce motoru namontován pist (KSD/DPmMaL) s modifikovaným spalovacím prostorem (č.v. KSD 2 - 0.04/97) k ověření změny turbulence ve spalovacím prostoru při zachování základního tvaru spalovacího prostoru i kompresního poměru na průběh spalovacího procesu. Byla provedena podrobná vysokotlaká indikace, termodynamické vyhodnocení pracovních cyklů bude předmětem další práce na KSD a nijak nesouvisí s obsahem Smlouvy o dílo č. 7097/710 - příp. nové poznatky z této práce budou DPmMaL i KSK oznámeny později. Na ověření účinnosti zkoušeného katalyzátoru nemá tato úprava na motoru vliv.

Výsledky měření ukazují, že:

1. Emisní vlastnosti motoru ML 636 PBEM - M 1.2C spolehlivě vyhovují limitním hodnotám podle EURO II.

2. Oxidační katalyzátor Ecos T 41 (nový !) vykazuje účinnost likvidace výfukových škodlivin pro CH 69 % a pro CO 77 %, obě účinnosti jsou zhruba srovnatelné s účinnostmi katalyzátoru Ecos T 41 z měření na ML 636 PBM (15.7.96 - rovněž téměř nový katalyzátor), lze ale předpokládat, že jeho účinnost se bude postupně snižovat obdobně jako bylo zjištěno při opakovaných měřeních na ML 636 PBEM v r. 1996 (viz zpráva SM 322/97).

3. Oxidační katalyzátor MINE-X DC 10 vykazuje účinnost likvidace výfukových škodlivin pro CH 77% a pro CO 83%; účinnosti jsou v obou případech vyšší než u katalyzátoru Ecos T 41 (jsou však poněkud nižší, než bylo zjištěno při měřeních tohoto typu katalyzátoru na motoru ML 636 PB v r. 1994). Životnost tohoto katalyzátoru se v materiálech dodavatele neuvádí, dotazem u dodavatele byla životnost tohoto katalyzátoru pro plynový motor předpokládána průběhem 1 milion km, údaje v odborné literatuře uvádějí životnost klasického katalyzátoru s kovovým nosičem kolem 15000 hodin.

4. Při jednotlivých měřeních, prováděných postupně na motoru ML 636 PBEM (seřizování a záběh motoru, vnější otáčková charakteristika motoru a emisní testy motoru), byly zjišťovány (měřením pomocí sondy UEGO) určité odchylky v nastavování bohatosti směsi systémem EŘJ, s proměnlivostí bohatosti směsi potom korespondují i naměřené emise výfukových škodlivin.

- Kontrola seřizené bohatosti po skončeném záběhu v režimu $n = 1950$ 1/min a $M_t = 690$ Nm: UEGO = 3,51 V, tj. $\lambda = 1,55$ (měř. 20.8.97).
- Měření vnější otáčkové charakteristiky, $n = 2000$ 1/min, $M_t = 770$ Nm: UEGO = 3,48 V, tj. $\lambda = 3,48$, $C_1H = 186$ ppm, $NO_x = 205$ ppm (měř. 21.8.97).
- Emisní měření, $n = 2000$ 1/min, $M_t = 780$ Nm: UEGO = 3,51 V, tj. $\lambda = 1,55$, $C_1H = 405$ ppm, $NO_x = 125$ ppm (měř. 22.8.97).

Určitou proměnlivost bohatosti směsi prokazuje i porovnání koncentrací výfukových emisí před katalyzátorem ve vybraných režimech 13 bodového emisního testu.

- Emisní měření 22.8.97, $n = 1400$ 1/min, $M_t = 1000$ Nm: UEGO = 3,42 V, tj. $\lambda = 1,418$, $C_1H = 870$ ppm, $NO_x = 490$ ppm.
- Emisní měření 29.8.97, $n = 1400$ 1/min, $M_t = 1000$ Nm: UEGO = 3,46 V, tj. $\lambda = 1,475$, $C_1H = 960$ ppm, $NO_x = 310$ ppm.

- Emisní měření 22.8.97, $n = 2000$ 1/min, $M_t = 780$ Nm:
UEGO = 3,51 V, tj. $\lambda = 1,55$, $C_1H = 1020$ ppm, $NO_x = 130$ ppm.
- Emisní měření 29.8.97, $n = 2000$ 1/min, $M_t = 775$ Nm:
UEGO = 3,51 V, tj. $\lambda = 1,55$, $C_1H = 1170$ ppm, $NO_x = 110$ ppm.

Ve všech případech byla měření prováděna za téměř shodných vnějších podmínek měření (venkovní teplota i teplota vzduchu v laboratoři, barometrický tlak, teplotní stav motoru, tlak LPG na vstupu do odpařovače a regulátoru tlaku). Tato skutečnost by však neměla ovlivnit plnění EURO II (vzhledem k rezervě emisních parametrů motoru ML 636 PBEM k limitním hodnotám EURO).

Závěr

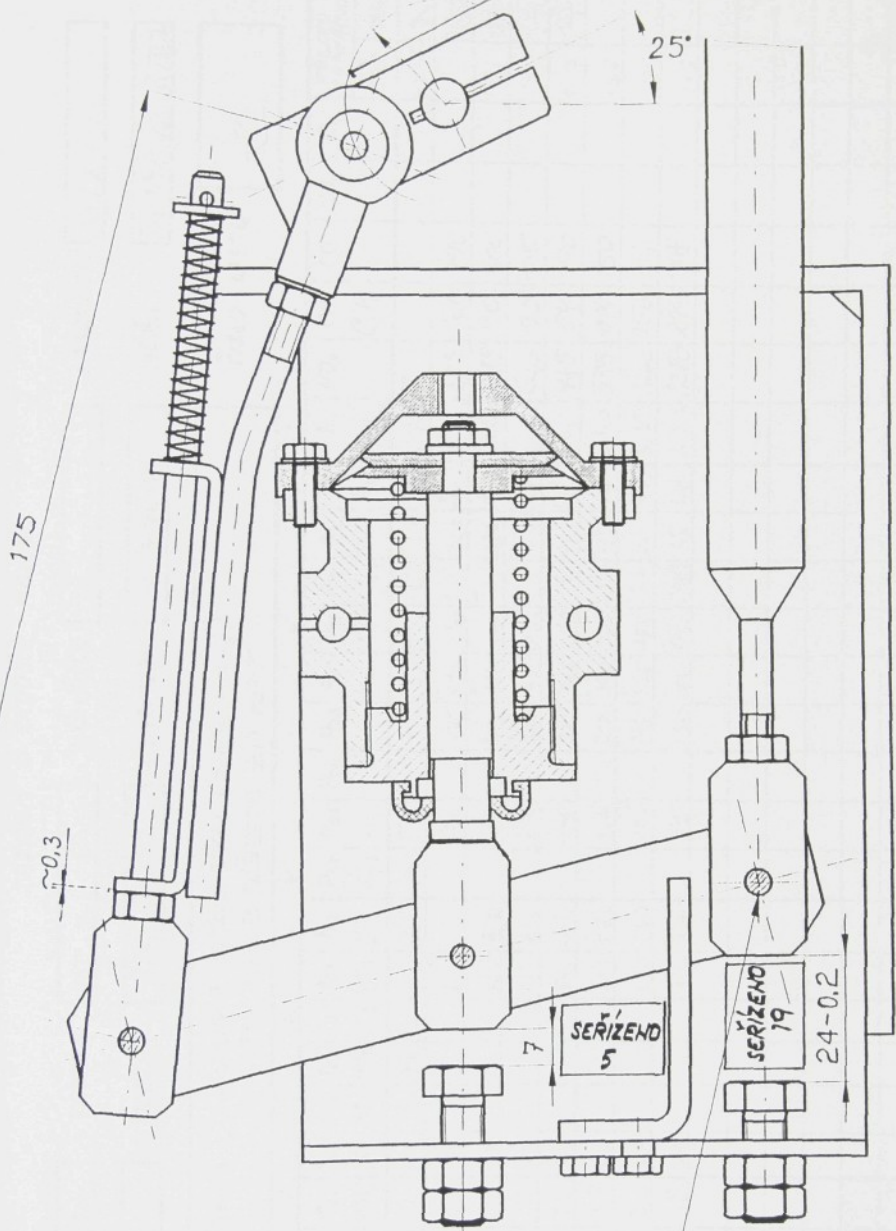
Plynový zážehový motor ML 636 PBEM v provedení M1.2C pro autobus MHD vykazuje velmi kvalitní výkonové i emisní parametry. Pro zajištění reprodukovatelnosti těchto parametrů a potřebné spolehlivosti z hlediska jejich stálosti při výrobě jednotlivých motorů je však nutné dodržovat předepsané výrobní (rozměrové) hodnoty; zásadní je potom správně nastavit základní seřízení ovládacího a regulačního ústrojí motoru a bohatosti směsi. Opakovaně zdůrazňujeme: **seřizování palivového systému na motoru ML 636 PBEM se musí provádět v režimu plného zatížení motoru s kontrolou bohatosti podle UEGO, motor nelze spolehlivě seřadit jen podle údajů předpisu Deltec o poloze seřizovacího šroubu.**

1/29

KONTROLA
R22

TRA. STATICKA $\alpha_{KL} = 53^\circ$

P2



PŘIPOJENÍ SNIMAČE PRO ŘÍZENÍ PŘEVODOVKY

TU LIBEREC 10.1.1997

POZN.: HODNOTY ZAPSANÉ V RÁMEČKU BYLY ZJIŠTĚNY, RESP. BYLO MOŽNÉ NASTAVIT
PŘI SEŘÍZENÍ MECHANISMU NA MOTORU ML 636 PBEM-M1.2C

ZÁZNAM O ZKOUŠCE MOTORU

ZNAČKA	VL636 TBEH	VÝROBE	DIETHEL-KSK	VÝR.ČÍSLO	0 - 1 - 101	DAT.ZKOUŠKY	29.12.1972
PALIVO	PT-TP	OLEJ	H7.2.15.111	BAR.TLAK	434400	MÉRIL	211V2, BE, 57004

PŘÍSLUŠENSTVÍ

Taltec E - OXIKAT ECOS T41 (zcela nový)
- VÝFUK. EMISE MĚŘENY ZA KAT

ČÍSLO LISTU

2

Č.	n	M _t	PREDSTIH	t ₀₁ [°C]	P ₀₁ [BAR]	t ₀₁ [°C]	t ₀₂ [°C]	t ₀₃ [°C]	t ₀₄ [°C]	t ₀₅ [°C]	t ₀₆ [°C]	t ₀₇ [°C]	t ₀₈ [°C]	t ₀₉ [°C]	P ₀₁ [BAR]	P ₀₂ [BAR]	P ₀₃ [BAR]	P ₀₄ [BAR]	P ₀₅ [BAR]	P ₀₆ [BAR]	P ₀₇ [BAR]	P ₀₈ [BAR]	P ₀₉ [BAR]	P ₁₀ [BAR]	P ₁₁ [BAR]	P ₁₂ [BAR]	P ₁₃ [BAR]	P ₁₄ [BAR]	P ₁₅ [BAR]	P ₁₆ [BAR]	P ₁₇ [BAR]	P ₁₈ [BAR]	P ₁₉ [BAR]	P ₂₀ [BAR]	P ₂₁ [BAR]	P ₂₂ [BAR]	P ₂₃ [BAR]	P ₂₄ [BAR]	P ₂₅ [BAR]	P ₂₆ [BAR]	P ₂₇ [BAR]	P ₂₈ [BAR]	P ₂₉ [BAR]	P ₃₀ [BAR]	P ₃₁ [BAR]	P ₃₂ [BAR]	P ₃₃ [BAR]	P ₃₄ [BAR]	P ₃₅ [BAR]	P ₃₆ [BAR]	P ₃₇ [BAR]	P ₃₈ [BAR]	P ₃₉ [BAR]	P ₄₀ [BAR]	P ₄₁ [BAR]	P ₄₂ [BAR]	P ₄₃ [BAR]	P ₄₄ [BAR]	P ₄₅ [BAR]	P ₄₆ [BAR]	P ₄₇ [BAR]	P ₄₈ [BAR]	P ₄₉ [BAR]	P ₅₀ [BAR]	P ₅₁ [BAR]	P ₅₂ [BAR]	P ₅₃ [BAR]	P ₅₄ [BAR]	P ₅₅ [BAR]	P ₅₆ [BAR]	P ₅₇ [BAR]	P ₅₈ [BAR]	P ₅₉ [BAR]	P ₆₀ [BAR]	P ₆₁ [BAR]	P ₆₂ [BAR]	P ₆₃ [BAR]	P ₆₄ [BAR]	P ₆₅ [BAR]	P ₆₆ [BAR]	P ₆₇ [BAR]	P ₆₈ [BAR]	P ₆₉ [BAR]	P ₇₀ [BAR]	P ₇₁ [BAR]	P ₇₂ [BAR]	P ₇₃ [BAR]	P ₇₄ [BAR]	P ₇₅ [BAR]	P ₇₆ [BAR]	P ₇₇ [BAR]	P ₇₈ [BAR]	P ₇₉ [BAR]	P ₈₀ [BAR]	P ₈₁ [BAR]	P ₈₂ [BAR]	P ₈₃ [BAR]	P ₈₄ [BAR]	P ₈₅ [BAR]	P ₈₆ [BAR]	P ₈₇ [BAR]	P ₈₈ [BAR]	P ₈₉ [BAR]	P ₉₀ [BAR]	P ₉₁ [BAR]	P ₉₂ [BAR]	P ₉₃ [BAR]	P ₉₄ [BAR]	P ₉₅ [BAR]	P ₉₆ [BAR]	P ₉₇ [BAR]	P ₉₈ [BAR]	P ₉₉ [BAR]	P ₁₀₀ [BAR]	P ₁₀₁ [BAR]	P ₁₀₂ [BAR]	P ₁₀₃ [BAR]	P ₁₀₄ [BAR]	P ₁₀₅ [BAR]	P ₁₀₆ [BAR]	P ₁₀₇ [BAR]	P ₁₀₈ [BAR]	P ₁₀₉ [BAR]	P ₁₁₀ [BAR]	P ₁₁₁ [BAR]	P ₁₁₂ [BAR]	P ₁₁₃ [BAR]	P ₁₁₄ [BAR]	P ₁₁₅ [BAR]	P ₁₁₆ [BAR]	P ₁₁₇ [BAR]	P ₁₁₈ [BAR]	P ₁₁₉ [BAR]	P ₁₂₀ [BAR]	P ₁₂₁ [BAR]	P ₁₂₂ [BAR]	P ₁₂₃ [BAR]	P ₁₂₄ [BAR]	P ₁₂₅ [BAR]	P ₁₂₆ [BAR]	P ₁₂₇ [BAR]	P ₁₂₈ [BAR]	P ₁₂₉ [BAR]	P ₁₃₀ [BAR]	P ₁₃₁ [BAR]	P ₁₃₂ [BAR]	P ₁₃₃ [BAR]	P ₁₃₄ [BAR]	P ₁₃₅ [BAR]	P ₁₃₆ [BAR]	P ₁₃₇ [BAR]	P ₁₃₈ [BAR]	P ₁₃₉ [BAR]	P ₁₄₀ [BAR]	P ₁₄₁ [BAR]	P ₁₄₂ [BAR]	P ₁₄₃ [BAR]	P ₁₄₄ [BAR]	P ₁₄₅ [BAR]	P ₁₄₆ [BAR]	P ₁₄₇ [BAR]	P ₁₄₈ [BAR]	P ₁₄₉ [BAR]	P ₁₅₀ [BAR]	P ₁₅₁ [BAR]	P ₁₅₂ [BAR]	P ₁₅₃ [BAR]	P ₁₅₄ [BAR]	P ₁₅₅ [BAR]	P ₁₅₆ [BAR]	P ₁₅₇ [BAR]	P ₁₅₈ [BAR]	P ₁₅₉ [BAR]	P ₁₆₀ [BAR]	P ₁₆₁ [BAR]	P ₁₆₂ [BAR]	P ₁₆₃ [BAR]	P ₁₆₄ [BAR]	P ₁₆₅ [BAR]	P ₁₆₆ [BAR]	P ₁₆₇ [BAR]	P ₁₆₈ [BAR]	P ₁₆₉ [BAR]	P ₁₇₀ [BAR]	P ₁₇₁ [BAR]	P ₁₇₂ [BAR]	P ₁₇₃ [BAR]	P ₁₇₄ [BAR]	P ₁₇₅ [BAR]	P ₁₇₆ [BAR]	P ₁₇₇ [BAR]	P ₁₇₈ [BAR]	P ₁₇₉ [BAR]	P ₁₈₀ [BAR]	P ₁₈₁ [BAR]	P ₁₈₂ [BAR]	P ₁₈₃ [BAR]	P ₁₈₄ [BAR]	P ₁₈₅ [BAR]	P ₁₈₆ [BAR]	P ₁₈₇ [BAR]	P ₁₈₈ [BAR]	P ₁₈₉ [BAR]	P ₁₉₀ [BAR]	P ₁₉₁ [BAR]	P ₁₉₂ [BAR]	P ₁₉₃ [BAR]	P ₁₉₄ [BAR]	P ₁₉₅ [BAR]	P ₁₉₆ [BAR]	P ₁₉₇ [BAR]	P ₁₉₈ [BAR]	P ₁₉₉ [BAR]	P ₂₀₀ [BAR]	P ₂₀₁ [BAR]	P ₂₀₂ [BAR]	P ₂₀₃ [BAR]	P ₂₀₄ [BAR]	P ₂₀₅ [BAR]	P ₂₀₆ [BAR]	P ₂₀₇ [BAR]	P ₂₀₈ [BAR]	P ₂₀₉ [BAR]	P ₂₁₀ [BAR]	P ₂₁₁ [BAR]	P ₂₁₂ [BAR]	P ₂₁₃ [BAR]	P ₂₁₄ [BAR]	P ₂₁₅ [BAR]	P ₂₁₆ [BAR]	P ₂₁₇ [BAR]	P ₂₁₈ [BAR]	P ₂₁₉ [BAR]	P ₂₂₀ [BAR]	P ₂₂₁ [BAR]	P ₂₂₂ [BAR]	P ₂₂₃ [BAR]	P ₂₂₄ [BAR]	P ₂₂₅ [BAR]	P ₂₂₆ [BAR]	P ₂₂₇ [BAR]	P ₂₂₈ [BAR]	P ₂₂₉ [BAR]	P ₂₃₀ [BAR]	P ₂₃₁ [BAR]	P ₂₃₂ [BAR]	P ₂₃₃ [BAR]	P ₂₃₄ [BAR]	P ₂₃₅ [BAR]	P ₂₃₆ [BAR]	P ₂₃₇ [BAR]	P ₂₃₈ [BAR]	P ₂₃₉ [BAR]	P ₂₄₀ [BAR]	P ₂₄₁ [BAR]	P ₂₄₂ [BAR]	P ₂₄₃ [BAR]	P ₂₄₄ [BAR]	P ₂₄₅ [BAR]	P ₂₄₆ [BAR]	P ₂₄₇ [BAR]	P ₂₄₈ [BAR]	P ₂₄₉ [BAR]	P ₂₅₀ [BAR]	P ₂₅₁ [BAR]	P ₂₅₂ [BAR]	P ₂₅₃ [BAR]	P ₂₅₄ [BAR]	P ₂₅₅ [BAR]	P ₂₅₆ [BAR]	P ₂₅₇ [BAR]	P ₂₅₈ [BAR]	P ₂₅₉ [BAR]	P ₂₆₀ [BAR]	P ₂₆₁ [BAR]	P ₂₆₂ [BAR]	P ₂₆₃ [BAR]	P ₂₆₄ [BAR]	P ₂₆₅ [BAR]	P ₂₆₆ [BAR]	P ₂₆₇ [BAR]	P ₂₆₈ [BAR]	P ₂₆₉ [BAR]	P ₂₇₀ [BAR]	P ₂₇₁ [BAR]	P ₂₇₂ [BAR]	P ₂₇₃ [BAR]	P ₂₇₄ [BAR]	P ₂₇₅ [BAR]	P ₂₇₆ [BAR]	P ₂₇₇ [BAR]	P ₂₇₈ [BAR]	P ₂₇₉ [BAR]	P ₂₈₀ [BAR]	P ₂₈₁ [BAR]	P ₂₈₂ [BAR]	P ₂₈₃ [BAR]	P ₂₈₄ [BAR]	P ₂₈₅ [BAR]	P ₂₈₆ [BAR]	P ₂₈₇ [BAR]	P ₂₈₈ [BAR]	P ₂₈₉ [BAR]	P ₂₉₀ [BAR]	P ₂₉₁ [BAR]	P ₂₉₂ [BAR]	P ₂₉₃ [BAR]	P ₂₉₄ [BAR]	P ₂₉₅ [BAR]	P ₂₉₆ [BAR]	P ₂₉₇ [BAR]	P ₂₉₈ [BAR]	P ₂₉₉ [BAR]	P ₃₀₀ [BAR]	P ₃₀₁ [BAR]	P ₃₀₂ [BAR]	P ₃₀₃ [BAR]	P ₃₀₄ [BAR]	P ₃₀₅ [BAR]	P ₃₀₆ [BAR]	P ₃₀₇ [BAR]	P ₃₀₈ [BAR]	P ₃₀₉ [BAR]	P ₃₁₀ [BAR]	P ₃₁₁ [BAR]	P ₃₁₂ [BAR]	P ₃₁₃ [BAR]	P ₃₁₄ [BAR]	P ₃₁₅ [BAR]	P ₃₁₆ [BAR]	P ₃₁₇ [BAR]	P ₃₁₈ [BAR]	P ₃₁₉ [BAR]	P ₃₂₀ [BAR]	P ₃₂₁ [BAR]	P ₃₂₂ [BAR]	P ₃₂₃ [BAR]	P ₃₂₄ [BAR]	P ₃₂₅ [BAR]	P ₃₂₆ [BAR]	P ₃₂₇ [BAR]	P ₃₂₈ [BAR]	P ₃₂₉ [BAR]	P ₃₃₀ [BAR]	P ₃₃₁ [BAR]	P ₃₃₂ [BAR]	P ₃₃₃ [BAR]	P ₃₃₄ [BAR]	P ₃₃₅ [BAR]	P ₃₃₆ [BAR]	P ₃₃₇ [BAR]	P ₃₃₈ [BAR]	P ₃₃₉ [BAR]	P ₃₄₀ [BAR]	P ₃₄₁ [BAR]	P ₃₄₂ [BAR]	P ₃₄₃ [BAR]	P ₃₄₄ [BAR]	P ₃₄₅ [BAR]	P ₃₄₆ [BAR]	P ₃₄₇ [BAR]	P ₃₄₈ [BAR]	P ₃₄₉ [BAR]	P ₃₅₀ [BAR]	P ₃₅₁ [BAR]	P ₃₅₂ [BAR]	P ₃₅₃ [BAR]	P ₃₅₄ [BAR]	P ₃₅₅ [BAR]	P ₃₅₆ [BAR]	P ₃₅₇ [BAR]	P ₃₅₈ [BAR]	P ₃₅₉ [BAR]	P ₃₆₀ [BAR]	P ₃₆₁ [BAR]	P ₃₆₂ [BAR]	P ₃₆₃ [BAR]	P ₃₆₄ [BAR]	P ₃₆₅ [BAR]	P ₃₆₆ [BAR]	P ₃₆₇ [BAR]	P ₃₆₈ [BAR]	P ₃₆₉ [BAR]	P ₃₇₀ [BAR]	P ₃₇₁ [BAR]	P ₃₇₂ [BAR]	P ₃₇₃ [BAR]	P ₃₇₄ [BAR]	P ₃₇₅ [BAR]	P ₃₇₆ [BAR]	P ₃₇₇ [BAR]	P ₃₇₈ [BAR]	P ₃₇₉ [BAR]	P ₃₈₀ [BAR]	P ₃₈₁ [BAR]	P ₃₈₂ [BAR]	P ₃₈₃ [BAR]	P ₃₈₄ [BAR]	P ₃₈₅ [BAR]	P ₃₈₆ [BAR]	P ₃₈₇ [BAR]	P ₃₈₈ [BAR]	P ₃₈₉ [BAR]	P ₃₉₀ [BAR]	P ₃₉₁ [BAR]	P ₃₉₂ [BAR]	P ₃₉₃ [BAR]	P ₃₉₄ [BAR]	P ₃₉₅ [BAR]	P ₃₉₆ [BAR]	P ₃₉₇ [BAR]	P ₃₉₈ [BAR]	P ₃₉₉ [BAR]	P ₄₀₀ [BAR]	P ₄₀₁ [BAR]	P ₄₀₂ [BAR]	P ₄₀₃ [BAR]	P ₄₀₄ [BAR]	P ₄₀₅ [BAR]	P ₄₀₆ [BAR]	P ₄₀₇ [BAR]	P ₄₀₈ [BAR]	P ₄₀₉ [BAR]	P ₄₁₀ [BAR]	P ₄₁₁ [BAR]	P ₄₁₂ [BAR]	P ₄₁₃ [BAR]	P ₄₁₄ [BAR]	P ₄₁₅ [BAR]	P ₄₁₆ [BAR]	P ₄₁₇ [BAR]	P ₄₁₈ [BAR]	P ₄₁₉ [BAR]	P ₄₂₀ [BAR]	P ₄₂₁ [BAR]	P ₄₂₂ [BAR]	P ₄₂₃ [BAR]	P ₄₂₄ [BAR]	P ₄₂₅ [BAR]	P ₄₂₆ [BAR]	P ₄₂₇ [BAR]	P ₄₂₈ [BAR]	P ₄₂₉ [BAR]	P ₄₃₀ [BAR]	P ₄₃₁ [BAR]	P ₄₃₂ [BAR]	P ₄₃₃ [BAR]	P ₄₃₄ [BAR]	P ₄₃₅ [BAR]	P ₄₃₆ [BAR]	P ₄₃₇ [BAR]	P ₄₃₈ [BAR]	P ₄₃₉ [BAR]	P ₄₄₀ [BAR]	P ₄₄₁ [BAR]	P ₄₄₂ [BAR]	P ₄₄₃ [BAR]	P ₄₄₄ [BAR]	P ₄₄₅ [BAR]	P ₄₄₆ [BAR]	P ₄₄₇ [BAR]	P ₄₄₈ [BAR]	P ₄₄₉ [BAR]	P ₄₅₀ [BAR]	P ₄₅₁ [BAR]	P ₄₅₂ [BAR]	P ₄₅₃ [BAR]	P ₄₅₄ [BAR]	P ₄₅₅ [BAR]	P ₄₅₆ [BAR]	P ₄₅₇ [BAR]	P ₄₅₈ [BAR]	P ₄₅₉ [BAR]	P ₄₆₀ [BAR]	P ₄₆₁ [BAR]	P ₄₆₂ [BAR]	P ₄₆₃ [BAR]	P ₄₆₄ [BAR]	P ₄₆₅ [BAR]	P ₄₆₆ [BAR]	P ₄₆₇ [BAR]	P ₄₆₈ [BAR]	P ₄₆₉ [BAR]	P ₄₇₀ [BAR]	P ₄₇₁ [BAR]	P ₄₇₂ [BAR]	P ₄₇₃ [BAR]	P ₄₇₄ [BAR]	P ₄₇₅ [BAR]	P ₄₇₆ [BAR]	P ₄₇₇ [BAR]	P ₄₇₈ [BAR]	P ₄₇₉ [BAR]	P ₄₈₀ [BAR]	P ₄₈₁ [BAR]	P ₄₈₂ [BAR]	P ₄₈₃ [BAR]	P ₄₈₄ [BAR]	P ₄₈₅ [BAR]	P ₄₈₆ [BAR]	P ₄₈₇ [BAR]	P ₄₈₈ [BAR]	P ₄₈₉ [BAR]	P ₄₉₀ [BAR]	P ₄₉₁ [BAR]	P ₄₉₂ [BAR]	P ₄₉₃ [BAR]	P ₄₉₄ [BAR]	P ₄₉₅ [BAR]	P ₄₉₆ [BAR]	P ₄₉₇ [BAR]	P ₄₉₈ [BAR]	P ₄₉₉ [BAR]	P ₅₀₀ [BAR]	P ₅₀₁ [BAR]	P ₅₀₂ [BAR]	P ₅₀₃ [BAR]	P ₅₀₄ [BAR]	P ₅₀₅ [BAR]	P ₅₀₆ [BAR]	P ₅₀₇ [BAR]	P ₅₀₈ [BAR]	P ₅₀₉ [BAR]	P ₅₁₀ [BAR]	P ₅₁₁ [BAR]	P ₅₁₂ [BAR]	P ₅₁₃ [BAR]	P ₅₁₄ [BAR]	P ₅₁₅ [BAR]	P ₅₁₆ [BAR]	P ₅₁₇ [BAR]	P ₅₁₈ [BAR]	P ₅₁₉ [BAR]	P ₅₂₀ [BAR]	P ₅₂₁ [BAR]	P ₅₂₂ [BAR]	P ₅₂₃ [BAR]	P ₅₂₄ [BAR]	P ₅₂₅ [BAR]	P ₅₂₆ [BAR]	P ₅₂₇ [BAR]	P ₅₂₈ [BAR]	P ₅₂₉ [BAR]	P ₅₃₀ [BAR]	P ₅₃₁ [BAR]	P ₅₃₂ [BAR]	P ₅₃₃ [BAR]	P ₅₃₄ [BAR]	P ₅₃₅ [BAR]	P ₅₃₆ [BAR]	P ₅₃₇ [BAR]	P ₅₃₈ [BAR]	P ₅₃₉ [BAR]	P ₅₄₀ [BAR]	P ₅₄₁ [BAR]	P ₅₄₂ [BAR]	P ₅₄₃ [BAR]	P ₅₄₄ [BAR]	P ₅₄₅ [BAR]	P ₅₄₆ [BAR]	P ₅₄₇ [BAR]	P ₅₄₈ [BAR]	P ₅₄₉ [BAR]	P ₅₅₀ [BAR]	P ₅₅₁ [BAR]	P ₅₅₂ [BAR]	P ₅₅₃ [BAR]	P ₅₅₄ [BAR]	P ₅₅₅ [BAR]	P ₅₅₆ [BAR]	P ₅₅₇ [BAR]	P ₅₅₈ [BAR]	P ₅₅₉ [BAR]	P ₅₆₀ [BAR]	P ₅₆₁ [BAR]	P ₅₆₂ [BAR]	P ₅₆₃ [BAR]	P ₅₆₄ [BAR]	P ₅₆₅ [BAR]	P ₅₆₆ [BAR]	P ₅₆₇ [BAR]	P ₅₆₈ [BAR]	P ₅₆₉ [BAR]	P ₅₇₀ [BAR]	P ₅₇₁ [BAR]	P ₅₇₂ [BAR]	P ₅₇₃ [BAR]	P ₅₇₄ [BAR]	P ₅₇₅ [BAR]	P ₅₇₆ [BAR]	P ₅₇₇ [BAR]	P ₅₇₈ [BAR]	P ₅₇₉ [BAR]	P ₅₈₀ [BAR]	P ₅₈₁ [BAR]	P ₅₈₂ [BAR]	P ₅₈₃ [BAR]	P ₅₈₄ [BAR]	P ₅₈₅ [BAR]	P ₅₈₆ [BAR]	P ₅₈₇ [BAR]	P ₅₈₈ [BAR]	P ₅₈₉ [BAR]	P ₅₉₀ [BAR]	P ₅₉₁ [BAR]	P ₅₉₂ [BAR]	P ₅₉₃ [BAR]	P ₅₉₄ [BAR]	P ₅₉₅ [BAR]	P ₅₉₆ [BAR]	P ₅₉₇ [BAR]	P ₅₉₈ [BAR]	P ₅₉₉ [BAR]	P ₆₀₀ [BAR]	P ₆₀₁ [BAR]	P ₆₀₂ [BAR]	P ₆₀₃ [BAR]	P ₆₀₄ [BAR]	P ₆₀₅ [BAR]	P ₆₀₆ [BAR]	P ₆₀₇ [BAR]	P ₆₀₈ [BAR]	P ₆₀₉ [BAR]	P ₆₁₀ [BAR]	P ₆₁₁ [BAR]	P ₆₁₂ [BAR]	P ₆₁₃ [BAR]	P ₆₁₄ [BAR]	P ₆₁₅ [BAR]	P ₆₁₆ [BAR]	P ₆₁₇ [BAR]	P ₆₁₈ [BAR]	P ₆₁₉ [BAR]	P ₆₂₀ [BAR]	P ₆₂₁ [BAR]	P ₆₂₂ [BAR]	P ₆₂₃ [BAR]	P ₆₂₄ [BAR]	P ₆₂₅ [BAR]	P ₆₂₆ [BAR]	P ₆₂₇ [BAR]	P ₆₂₈ [BAR]	P ₆₂₉ [BAR]	P ₆₃₀ [BAR]	P ₆₃₁ [BAR]	P ₆₃₂ [BAR]	P ₆₃₃ [BAR]	P ₆₃₄ [BAR]	P ₆₃₅ [BAR]	P ₆₃₆ [BAR]	P ₆₃₇ [BAR]	P ₆₃₈ [BAR]	P ₆₃₉ [BAR]	P ₆₄₀ [BAR]	P ₆₄₁ [BAR]	P ₆₄₂ [BAR]	P ₆₄₃ [BAR]	P ₆₄₄ [BAR]	P ₆₄₅ [BAR]	P ₆₄₆ [BAR]	P ₆₄₇ [BAR]	P ₆₄₈ [BAR]	P ₆₄₉ [BAR]	P ₆₅₀ [BAR]	P ₆₅₁ [BAR]	P ₆₅₂ [BAR]	P ₆₅₃ [BAR]	P ₆₅₄ [BAR]	P ₆₅₅ [BAR]	P ₆₅₆ [BAR]	P ₆₅₇ [BAR]	P ₆₅₈ [BAR]	P ₆₅₉ [BAR]	P ₆₆₀ [BAR]	P ₆₆₁ [BAR]	P ₆₆₂ [BAR]	P ₆₆₃ [BAR]	P ₆₆₄ [BAR]	P ₆₆₅ [BAR]	P ₆₆₆ [BAR]	P ₆₆₇ [BAR]	P ₆₆₈ [BAR]	P ₆₆₉ [BAR]	P ₆₇₀ [BAR]	P ₆₇₁ [BAR]	P ₆₇₂ [BAR]	P ₆₇₃ [BAR]	P ₆₇₄ [BAR]	P ₆₇₅ [BAR]	P ₆₇₆ [BAR]	P ₆₇₇ [BAR]	P ₆₇₈ [BAR]	P ₆₇₉ [BAR]	P ₆₈₀ [BAR]	P ₆₈₁ [BAR]	P ₆₈₂ [BAR]	P ₆₈₃ [BAR]	P ₆₈₄ [BAR]	P ₆₈₅ [BAR]	P ₆₈₆ [BAR]	P ₆₈₇ [BAR]	P ₆₈₈ [BAR]	P ₆₈₉ [BAR]	P ₆₉₀ [BAR]	P ₆₉₁ [BAR]	P ₆₉₂ [BAR]	P ₆₉₃ [BAR]	P ₆₉₄ [BAR]	P ₆₉₅ [BAR]	P ₆₉₆ [BAR]	P ₆₉₇ [BAR]	P ₆₉₈ [BAR]	P ₆₉₉ [BAR]	P ₇₀₀ [BAR]	P ₇₀₁ [BAR]	P ₇₀₂ [BAR]	P ₇₀₃ [BAR]	P ₇₀₄ [BAR]	P ₇₀₅ [BAR]	P ₇₀₆ [BAR]	P ₇₀₇ [BAR]	P ₇₀₈ [BAR]	P ₇₀₉ [BAR]	P ₇₁₀ [BAR]	P ₇₁₁ [BAR]	P ₇₁₂ [BAR]	P ₇₁₃ [BAR]	P ₇₁₄ [BAR]	P ₇₁₅ [BAR]	P ₇₁₆ [BAR]	P ₇₁₇ [BAR]	P ₇₁₈ [BAR]	P ₇₁₉ [BAR]	P ₇₂₀ [BAR]	P ₇₂₁ [BAR]	P ₇₂₂ [BAR]	P ₇₂₃ [BAR]	P ₇₂₄ [BAR]	P ₇₂₅ [BAR]	P ₇₂₆ [BAR]	P ₇₂₇ [BAR]	P ₇₂₈ [BAR]	P ₇₂₉ [BAR]	P ₇₃₀ [BAR]	P ₇₃₁ [BAR]	P ₇₃₂ [BAR]	P ₇₃₃ [BAR]	P ₇₃₄ [BAR]	P ₇₃₅ [BAR]	P ₇₃₆ [BAR]	P ₇₃₇ [BAR]	P ₇₃₈ [BAR]	P ₇₃₉ [BAR]	P ₇₄₀ [BAR]	P ₇₄₁ [BAR]	P ₇₄₂ [BAR]	P ₇₄₃ [BAR]	P ₇₄₄ [BAR]	P ₇₄₅ [BAR]	P ₇₄₆ [BAR]	P ₇₄₇ [BAR]	P ₇₄₈ [BAR]	P ₇₄₉ [BAR]	P ₇₅₀ [BAR]	P ₇₅₁ [BAR]	P ₇₅₂ [BAR]	P ₇₅₃ [BAR]	P ₇₅₄ [BAR]	P ₇₅₅ [BAR]	P ₇₅₆ [BAR]	P ₇₅₇ [BAR]	P ₇₅₈ [BAR]	P ₇₅₉ [BAR]	P ₇₆₀ [BAR]	P ₇₆₁ [BAR]	P ₇₆₂ [BAR]	P ₇₆₃ [BAR]	P ₇₆₄ [BAR]	P ₇₆₅ [BAR]	P ₇₆₆ [BAR]	P ₇₆₇ [BAR]	P<
----	---	----------------	----------	----------------------	-----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	----

————— ML 636 PBEM - "A" - MĚŘENÍ 12.12.1996

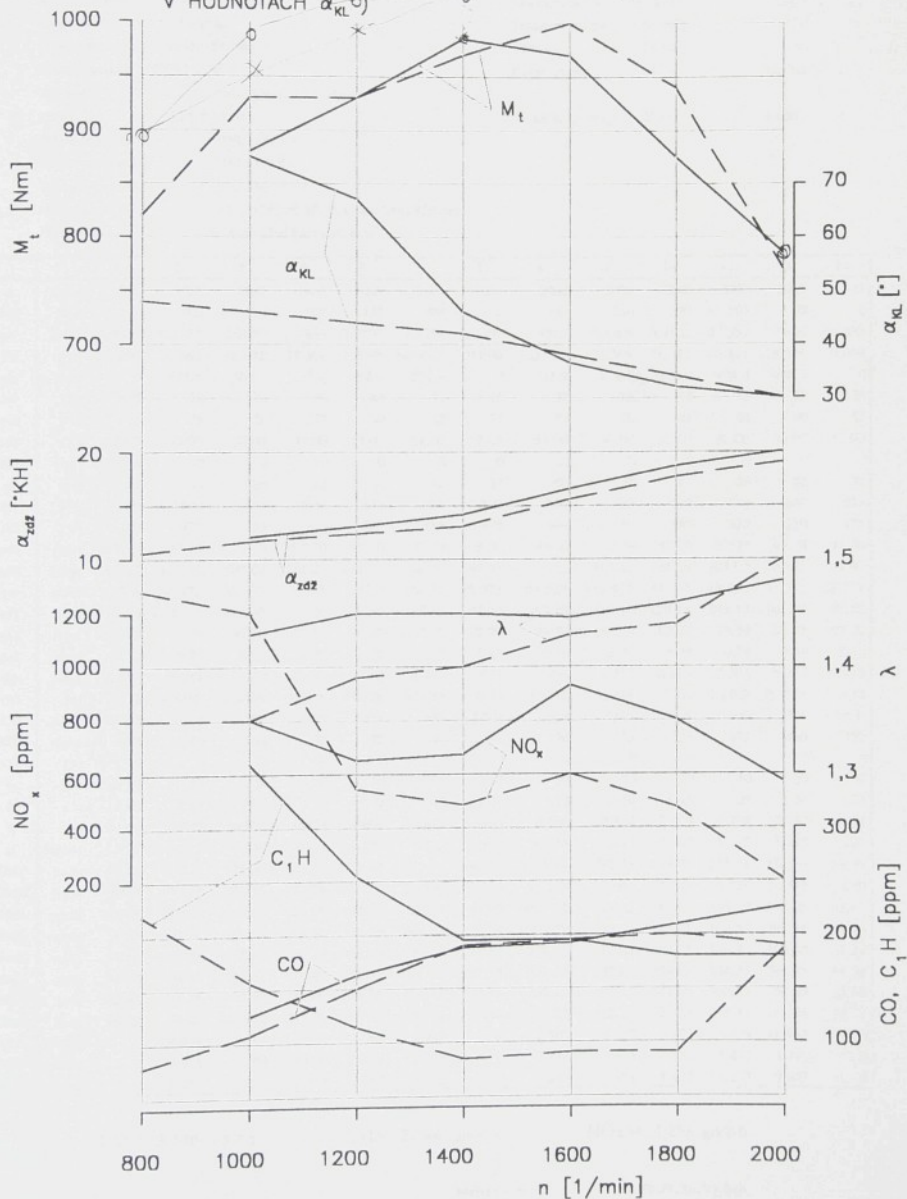
- - - - - ML 636 PBEM - "C" - MĚŘENÍ 21.08.1997

 EMISE : NO_x - BECKMANN

CH - JUM + HB (FID)

CO - HB (URAS)

MĚŘENO ZA OXIDAT ECOS T41 (nový)

 POZN : OVLÁDACÍ A REGULAČNÍ MECHANIZMUS MOTORU "C" SE ODLIŠUJE
 OD PŘEDPISU PRO MOTORY ML 636 PBEM (VIZ ODCHYLKA
 V HODNOTÁCH α_{KL})


EHK 49

Výrobce	LIAZ KSK-DPmMal-KSD	Číslo protokolu :	"01/8/97"
Typ motoru	ML 636 PBEM-M1.2C	Datum měření:	22.8.1997"
Vrtání / Zdvih	[mm]: 130/150	Barometrický tlak	pb [kPa] 97.7
Počet válců	i [-]: 6	Teplota vzduchu	ta [°C] 30
Objem motoru	V [dm ³] 11.946	Vlhkost	F1 [%] 50
Kompr. poměr	EPS [-]: 10.8	Konst. clonky	k1 [-] 10.761
Předstřih	proměnlivý, 10,9-20,0		
Palivo	L1 [-]: 15.64	Parametr zkoušky	F [-] 1.0501
Palivový systém	DELTEC		
Zapalovací systém	DELCO DIS		
Turbodmychadlo	K36 3566-3521		
Mezichladič	AUTOPAL/KAROSA.ventilátor 450 mm		
Poznámky	měřeno před katalyzátorem		

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
n	[1/min]	656	1400	1400	1400	1400	650	2000	2000	2000	2000	2000	625
Mt	[Nm]	0	100	250	500	750	1000	0	780	590	390	195	78
pe	[MPa]	0.0000	0.1052	0.2630	0.5260	0.7890	1.0519	0.0000	0.8205	0.6206	0.4103	0.2051	0.0821
Pe	[kW]	0.0000	14.661	36.652	73.304	109.96	146.608	0.0000	163.363	123.569	81.681	40.841	16.336
me	[g/kWh]	0	477.6	308.7	257.4	237.6	221.8	0	252.9	266.8	300.0	408.4	698.6
tw	[°C]	79	78	78	80	84	78	76	78	85	78	82	80
tol	[°C]	75	75	76	77	80	82	72	85	90	84	84	73
td1	[°C]	32.00	30.00	30.00	30.00	28.00	29.00	29.00	31.00	30.00	32.00	30.00	32.00
td2	[°C]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ts	[°C]	32	30	30	32	34	40	37	40	38	41	35	32
tt1	[°C]	380	600	610	630	650	660	500	680	680	660	660	510
tt2	[°C]	350	470	520	550	580	580	470	580	585	580	570	520
pd1	[kPa]	97.70	97.70	97.70	97.70	97.70	97.70	97.70	97.70	97.70	97.70	97.70	97.70
pd2	[kPa]	97.97	100.10	107.03	123.83	144.36	164.36	97.97	191.03	163.43	134.36	109.03	103.03
ps	[kPa]	21.706	34.772	52.371	85.701	117.7	146.36	22.373	144.629	111.432	81.035	48.371	34.772
pt1	[kPa]	97.30	99.83	103.30	111.03	124.36	137.43	97.70	160.76	120.36	105.17	101.83	97.70
pt2	[kPa]	97.70	97.70	97.70	97.70	97.70	97.70	97.70	97.70	97.70	97.70	97.70	97.70
pol	[MPa]	0.18	0.29	0.28	0.28	0.26	0.26	0.18	0.26	0.26	0.28	0.28	0.18
dp	[kPa]	0.010	0.049	0.137	0.451	0.912	1.422	0.010	2.796	1.727	0.863	0.304	0.137
CO	[%]	0.15	0.1056	0.0956	0.0576	0.0506	0.0542	0.15	0.0452	0.0458	0.05	0.1102	0.1184
CH	[ppm]	1410	420	780	1095	1065	870	1410	1020	1245	1245	600	1830
NOx	[ppm]	160	345	560	295	275	490	160	130	105	125	375	420
O2	[%]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
q	[%]	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
λ	[-]	1.00	1.23	1.27	1.38	1.42	1.42	1.01	1.55	1.54	1.46	1.28	1.26
η	[-]	0.966	0.626	0.694	0.771	0.805	0.822	0.966	0.808	0.823	0.808	0.795	0.737
ρ	[kg/m ³]	1.107	1.115	1.115	1.115	1.123	1.119	1.119	1.111	1.115	1.107	1.115	1.115
Gair	[kg/h]	59.81	134.20	224.50	406.59	579.44	721.17	60.13	1003.49	792.41	559.70	333.91	224.50
Gfuel	[kg/h]	3.824	7.002	11.313	18.871	26.129	32.520	3.817	41.310	32.964	24.503	16.678	11.413
Gexh	[kg/h]	63.63	141.20	235.82	425.46	605.57	753.69	63.95	1044.80	825.38	584.20	350.59	235.92
Vair	[m ³ /h]	54.03	120.37	201.36	364.68	515.99	644.52	53.74	903.29	710.74	505.61	299.50	201.36
Vexh	[m ³ /h]	51.16	115.12	192.88	350.53	496.39	620.13	50.88	872.31	686.02	487.23	286.99	192.80
COmas	[g/h]	81.30	130.14	197.47	216.40	271.31	361.69	81.78	421.45	337.07	259.32	338.73	244.45
CHmas	[g/h]	42.89	28.35	87.92	222.69	308.28	313.43	43.10	509.40	491.19	347.66	100.55	56.84
NOxmas	[g/h]	16.82	79.46	215.62	205.38	267.63	598.94	16.43	225.27	142.20	122.27	214.71	161.74
CO	[g/kWh]	0	8.877	5.388	2.952	2.467	2.467	0	2.580	2.728	3.175	8.294	14.964
CH	[g/kWh]	0	1.934	2.399	3.038	2.804	2.138	0	3.118	3.975	4.256	2.462	3.479
NOx	[g/kWh]	0	5.420	5.883	2.802	2.434	4.085	0	1.379	1.151	1.497	5.257	9.901

CO= 3.140 g/kWh

CH= 2.764 g/kWh

NOx= 3.255 g/kWh

Měření provedl:

Be.St.Ru.Vy.Sch

EHK 49

Výrobce	LIAZ KSK-Dřimul - KSD	Číslo protokolu :	"01/8/97"
Typ motoru	ML 636 PHEM-ML 2C	Datum měření:	22.8.1997"
Vrání / Zdvih	[mm]: 130/150	Barometrický tlak	pb [kPa] 97.7
Počet válců	i [-]: 6	Teplota vzduchu	ta [°C] 30
Objem motoru	V [dm3] 11.946	Vlhkost	W [%] 50
Kompr. poměr	EPS [-]: 10.8	Konst. clonky	k1 [-] 10.761
Předstih	proměnlivý, 10,9-20,0	Parametr zkoušky	F [-] 1.0501
Palivo	L4 [-]: 15.64		
Palivový systém	DELTEC		
Zapalovací systém	DELCO DIS		
Turbodmychadlo	K36 3566-3521		
Mezichladič	AUTOPAL/KAROSA, ventilátor 450 mm		
Poznámky	oxidací katalyzátor ECOS T 41		

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
n	[1/min]	656	1400	1400	1400	1400	1400	650	2000	2000	2000	2000	625
Mr	[Nm]	0	100	250	500	750	1000	0	780	590	390	195	78
pe	[MPa]	0.0000	0.1052	0.2630	0.5260	0.7890	1.0519	0.0000	0.8205	0.6206	0.4103	0.2051	0.0000
Pe	[kW]	0.000	14.661	36.652	73.304	109.96	146.608	0.000	163.363	123.569	81.681	40.841	16.336
me	[g/kWh]	0	477.6	308.7	257.4	237.6	221.8	0	252.9	266.8	300.0	408.4	698.6
tw	[°C]	79	78	78	80	84	78	76	78	85	78	82	80
tol	[°C]	75	75	76	77	80	82	72	85	90	84	84	80
td1	[°C]	32.00	30.00	30.00	30.00	28.00	29.00	29.00	31.00	30.00	32.00	30.00	32.00
td2	[°C]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ts	[°C]	32	30	30	32	34	40	37	40	38	41	35	32
tt1	[°C]	380	600	610	630	650	660	500	680	680	660	660	510
tt2	[°C]	350	470	520	550	580	580	470	580	585	580	570	475
pd1	[kPa]	97.70	97.70	97.70	97.70	97.70	97.70	97.70	97.70	97.70	97.70	97.70	97.70
pd2	[kPa]	97.97	100.10	107.03	123.83	144.36	164.36	97.97	191.03	163.43	134.36	109.03	103.03
ps	[kPa]	21.706	34.772	52.371	85.701	117.7	146.36	22.373	144.629	111.432	81.035	48.371	22.373
pt1	[kPa]	97.30	99.83	103.30	111.03	124.36	137.43	97.70	160.76	137.96	120.36	105.17	101.83
pt2	[kPa]	97.70	97.70	97.70	97.70	97.70	97.70	97.70	97.70	97.70	97.70	97.70	97.70
pol	[MPa]	0.18	0.29	0.28	0.28	0.26	0.26	0.18	0.26	0.26	0.28	0.28	0.18
dp	[kPa]	0.010	0.049	0.137	0.451	0.912	1.422	0.010	2.796	1.727	0.863	0.304	0.137
CO	[%]	0.013	0.0206	0.014	0.0104	0.0114	0.0135	0.013	0.0139	0.0135	0.0125	0.017	0.019
CII	[ppm]	570	225	246	270	240	240	570	411	405	345	120	135
NOx	[ppm]	165	365	590	320	300	520	165	125	110	140	590	445
O2	[%]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
φ	[%]	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
λ	[-]	1.00	1.23	1.27	1.38	1.42	1.42	1.01	1.55	1.54	1.46	1.28	1.26
η	[-]	0.966	0.626	0.694	0.771	0.805	0.822	0.966	0.808	0.823	0.808	0.795	0.737
ρ	[kg/m3]	1.107	1.115	1.115	1.115	1.123	1.119	1.119	1.111	1.115	1.107	1.115	1.107
Gair	[kg/h]	59.81	134.20	224.50	406.59	579.44	721.17	60.13	1003.49	792.41	559.70	333.91	224.50
Gfuel	[kg/h]	3.824	7.002	11.313	18.871	26.129	32.520	3.817	41.310	32.964	24.503	16.678	11.413
Gexh	[kg/h]	63.63	141.20	235.82	425.46	605.57	753.69	63.95	1044.80	825.38	584.20	350.59	235.92
Vair	[m3/h]	54.03	120.37	201.36	364.68	515.99	644.52	53.74	903.29	710.74	505.61	299.50	201.36
Vexh	[m3/h]	51.16	115.12	192.88	350.53	496.39	620.13	50.88	872.31	686.02	487.23	286.99	192.80
COmax	[g/h]	7.05	25.39	28.92	39.07	61.12	90.09	7.09	129.61	99.35	64.83	52.25	39.23
CHmax	[g/h]	17.34	15.19	27.73	54.91	69.47	86.4630	17.42	205.26	159.79	96.34	20.11	15.22
NOmax	[g/h]	17.35	84.07	227.17	222.79	291.97	635.61	16.95	216.60	148.97	136.94	337.82	171.37
CO	[g/kWh]	0	1.732	0.789	0.533	0.556	0.614	0	0.793	0.804	0.794	1.279	2.401
CH	[g/kWh]	0	1.036	0.757	0.749	0.632	0.590	0	1.256	1.293	1.179	0.492	0.932
NOx	[g/kWh]	0	5.734	6.198	3.039	2.655	4.335	0	1.326	1.206	1.677	8.272	10.490

CO = 0.712 g/kWh

CH = 0.850 g/kWh

NOx = 3.464 g/kWh

Měření provedl:

Dr. St. Ru. Vy. Sch

EHK 49

Výrobce	LIAZ KSK-DPmMal.-KSD		Číslo protokolu :	"02/8/97"	
Typ motoru	ML 636 PBEM-ML2C		Datum měření:	29. 8. 1997"	
Vrtání / Zdvih	[mm]:	130/150	Barometrický tlak	ph [kPa]	96.4
Počet válců	I [-]: 6		Teplota vzduchu	ta [°C]	30
Objem motoru	V [dm3]	11.946	Vlhkost	FI [%]	50
Kompř. poměr	EPS [-]: 10.8		Konst. clonky	k1 [-]	10.761
Předstih	proměnlivý, 10.9-20.0				
Palivo	L1 [-]: 15.64		Parametr zkoušky	F [-]	1.06
Palivový systém	DEI.TTC s lambda regn. KSD				
Zapalovací systém	DELCO DIS				
Turbodmychadlo	K36 3566-3521				
Mezichladič	AUTOPAL/KAROSA, ventilátor 450 mm				
Poznámky	měřeno před katalyzátorem / MINEX DC-10/				

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
n	[1/min]	660	1400	1400	1400	1400	1400	660	2000	2000	2000	2000	434
Mt	[Nm]	0	100	250	500	750	1000	0	775	560	390	200	80
pe	[MPa]	0.0000	0.1052	0.2630	0.5260	0.7890	1.0519	0.0000	0.8153	0.5891	0.4103	0.2104	0.0842
Pe	[kW]	0.000	14.661	36.652	73.304	109.96	146.608	0.000	162.316	117.286	81.681	41.888	16.755
me	[g/kWh]	0	477.8	302.3	264.4	241.7	224.4	0	252.2	281.4	303.8	396.8	652.0
tw	[°C]	88	84	82	81	84	86	88	78	82	82	83	80
tol	[°C]	85	75	78	80	80	84	85	90	89	88	85	83
td1	[°C]	32.00	26.00	28.00	29.00	32.00	34.00	32.00	37.00	35.00	34.00	32.00	30.00
td2	[°C]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ts	[°C]	34	26	27	30	34	40	34	46	38	31	28	28
tt1	[°C]	470	620	620	640	660	660	470	700	680	660	660	640
tt2	[°C]	425	510	540	560	580	585	425	595	590	580	580	540
pd1	[kPa]	96.40	96.40	96.40	96.40	96.40	96.40	96.40	96.40	96.40	96.40	96.40	96.40
pd2	[kPa]	96.67	99.33	105.47	124.80	144.40	162.39	96.67	185.06	161.73	134.00	107.73	101.73
ps	[kPa]	21.74	35.472	51.737	90.667	122.13	151.06	21.74	141.063	112.399	82.268	48.404	35.072
pt1	[kPa]	96.40	98.67	102.27	113.73	125.46	136.80	96.40	157.73	137.73	120.13	104.40	100.53
pt2	[kPa]	96.13	96.40	96.53	96.93	98.27	99.47	96.13	102.00	100.13	98.40	96.80	96.40
pol	[MPa]	0.16	0.28	0.27	0.26	0.24	0.23	0.16	0.25	0.25	0.26	0.26	0.27
dp	[kPa]	0.010	0.049	0.137	0.530	1.030	1.628	0.010	2.845	1.825	0.942	0.314	0.128
CO	[%]	0.13	0.1075	0.093	0.0432	0.0433	0.0492	0.13	0.0448	0.0432	0.046	0.104	0.1138
CH	[ppm]	2160	615	930	1500	1245	960	2460	1170	1440	1500	705	660
NOx	[ppm]	180	275	470	120	175	310	180	110	90	90	510	340
O2	[%]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
φ	[%]	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
λ	[-]	1.08	1.23	1.29	1.45	1.46	1.48	1.08	1.55	1.55	1.49	1.29	1.26
η	[-]	0.956	0.605	0.693	0.780	0.812	0.837	0.956	0.837	0.825	0.796	0.781	0.690
p	[kg/m3]	1.092	1.116	1.108	1.104	1.092	1.084	1.092	1.073	1.081	1.084	1.092	1.100
Gair	[kg/h]	59.41	134.26	223.80	438.24	606.95	759.13	59.41	994.56	801.69	578.44	335.76	214.89
Gfuel	[kg/h]	3.527	7.005	11.079	19.378	26.571	32.903	3.527	40.942	33.002	24.819	16.621	10.924
Gexh	[kg/h]	62.93	141.27	234.88	457.62	633.52	792.03	62.93	1035.51	834.69	603.26	352.38	225.81
Vair	[m3/h]	54.40	120.31	202.00	396.98	555.75	700.05	54.40	926.92	741.92	533.42	307.44	195.36
Vexh	[m3/h]	51.75	115.06	193.69	382.45	535.82	675.37	51.75	896.22	717.16	514.81	294.97	187.16
COmas	[g/h]	70.35	132.54	191.68	175.35	243.53	346.25	70.35	414.01	321.80	246.79	321.60	224.89
CHmas	[g/h]	74.00	41.53	104.41	328.11	377.01	363.45	74.00	579.12	574.53	432.54	118.75	71.24
NOxmas	[g/h]	18.77	61.18	177.01	89.10	185.63	421.42	18.77	204.73	130.96	93.22	299.77	125.33
CO	[g/kWh]	0	9.041	5.230	2.392	2.215	2.362	0	2.551	2.744	3.021	7.678	13.422
CH	[g/kWh]	0	2.833	2.849	4.476	3.429	2.479	0	3.568	4.899	5.295	2.835	4.252
NOx	[g/kWh]	0	4.173	4.829	1.216	1.688	2.874	0	1.261	1.117	1.141	7.156	7.480

CO = 2,959 g/kWh

CH = 3,369 g/kWh

NOx = 2,400 g/kWh

Měření provedl:

Be, St, Ru, Vy, Sch

EHK 49

Výrobce	LIAZ KSK-DPmMal - KSD		Číslo protokolu :	"02/8/97"	
Typ motoru	M1. 636 PREM-M1.2C		Datum měření:	29.8.1997"	
Vrtání / Zdvih	[mm]	130/150	Barometrický tlak	ph [kPa]	96.4
Počet válců	i [-]	6	Teplota vzduchu	ta [°C]	30
Objem motoru	V [dm ³]	11.946	Vlhkost	F1 [%]	50
Kompr. poměr	EPS [-]	10.8	Konst. clonky	k1 [-]	10.761
Předstih	proměnlivý, 10,9-20,0		Parametr zkoušky	F [-]	1.06
Palivo	L1 [-]	15.64			
Palivový systém	DELTEC s lambda regul. KSD				
Zapalovací systém	DELCO DIS				
Turbohatchadlo	K36 3566-3521				
Mezichladič	AUTOPAL/KAROSA-ventilátor 450 mm				
Poznamky	oxidací katalyzátor MINEX DC-10				

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
n	[1/min]	660	1400	1400	1400	1400	1400	660	2000	2000	2000	2000	434
Mt	[Nm]	0	100	250	500	750	1000	0	775	560	390	200	0
pe	[MPa]	0.0000	0.1052	0.2630	0.5260	0.7890	1.0519	0.0000	0.8153	0.5891	0.4103	0.2104	0.0000
Pe	[kW]	0.000	14.661	36.652	73.304	109.96	146.608	0.000	162.316	117.286	81.681	41.888	0.000
me	[g/kWh]	0	477.8	302.3	264.4	241.7	224.4	0	252.2	281.4	303.8	396.8	0
tw	[°C]	88	84	82	81	84	86	88	78	82	82	83	79
tl	[°C]	85	75	78	80	80	84	85	90	89	88	85	85
td1	[°C]	32.00	26.00	28.00	29.00	32.00	34.00	32.00	37.00	35.00	34.00	32.00	34.00
td2	[°C]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ts	[°C]	34	26	27	30	34	40	34	46	38	31	28	35
tt1	[°C]	470	620	620	640	660	660	470	700	680	660	660	460
rt2	[°C]	425	510	540	560	580	585	425	595	590	580	580	440
pd1	[kPa]	96.40	96.40	96.40	96.40	96.40	96.40	96.40	96.40	96.40	96.40	96.40	96.40
pd2	[kPa]	96.67	99.33	105.47	124.80	144.40	162.39	96.67	185.06	161.73	134.00	107.73	96.67
ps	[kPa]	21.74	35.472	51.737	90.667	122.13	151.06	21.74	141.063	112.399	82.268	48.404	21.74
pt1	[kPa]	96.40	98.67	102.27	113.73	125.46	136.80	96.40	157.73	120.13	104.40	100.53	96.40
pt2	[kPa]	96.13	96.40	96.53	96.93	98.27	99.47	96.13	102.00	100.13	98.40	96.80	96.13
pol	[MPa]	0.16	0.28	0.27	0.26	0.24	0.23	0.16	0.25	0.25	0.26	0.26	0.17
dp	[kPa]	0.010	0.049	0.137	0.530	1.030	1.628	0.010	2.845	1.825	0.942	0.314	0.010
CO	[%]	0.013	0.0145	0.0104	0.0063	0.008	0.0083	0.013	0.0102	0.0085	0.0077	0.0088	0.013
CH	[ppm]	480	132	180	342	285	255	480	255	360	315	99	105
NOx	[ppm]	160	280	515	150	190	350	160	130	90	95	520	370
O2	[%]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
φ	[%]	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
λ	[-]	1.08	1.23	1.29	1.45	1.46	1.48	1.08	1.55	1.55	1.49	1.29	1.00
η	[-]	0.956	0.605	0.693	0.780	0.812	0.837	0.956	0.837	0.825	0.796	0.781	0.690
p	[kg/cm ²]	1.092	1.116	1.108	1.104	1.092	1.084	1.092	1.073	1.081	1.084	1.092	1.084
Gair	[kg/h]	59.41	134.26	223.80	438.24	606.95	759.13	59.41	994.56	801.69	578.44	335.76	59.20
Gfuel	[kg/h]	3.527	7.005	11.079	19.378	26.571	32.903	3.527	40.942	33.002	24.819	16.621	3.78
Gexh	[kg/h]	62.93	141.27	234.88	457.62	633.52	792.03	62.93	1035.51	834.69	603.26	352.38	62.98
Vair	[m ³ /h]	54.40	120.31	202.00	396.98	555.75	700.05	54.40	926.92	741.92	533.42	307.44	54.59
Vexh	[m ³ /h]	51.75	115.06	193.69	382.45	535.82	675.37	51.75	896.22	717.16	514.81	294.97	51.75
COmas	[g/h]	7.04	17.88	21.44	25.57	44.99	58.41	7.04	94.26	63.32	41.31	27.21	6.97
COlmas	[g/h]	14.44	8.91	20.21	74.81	86.30	96.5410	14.44	126.22	143.63	90.83	16.68	11.74
NOxmas	[g/h]	16.69	62.30	193.96	111.38	201.54	475.79	16.69	241.96	130.96	98.40	305.64	136.38
CO	[g/kWh]	0	1.219	0.585	0.349	0.409	0.398	0	0.581	0.540	0.506	0.650	0
CH	[g/kWh]	0	0.608	0.551	1.021	0.785	0.658	0	0.778	1.225	1.112	0.398	0.676
NOx	[g/kWh]	0	4.249	5.292	1.519	1.833	3.245	0	1.491	1.117	1.205	7.297	8.140

CO= 0.489 g/kWh

CH= 0.789 g/kWh

NOx= 2.683 g/kWh

Měření provedl:

Bc.St.Ru.Vy.Sch

Příloha P6

Plynový zážehový přeplňovaný motor ML 636 PBE.w

Souhrn: Zpráva podává výsledky řešení optimalizačních úloh na plynovém (LPG) zážehovém přeplňovaném motoru M1.2C ML 636PBE.w s mezichlazením plnicího vzduchu a elektronickou regulací, která je doplněna o regulaci vnější charakteristiky systémem wastegate turbodmychadla. Cílem byla náhrada dosavadního pneumatického korektoru s mechanickým ovládáním škrtící klapky. Zpráva popisuje úpravu otvoru přepouštěcí klapky turbodmychadla CZM 4067MNA/27.21-Wg, nový systém regulace, optimalizaci seřízení výkonových a emisních parametrů a naprogramování EŘJ.

Dosažené parametry:	maximální moment	1080 Nm
	jmenovitý výkon	185 kW

Měření plynných škodlivin podle EHK 49 bylo provedeno s oxidačním katalyzátorem Minex DC-10 a motor je určen k pohonu kloubových autobusů Karosa.

Technická univerzita v Liberci

Fakulta strojní

Katedra strojů průmyslové dopravy

PLYNOVÝ ZÁŽEHOVÝ PŘEPLŇOVANÝ MOTOR ML 636 PBE.w

Regulace motoru systémem „wastegate“, prověření výkonových a emisních parametrů
motoru ML 636 PBE.w - M1.2C

Řešitelé: Doc.Ing. Stanislav BEROUN, CSc
Ing. Celestýn SCHOLZ
Emisní měření prac. AL č. 1043



Vedoucí katedry: Doc.Ing. Stanislav BEROUN, CSc

Č. úkolu: 8027/370

Č. zprávy: SM 346/98

Počet stran zprávy: 10

Počet příloh: 14

Počet stran celkem: 24

Liberec, duben 1998

Technická zpráva z řešení úkolu podle Smlouvy o dílo č. 8027/370

Objednatel: Krušnohorské strojírný, a.s., Most - Komořany (KSK)

Předmět smlouvy:

a). Prověření vhodnosti plicního agregátu ČZM 4067MNA/27 21-Wg pro regulaci průběhu točivého momentu motoru ML 636 PBEM-M1.2C, zjištění dosažitelných výkonových a emisních vlastností motoru s regulací „wastegate“. Cílem řešení je dosáhnout výkonové charakteristiky motoru pro pohon autobusu B 741 (tj. výkon 185 - 190 kW/2000 1/min a $M_{MAX} = 1100$ Nm).

Pozn.1: Při pozdějších jednáních s pracovníky DPmMaL byly požadavky na výkonové parametry motoru upřesněny s ohledem na převodovku ZF 4 HP 500 tak, že $M_{MAX} \approx 1050 - 1080$ Nm/1400 a $M_{ij} \approx 870 - 880$ Nm/2000.

b). V případě příznivého výsledku řešení podle bodu a) bude nasledovat zjištění údajů k vytvoření řídicího programu pro EŘJ, optimalizace seřízení motoru s regulací „wastegate“ a závěrečné měření výkonových a emisních parametrů motoru ML 636 PBEM - M1.2C s naprogramovanou EŘJ pro „wastegate“.

Pozn.2: K vytvoření programu pro EŘJ na regulaci „wastegate“ byl DPmMaL zajištěn pracovník firmy DELTEC.

c). Technická zpráva s výsledky a zpracovanými protokoly z měření.

K provedení práce předal objednatel úplný motor s příslušenstvím. Motor byl v laboratoři nainstalován na zkušebním stanovišti č. 10 prakticky ve stejném uspořádání, jako při jeho zastavbě v motorovém prostoru autobusu Karosa B 931: místo filtru sání bylo použito přívodní potrubí vzduchu s měřicí clonkou pro určení průtočného množství vzduchu do motoru, chladič plicního vzduchu (Autopal/Karosa) vč. jeho připojení k motoru a vyfukový systém motoru (s oxidačním katalyzátorem MINE-X DC10, zabudovaným v DPmMaL do tlumiče vyfuku Karosa) odpovídají autobusové zastavbě. Ovládání motoru bylo zajištěno přímým působením na škrtkici klapku, tj. bez ovládacího a regulačního mechanismu s tlakovým korektorem.

Pozn.3: Proti původním předpokladům nemohla být zastavba motoru na zkušebně provedena způsobem, odpovídajícím zastavbě do autobusu B 741, neboť se nepodařilo včas zajistit potřebné prvky chladicího, hydraulického a plicního (vzduchového) okruhu z a.s. KAROSA Vysoké Mýto. Vzhledem ke časové tísni jak s ohledem na možnosti firmy DELTEC, tak na vrácení motoru do KSK, bylo po posouzení odlišností mezi zastavbami B 931 a B 741 (odhadem podle rozměrových, průřezových a průtokových dispozic obou variant bylo konstatováno, že rozdíly pravděpodobně nezpůsobí významné odchylky tlakových ani teplotních poměrů v plicním systému motoru) rozhodnuto realizovat celý program prací v zastavbovém provedení B 931.

Úkol byl řešen v několika na sebe navazujících dílčích úlohách:

1. Záběh motoru vč. základního seřízení bohatosti směsi.
2. Zjištění základních vlastností motoru ML 636 PBEM - M1.2C s plnicím turbodmychadlem CZM 4067MNA/27.21-Wg v částečném a zejména plném zatížení. zjištění podmínek pro regulaci motoru systémem „wastegate“.
3. Zjištění údajů k vytvoření řídicího programu pro EŘJ, optimalizace seřízení motoru, naprogramování EŘJ pro požadované výkonové a emisní parametry motoru a nový systém regulace motoru.
4. Měření vnější otáčkové charakteristiky
5. Měření plyných výfukových emisí.

1. Záběh motoru a základní seřízení bohatosti směsi

Po instalaci motoru na zkušební stanoviště byl proveden zkrácený záběh motoru s celkovou dobou chodu cca 6 hodin. V průběhu záběhu bylo pomocí seřizovacího šroubu v odměřovacím průřezu přítoku plynu do směšovače nastaveno základní seřízení bohatosti a pomocí seřizovacích prvků pro volnoběh bylo provedeno nastavení systému regulace volnoběžného režimu; kontrola bohatosti směsi při seřizování se prováděla sondou UEGO

2. Zjištění základních vlastností plynového autobusového motoru ML 636 PBE - M1.2C s plnicím turbodmychadlem CZM 4067MNA/27.21-Wg

Zkoušky motoru s ověřováním dosažitelných parametrů a účinku regulace „wastegate“ bylo zaměřeno především na otáčkové režimy $n = 1400$ 1/min a 2000 1/min. Vzhledem k tomu, že výkonový člen pro ovládání klapky „wastegate“ vyžadoval výrazně vyšší tlak než byl na výstupu z dmychadla, bylo při těchto zkouškách použito vnějšího zdroje tlakového vzduchu s řízením tlaku na vstupu do výkonového členu. Při měřeních ve 100% zatížení bylo postupováno tak, že škrtková klapka (za směšovačem) byla zcela otevřena a výkon motoru (resp. točivý moment) byl po dosažení hodnoty M_{MAX} regulován nastavováním plnicího tlaku pomocí systému „wastegate“, tj. řídil se tlak na vstupu do výkonového členu tak, aby bylo dosaženo potřebného otevření přepouštěcí klapky ke snížení výkonu hnací turbíny plnicího dmychadla. Při těchto zkouškách byly rovněž ověřovány možnosti měnit pro optimalizaci provozních režimů motoru bohatost směsi a předstih zážehu. Při měřeních byly vedle běžných výkonových a provozních parametrů motoru sledovány i vybrané veličiny indikované na monitoru PC (připojeném spolu s Datamanem k EŘJ) a výfukové emise. Výsledek těchto zkoušek a měření

prokázal, že motor ML 636 PBE s plyním turbodmychadlem CZM 4067MNA/27.21-Wg bude schopen dosáhnout požadované výkonové parametry - měření současně ukázala, že při optimalizaci bude potřeba provést určité úpravy na systému „wastegate“ uvedeného turbodmychadla a v některých provozních režimech motoru poněkud pozměnit (proti motoru ML 636 PBEM) i seřízení předstihu a bohatosti směsi. Dosažené parametry motoru v režimu M_{tMAX} a P_{tMAX} ukazuje následující tabulka T1:

<u>$n = 1400 \text{ 1/min.}$</u>	$M_{t\text{MAX}} = 1055 \text{ Nm}$	$t_{\text{vyf}} = 680^{\circ}\text{C}$	$\alpha_{\text{raz}} = 14^{\circ}$	UEGO = 3,45 V
	$\lambda = 1,46$	$\text{NO}_x = 440 \text{ ppm}$	HC = 219 ppm (ekv. C_1H)	
	MAP = 160 kPa	přepouštěcí klapka wastegate zcela zavřena		
<u>$n = 2000 \text{ 1/min.}$</u>	$M_t = 890 \text{ Nm}$	$t_{\text{vyf}} = 730^{\circ}\text{C}$	$\alpha_{\text{raz}} = 20^{\circ}$	UEGO = 3,51 V
	$\lambda = 1,55$	$\text{NO}_x = 130 \text{ ppm}$	HC = 285 ppm (ekv. C_1H)	
	MAP = 172 kPa	přepouštěcí klapka wastegate zcela otevřena		

S výsledky těchto zkoušek a měření byli seznámeni pracovníci KSD a DPmMaL a na jejich základě bylo rozhodnuto pokračovat v řešení části b) podle dohodnutého programu smlouvy a pro vytvoření programu na regulaci „wastegate“ do stávající EŘJ potvrdit účast pracovníka fy DELTEC.

3. Vytvoření řídicího programu pro EŘJ, optimalizace seřízení motoru, naprogramování EŘJ pro požadované výkonové a emisní parametry motoru a nový systém regulace motoru

Pro zkoušky a měření, jejichž cílem bylo získat potřebné údaje k vytvoření řídicího programu EŘJ, bylo nutné nově upravit celý systém ovládání přepouštěcí klapky „wastegate“ na turbinové skřini tak, aby bylo možno aplikovat způsob řízení a řídicí prvky DELTEC. jako zdroj tlaku se použil plyní vzduch před směšovačem (p_{d5}), původní výkonový člen (pneumaticky membranový válec) byl nahrazen typem s poněkud menší tuhostí pružiny, u kterého se podařilo montáží vnější (přídavné) pružiny s předpětím dosáhnout jak potřebného snížení přetlaku (odlehčení) pro začátek otvírání přepouštěcí klapky, tak vhodné výsledné tuhosti pro zajištění přijatelné charakteristiky pro celou regulovanou oblast - provedené úpravy ukazují výkresy na P1 - P4.

Ovládání motoru bylo opět pouze přímým působením na škrtki klapku za směšovačem (tj. bez tlakového korektoru). Při měření vnější otáčkové charakteristiky (tj. se 100% otevřenou škrtki klapkou) se nakonec ukázalo, že přepouštění spalín (wastegate) je nedostatečné: po konzultaci s výrobcem ČZM Strakonice - Turbo bylo rozhodnuto zvětšit průměr přepouštěcího otvoru ze 13 mm na 18 mm. Po této úpravě byly zjištěny hodnoty nastavení jednotlivých regulačních prvků pro celou provozní oblast motoru, byla změřena vnější otáčková charakteristika motoru a byl proveden úplný 13 bodový emisní test EHK 49 (pouze plynné emise, měření za katalyzátorem). Naprogramování provozních „map“ bylo

v této fázi řešení provedeno jako pracovní verze s možností dalších příp. úprav. Výsledky měření ukazují zpracované protokoly na P5 (vnější otáčková charakteristika) a P6 (emisní test):

Vzhledem ke zvýšeným emisím HC v emisním testu i s ohledem na potlačení nebezpečí detonací v režimech plného zatížení při nižších otáčkách motoru (900 - 1200 1/min) a rovněž pro snížení teplot výfukových plynů byly následně provedeny další optimalizační zkoušky a měření s korekcemi nastavení jednotlivých regulačních prvků pro celou provozní oblast motoru tak, aby bylo možné sestavit konečný program EPROM pro EŘJ. Tabulky nastavení řídicích prvků pro regulaci bohatosti směsi, předstihu zážehu a ventilu wastegate jsou uvedeny v příloze P7, v grafické podobě potom v příloze P8.

Po zhotovení definitivní verze programu byla změřena kontrolní vnější otáčková charakteristika motoru, která potvrdila správnou funkci EŘJ pro jednotlivě regulované systémy a později byl s takto připraveným motorem opakovan celý emisní test EHK 49 s měřením výfukových emisí před i za oxidačním katalyzátorem.

4. Vnější otáčková charakteristika

Vnější otáčková charakteristika motoru ML 636 PBE.w s definitivním řídicím programem v EŘJ byla změřena na závěr pracovního pobytu specialisty fy DELTEC, při měření byli rovněž přítomni pracovníci DPmMaL a KSK. Měření prokázala splnění požadovaných výkonových parametrů motoru. Vybrané hodnoty z tohoto měření jsou uvedeny v následující tabulce T2, graficky je potom charakteristika zakreslena v diagramu na P9 (pro porovnání průběhu vybraných veličin je v diagramu zakreslena i charakteristika motoru ML 636 PBEM).

Tabulka T2

n	M _t	α_{zaz}	MAP	UEGO	λ	t _{vyf}	NO _x	C ₁ H	CO
[1/min]	[Nm]	[°]	[kPa]	[V]	[-]	[°C]	[ppm]	[ppm]	[ppm]
800	895	11	115	3.32	1.29	590	2750	546	52
1000	985	13	126	3.35	1.33	630	2350	372	60
1200	1015	14	139	3.39	1.38	655	1380	285	77
1400	1065	15	160	3.46	1.48	685	440	252	92
1600	1000	17	161	3.47	1.49	700	290	216	142
1800	945	19	157	3.46	1.52	705	300	210	139
2000	875	22	150	3.50	1.54	700	320	246	124

Pozn.: koncentrace výfukových emisí byly měřeny za katalyzátorem

Motor pracoval ve všech provozních režimech naprosto klidně, s minimálním kolísáním (proměnlivostí) hodnoty točivého momentu v jednotlivých otáčkových režimech a bez projevů detonačního spalování.

Pozn 4: Před optimalizací motoru (pro korekce první verze programu) byla provedena revize regulátoru tlaku paliva (Deltec-Century), při které bylo zmenšeno předpětí listových pružin na membráně 1. stupně - tím se odstranilo kolísání tlaku paliva v komoře 1. stupně a potlačila se tak i proměnlivost točivého momentu motoru.

5. Emisní test (plynné škodliviny) motoru ML 636 PBE.w

Motor ML 636 PBE.w ve stejném seřízení jako při měření vnější otáčkové charakteristiky byl podroben emisnímu testu podle EHK 49 (pouze plynné škodliviny); měření koncentrací jednotlivých složek vyfukových škodlivin bylo provedeno před i za katalyzátorem. Výsledky těchto měření jsou zpracovány v protokolech na P10 a P11. Měrné emise jsou s dostatečnou rezervou pod limitními hodnotami EURO II, proti měření na motoru ML 636 PBEM v 10/97 je však výrazně vyšší hodnota emise HC, podrobnější rozbor výsledků ukazuje jednak na nižší účinnost katalyzátoru MINE-X DC10 v provedení 3/98 (proti provedení 9/97), při měřeních v 3/98 bylo seřízení motoru na celkově chudší směs než v 10/97 (nelze však vyloučit ani případnou chybu v měření 10/97 např. náhodnou poruchou měřicího systému). Podrobnější údaje o měřeních v 10/97 a 3/98 ukazují tabulky T3 a T4:

Tabulka T3 - motor ML 636 PBEM, měření 10/97

č.	n [min ⁻¹]	M _t [Nm]	λ [-]	NO _x -P [ppm]	C ₁ H-P [ppm]	CO-P [ppm]	NO _x -Z [ppm]	C ₁ H-Z [ppm]	CO-Z [ppm]	η _{CH} [%]	η _{CO} [%]
1	650	0	1,04	140	1320	1300	100	390	370	70,5	71,5
2	1400	100	1,25	250	330	1125	280	30	90	91	92
3	1400	250	1,27	570	480	996	580	60	77	87,5	92
4	1400	500	1,43	203	828	528	210	114	69	86	87
5	1400	750	1,45	270	660	532	270	96	82	86	85
6	1400	1015	1,43	500	525	588	490	84	93	84	84
7	650	0	1,05	130	1080	1300	90	270	300	75	77
8	2000	870	1,46	450	420	609	350	75	107	82	82
9	2000	565	1,50	178	675	522	185	66	103	90	80
10	2000	375	1,46	170	705	565	186	60	89	91	84
11	2000	190	1,28	680	282	1190	685	6	95	98	92
12	2000	75	1,25	430	210	1265	450	4	95	98	93
13	650	0	1,05	130	1080	1300	90	270	300	75	77
Celkový výsledek				3.972	1.641	3.546	3.717	0.262	0.554	84	84

Tabulka T4 - motor ML 636 PBE.w - měření 3/98

č.	n [min ⁻¹]	M _t [Nm]	λ [-]	NO _x -P [ppm]	C ₁ H-P [ppm]	CO-P [ppm]	NO _x -Z [ppm]	C ₁ H-Z [ppm]	CO-Z [ppm]	η _{CH} [%]	η _{CO} [%]
1	650	0	1.00	200	1920	1270	140	600	193	69	85
2	1400	110	1.13	960	638	1066	1100	156	124	76	88
3	1400	260	1.32	480	900	742	620	252	90	72	88
4	1400	520	1.39	405	1020	573	500	225	75	78	87
5	1400	810	1.47	260	954	528	270	252	91	74	83
6	1400	1080	1.48	400	666	581	450	223	102	66	82
7	650	0	1.00	200	1920	1270	140	600	193	69	85
8	2000	880	1.55	240	810	550	295	198	142	75	74
9	2000	660	1.55	165	930	523	187	213	148	77	72
10	1986	440	1.51	150	1065	555	170	201	142	81	74
11	1940	220	1.47	100	1074	545	120	198	114	82	79
12	1912	90	1.43	78	1005	712	98	198	108	80	85
13	650	0	1.00	215	2100	1300	170	615	249	71	81
Celkový výsledek				3.262	2.635	3.529	3.724	0.734	0.662	72	81

I když korespondující provozní režimy v jednotlivých emisních testech se poněkud odlišují ve velikosti zatížení, rozhodující vliv na rozdílné koncentrace jednotlivých složek emisí má bohatost směsi: ochuzováním se snižuje NO_x a zvyšují se nespálené uhlovodíky CH (nespálené uhlovodíky jsou relativně vysoké v blízkosti λ ≈ 1, v oblasti chudých směsí koncentrace nespálených uhlovodíků klesá a od určité hodnoty λ opět nespálené uhlovodíky rostou). Porovnání koncentrací nespálených uhlovodíků v korespondujících režimech testu EHK 49 spolu s údajem o bohatosti směsi při měřeních v 10/97 a 3/98 ukazuje tabulka T5.

Tabulka T5

Režim č	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
λ - 10/97	1.04	1.25	1.27	1.43	1.45	1.43	1.05	1.46	1.50	1.46	1.28	1.25	1.05
C ₁ H-10/97	1320	330	480	828	660	525	1080	420	675	705	282	210	1080
λ - 3/98	1.00	1.13	1.32	1.39	1.47	1.48	1.00	1.55	1.55	1.51	1.47	1.43	1.00
C ₁ H- 3/98	1920	638	900	1020	954	666	1920	810	930	1065	1074	1005	2100

Pozn.: Uvedené koncentrace C₁H v [ppm] jsou před katalyzátorem

Vliv na koncentraci NO_x a CH má i předstih zážehu: zvětšení předstihu způsobuje zvýšení NO_x i CH, snížení předstihu potom vede k poklesu emisí NO_x i CH. Vzhledem k malým rozdílům v regulaci předstihu zážehu mezi motory ML 636 PBEM a ML 636 PBE.w

lze odhadnout, že určující vliv na vyšší emise CH u motoru ML 636 PBE.w má provoz s celkově chudší směsí. V tomto směru se rovněž nepříznivě projevuje poněkud vyšší plnicí tlak u motoru ML 636 PBE.w (viz průběhy na P9), který nutně vede k vyšším tlakům při spalování: zvýšení spalovacích tlaků zvyšuje rovněž emise nespálených uhlovodíků. Regulované plnicí turbodmychadlo CZM-4067MNA/27.21-Wg zřejmě nepředstavuje z hlediska emisních vlastností motoru zlepšení.

Překvapivě nižší účinnost, zejména pro CH, měl použitý katalyzátor MINE-X DC10: proti stejnému typu katalyzátoru z r.97 poklesla η_{CH} o 10 - 15% (v nejvýznamnějším režimu emisního testu až o 18%). Při diskusi s pracovníky DPmMaL se ukázalo, že zástavba vložky katalyzátoru do tělesa tlumiče výfuku Karosa je poněkud odlišná pro variantu z r.97 a pro provedení r.98; rozdíly jsou zřejmě z nákresu na P12. Možné rozdíly v průtoku spalin vložkou katalyzátoru lze odhadovat pouze hypoteticky a provedení z r.98 v tomto směru nabízí představu intenzivního vstupu proudů většiny spalin ze vstupního potrubí pouze do určitého (neuplného) vstupního průtokového průřezu vložky, zatímco zbylým průřezem vložky protéká nepřiměřeně menší část spalin - takového nerovnoměrného protékání spalin vložkou katalyzátoru by zřejmě mohlo vést k poklesu účinnosti katalyzátoru. Jako další vysvětlení nižší účinnosti katalyzátoru je nutno připustit i možnost jiného sycení vložky katalyzátoru.

Celkové shrnutí výsledků

Regulované plnicí turbodmychadlo CZM-4067MNA/27.21-Wg umožňuje zjednodušit ovládací mechanismus motoru odstraněním tlakového korektoru: spolehlivost regulace motoru systémem „wastegate“ je však kromě elektronického řízení závislá i na stalosti vlastností zdroje tlakového vzduchu pro výkonový člen a na bezproblémové činnosti vlastní mechanické části výkonového členu regulace - v tomto směru se tedy nijak neodlišuje od tlakového korektoru. Životnost celého regulačního systému „wastegate“ může prokázat pouze dlouhodobější provozní nasazení.

Vzhledem k dimenzování regulovaného plnicího turbodmychadla především pro spodní rozsah otáček a menším rotační hmotám lze očekávat zlepšení akceleračních vlastností vozidla - tento předpoklad je možné ověřit rovněž až v provozu: zlepšení akcelerace se může příznivě projevit spíše při rozjezdu zatíženého vozidla ve stoupání než v běžném provozu linkového autobusu. Je ovšem třeba počítat i s tím, že příp. větší akcelerace autobusu bude zaplácena zvýšenou jízdní spotřebou.

Regulace přeplňovaného motoru způsobem „wastegate“ patří stejně jako jiné způsoby regulace, založené na škrcení průtoku nebo odpouštění či přepouštění části pracovní látky mimo pracovní ústrojí, mezi regulace ztrátové. Menší nebo větší „ztratovost“ jednotlivých způsobů regulace závisí na vlastnostech a charakteristikách jednotlivých prvků regulované soustavy (motor, plnicí agregát) a na úspěšnosti optimalizačních řešení. Spolehlivým ukazatelem vlivu různých způsobů regulace z hlediska jejich ztrát je porovnání měrných spotřeb paliva motoru s jednotlivými způsoby regulace: takového porovnání bylo provedeno v zatěžovacích charakteristikách pro $n = 1400/\text{min}$ a $n = 2000 \text{ l/min}$ a výsledek je zakreslen v diagramech na P13. Ukazuje se, že rozdíly v měrných spotřebách motoru ML 636 PBE (v diagramech označen jako „serie“) při regulaci škrticí klapkou ovládanou tlakovým korektorem a motoru ML 636 PBE.w (v diagramech označení waste 1 pro seřízení z 5.3.98 a waste 2 pro

seřízení z 13.3.98) při regulaci wastgate jsou nepodstatné, i když pro řešení se škrticí klapkou a tlakovým korektorem naznačuje výsledek poněkud nižší hodnoty (tomu nasvědčují i poněkud nižší teploty výfukových plynů u motoru ML 636 PBEM se škrticí klapkou a tlakovým korektorem ve srovnatelných režimech s motorem ML 636 PBE.w).

Při hodnocení regulovaného plnicího turbodmychadla byla věnována pozornost i dmychadlově straně plnicího agregátu z hlediska polohy křivek hltnosti motoru v provozním poli účinnosti a ve vztahu k mezi stability: na P14 jsou v charakteristice dmychadla K36 4067MNA vyznačeny vybrané provozní stavy pro charakteristické režimy motoru. Výsledek tohoto šetření ukazuje, že všechny provozní stavy dmychadla leží v dostatečné vzdálenosti od pumpovní meze (meze stability) a vyplňují provozní oblast nejvyšších účinností - z tohoto hlediska lze uvedené dmychadlo označit jako optimální typ pro motor ML 636 PBE.

Motor ML 636 PBE.w s turbodmychadlem CZM 4067MNA/27.21-Wg vykazuje proti původnímu motoru ML 636 PBEM s turbodmychadlem CZM 3566/35.21 vyšší teploty výfukových plynů - v režimech plného zatížení motoru na vnější otáčkové charakteristice je toto zvýšení o 15-20°C v celém rozsahu provozních otáček. Zvýšení teploty souvisí se zvýšením protitlaku Δp_{TI} před turbinou zmenšením průtokových průřezů v turbinové skřini rozměru 27 (proti rozměrům skřině typu 35) - viz P9. Tento vliv je sice z hlediska práce potřebné na výměnu náplně válce do jisté míry vyvážen vyšší hodnotou plnicího tlaku (Δp_c , resp. MAP), nepříznivý efekt zvýšení teplot výfukových plynů však zůstává.

Ze srovnání vnějších otáčkových charakteristik motorů ML 636 PBEM s regulací pomocí tlakového korektoru a ML636 PBE.w s regulací wastgate se nabízí možnost upravit řídící program pro motor ML 636 PBEM s regulací pomocí tlakového korektoru tak, že mírným obohacením směsi v rozsahu otáček 800 - 1200 1/min by se dosáhlo potřebného zvýšení točivého momentu motoru (toto obohacení by bylo výrazně menší než je potřeba u motoru ML 636 PBE.w a nezvýšily by tak výrazně koncentrace NO_x), řídící program by měl umožnit až do $n = 1400$ 1/min pracovat s plně otevřenou škrticí klapkou (současné řešení programu pro ML 636 PBEM toto neumožňuje, neboť při zcela otevřené škrticí klapce při otáčkách $n = 1400$ 1/min je hodnota MAP ve velikosti cca 160 kPa a při ní již dochází k dalšímu ochuzování směsi a tím k omezování točivého momentu motoru). Změna řídícího programu pro ERJ by ale musela být spojena s úpravou ovládacího a regulačního mechanismu motoru v partii tlakového korektoru (předpětí a tuhost pružiny). Vzhledem k tomu, že nový předpis i nové limity pro EURO III (nemáme zatím tento předpis k dispozici, některé údaje však již byly publikovány) budou zahrnovat i režimy z provozní oblasti nejnižších otáček, bylo by zřejmě seřízení motoru ML 636 PBE.w z hlediska tohoto nového předpisu problemové a nadějnější by potom mohla být zmíněná varianta motoru ML 636 PBEM.

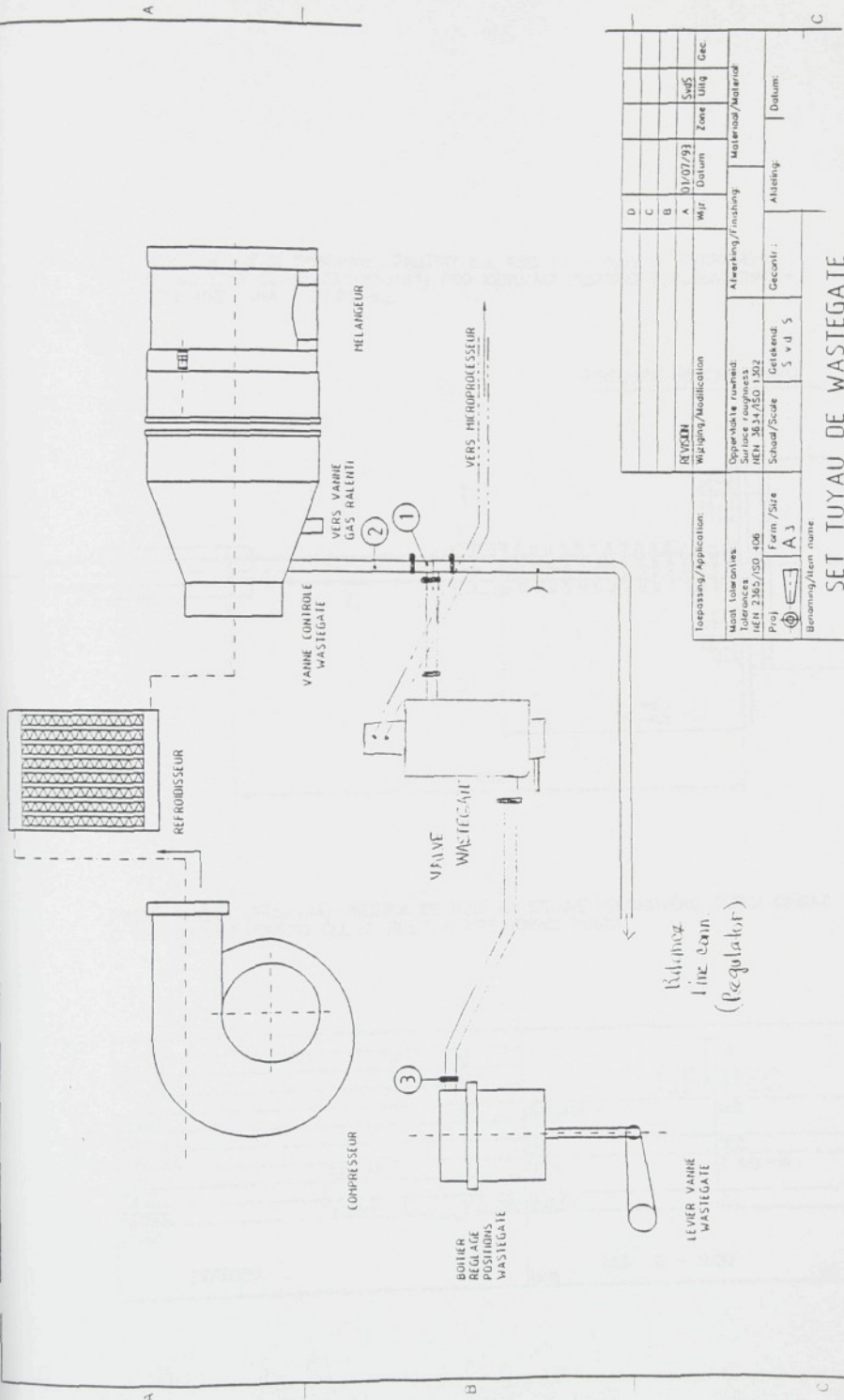
Závěrečná doporučení

1. Doporučujeme provést celkové hodnocení motoru ML 636 PBE.w až po provedení provozních zkoušek; určující zřejmě budou provozní vlastnosti, jízdní spotřeba paliva a spolehlivost regulačního systému wastgate. Z těchto důvodů považujeme

za vhodnější použít pro autobusy B 741 motory v provedení ML 636 PBEM a po vyhodnocení provozních zkušeností s typem ML 636 PBE.w rozhodnout o dalším postupu.

2. Podle informace od výrobce plicích turbodmychadel budou mít ČZM-Turbo v r.1999 řešení wastegate i pro jiné konfigurace - potom by bylo možné hledat i vhodnější variantu pro motor ML 636 PBE.w.
3. Seřizovací údaje pro případnou změnu řídicího programu EŘJ spolu s optimalizací ovládacího a regulačního mechanismu motoru pro úpravu průběhu točivého momentu motoru ML 636 PBEM lze spolehlivě zjistit zkouškami a měřením motoru na zkušebně - jiný postup není dostatečně přesný (s potřebnou opatrností by ověření takové možnosti bylo možno provést ve vozidle, zaručený výsledek musí potom dat optimalizace motoru s měřením výkonových a emisních parametrů vč. tlakových a teplotních stavů pro sestavení nové mapy programu).
4. Měření opakovaně ukázalo důležitost revize regulátoru tlaku Deltec-Century jak z hlediska základního nastavení tlaku v komoře 1. stupně, tak odstranění nepřiměřeného tření listových pružin čepu membrány 1. stupně ve vodicích sloupcích - ponechání regulátoru tlaku ve stavu, v jakém je dodáván výrobcem, způsobuje chybnou či nespolehlivou funkci regulátoru.

P1



Relievez
line exam
(Regulator)

Toepassing/Application:		RVSCHN		Wijziging/Modification		A		01/07/93		Datum		Zone		Surf		Gec.	
Mest, toleranties:		Oppervlakte (ruwheid)		Surface roughness		HEN 2.85/ISO 406		HEN 38.34/ISO 1302		S v u l S		Getekend		Aktekening/finishing		Mastercard/Notepad	
Tolerances:		Form/Size		A 3		Proj		Gecontroleerd		Gecontroleerd		Datum:					
Bewerking/Item name																	

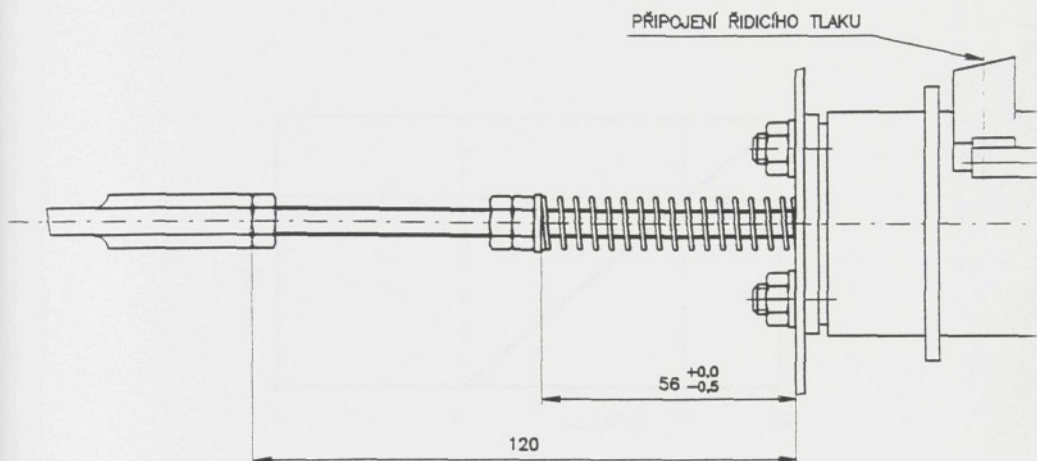
SET TUYAU DE WASTEGATE



FUEL SYSTEMS BV

Industrieweg 118
3047 AH Rotterdam
Tel +31 10 2620403
Telefax +31 10 2630402
1994-05-31 01:00:00

SERÍZENÍ VNĚJŠÍ (PŘÍDAVNÉ) PRUŽINY č.v. KSD 13 - 9.01 U VÝKONOVÉHO ČLENU (TYP CZ-A1 3991810102) PRO REGULACI PLNICÍHO TURBODMYCHADLA CZM 4067 MNA / 27.21-Wg.

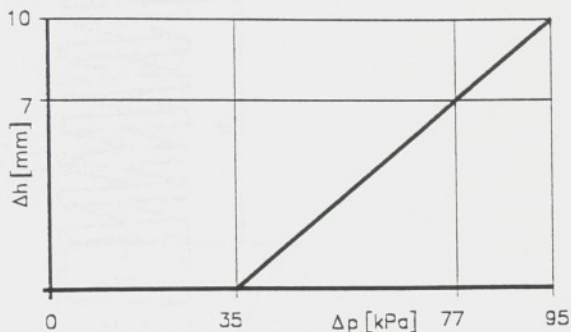


POZN.: VNĚJŠÍ (PŘÍDAVNÁ) PRUŽINA SE MUSÍ NA STRANĚ VÝKONOVÉHO ČLENU OPÍRAT O TĚLESO VÝKONOVÉHO ČLENU, RESP. O UPEVŇOVACÍ PLECH.

INDEX	ZNAKA	DATUM	PODPIS	TU LIBEREC	
ZN.MAT.		T.O.		HMOTNOST kg	MER.
ROZM.-POLOH.				CSN	TR.C
POM. ZAB.				POZN.	C. KUSOVANIKU
VYPR.	NORM.REF.				Č.V.
PŘEZK.	SCHVÁLIL	31.3.1988	STARY V.		
TECHNOL.					
NAZEV	SERÍZENÍ			KSD 13 - 9.00	Libet

STATICKÁ CHARAKTERISTIKA VÝKONOVÉHO ČLENU PRO REGULACI PLNICÍHO
TURBODMYCHADLA CZM 4067 MNA / 27.21-Wg.

VÝKONOVÝ ČLEN : CZ - A1 / 3991810102 S VNĚJŠÍ (PŘÍDAVNOU) PRUŽINOU
č.v. KSD 13 - 9.01,
SEŘÍZENÍ DLE č.v. KSD 13 - 9.00.

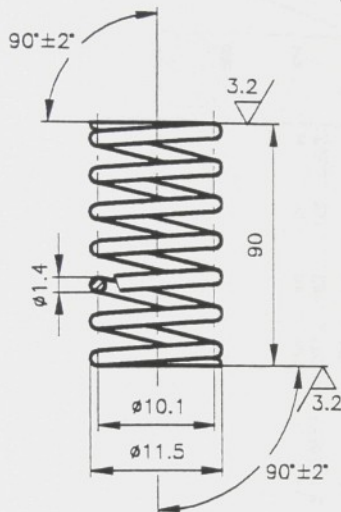


INDEX	ZMĚNA	DATUM	PODPIS	TU LIBEREC	
ZN.MAT.			T.O.	HMOTNOST kg	MĚR.
ROZM. - POLOH.				ČSN	TR.Č.
POM. ZAŘ.				POZN.	Č. KUSOVNÍKU
VYPR.	NORM. REF.				
PŘEZK.	SCHVÁLIL	16.3.1998	STARÝ V.		Č.V.
NÁZEV				KSD 13 - 9.02	
CHARAKTERISTIKA				Listů	List

✓(✓)

P4

Údaj		Hodnota
Počet činných závitů		18
Celkový počet závitů		20
Smysl vinutí		pravé
Tvrdost		160
Úprava povrchu		
Průměr	kontrolního trnu	ø8.6
	kontrolního pouzdra	ø11.5



INDEX	ZMĚNA	DATUM	PODPIS	TU LIBEREC	
ZN.MAT.				T.O.	HMOTNOST kg
ROZM.-POLOH. PRUŽINOVÝ DRÁT ø 1.4 - 700 ČSN 42 5450.4					MĚR.
POM. ZAR.				ČSN	TR.Č.
VYPR.				NORM.REF.	POZN.
PŘEZK.					Č. KUSOVNIKU
TECHNOL.				SCHVÁLIL	Č.V.
NÁZEV				31.3.1998	STARÝ V.
PRUŽINA				KSD 13 - 9.01	
				Listů	List

RYCHLOSTNÍ CHARAKTERISTIKA

Typ motoru	ML 637 PBEW	Protokol číslo	"4.3.1998"
Vrtání (mm)	130	Datum měření	96
Zdvih (mm)	150	Bar tlak (kPa)	
Počet válců	6	Vlhkost (%)	
Kompres. poměr	10,8	Tepl. vzduchu (°C)	
Předstih		Obj. mot. (dm ³)	11,946
Palivo	PB 60/40	Konst. clonky	10,761
Paliv. systém	Dellec: elektronická regulace		
Zapal. systém	Delco, svíčky Bosch XR 4CS		
Turbodmychadlo	CZM 4067MNA/27 21-Wg 18mm		
Mezichladič	Karosa, ventilátor 450 mm, klinové řemeny		
Poznámky	Katalyzátor MUX-DC10		

Měření

Bod	n 1/min	Mt Nm	př. zážeh °NH	λ _{max}	ID1 °C	ID3 °C	IT1 °C	p _s kPa	pCl mmHg	NO _x ppm	HC ppm	CO ppm	FI %
-----	------------	----------	------------------	------------------	-----------	-----------	-----------	-----------------------	-------------	------------------------	-----------	-----------	---------

1

2

3

4

5

6

7

9

10

11

12

13

Výpočty

Bod

1

2

3

4

5

6

7

8

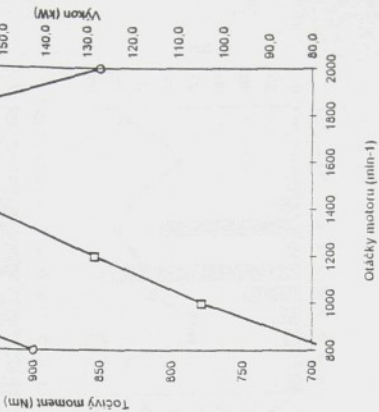
9

10

11

12

13



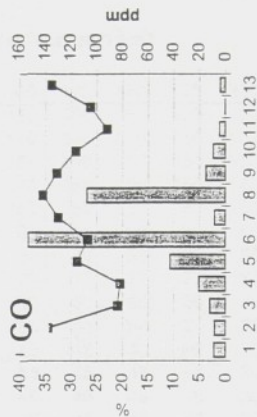
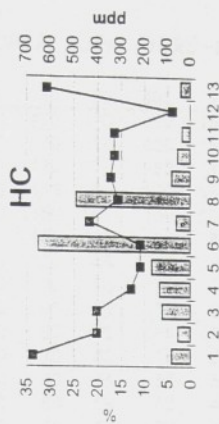
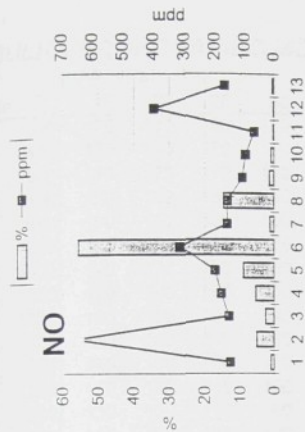
Otáčky motoru (min-1)

P5

PLYNNÉ EMISE DLE EHK 49.02

Typ motoru	Protokol číslo	"5.3.1998
Variant (mm)	Datum měření	
Zavřít (mm)	Bar tlak (kPa)	95,2
Počet válců	Vlhkost (%)	
Kompres. poměr	Tepl. vzd. (°C)	11,946
Předřích	Obj. mot. (dm ³)	10,761
Palivo PB 60/40	Konst. clonky	
Paliv. systém	Deltec-elektronická regulace	
Zapal. systém	Delco, svíčky Bosch XR 4C	
Turbodmychadlo	CZM 4067MNA/27 21-Wg-18mm	
Mezichladič	Karosa, ventilátor 450 mm, klínové řemeny	
Poznamky	Katalyzátor MINEX-DC10	
Měření		

Interferent	Bod	n	Min	Predisth	landa	td1 °C	td3 °C	tt1 °C	rs kPa	pCi mmHg	NOx ppm	Hg ppm	CO ppm	% F
	1	650	0	12	1 010	24	33,0	500	20	3	150	675	160	46
	2	1400	30	13	1 050	21	26,0	580	30	4	260	405	138	46
	3	1400	260	13	1 390	20	27,0	620	61	20	155	405	84	45
	4	1400	525	12	1 425	22	29,0	660	95	60	180	258	82	45
	5	1400	810	12	1 475	22	31,0	690	135	130	200	219	115	45
	6	1400	1050	12	1 475	22	40,0	700	165	198	315	219	107	46
	7	650	0	12	1 010	22	31,0	505	24	4	160	435	130	46
	8	2000	830	22	1 575	22	39,0	705	152	345	160	315	142	47
	9	2000	610	22	1 570	22	36,0	680	189	360	160	315	117	47
	10	1970	400	22	1 570	22	37,0	675	180	98	330	330	116	46
	11	1970	110	22	1 505	22	31,0	660	60	45	70	330	92	45
	12	1900	25	22	1 280	22	23,0	645	34	1	400	78	105	45
	13	650	0	23	1 010	22	28,0	460	24	1	170	175	135	45



P6

TABULKA KROKOVACÍHO MOTORU (počet kroků -bohatost směsi)

RPM(min ⁻¹)	MAP (kPa)													
	15	20	25	30	35	40	60	100	120	140	160	180	200	220
300	170	170	180	180	170	170	170	150	150	150	150	150	150	150
400	170	170	170	170	170	170	170	150	150	150	150	150	150	150
500	170	170	170	170	170	170	170	150	150	150	150	150	150	150
600	160	160	160	160	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
650	160	160	160	160	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
700	155	155	155	155	155	155	155	85	85	85	85	60	60	50
800	170	170	170	150	150	120	85	80	80	80	80	60	60	50
1000	170	170	160	150	130	110	90	78	77	77	77	77	77	50
1200	160	160	150	140	120	95	75	70	66	66	66	66	66	30
1400	150	140	140	130	110	90	75	60	56	54	54	54	54	30
1600	140	130	130	110	90	70	60	56	54	52	48	48	48	30
1800	130	120	110	100	80	60	56	54	52	48	48	48	48	30
2000	130	120	110	100	80	60	56	52	48	46	46	46	46	30
2200	130	120	110	100	80	60	56	52	48	46	46	46	46	30
2300	50	50	50	50	50	40	40	40	30	30	30	30	30	30

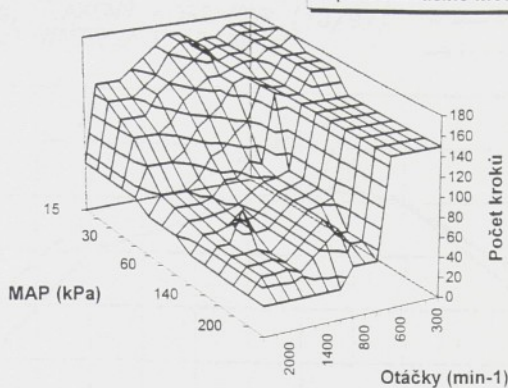
TABULKA PŘEDSTIHU ZÁŽEHU (°KH před H.Ú.)

RPM(min ⁻¹)	MAP (kPa)									
	20	40	60	80	100	140	160	180	200	220
200	12	12	12	11	11	11	11	11	11	11
400	12	12	12	11	11	11	11	11	11	11
600	12	12	12	11	11	11	11	11	11	11
800	12	12	12	11	11	11	11	11	11	11
1000	14	14	14	13	13	13	13	13	13	13
1200	15	15	15	14	14	14	14	14	14	14
1400	16	16	16	16	15	15	15	15	15	15
1600	18	18	18	17	17	17	17	17	17	17
1800	20	20	20	19	19	19	19	19	19	19
2000	23	23	23	22	22	22	22	22	22	22
2200	23	23	23	22	22	22	22	22	22	22

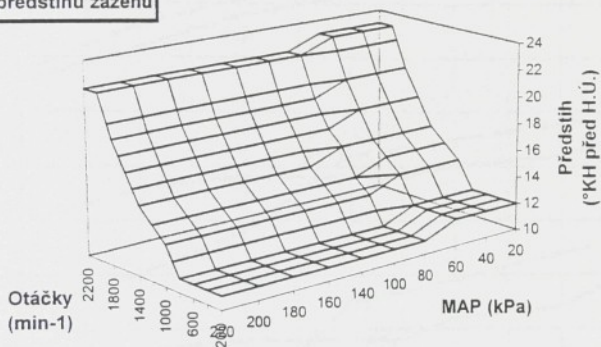
TABULKA VENTILU WASTEGATE (počet impulsů)

RPM(min ⁻¹)	MAP (kPa)						
	100	120	140	160	180	200	220
600	254	254	254	254	120	0	0
800	254	254	254	254	120	0	0
1000	254	254	254	254	120	0	0
1200	254	254	254	254	120	0	0
1400	176	176	176	176	176	120	0
1600	160	160	160	160	160	120	0
1800	140	140	140	140	140	120	0
1900	120	120	120	120	120	120	0
2000	95	95	95	95	95	45	0
2100	85	85	85	85	75	45	0
2200	0	0	0	0	0	0	0

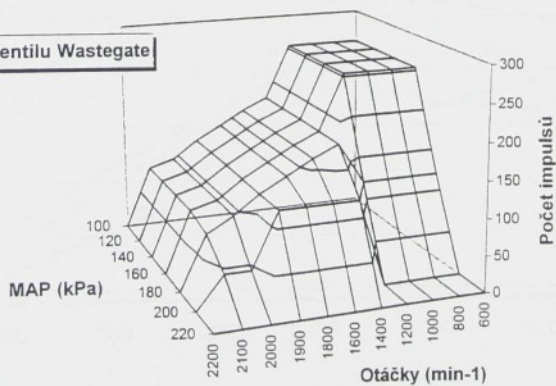
Mapa krokovacího motoru



Mapa předstihu zážehů



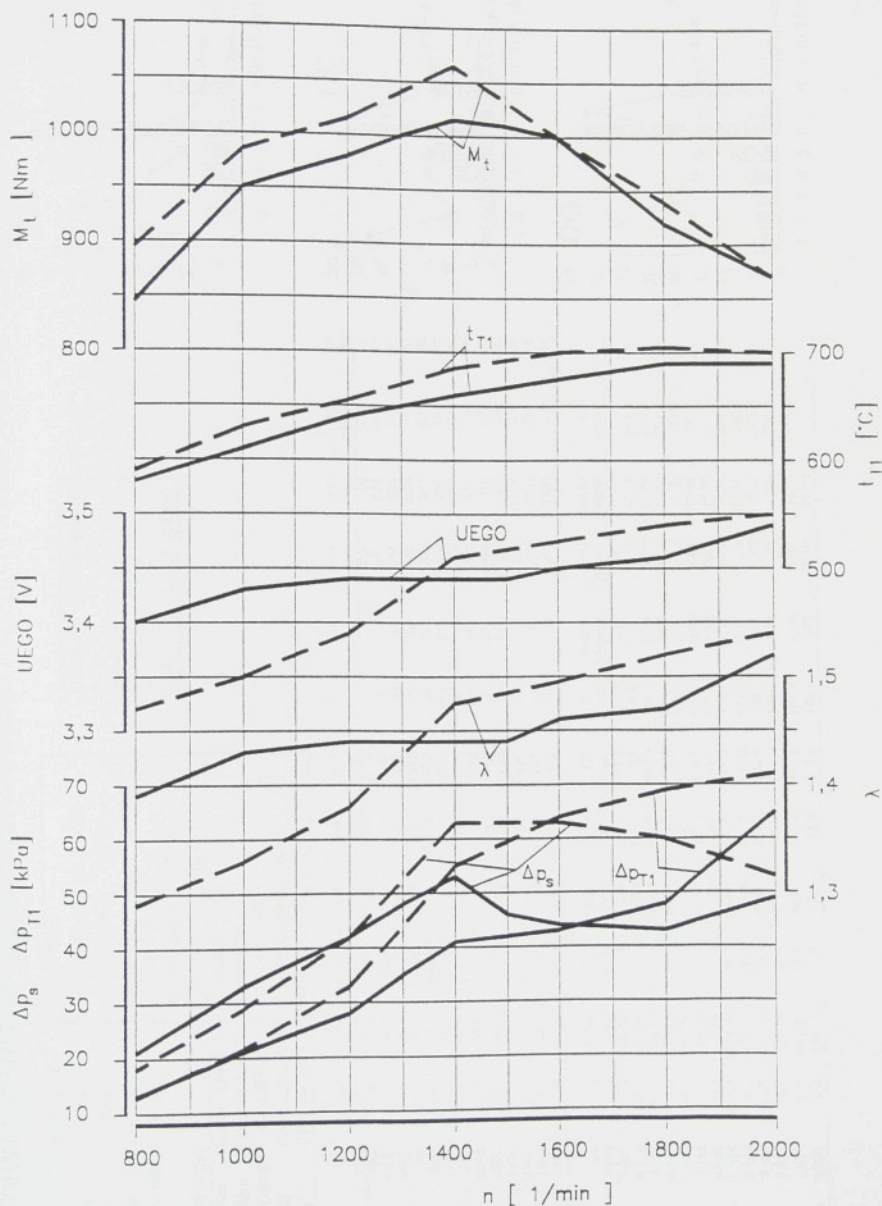
Mapa ventilu Wastegate



POROVNÁNÍ PRŮBĚHŮ VYBRANÝCH VELIČIN MOTORU
ML 636PBEM – M1.2C PŘI RŮZNÝCH ZPŮSOBECH
REGULACE NA VNĚJŠÍ OTÁČKOVÉ CHARAKTERISTICE:

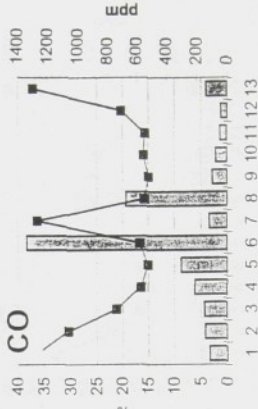
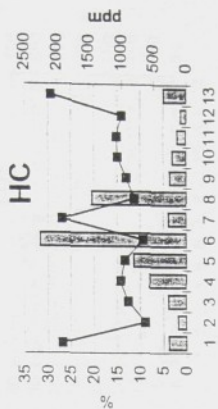
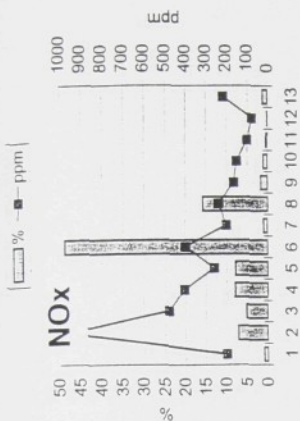
P9

- a) TLAKOVÝ KOREKTOR (10/97) —————
b) WASTEGATE (3/98) - - - - -



PLYNNÉ EMISE DLE EHK 49.02

P10



NOx =	3,262 g/kwh
HC =	2,635 g/kwh
CO =	3,529 g/kwh

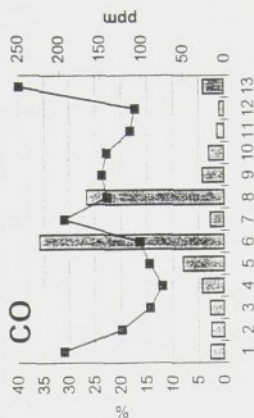
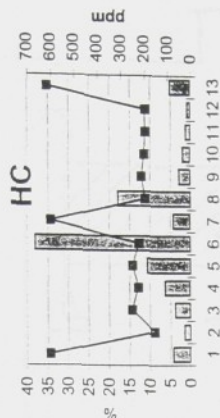
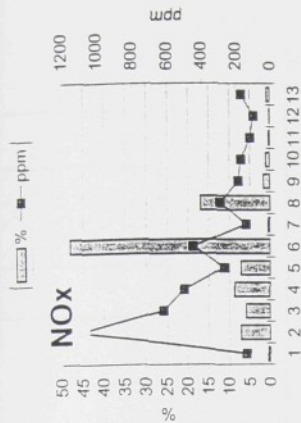
Typ motoru	MT 637 PBEw	Protokol číslo	"13.3.1998
Vrtání (mm)	130	Datum měření	97.6
Zdvih (mm)	150	Bar tlak (kPa)	
Počet válců	6	Vlhkost (%)	
Kompres poměr	10.8	Tepl. vzd (°C)	
Předstřih		Obj. mot. (dm³)	11.946
Palivo	PB 60/40	konst. clonky	10.761
Paliv. systém	Deltec- elektronická regulace		
Zapal. systém	Delco, svíčky Bosch XR 4CS		
Turbodmychadlo	CZM 406/MNA/27 21-Wg-18mm		
Mezichladič	Karosa, ventilátor 450 mm, klinové řemeny		
Poznamky	Před katalyzátorem MINEX DC10		

Měření	Bod	n	Min	Max	Předstřih	lamda	ID1	ID3	ID11	PS kPa	PCl mmH2O	NOx ppm	HC ppm	CO ppm	FI %
1	650	0	12.0	12.0	1.000	20	25	475	23	37	7	200	1920	1270	45
2	1100	110	16.2	16.2	1.128	22	24	620	37	55	15	960	636	1068	44
3	1400	260	16.2	16.2	1.315	19	20	615	55	55	15	480	900	742	50
4	1400	520	15.1	15.1	1.390	18	22	645	86	50	50	405	1020	573	50
5	1400	810	15.1	15.1	1.475	19	28	670	128	118	118	260	954	528	48
6	1400	1080	15.1	14.75	1.475	21	34	690	163	193	193	400	666	581	45
7	650	0	12.0	10.000	20	25	475	23	37	3	3	200	1920	1270	45
8	2000	880	22.1	15.53	24	36	710	152	349	240	240	810	810	550	45
9	2000	660	22.1	15.53	26	33	700	122	110	165	165	930	930	523	46
10	1986	440	21.8	15.05	25	29	680	89	110	150	150	1074	1074	545	46
11	1940	220	21.8	14.75	25	26	665	59	43	22	22	78	1005	712	45
12	1912	90	21.4	14.32	24	25	655	43	22	4	4	215	1000	1300	44

Výpočty	Bod	pe	Pj	Gvzd	Gpal	Gexh	NOx	HC	CO	mNOx	mHC	mCO	me
1	0.000	0.0	105.84	6.8	112.6	103.3	33.6	103.3	121.8	0.32	15.27	18.00	566.1
2	0.116	16.1	161.07	9.1	170.2	247.2	51.7	156.9	154	5.67	17.18	302.3	302.3
3	0.274	38.1	236.96	11.5	248.5	452.9	106.9	220.8	162.1	0.76	11.09	11.52	281.3
4	0.547	76.2	433.01	19.9	452.9	779.5	271.4	315.3	324.4	0.64	10.98	11.29	241.9
5	0.852	118.8	662.76	28.7	691.5	1151.4	375.9	454.0	454.0	0.63	7.66	12.43	230.7
6	1.136	158.3	842.64	36.5	879.4	1533.1	433.6	521.8	521.8	0.32	15.27	18.00	250.7
7	0.000	0.0	105.84	6.8	112.6	103.3	33.6	103.3	121.8	0.32	15.27	18.00	566.1
8	0.926	184.3	1122.30	46.2	1166.5	2342.0	452.3	521.8	521.8	0.27	11.54	12.12	293.9
9	0.694	138.2	870.78	35.9	906.6	1533.1	336.0	403.0	403.0	0.24	12.56	12.12	389.1
10	0.663	91.5	633.13	25.9	660.0	1151.4	336.0	403.0	403.0	0.24	12.56	12.12	389.1
11	0.231	44.7	401.17	17.4	418.6	650.0	147.6	147.6	147.6	0.16	11.24	14.76	704.6
12	0.095	18.0	284.37	12.7	297.1	357.7	142.7	142.7	142.7	0.13	11.24	14.76	704.6
13	0.000	0.0	121.77	7.8	129.6	143.4	42.0	130.0	143.4	0.35	16.70	18.42	

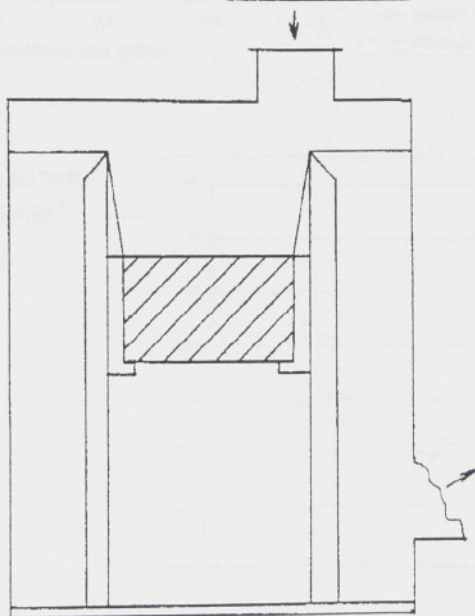
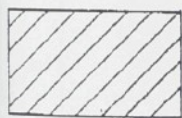
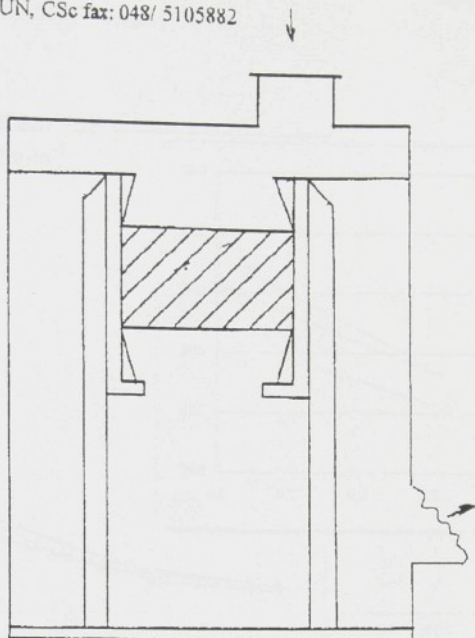
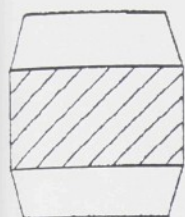
PLYNNÉ EMISE DLE EHK 49.02

Typ motoru	ML637 PBE-w	Protokol číslo	"13 3 1998
Vrtání (mm)	130	Datum měření	97/6
Zdvih (mm)	150	Bar tlak (kPa)	
Počet válců	6	Vlhkost (%)	
Kompres. poměr	10,8	Tepl. vzd. (°C)	
Předsíň		Obj. mot. (dm³)	11,946
Palivo	PB 60/40	Konst. clonky	10,761
Paliv. systém	Deltec- elektronická regulace		
Zápal. systém	Delco, swický Bosch XR 4CS		
Turbodmychadlo	CZM 4067MNAJ27 21-Wg-18mm		
Mezichladič	Karosa, ventilátor 450 mm, kilnové fernery		
Poznamky	Katalyzátor MINEX-DC10		

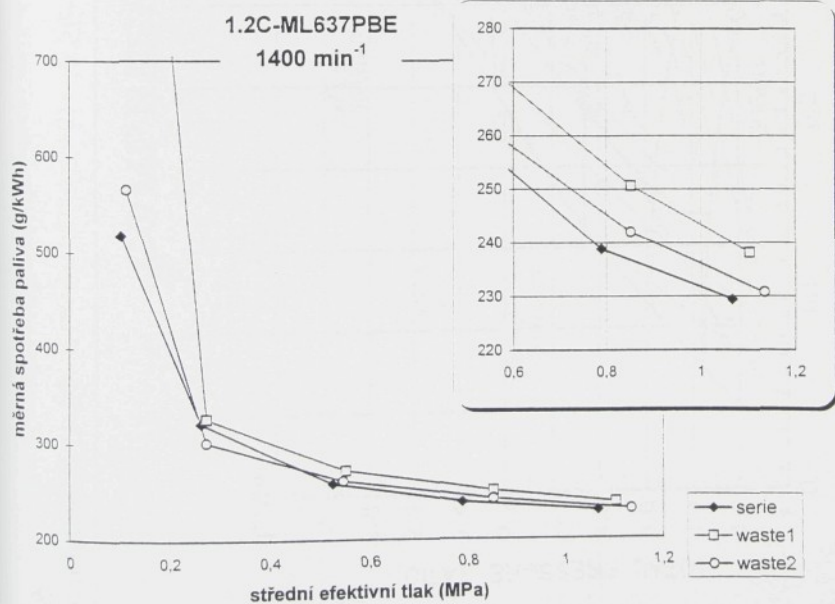
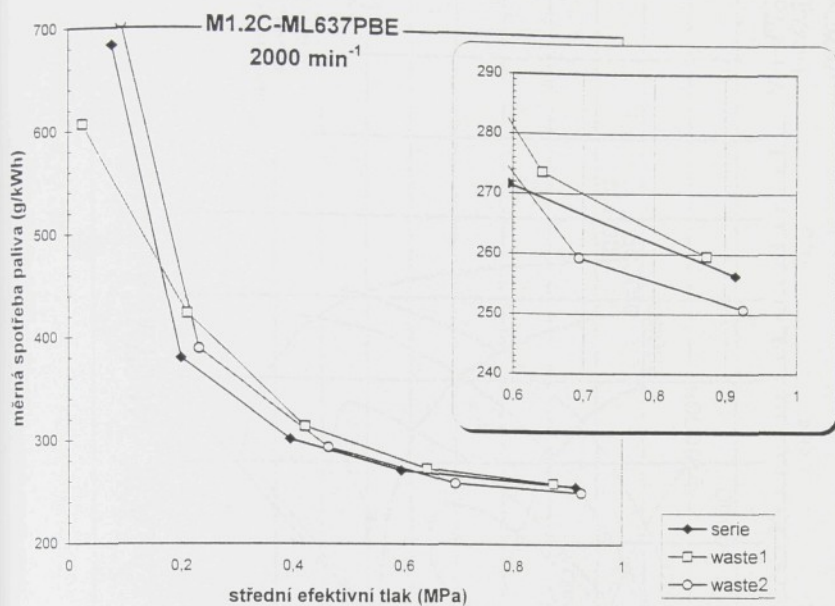


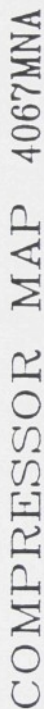
Mereni		n	Min	Predstih	lamda	ID1	ID3	IT1	RS kPa	PCI mm/2	NOx ppm	HC ppm	CO ppm	F %	
Bod	1/min	1	1650	0	12,0	20	35	475	23	3	140	600	183	45	
	2	1650	110	16,2	1,128	22	24	620	34	7	1100	156	124	44	
	3	1400	260	16,2	1,315	19	20	615	55	15	620	252	90	50	
	4	1400	520	15,1	1,390	18	22	645	86	50	500	225	75	50	
	5	1400	810	15,1	1,475	19	28	675	128	118	270	252	91	48	
	6	1400	1080	15,1	1,475	21	34	690	163	193	450	223	102	45	
	7	650	0	12,0	1,000	20	25	475	23	3	140	600	193	45	
	8	2000	880	22,1	1,553	24	36	710	152	349	295	213	146	46	
	9	2000	660	22,1	1,553	26	33	680	162	110	170	201	142	46	
	10	1985	440	21,8	1,475	25	26	665	59	44	120	198	114	46	
	11	1940	250	21,4	1,432	24	25	655	43	22	98	198	108	45	
	12	1420	0	12,0	1,000	22	24	430	23	4	170	195	249	44	
	13	650	0	12,0	1,000	22	24	430	23	4	170	195	249	44	

Výroba	pe Mg	Pj	Guzd	Gral	Gexh	NOx	HC	CO	mNOx	mHC	mCO	nie
Bod	kg/h	kg/h	kg/h	kg/h	kg/h	g/h	g/h	g/h	g/kgvzd	g/kgpal	g/kgpal	g/kwh
1	0,000	0,0	105,84	8	112,8	23,5	32,3	18,5	0,22	4,77	2,74	566,1
2	0,116	161,07	9,1	17,02	283,3	12,7	18,7	1,39	2,00	2,60	1,71	302,3
3	0,224	38,1	236,96	11,5	248,5	232,3	29,9	19,7	0,98	2,60	1,51	261,3
4	0,547	76,2	433,01	19,9	452,9	340,6	48,7	30,0	0,79	2,45	1,95	241,9
5	0,852	118,6	662,76	28,7	691,5	281,8	83,3	55,9	0,43	2,90	1,51	241,9
6	1,136	158,3	842,84	36,5	879,4	599,8	93,7	79,7	0,71	2,57	2,18	230,7
7	0,000	0,0	105,84	8	112,8	23,5	32,3	18,5	0,22	4,77	2,74	566,1
8	0,926	184,3	1122,30	46,2	1168,5	531,4	110,6	148,1	0,47	2,39	3,20	250,7
9	0,694	138,2	870,78	35,9	906,6	265,4	92,3	119,7	0,30	2,57	3,34	259,4
10	0,463	91,5	633,13	26,9	680,0	174,4	63,4	83,4	0,28	2,36	3,10	293,9
11	0,231	44,7	401,17	17,4	416,8	78,1	39,6	42,4	0,19	2,28	2,44	389,1
12	0,095	18,0	284,37	12,7	297,1	44,8	28,1	28,4	0,21	2,24	2,24	704,6
				12,6	31,2	37,2	38,1	27,5	0,27	4,89	2,73	



V prvním případě použit katalyzátor MINE-X DC 10 s kuželů. Ve druhém případě použit katalyzátor bez kuželů. Oba namontovány do prázdných držáků ECOS s rozdílným uchycením.





Příloha P7

Plynový zážehový přeplňovaný motor ML 636 PBE.w –M1.2C

Souhrn: Zpráva podává výsledky řešení optimalizačních úloh na plynovém (LPG) zážehovém přeplňovaném motoru M1.2C ML 636PBE.w s mezichlazením plnicího vzduchu, elektronickou regulací se systémem regulace wastegate turbodmychadla. Poprvé byly použity písty modernizace M1.2C s novým spalovacím prostorem. Cílem byla úprava výkonových parametrů pro městský autobus a výraznější snížení spotřeb paliva při splnění limitů EU2 a EU3. Zpráva popisuje optimalizaci spotřeb paliva a emisních parametrů, korekce předstihu zážehu a bohatosti směsi pro stálost výstupních parametrů, účinnost katalyzátoru Minex DC10, naprogramování EŘJ a měření průtočných odporů LPG mezi zásobníkem a motorem.

Technická univerzita v Liberci

Fakulta strojní

Katedra strojů průmyslové dopravy

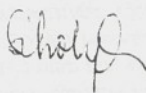
PLYNOVÝ MOTOR ML 636 PBE.w – M1.C

Redukce spotřeb paliva při limitech emisí EU2 a EU3

Řešitelé:

Ing. Celestýn Scholz, Ph.D.

Prof. Ing. Stanislav Beroun, CSc



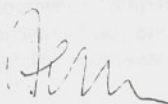
Spolupracovali:

Miroslav Myška

Ing. Jaromír Šturma

Vedoucí katedry:

Prof. Ing. Stanislav BEROUN, CSc



Č. úkolu: 5153/59/370

Č. zprávy: SM 365 /00

Liberec, březen 2000

Počet listů: 17

Počet příloh: 11

Počet stran celkem: 28

Technická zpráva z řešení úkolu podle Smlouvy o dílo č. 5153/59/370

Objednatel: Dopravní podnik měst Mostu a Litvínova, a.s.

Předmět smlouvy:

Zkušebnícké a výzkumné práce na poslední verzi motoru ML 636 PBE.w-M1.2C v rozsahu

a). Instalace motoru na zkušební stanoviště v laboratoři KSD TU v Liberci.

Pozn.1: V motoru jsou poprvé použity písty poslední modernizace Liaz, varianta M1.2C s návrhem spalovacího prostoru KSD-TU Liberec.

b). Kontrola celkového seřízení motoru a jeho příprava k emisnímu testu podle EHK č.49

Pozn.2: Výkonové parametry motoru byly upřesněny s ohledem na provozní zatížení sólo městského autobusu Karosa tak, že $M_{tMAX} \approx 950 - 1000 \text{ Nm}/1400$ a $M_{ij} \approx 840 - 870 \text{ Nm}/2000$. Při průběžném jednání byl zákazníkem akcentován požadavek na seřízení parametrů pro dosažení nízké spotřeby paliva při splnění emisních testů EU2 a EU3.

c). Emisní test plyných emisí podle EHK č.49 a účinnost oxidačního katalyzátoru.

Pozn.3: Vzhledem k tomu, že během optimalizaci došlo k poruše katalyzátoru, lze účinnost posuzovat jen z výsledků prvních měření. V testech byly měřeny emise bez katalyzátoru a výsledky byly přepočteny pomocí smluvních účinností.

d). Ověření možnosti regulace průběhu točivého momentu bez systému waste-gate.

Pozn.4: Výraznější regulaci systémem waste-gate bylo naopak dosaženo příznivých spotřeb paliva v pracovním poli motoru. Navíc byla řešena problematika stálosti výstupních parametrů a hydraulické ztráty LPG mezi zásobníky a motorem.

K provedení práce předal objednatel úplný motor s příslušenstvím. Motor byl v laboratoři nainstalován na zkušebním stanovišti č. 10 prakticky ve stejném uspořádání, jako při jeho zástavbě v motorovém prostoru autobusu Karosa B 931: místo filtru sání bylo použito přívodní potrubí vzduchu s měřicí čelní clonkou pro určení průtočného množství vzduchu do motoru, chladič plnicího vzduchu (Autopal/Karosa) vč. jeho připojení k motoru a výfukový systém motoru (s oxidačním katalyzátorem MINE-X DC10, zabudovaným v DPmMaL do tlumiče výfuku Karosa) rovněž odpovídají zástavbě. Ovládání motoru bylo zajištěno přímým působením na škrtkici klapku, tj. bez ovládacího a regulačního mechanismu s tlakovým korektorem.

Úkol byl řešen v několika na sebe navazujících dílčích úlohách:

1. Oživení elektronického systému regulace a řízení motoru.
2. Optimalizace parametrů seřízení motoru, účinnost katalyzátoru.
3. Emisní testy EHK č.49 pro EU2 a EU3.
4. Korekce bohatosti směsi.
5. Průtočné odpory LPG mezi zásobníkem a motorem.

1. Oživení elektronického systému regulace a řízení motoru

K propojení elektronické řídicí jednotky s akčními členy a snímači bylo použito původní technologické kabeláže z předchozích vývojových prací. EPROM byl naprogramován na poslední provedení používané v kloubových autobusech.

Toto provedení EPROM zaznamenalo řadu změn proti původnímu provedení z roku 1998 č. 040398, které vycházelo z kalibrace motoru na brzdovém stanovišti -viz. zpráva KSD-TUL SM 346/98. Pro úplnost popisu se připomínají tyto úpravy:

- a) úprava sledující snížení délky startování EPROM č.180698 (číslo představuje datum změny fou. Woodward),
- b) úprava sledující omezení maximálního plnicího tlaku (MAP) na 170 kPa, EPROM č.100699. Při tomto tlaku stop ventil uzavře přívod paliva k směšovači.
- c) úprava KSD-TUL sledující odstranění detonaci v nestacionárních režimech provozu motoru (přeřazení při rozjezdu do kopce) a při zvýšené teplotě okolního vzduchu. Na základě provozních zkoušek dne 30/6/98 se v EPROM provedly úpravy v tabulce předstihu zážehu (snížení o $1-3^{\circ}\text{KH}$ v režimu otáček $1000-1600\text{ min}^{-1}$) a v tabulce bohatosti směsi v oblasti nad MAP 100kPa (snížení v režimu otáček 1200 min^{-1} o 10-12 kroků motorku, 1400 min^{-1} o 4-2 kroky, 1600 min^{-1} o 3 kroky). Dodatečně po této úpravě byl snížen kompresní poměr (z 10.8 na 10.4) úpravou pístů, úprava EPROM však byla na žádost objednatele ponechána,
- d) úprava sledující zlepšení náběhu volnoběhu ze dne 8/3/98. V tabulce bohatosti směsi zvýšena bohatost směsi v oblasti $300-800\text{ min}^{-1}$ a 15-60 kPa o 20-40 kroků motorku.

Vzhledem k výše uvedeným změnám EPROM od poslední kalibrace motoru a navíc při podstatné změně tvaru kompresního prostoru (viz příloha P1) a snížení kompresního poměru z 10.8 na 10.25 se dala očekávat potřeba zcela nové kalibrace.

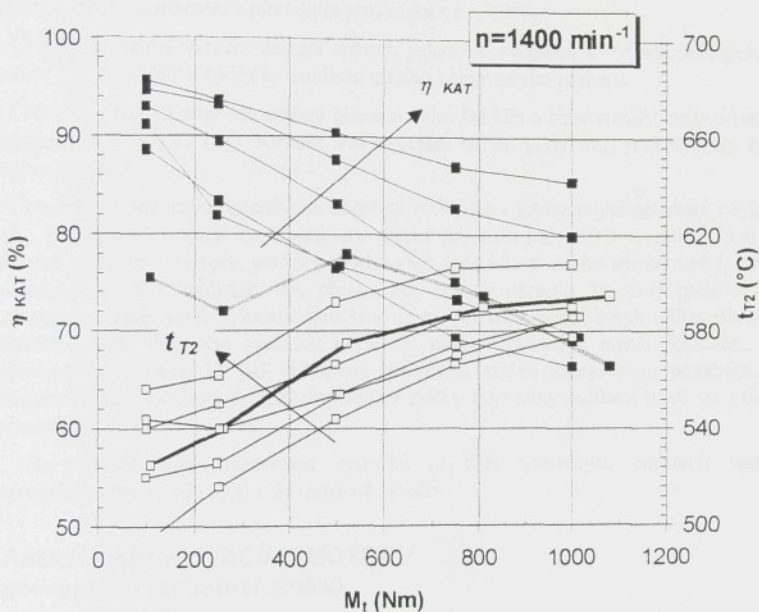
Pomocí seřizovacího šroubu v odměřovacím průřezu přítoku plynu do směšovače bylo nastaveno základní seřízení bohatosti $\lambda=1.44$, kontrola bohatosti směsi při seřizování se prováděla sondou UEGO na 3.43-3.44 V.

Při monitorování parametrů byl na řídicí jednotku napojen Laptop s programem RVI.exe. Byl rovněž vyměněn vadný snímač polohy škrtící klapky.

Pro následnou optimalizaci parametrů bylo odzkoušeno přímé řízení parametrů bohatosti směsi, předstihu zážehu a otevíření klapky waste-gate bez změny zatížení motoru. Toto řízení je používáno u motorů CNG s novou generací řídicích jednotek s 5-ti kolíkovým vývodem na propojovací kabel s interface k Laptopu s programem MONIO.exe. K tomu byl zhotoven redukční kabel z 5 na 4 kolíky, upraveno zapojení v řídicí jednotce a vyžádan od fy. Woodward program pro funkci „Slew“ MONI_ENG.exe. V zásadě lze tento postup použít, ovšem mimo volnoběh. Proto byl v závěru kalibračních prací použit klasický způsob pro řídicí jednotku se 4 kolíkovým napojením na Laptop s programem RVI.exe a EPROM byl nahrazen univerzálním programem s přepojovacím zařízením na autonomní programovací kalkulátor Dataman.

2. Optimalizace parametrů seřízení motoru, účinnost katalyzátoru.

Mimořádná priorita byla věnována možnostem snížení spotřeb paliva v celém provozním poli motoru při splnění limitů plynných emisí dosavadního EU2 a budoucího EU3. K tomuto byl v počáteční fázi optimalizace uskutečněn značný počet měření, které jsou dokumentovány pro otáčky 1400 min^{-1} v příloze P2. Výsledky jsou vždy porovnávány k výchozímu měření ze dne 13.3.1998, viz zpráva SM346/98. Výsledky byly povzbudivé, zejména ve středním zatížení. Z výsledků této etapy lze provést vyhodnocení účinnosti katalyzátoru MINEX-DC10, viz obr.1



Obr.1. Účinnost katalyzátoru během měření.

Účinnost katalyzátoru roste se snižováním zatížení motoru (menší množství plynů) a se zvyšováním teploty plynů. Je třeba dodat, že katalyzátor při optimalizačních měřeních a opakovaných (neúspěšných) startech teplého katalyzátoru velice trpí. Toto se projevovalo postupným zhoršováním účinnosti, nakonec až na 65%. Proto byl katalyzátor pro další optimalizační měření nahrazen tlumičem výfuku. Tato praxe se používá i při podobných pracích na CNG motorech. Katalyzátor se pak používá až při oficiálních homologačních měřeních.

Pro optimalizace a běžné emisní testy se emise nespálených uhlovodíků (HC) přepočítávají pomocí smluvních účinností. V našem případě, s přihlédnutím k výsledkům z obr.1, byly stanoveny účinnosti a koeficient se zahrnutím přepočtu H_8C_3 na HC následovně:

Zatížení motoru	Účinnost katalyzátoru	Celkový přepočítávací koef.
75 – 100%	80%	* 0.6
10 – 50%	90%	* 0.3

Další práce byly již cíleně zaměřeny na snižování spotřeb paliva pomocí zvyšování bohatosti paliva a předstihu zážehu, zejména při středních zatíženích motorů. Tyto úpravy znamenají však nárůst oxidů dusíku (NO_x), které musely být pečlivě kontrolovány a udržovány těsně pod dovolenou hranici. Zvýšení středního efektivního tlaku na vnější charakteristice bylo redukováno funkcí waste-gate (snížení otáček turbodmychadla a tím plnicího tlaku). Toto se projevilo obzvláště příznivě na spotřebu paliva. Na přílohách **P3, P4, P5** jsou patrné konečné výsledky, opět v porovnání s původním provedením z r. 1998.

Na **P3** je patrné výrazné snížení spotřeb paliva ve středních a vyšších režimech zatížení motoru o 5-10 g/kWh a to i přes handicap nižšího kompresního poměru.

Na **P4** je pak již zmíněné snížení plnicího tlaku (MAP) a odpovídající snížení tlaku plynů vystupujících z motoru (p_A). Rovněž snížení teplot těchto plynů (t_A) je z hlediska životnosti motoru přínosné.

Na **P5** lze pozorovat očekávané zhoršení NO_x , ale i překvapující zhoršení vývinu emise H_2C_3 . Pro lepší pochopení rozdílných spalovacích prostorů (z r. 1998 a r. 2000) jsou důležité výstupní parametry motoru graficky znázorněny v závislosti na bohatosti směsi, při zhruba shodném zatížení a otáčkách, viz. příloha **P6**. Zde se ukazuje, že nový spalovací prostor v oblastech chudé směsi vykazuje zhoršení nejen v emisích nespálených uhlovodíků ale i ve spotřebě paliva. Takovýto výsledek může být obecně způsoben menší počáteční rychlostí hoření směsi ve válci. Ta pak může být způsobena nižším kompresním poměrem a menší turbulencí směsi v oblasti jiskřiště zapalovací svíčky (výsledky indikací tlaků ve válci budou zpracovány mimo tuto zprávu).

Na základě výše uvedených výsledků (a dále uvedených emisních testů) byly naprogramovány do EPROM níže uvedené tabulky:

TABULKA KROKOVACÍHO MOTORU **(počet kroků - bohatost směsi)**

RPM(min ⁻¹)	MAP (kPa)													
	15	20	25	30	35	40	60	100	120	140	160	180	200	220
300	200	200	200	200	210	220	190	150	150	150	150	150	150	150
400	200	200	200	200	200	210	200	150	150	150	150	150	150	150
500	200	200	200	200	200	210	200	150	150	150	150	150	150	150
600	200	200	200	200	200	210	200	150	150	150	150	150	150	150
650	200	200	200	200	200	210	200	150	150	150	150	150	150	150
700	190	190	190	190	190	170	130	85	85	85	85	60	60	50
800	180	180	180	170	160	140	95	80	77	77	77	60	60	50
1000	170	170	160	150	130	110	90	78	74	74	74	74	74	50
1200	160	160	150	140	120	100	83	72	70	63	63	63	63	30
1400	150	140	140	130	110	90	70	65	55	55	55	55	54	30
1600	140	130	130	110	90	80	62	57	56	53	53	53	53	30
1800	130	120	110	100	80	70	62	57	53	48	48	48	48	30
2000	130	120	110	100	80	60	52	48	46	42	42	42	42	30
2200	130	120	110	100	80	60	45	41	39	37	37	37	37	30
2300	50	50	50	50	50	40	40	40	30	30	30	30	30	30

TABULKA PŘEDSTIHŮ ZÁŽEHŮ

RPM(min ⁻¹)	MAP (kPa)									
	20	40	60	80	100	140	160	180	200	220
200	12	12	12	11	11	11	11	11	11	11
400	12	12	12	11	11	11	11	11	11	11
600	12	12	12	11	11	11	11	11	11	11
800	12	12	12	11	11	11	11	11	11	11
1000	13	13	13	12	12	11	11	11	11	11
1200	14	14	14	13	13	12	12	11	11	11
1400	19	19	19	18	18	17	16	11	11	11
1600	19	19	19	18	18	18	18	12	12	12
1800	21	21	21	20	20	20	19	18	14	14
2000	23	23	23	23	23	23	22	20	18	16
2200	23	23	23	23	23	23	22	20	18	16

TABULKA VENTILU WASTEGATE

(počet impulsů)

RPM(min ⁻¹)	MAP (kPa)						
	100	120	140	160	180	200	220
600	254	254	254	254	120	0	0
800	254	254	254	254	120	0	0
1000	254	254	254	254	120	0	0
1200	200	200	200	200	120	0	0
1400	130	130	130	130	100	0	0
1600	120	120	120	120	80	0	0
1800	90	90	90	90	60	0	0
1900	60	60	60	60	30	0	0
2000	0	0	0	0	0	0	0
2100	0	0	0	0	0	0	0
2200	0	0	0	0	0	0	0

3. Emisní testy dle EHK č. 49 pro EU2 a EU3

Pro emisní testy bylo použito (místo měření za katalyzátorem) pro určení HC výše uvedených přepočítávacích koeficientů, pro určení CO pak koeficientu *0.15. Návrhová vnější charakteristika točivého momentu a výkonu motoru a skutečně naměřené hodnoty jsou patrné z přílohy P7.

Stávající metodika měření pro limity EU2 je známá a vychází z měření 13-ti bodů (volnoběh, druhy zatížení při otáčkách maximálního momentu a jmenovitého výkonu). Výsledky testů jsou na přílohách P8 a P9 pro dva druhy seřízení. Oba s velkou rezervou splňují limity EU2. Z důvodů nižší spotřeby paliva byl vybrán test ze dne 27.3.2000, viz. P9.

Metodika měření emisí pro limity EU3 se však podstatně liší. I když byl vybrán typ testu ESC, který je obdobně složen z ustálených stavů 13-ti bodů, jsou tyto body při odlišných otáčkách a zatíženích, viz. tabulka na příloze P9. Hodnoty otáček se stanoví určitým postupem

z tvaru návrhové charakteristiky. Navíc je odlišná významnost (váhový koeficient) jednotlivých bodů. Výsledky testů jsou na přílohách **P10** a **P11** pro dva druhy zařízení. Oba splňují limity EU3. Z důvodů nižší spotřeby paliva byl vybrán test ze dne 27.3.2000, viz. **P11**, i když emise NO_x je na hranici limitu.

Pro porovnání ekonomie byly obdobným způsobem vypočteny výsledné hodnoty spotřeby paliva a vývinu CO_2 .

DATUM	LIMIT	PŘÍLOHA	NO_x g/kWh	HC g/kWh	CO g/kWh	m_e g/kWh	CO_2 g/kWh
13-03-98	EU2		3.712	0.732	0.660	272.8	823.2
13-03-00	EU2	P8	3.104	0.613	0.475	284.0	857.0
13-03-00	EU2	P9	5.169	0.596	0.528	270.8	817.2
27-03-00	EU3	P10	3.674	0.550	0.466	269.8	814.2
27-03-00	EU3	P11	5.240	0.506	0.516	262.9	793.2

4. Korekce pro stálost výstupních parametrů

V programu EPROM jsou v 2D tabulkách korekce předstihu zážehu a bohatosti směsi v závislosti na teplotách.

Tabulka korekce předstihu zážehu

MAP KPa	MAT °C	-20	0	10	20	30	40	50	60	70	90	120
100	134	131	128	128	128	128	128	128	125	122	120	117
140	134	131	131	128	128	128	128	128	122	120	117	114
180	137	134	131	131	128	128	128	128	122	120	117	111

Pozn.: 128- nulová korekce

134-128=+6 zvyšuje předstih o 2°KH (2.844jedm.= 1°KH)

111-128= -17 snižuje předstih o 6°KH

Tabulka korekce bohatosti směsi (součinitele přebytku vzduchu) v závislosti na teplotě vzduchu

MAT °C	-20	0	20	30	40	50	60	70	80
137	134	132	130	128	126	124	122	120	

Tabulka korekce bohatosti směsi (součinitele přebytku vzduchu) v závislosti na teplotě paliva

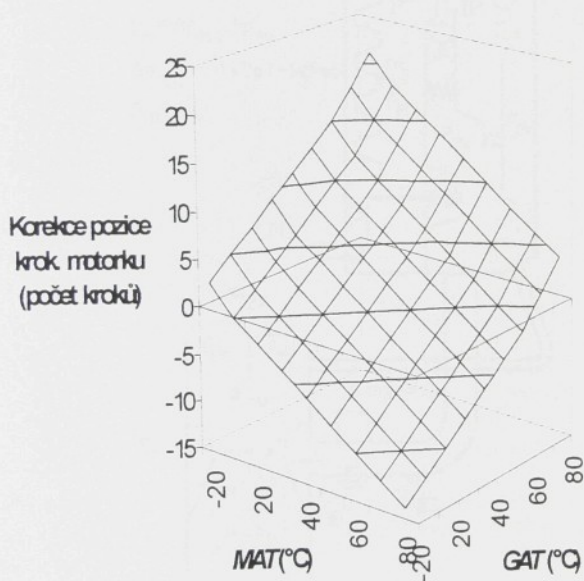
GAT °C								
-20	0	20	30	40	50	60	70	80
122	124	126	128	130	132	134	137	140

Pozn.: 128- nulová korekce

134-128=+6 zvyšuje bohatost počtem kroků motorku

120-128= -8 snižuje bohatost počtem kroků motorku

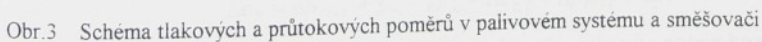
Obě tabulky teplotních korekcí působí současně, což je patrné z obrázku 2.



Obr. 2 Teplotní korekce bohatosti směsi

Při měřeních, která byla prováděna s časovým odstupem, nastával problém reprodukovatelnosti hodnot bohatosti směsi vůči krokům motorku: často bylo potřeba dodatečného seřízení hlavním seřizovacím šroubem. Poněvadž byly pochybnosti o dostatečnosti teplotních korekcí, věnovali jsme se podrobně této problematice.

1. Situaci ve směšovači a regulátoru tlaku plynného paliva (průtoky, tlaky) znázorňuje schema na obr.3: plnicí vzduch vstupuje do směšovače tlakem p_{pv} - tento tlak je rovněž přiveden na vnější stranu membrány II. stupně (Π^0) regulátoru tlaku (tlak na vnější straně membrány Π^0 je ve skutečnosti proti p_{pv} o cca 60-80 Pa vyšší v důsledku odběru celkového tlaku před difuzérem), na vnitřní stranu membrány Π^0 působí plyn z komory Π^0 , přiváděný do komory Π^0 talířkovým ventilem (průřezem S1) z komory I^0 tlakem p_{PI} . Rovnovážný stav na membráně Π^0 se vytvoří tlakem paliva (přiváděného průřezem S1) při dosažení $p_{PII} = p_{pv}$.



9

propojena s difuzérem směšovače potrubím s odměřovacím průřezem S₂ (λ regulace) a vtokovými otvory v difuzéru směšovače (průřezy S₃). Průtokové vlastnosti difuzéru (pro plnicí vzduch) jsou určeny průřezem difuzéru S_D a jeho úhrnným průtokovým součinitelem μ_D a pro hmotnostní tok plnicího vzduchu je potom určující hustota plnicího vzduchu ρ_{pv} před difuzérem (na vstupu do směšovače). Průtokové vlastnosti cesty plynného paliva do směšovače určují průřezy S₁, S₂ a S₃ a jejich průtokoví součinitelé: skupinu těchto sériově řazených průtokových průřezů lze nahradit jediným (společným, redukováním) průtokovým průřezem S_{P13-R} a jeho úhrnným průtokovým součinitelem μ_{P13-R}, pro hmotnostní průtok plynného paliva je potom rozhodující hustota plynného paliva ρ_{pl} v komoře I⁰.

2. V každém otáčkovém režimu čtyřdobého přeplňovaného motoru se zdvihovým objemem V_{ZM} a s kompresním poměrem ε bude pro určité nastavení škrtki klapky při otáčkách n [1/min] platit (η_D je dopravní účinnost):

$$V_{ZM} \cdot \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \cdot \frac{n}{2 \cdot 60} \cdot \eta_d = \frac{m_{pv}}{\rho_{pv/SM}} + \frac{m_p}{\rho_{pl/SM}} \quad /1/$$

Průtoky plnicího vzduchu a plynného paliva jsou vzájemně termodynamicky svázány, pomoci odměřovacího průřezu S₂ (λ regulace) je potom určen poměr průtoků m_{pv} a m_p a tím je dána i bohatost směsi λ:

$$\lambda = \frac{m_{pv}}{m_p \cdot L_{\gamma T}} \quad /2/$$

Termodynamická vazba působí v určitém rozsahu jako samoregulační prvek pro udržení nastavené bohatosti směsi.

3. Průtok plnicího vzduchu difuzérem vytváří v nejužším místě difuzéru podtlak Δp_D (vůči tlaku p_{pv}), jehož velikost vyplývá ze vztahu

$$m_{pv} = \mu_D \cdot S_D \cdot \sqrt{2 \cdot \rho_{pv} \cdot \Delta p_D} \quad /3/$$

Pozn.: Podtlak v difuzéru je určen podle Bernoulliho rovnice jako Δp_D = ρ_{pv} · $\frac{c_{pv}^2}{2}$, kde c_{pv} je rychlost vzduchu v difuzéru (pro každý provozní režim a seřízení motoru má rychlost vzduchu v difuzéru určitou hodnotu, podtlak v difuzéru je potom ovlivněn i hustotou plnicího vzduchu).

4. Průtok plynného paliva z komory I⁰ do směšovače je určen rovnicí

$$m_p = \mu_{P13-R} \cdot S_{P13-R} \cdot \sqrt{2 \cdot \rho_{pl} \cdot \Delta p_P} \quad /4/$$

Tlakový spád pro průtok plynného paliva je určen rozdílem tlaku plynného paliva p_{pl} v komoře I⁰ a tlakem v difuzéru:

$$\Delta p_P = \Delta p_{pl-Z} + p_{pv} - (p_{pv} - \Delta p_D) = \Delta p_{pl-Z} + \Delta p_D \quad /5/$$

5. Použitím výše uvedených vztahů pro průtok vzduchu a plynného paliva lze potom bohatost směsi vyjádřit vztahem

$$\lambda = \frac{\mu_D \cdot S_D \cdot \sqrt{2 \cdot \rho_{pv} \cdot \Delta p_D}}{\mu_{P13-R} \cdot S_{P13-R} \cdot \sqrt{2 \cdot \rho_{pl} \cdot (\Delta p_{pl-Z} + \Delta p_D)}} \cdot \frac{1}{L_{\gamma T}} \quad /6/$$

Po úpravě dostaneme

$$\lambda = \frac{\mu_D \cdot S_D}{\mu_{P13-R} \cdot S_{P13-R}} \cdot \frac{1}{L_{1T}} \cdot \sqrt{\frac{\Delta p_D}{\Delta p_{P1-Z} + \Delta p_D}} \cdot \sqrt{\frac{\rho_{pv}}{\rho_{P1}}} \quad /7/$$

Pro každé seřízení motoru (výkonové, složení směsi) jsou první dva činitelé na pravé straně rovnice konstantní, třetí činitel (tlakové spády pod odmocninou) a čtvrtý činitel (hustoty plnicího vzduchu a plynného paliva pod odmocninou) představují možné působení odchýlných tlakových a teplotních stavů plnicího vzduchu a plynného paliva na hmotnostní naplnění válců motoru čerstvou náplní a na bohatost směsi (na kvantitativní i kvalitativní parametry čerstvé náplně).

Výraz $\sqrt{\frac{\Delta p_D}{\Delta p_{P1-Z} + \Delta p_D}}$ má nevýznamný vliv na změny bohatosti směsi, pokud dojde pouze k odchýlným stavům např. v teplotě plnicího vzduchu (změna hustoty plnicího vzduchu a s ní spojená změna Δp_D je proti hodnotě Δp_{P1-Z} zanedbatelně nízká a výslednou hodnotu zlomku prakticky neovlivní). Při správné funkci všech systémů regulátoru tlaku, především stability v udržování Δp_{P1-Z} , se celkový tlakový spád ($\Delta p_{P1-Z} - \Delta p_D$) mezi palivem v komoře I^0 a difuzérem rozděluje tak, že průtok plynu z komory I^0 do komory II^0 probíhá průřezem S1 s tlakovým spádem Δp_{P1-Z} a průtok plynu z komory II^0 do difuzéru směšovače se uskutečňuje přes průřezy S2 a S3 tlakovým spádem Δp_D . Tyto průtoky popisují rovnice

$$m_{P1} = \mu_{S1} \cdot S1 \cdot \sqrt{2 \cdot \rho_{P1} \cdot \Delta p_{P1-Z}} \quad m_{P11} = \mu_{S23} \cdot S_{23-R} \cdot \sqrt{2 \cdot \rho_{P11} \cdot \Delta p_D}$$

Musi samozřejmě platit $m_{P1} = m_{P11}$. Potom lze vyjádřit velikost součinitele přebytku vzduchu vztahem (při zanedbání vlivu změny hustoty plnicího vzduchu na Δp_D)

$$\lambda = \frac{\mu_D \cdot S_D}{\mu_{23-R} \cdot S_{23-R}} \cdot \frac{1}{L_{1T}} \cdot \sqrt{\frac{\rho_{pv}}{\rho_{P1}}} \quad /8/$$

Vážený problém se stabilitou seřízení palivového systému z hlediska bohatosti směsi (součinitele přebytku vzduchu λ) však může způsobovat nespolehlivost funkce regulátoru tlaku paliva v komoře I^0 . Potom je nutno hodnotit změny velikosti součinitele přebytku vzduchu λ ve směsi pomocí již dříve uvedeného vztahu /7/, tj.

$$\lambda = \frac{\mu_D \cdot S_D}{\mu_{P13-R} \cdot S_{P13-R}} \cdot \frac{1}{L_{1T}} \cdot \sqrt{\frac{\Delta p_D}{\Delta p_{P1-Z} + \Delta p_D}} \cdot \sqrt{\frac{\rho_{pv}}{\rho_{P1}}} \quad /7/$$

Nespolehlivost v udržení stálosti Δp_{P1-Z} má významný vliv na průtok plynu do komory II^0 jak účinkem změny hustoty plynu v komoře I^0 , tak změnou tlakového spádu. Příčiny nespolehlivosti v regulaci p_{P1} mohou být jednak v nedostatečnosti přítoku LPG do odpařovače a komory I^0 na jedné straně, jednak sníženou pohyblivostí (váznutím) v regulačním mechanismu komory I^0 . Takový případ se projeví významným ochuzením směsi a poklesem výkonových parametrů motoru. Spolehlivým ukazatelem správné funkce regulátoru tlaku je tlak v komoře II^0 : ve všech provozních režimech by měl být tlak p_{P11} stejný nebo vyšší o cca 100 Pa proti statickému tlaku plnicího vzduchu p_{pv} (např. při zjišťování příčin nedostatečného výkonu plynových motorů ML 636 PB v autobusech byl naměřen v komoře II^0 tlak o 300 až 500 Pa nižší proti tlaku p_{pv} a to způsobovalo již vážné

provozní problémy). Problémy ve spolehlivosti regulace tlaku plynu může vyvolat i porucha v průtoku chladicí (ohřívací) kapaliny odpařovačem – tato porucha vede ale spíše k nedostatečnému odpaření, výraznému snížení teploty plynu na výstupu z regulátoru a k obohacení směsi.

6. Účinek odchýlných teplotních stavů plnicího vzduchu a plynného paliva a tlakových změn v regulátoru tlaku plynu na kvantitativní a kvalitativní parametry čerstvé náplně i na výkonové parametry motoru ukazují výpočty, provedené pro případ motoru ML 636 PBw ve vybraných provozních režimech motoru na vnější otáčkové charakteristice motoru: za základ porovnání byly vzaty údaje z tabulky T1, změny bohatosti směsi byly určovány pomocí vztahu /7/, změny výkonu motoru byly vypočteny ze změn hmotnostního toku plynu do motoru (za předpokladu nezměněné celkové účinnosti motoru).

Tabulka T1:

ML 636 PBw - sledované provozní parametry ve vybraných režimech, změřené a dopočítané hodnoty (měření 13.3.2000)					
n [1/min]	1200	1400	1500	1800	2000
M_t [Nm]	945	950	920	840	775
P_e [kW]	118,7	139,3	144,5	158,3	162,3
p_{pv} [kPa]	146,8	158,5	158,8	160,5	164,5
T_{pv} [K]	309	313	316	317	316
T_P [K]	308	301	302	301	297
M_{pv} [kg/h]	604,9	749,9	794,9	938,1	1062,7
λ [-]	1,397	1,446	1,467	1,505	1,579
ρ_{pv} [kg/m ³]	1,655	1,764	1,751	1,764	1,814
c_D [m/s]	117,0	137,0	146,3	171,4	188,8
Δp_D [kPa]	11,327	16,558	18,739	25,911	32,330
ρ_{PI} [kg/m ³]	3,513	3,826	3,820	3,866	3,998
ρ_{PII} [kg/m ³]	2,837	3,134	3,130	3,174	3,297

1. Výpočet rychlosti c_D v difúzeru je proveden (s ohledem k aerodynamickému tvarování difúzeru) za zjednodušujícího předpokladu $\mu_D = 1$: průřez difúzeru ve směšovači DELTEC je $S_D = 8,62 \text{ cm}^2$.
2. Hustota paliva ρ_{PI} v komoře I^0 regulátoru tlaku paliva je vypočítána pro hodnotu základního seřízení $\Delta p_{PI-Z} = 35 \text{ kPa}$ (tj. pro tlak $p_{PI} = p_{pv} + 35 \text{ kPa}$), teplotu plynu $T_P = T_{GAT}$ (změřeno) a plynovou konstantu paliva $r_P = 168 \text{ J/kg/K}$.

Tabulka T2:

Změny seřízení a výkonových parametrů motoru při zvýšení teploty plnicího vzduchu o 5 ^o C					
T_{pv} [K]	314	319	321	322	321
ρ_{pv} [kg/m ³]	1,629	1,731	1,724	1,737	1,786
Δp_D [kPa]	11,149	16,245	18,450	25,514	31,830
λ [-]	1,378	1,423	1,448	1,486	1,561
M_t [Nm]	943	947	917	837	772

Důsledkem zvýšení teploty plnicího vzduchu je snížení jeho hustoty a tedy i snížení podtlaku v difúzeru: poklesem hmotnostního plnění válců vzduchem dojde k relativnímu zvýšení bohatosti směsi, snížení podtlaku v difúzeru znamená ale i zmenšení hmotnostního toku plynu do motoru. Výsledkem je obohacení směsi o 1,2-1,4% a snížení výkonu motoru o 0,2-0,4%.

Tabulka T3:

Změny seřízení a výkonových parametrů motoru při zvýšení teploty plynu o 5 ^o C					
T _p [K]	313	306	307	306	302
ρ _{pl} [kg/m ³]	3,457	3,764	3,757	3,803	3,932
λ [-]	1,408	1,458	1,479	1,512	1,592
M _t [Nm]	937	942	912	833	769

Zvýšení teploty plynu vede k poklesu jeho hustoty a ke snížení hmotnostního toku plynu do motoru: výsledkem je ochuzení směsi a snížení výkonu motoru. V uvažovaném případě se ochuzení směsi i pokles výkonu motoru pohybují v rozsahu 0,3-0,8%.

Tabulka T4:

Změny seřízení a výkonových parametrů motoru při zvýšení teploty plnicího vzduchu o 10 ^o C					
T _{pv} [K]	319	323	326	327	326
ρ _{pv} [kg/m ³]	1,603	1,710	1,697	1,710	1,758
Δp _D [kPa]	10,971	16,047	18,161	25,110	31,332
λ [-]	1,358	1,408	1,428	1,467	1,541
M _t [Nm]	941	945	915	835	769

Zvýšení teploty plnicího vzduchu způsobí snížení jeho hustoty a tím tedy dojde i ke snížení podtlaku v difúzeru: poklesem hmotnostního plnění válců vzduchem dojde k relativnímu zvýšení bohatosti směsi, snížení podtlaku v difúzeru znamená ale i zmenšení hmotnostního toku plynu do motoru. V uvažovaném případě je potom výsledkem obohacení směsi o 2,4-2,8% a snížení výkonu motoru o 0,5-0,8%.

Tabulka T5:

Změny seřízení a výkonových parametrů motoru při zvýšení teploty plynu o 10 ^o C					
T _p [K]	318	311	312	311	307
ρ _{pl} [kg/m ³]	3,403	3,703	3,697	3,742	3,868
λ [-]	1,419	1,469	1,491	1,529	1,605
M _t [Nm]	930	934	905	826	762

Zvýšení teploty plynu vede k poklesu jeho hustoty a ke snížení hmotnostního toku plynu do motoru: výsledkem je ochuzení směsi a snížení výkonu motoru. V uvažovaném případě se ochuzení směsi i pokles výkonu motoru pohybují v rozsahu 1,6-1,7%.

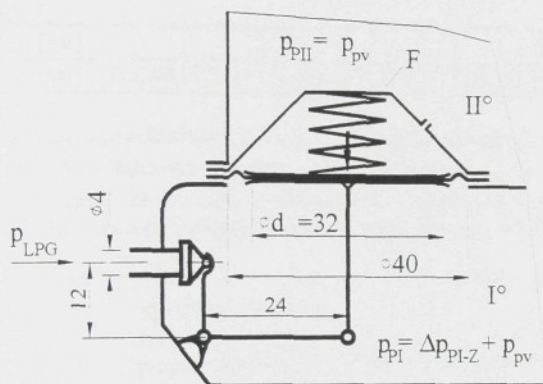
Tabulka T6:

Změny seřízení a výkonových parametrů motoru při změně základního seřízení tlaku Δp _{pl-z} v komoře I ⁰ regulátoru tlaku: pokles tlaku o 5 kPa, tj. Δp _{pl-z} = 30 kPa					
p _{pl} [kPa]	176,8	188,5	188,8	190,5	194,5
ρ _{pl} [kg/m ³]	3,417	3,728	3,721	3,767	3,898
λ [-]	1,500	1,541	1,560	1,590	1,662
M _t [Nm]	880	891	865	795	736

Pokud z nějakého důvodu není regulace tlaku v odpařovači a komoře I⁰ spolehlivá a dojde přitom ke snížení základní položky která přispívá k vytváření celkového tlaku plynu v komoře I⁰, nastane výraznější ochuzení směsi i výraznější snížení výkonu motoru. V uvažovaném modelovém případě se ochuzení směsi i pokles výkonu motoru pohybují v rozsahu 5-7,5%.

Z tabulky T6 jednoznačně vyplývá velký vliv nastavení základního tlaku Δp_{PI-Z} v odpařovači a komoře I° na bohatost vytvářené směsi (a tím i na výkonové a emisní parametry motoru). Kromě chybné či nespolehlivé funkce regulačního mechanismu (např. váznutím mechanismu účinkem většího předpětí listových pružin, vymezujících uložení závěsu pod membránou I°) se mění nastavení základního tlaku Δp_{PI-Z} vlivem změny tlaku LPG na přívodu do regulátoru tlaku.

Na obr. 4 je schematický náčrt situace při regulaci tlaku Δp_{PI-Z} v odpařovači a komoře I° u regulátoru DELTEC-CENTURY M6: Regulační ventil I° je uzavírán tlakem odpařeného plynu v komoře I°, který působí přes membránu o průměru 40 mm na kruhovou destičku průměru 32 mm, upevněnou na táhle páky ventilku. Ze zbylého mezikruží membrány 40/32 se na táhlo pákového mechanismu přenáší pouze určitá část síly, kterou se



Obr.4 Schéma regulačního mechanismu pro řízení tlaku Δp_{PI-Z}

zvyšuje silový účinek na destičku průměru 32 mm – označme tento příspěvek korekčním součinitelem K. Velikost tohoto korekčního součinitele se stanoví řešením silových poměrů na membráně a pro dané rozměry membrány vychází hodnota $K = 1,28$. Určení teoretických hodnot základního tlaku paliva Δp_{PI-Z} v komoře I° se určí z podmínek silové rovnováhy. Pro dosažení těsnosti ventilku I° je ale třeba většího přitlaku gumového těsnění k sedlu na přítokové trubce, než ukazuje podmínka rovnováhy – protože velikost tohoto přitlaku nelze výpočtem přesně stanovit, odhaduje se potřebný přitlak podle výsledků měření na regulátoru jako 2 násobek síly od vstupního tlaku LPG na ventilek I°. Silová rovnováha na regulačním mechanismu je potom dána rovnicí (s uvažováním 2 násobku síly na ventilek I° pro zajištění těsnosti a pro podmínky nulového odběru plynu při $p_{PI} = p_0$, tj. na zastaveném motoru, kdy v komoře II° je tlak atmosférický).

$$p_{LPG} \cdot S_{LPG} \cdot 12 \cdot 2 + F \cdot 24 = \Delta p_{PI-Z} \cdot S_M \cdot K \cdot 24$$

- p_{LPG} ... vstupní tlak LPG do ventilku I°
 S_{LPG} ... průtokový (těsnící) průřez ventilku I°, $S_{LPG} = 12,56 \text{ mm}^2$ (průměr 4 mm)
 F ... předpětí pružiny membrány I°, měřením zjištěno $F = 28 \text{ N}$
 S_M ... plocha destičky membrány I°, pro průměr $d_e = 32 \text{ mm}$ je $S_M = 804,25 \text{ mm}^2$
 K ... korekční součinitel membrány, měřením zjištěno $K = 1,28$

Z rovnice lze potom zjistit vztah mezi nastavením základního tlaku (přetlaku) Δp_{PI-Z} a vstupním tlakem p_{LPG} do regulátoru tlaku:

$$\Delta p_{PI-Z} = \frac{p_{LPG} \cdot S_{LPG} \cdot 12 \cdot 2}{S_M \cdot K \cdot 24} + \frac{F \cdot 24}{S_M \cdot K \cdot 24}$$

Po dosazení numerických hodnot a rozměrově úpravě druhého členu na pravé straně rovnice dostaneme

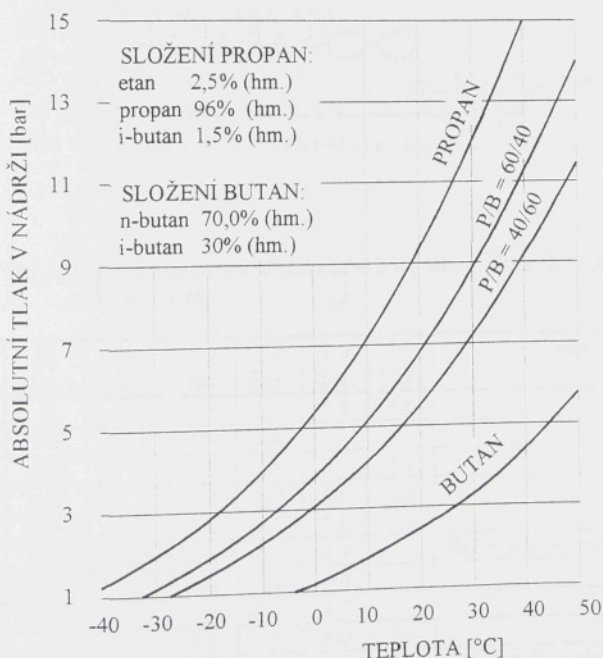
$$\Delta p_{PI-Z} = p_{LPG} \cdot \frac{12,56 \cdot 12 \cdot 2}{804,25 \cdot 1,28 \cdot 24} + \frac{28 \cdot 10^{-5} \cdot 24}{804,25 \cdot 10^{-6} \cdot 1,28 \cdot 24} = p_{LPG} \cdot 0,0122 + 0,272 \text{ [bar]}$$

Změny hodnoty nastavení Δp_{PI-Z} v závislosti na velikosti p_{LPG} ukazuje tabulka T 7.

Tabulka T 7

p_{LPG} [bar]	4	5	6	7	8	9	10
Δp_{PI-Z} [bar]	0.3208	0.3330	0.3452	0.3574	0.3696	0.3818	0.3940

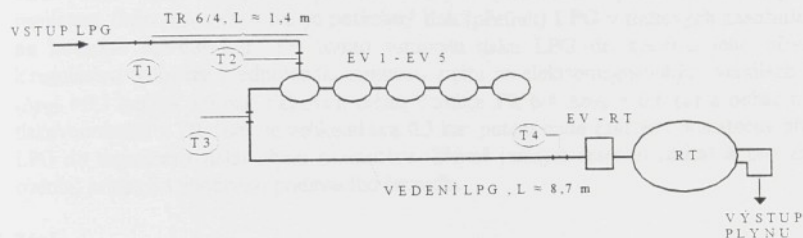
Proměnlivost vstupního tlaku plynu p_{LPG} do regulátoru tlaku je dána jednak závislosti p_{LPG} na teplotě LPG v tlakových nádržích, jednak závislosti p_{LPG} na složení plynu. Z grafu na obr.5 lze např. zjistit, že pro LPG ve složení P/B = 60/40 je při teplotě 0°C přetlak v tlakové nádrži = 2,8 baru a při teplotě 30°C je potom přetlak p_{LPG} = 8,6 bar: pokud tedy



Obr.5 Závislost tlaku LPG v tlakové nádrži (tlaku nasycených par) na složení LPG a na teplotě LPG v nádrži

např. bude seřízení základního tlaku v komoře I⁰ provedeno při teplotě LPG v nádrži 18⁰ C, při zvýšení teploty LPG v nádrži na 30⁰ C dojde ke zvýšení tlaku p_{LPG} o cca 2,2 bary proti stavu při 18⁰ C, při poklesu teploty na 0⁰ C se sníží p_{LPG} o cca 2,5 baru: taková proměnlivost p_{LPG} potom vyvolá proměnlivost Δp_{PI-Z} o cca 6 kPa. Uvedené změny (proměnlivost) tlaku Δp_{PI-Z} platí ovšem pouze za předpokladu, že je zajištěn spolehlivý přítok LPG do regulátoru tlaku: každé zhoršení přítoku LPG do regulátoru tlaku bude spojeno s výraznějším snížením hodnoty Δp_{PI-Z} s následky na nepravidelnosti chodu motoru (snížení a velká proměnlivost výkonu a pod).

Významný vliv na velikost vstupního tlaku (přetlaku) p_{LPG} do regulátoru tlaku mají tlakové ztráty při průtoku LPG celým systémem vedení LPG z tlakové nádrže až k regulátoru tlaku. Měření těchto tlakových ztrát při zkouškách motoru ML 636 PBw na stanovišti č. 10 v laboratoři KSD TU v Liberci ukazují, že tyto tlakové ztráty mohou být (a zřejmě v zimním období jsou) příčinou vážných provozních obtíží. Schéma uspořádání tohoto měření ukazuje obr.4, v tabulce T 8 jsou uvedeny výsledky měření v režimech částečného a plného zatížení motoru při středních a jmenovitých otáčkách motoru. Protože se měření uskutečnilo při venkovní teplotě cca 5⁰ C, byl tlakový zásobník s LPG před měřením jednorázově natlakován dusíkem tak, aby se zvýšil tlak (přetlak) v nádrži na hodnotu $p_{LPG} = 5,5$ bar.



Obr.4 Schéma uspořádání přívodu LPG k regulátoru tlaku (RT) při měřeních tlakových ztrát

Tabulka T 8

č. měř.	n [1/min]	M _t [Nm]	M _p [kg/h]	T 1 [bar]	T 2 [bar]	T 3 [bar]	T 4 [bar]	Pozn.
1	0	0	0	5,5	5,5	5,5	5,5	
2	1400	700		5,5	5,4			
3	1400	1000		5,5	5,25	5,1	5,1	
4	1400	1100	36,1	5,4	5,2	5,0	5,0	
5	1400	1035	33,7	5,15	5,2	5,0	5,0	
6	2000	822	43,2	4,95	4,3	3,4		silně nestabilní chod motoru
7	2000	600		5,0	4,8	4,6		
8	2000	403		5,0	4,85	4,7		
9	600	0		5,0	5,0	5,0	5,0	
10	1800	900	40,5	4,8	4,3	3,3	3,3	silně nestabilní chod motoru
11	1400	935		4,9	4,6	4,3	4,3	

Pozn.: V průběhu měření nebylo tlakování dusíkem prováděno a tlak LPG v tlakovém zásobníku se proto v průběhu měření postupně snižoval v důsledku poklesu obsahu náplně LPG v nádrži.

Z výsledků měření tlakových ztrát lze konstatovat:

1. Tlaková ztráta v přívodní trubce TR 6/4 od tlakového zásobníku ve vozidle k baterii přepínacích ventilů EV1 až EV5 (typ VM 1221) dosahuje v režimu s maximálním odběrem hodnoty $\Delta p_{TR} = 0,65$ bar.
2. V systému přívodu LPG z tlakového zásobníku do regulátoru tlaku se jako problematický prvek ukazuje přepínací elektromagnetický ventil ze skupiny EV1 až EV5: při vstupním tlaku LPG do EV ve velikosti $p_{LPG/EV} > 4,5$ bar se tlaková ztráta pohybuje kolem $\Delta p_{EV} \approx 0,2-0,3$ bar, jakmile však poklesne vstupní tlak LPG do EV na hodnoty $p_{LPG/EV} < 4,5$ bar, dojde k výraznému zvýšení průtokové ztráty na $\Delta p_{EV} \approx 0,9-1,0$ bar. Při nižších hodnotách tlaku $p_{LPG/EV}$ na vstupu do EV se tlaková ztráta při průtoku plynu EV ještě zvyšuje: např. při vstupním tlaku $p_{LPG/EV} = 2,85$ bar při průtoku plynu $M_p = 25,5$ kg/h byla změřena tlaková ztráta $\Delta p_{EV} = 0,65$ bar a to ukazuje na možnou tlakovou ztrátu na EV při jmenovitém režimu (při průtoku $M_p = 43$ kg/h) až ve velikosti $\Delta p_{EV} = 1,5$ bar.
3. Nepravidelnosti a nestabilní chod motoru se začnou objevovat při poklesu tlaku LPG na vstupu do regulátoru tlaku na hodnoty $p_{LPG/RT} < 4,0$ bar. Uvážíme-li, že v cestě LPG z tlakového zásobníku až k regulátoru tlaku na motoru je provozní elektromagnetický ventil umístěný v tlakovém zásobníku (typ CEODUX 71 307), přípojovací potrubí TR 6/4 k baterii elektromagnetických uzavíracích ventilů EV (typ VM 1221) a přívodní potrubí TR 10/6 v délce cca 8,7m, potom pro dosažení potřebného tlaku (přetlaku) na vstupu do regulátoru tlaku $p_{LPG/RT} = 4$ bar je **potřebný tlak (přetlak) LPG v tlakových zásobnících na hodnotě 5,5-6,0 bar**. Při tomto vstupním tlaku LPG do systému jeho přívodu k regulátoru tlaku lze předpokládat tlakovou ztrátu na elektromagnetických ventilech $2 \times (\Delta p_{EV} = 0,3 \text{ bar}) = 0,6$ bar, tlakovou ztrátu v trubce TR 6/4 $\Delta p_{TR} = 0,6$ bar a odhadnutou tlakovou ztrátu v TR 10/6 ve velikosti cca 0,3 bar, potom bude zajištěn i dostatečný přítok LPG do regulátoru tlaku plynu na motoru. Zřejmě jediným řešením (zejména pro zimní období) je použití vhodného podávacího čerpadla.

7. Závěr

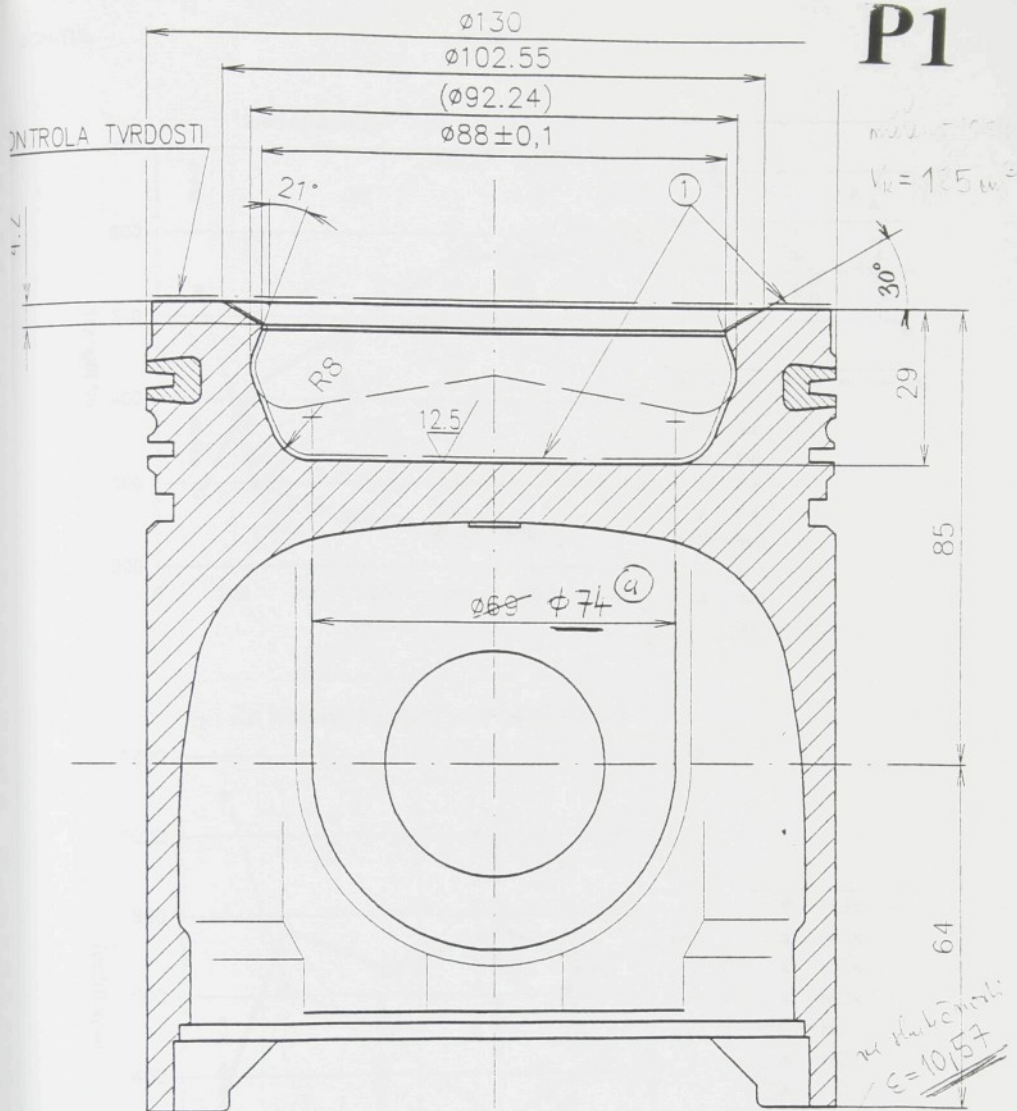
Motor ML 636 PBE w-M1.2C po osazení originálními písty s nově upraveným prostorem vykazuje dobré výsledky výstupních parametrů díky naprogramované vyšší bohatosti směsi a vyššímu předstihu zážehu. Proto je **nezbytné ověření v letním provozu**, aby se vyloučilo nebezpečí detonací v nestacionárním režimu řazení převodovky při rozjezdu do kopce. Dosavadní práce ukazují (i s ohledem na výsledky optimalizace spalovacích prostorů na plynových motorech ML 636NG), že tvarování spalovacího prostoru v pístech M1.2C má ještě rezervy, zejména ve velikosti, poloze a tvaru vstupní hrany.

Pro dosažení potřebného tlaku (přetlaku) na vstupu do regulátoru tlaku 4 bar je **potřebný tlak (přetlak) LPG v tlakových zásobnících na hodnotě 5,5-6,0 bar**. Řešením pro zajištění dostatečného tlaku v přívodním systému LPG z tlakových zásobníků k motoru pro všechny provozní podmínky (zejména pro zimní období) je použití vhodného podávacího čerpadla.

Nereprodukovatelnost hodnot nastavení hlavním nastavovacím šroubem vůči programem určené pozice krokovacího motorku, bude vážnou překážkou pro splnění EU3 (test ESC má kratší intervaly na ustálení měřících bodů). Problematika by zasloužila proto **ověřování v provozu a následné další experimenty** na brzdovém stanovišti.

Účinnost katalyzátorů Minex-DC10 je zpočátku dostatečně vysoká. Problémem je, že není zjištěn pokles účinnosti během provozu a jejich náchylnost na nestandardní stavy elektronického systému.

P1



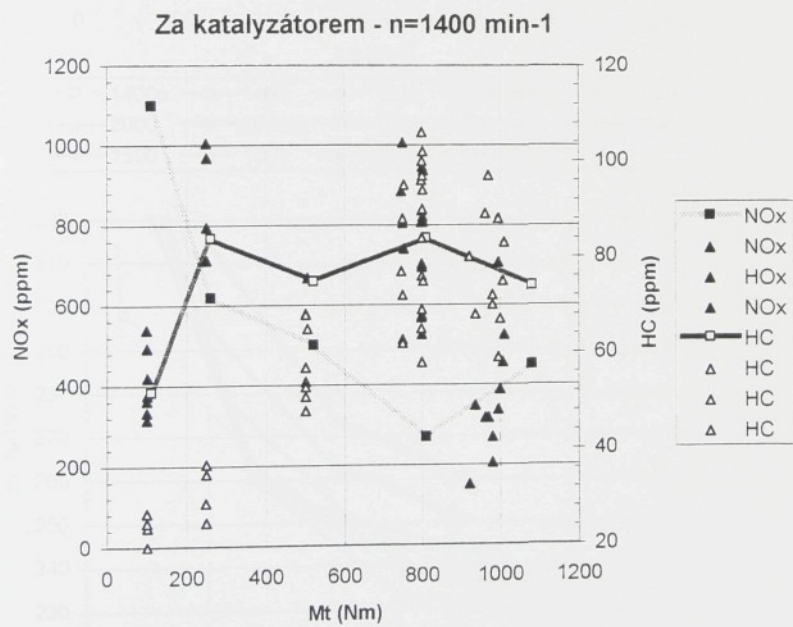
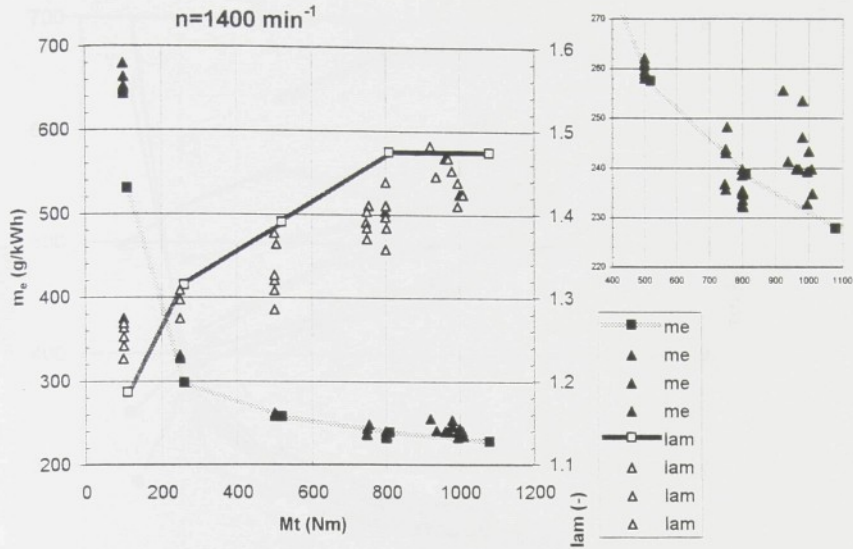
2. VÝKRES PISTU UPRAVEN DLE PISTU LIAZ č.v. 442 1 1052 060 5

1. TVRDOST DLE VÝKRESU č. 442 1 1052 060 5

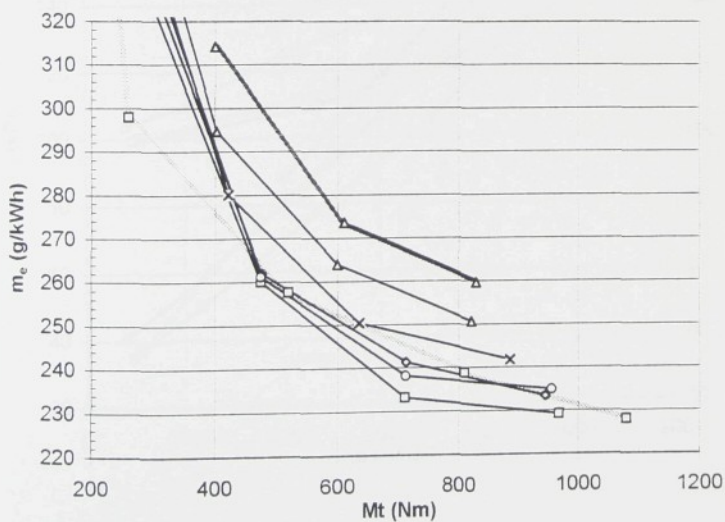
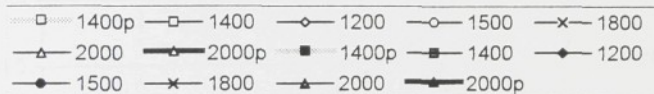
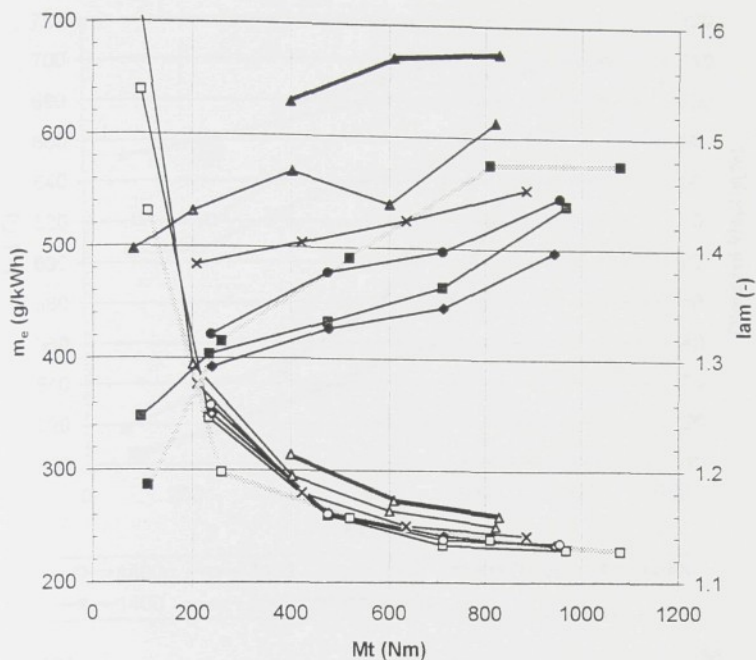
NETOLEROVANÉ ROZMĚRY $\pm t_2/2$ ČSN 01 4240

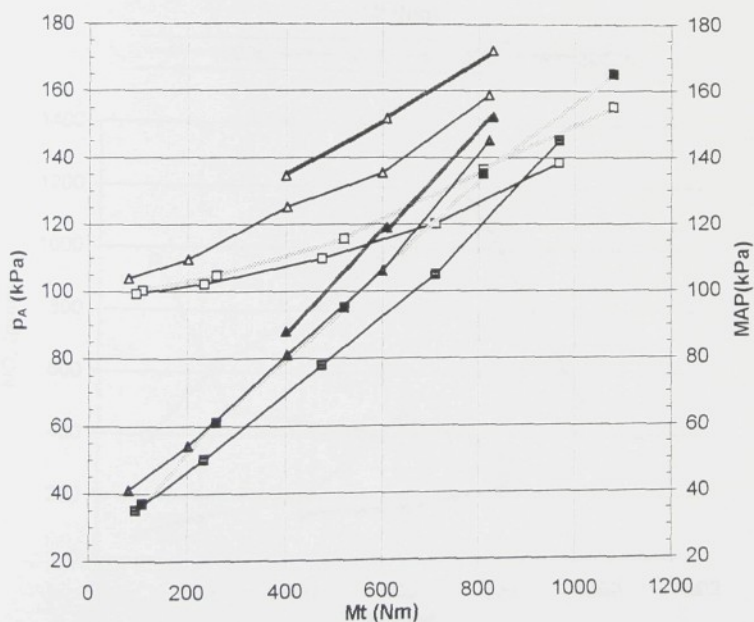
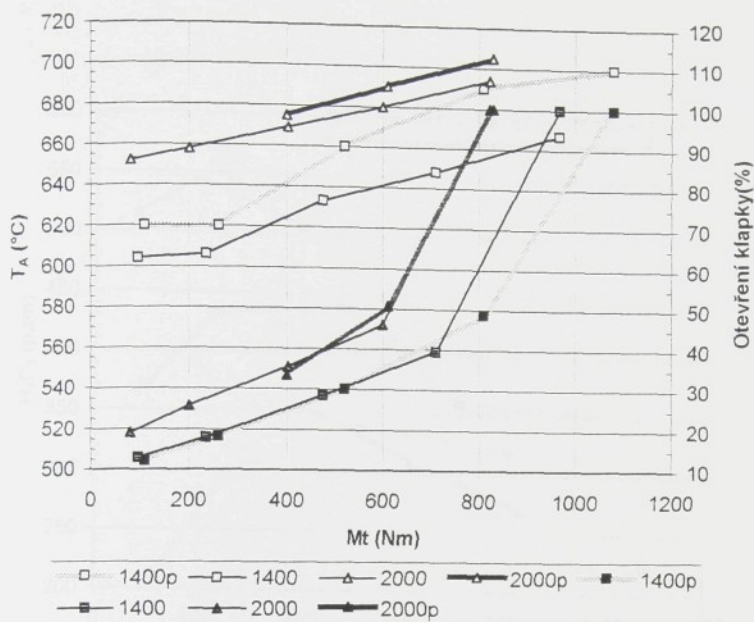
(a) ZMĚNA 14/5/99 ($\epsilon = 10,25$)

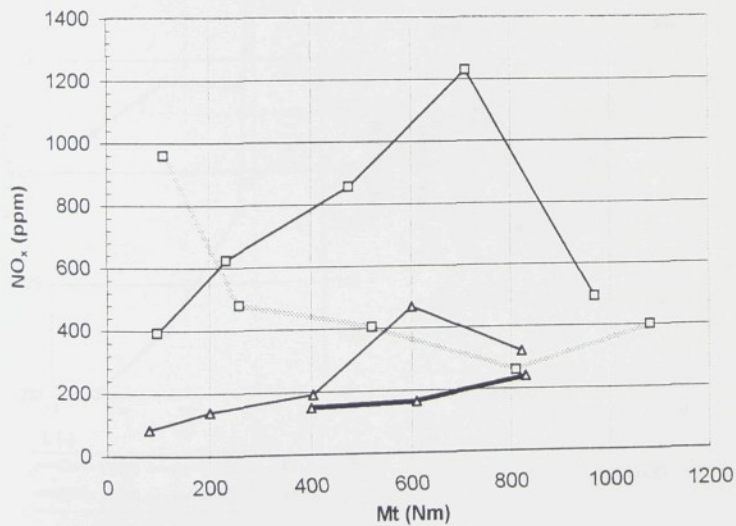
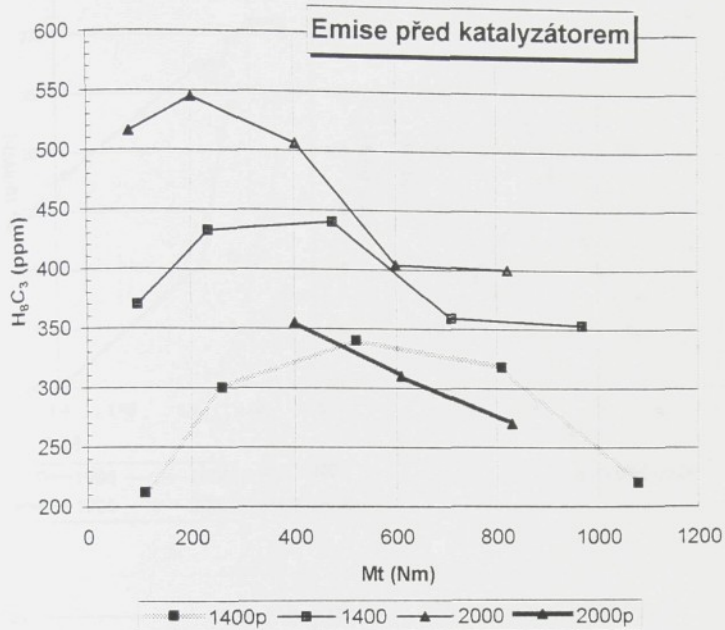
IND	ZMĚNA	2.1.1999	PODPIS		
ZN.MAT.		DAT.	T.O.	HMOTNOST kg	MER. 1:1
ROZM.POLOT.					
C.POM.ZAR.					
VYPRAC.	VYBÍRALIK	NORM.R.		POZN.	C.KUSOVN.
PREZK.				STARÝ V.	C.V.
TECHN.	SCHVALIL				
NAZEV	TYP:				
PÍST M1.2C				KSD DP-342-1.1	
				Listu	List

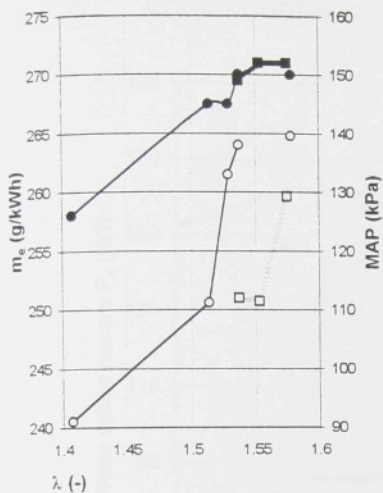


Optimalizační měření

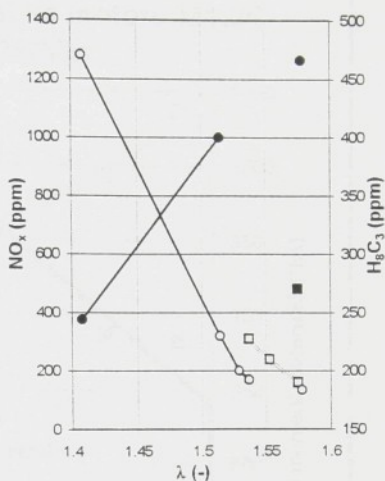




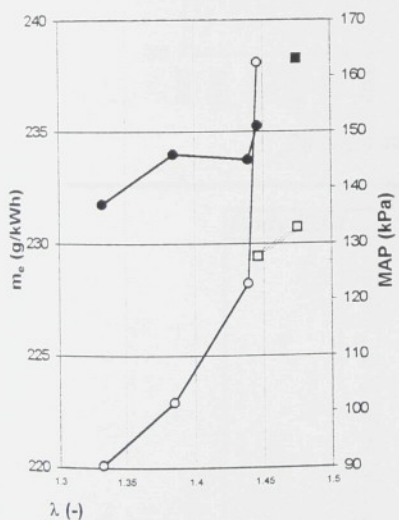




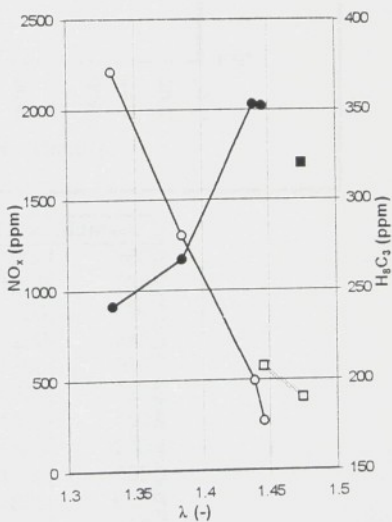
λ (-)
 □ 1998 —○ 2000 m_e , NO_x
 ■ 1998 —● 2000 MAP, H_8C_3



$n=2000 \text{ min}^{-1}$

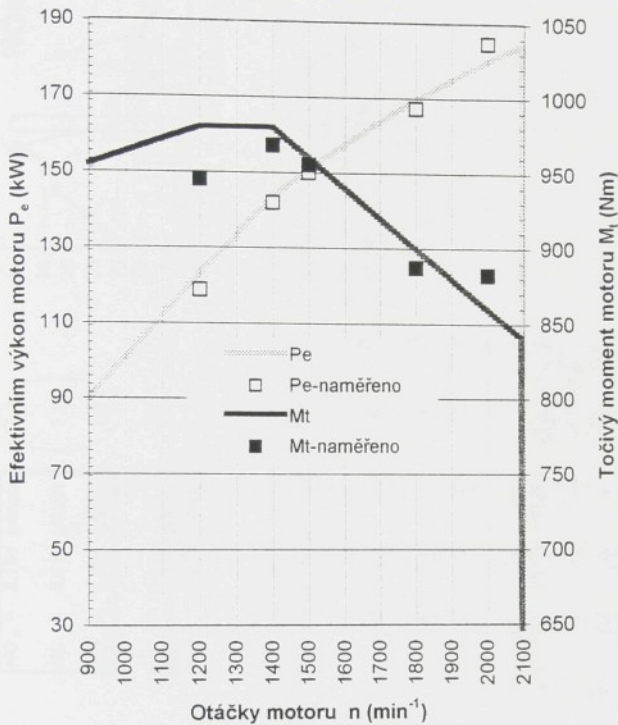


λ (-)
 □ 1998 —○ 2000 m_e , NO_x
 ■ 1998 —● 2000 MAP, H_8C_3



$n=1400 \text{ min}^{-1}$

Vnější charakteristika motoru M1.2C- ML636PBw



Body EU 3	Otáčky	Moment
2	1200	980
6	1200	735
5	1200	490
7	1200	245
8	1500	960
4	1500	720
3	1500	480
9	1500	240
10	1800	900
12	1800	675
13	1800	450
11	1800	225

PLYNNÉ EMISE DLE TESTU ECE

Typ motoru	ML 637	Protokol číslo	"13.3.2000
Vřtání (mm)	130	Datum měření	98.45
Zdvih (mm)	150	Bar. tlak (kPa)	
Počet válců	6	Vlhkost (%)	
Kompresní poměr	10.4	Tepl. vzd. (°C)	
Předstih		Obj. mot. (dm ³)	11.946
Palivo	PB 60/40	Konst. clonky	10.607
Paliv. systém	Deltec: elektronická regulace		
Zapal. systém	Delco, svíčky Bosch XR 4CS		
Turbodmychadlo	CZM 4067MNA/27 21-Wg-18mm		
Mezichladič	Karosa, ventilátor 450 mm, Klinové řemeny		
Poznamky	Katalyzátor MINEX-DC10 (z odhadu účinnosti)		

Měření	Bod	n	Mt	dp	lamda	tdj	tsání	IT1	dp sání	rel	NOx	HC	CO	FI
		1/min	Nm	mmHg			°C	°C	torr	mmH ₂ O	ppm	ppm	ppm	%
1	850	15	0.00	1.000	27	24	27	24	4	10	376	20	11	32
2	1400	101	0.00	1.269	21	28	21	28	18	480	140	134	44	44
3	1400	240	0.00	1.321	28	28	28	28	44	486	151	95	44	44
4	1400	475	0.00	1.384	25	25	25	25	82	611	224	93	44	44
5	1358	711	0.00	1.397	25	25	25	25	159	272	211	80	44	44
6	1400	950	0.00	1.446	25	25	25	25	4	288	129	47	32	32
7	650	15	0.00	1.000	27	27	27	27	320	136	280	81	41	41
8	2002	775	0.00	1.578	31	31	31	31	162	468	242	106	40	40
9	1998	600	0.00	1.439	31	31	31	31	192	152	152	90	40	40
10	1999	603	0.00	1.465	30	30	30	30	40	140	106	40	40	40
11	2001	281	0.00	1.411	28	28	28	28	4	165	154	80	32	32
12	2001	182	0.00	1.392	26	26	26	26	4	288	129	47	32	32
13	650	15	0.00	1.000	24	24	24	24	4	288	129	47	32	32

Výpočty

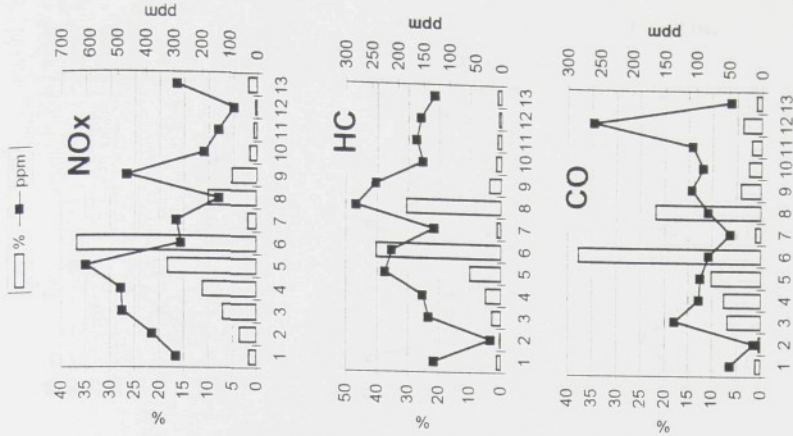
Bod	pe	Pj	Gzrd	Gpal	Gesh	NOx	HC	CO	miNOx	miHC	mCO	me	p sání
	Mt	Mt	Mt	Mt	Mt	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg
1	0.018	1.0	115.56	9.8	127.2	4.0	9	8	3.8	0.19	0.19	1.737	98.45
2	0.106	14.8	180.02	9.6	159.6	105.3	1.8	1.9	0.55	0.19	0.19	565.5	98.45
3	0.252	35.2	252.91	12.2	265.2	206.4	1.66	30.3	0.82	0.19	0.19	347.9	98.45
4	0.500	69.6	395.24	18.3	413.5	325.9	28.0	33.7	0.82	0.19	0.19	262.2	98.45
5	0.748	104.1	542.12	24.8	566.9	535.1	57.1	45.3	0.99	2.30	1.83	238.4	98.45
6	0.999	139.3	749.85	33.2	783.0	345.4	74.6	54.1	0.46	2.25	1.63	238.1	98.45
7	0.016	1.0	119.56	7.6	127.2	5.7	7.0	4.9	0.45	0.92	0.64	748.7	98.45
8	0.815	162.5	1062.93	43.1	1106.0	235.4	141.2	78.1	0.22	3.28	1.81	265.1	98.45
9	0.631	125.5	753.06	33.5	786.5	610.0	85.9	71.9	0.81	2.57	2.15	266.6	98.45
10	0.424	84.4	576.34	25.1	601.4	185.3	41.3	46.8	0.32	1.65	1.66	297.6	98.45
11	0.211	42.1	375.65	16.8	392.4	89.6	29.0	35.9	0.24	1.73	2.14	389.4	98.45
12	0.086	17.2	285.96	13.1	299.0	39.9	20.8	66.9	0.14	1.59	5.11	761.6	98.45
13	0.016	1.0	120.19	7.7	127.9	5.17	7.1	4.9	0.43	0.92	0.64	752.6	98.45

Pozn.: Bod č. 1,7,13 z měř. 23.000 č.7

Bod č. 9,10,11,12 z měř. 15.2000 č.54.51.50.49

P8

Měřil Scholz, Myška, Šurma, Blažek



PLYNNÉ EMISE DLE TESTU ECE

Typ motoru	ML 637	Protokol číslo	"27.3.2000	
Vrtání (mm)	130	Datum měření	96.5	
Zdvih (mm)	150	Bar. tlak (kPa)		
Počet válců	6	Vlhkost (%)		
Kompres. poměr	10.4	Tepl. vzdu (°C)		
Předstřih		Obj. mot (dm3)	11.946	
Palivo	PB 60/40	15.64	Konst. clonky	10.607
Paliv. systém	Deltec- elektronická regulace			
Zapal. systém	Delco, svíčky Bosch XR 4CS			
Turbodmychadlo	CZM 4067MNA/27 21-Wg-18mm			
Mezichladič	Karosa, ventilátor 450 mm, klinové řemeny			
Poznámky	Katalyzátor MINEX-DC10 (z odhadu účinnosti)			

Měření	Bod	n	Mt	dp	lamda	Id1	tSani	C	IT1	HC	CO	FI
1	848	20	0.00	0.00	1.048	24	24			393	180	40
2	1399	97	0.00	1.248	1.048	28	28			393	111	41
3	1401	235	0.00	1.303	1.048	28	28			625	130	42
4	1401	475	0.00	1.333	1.048	28	28			41	856	100
5	1399	710	0.00	1.364	1.048	28	28			77	1230	92
6	1399	968	0.00	1.439	1.048	28	28			153	494	85
7	648	20	0.00	1.046	1.048	24	24			3	278	392
8	2001	822	0.00	1.514	1.048	33	33			308	321	40
9	1998	600	0.00	1.439	1.048	31	31			162	468	242
10	1999	403	0.00	1.468	1.048	29	29			94	192	152
11	2001	201	0.00	1.432	1.048	30	30			40	140	108
12	2001	12	0.00	1.364	1.048	28	28			165	155	260
13	648	20	0.00	1.014	1.048	24	24			290	376	38

Výpočty	Bod	Pe	Pj	Gvzd	Gpal	Gvzd	HC	CO	mNOx	mHC	mCO	me	psani
1	0.021	14.2	177.11	103.00	1.048	1.048	18.5	28.4	0.66	1.01	3.13	638.7	96.5
2	0.102	34.5	243.36	11.9	255.3	116.4	9.2	28.4	0.66	1.01	3.13	638.7	96.5
3	0.247	69.7	377.78	18.1	395.9	542.5	23.4	33.8	1.44	1.29	1.87	260.0	96.5
4	0.500	104.0	517.38	24.2	541.6	1066.5	52.2	42.7	2.06	2.15	1.76	233.1	96.5
5	0.747	141.8	728.24	32.4	780.6	609.3	72.7	55.8	2.84	2.83	2.15	228.2	96.5
6	1.018	141.8	728.24	32.4	780.6	609.3	72.7	55.8	2.84	2.83	2.15	228.2	96.5
7	0.021	14.2	177.11	103.00	1.048	1.048	18.5	28.4	0.66	1.01	3.13	638.7	96.5
8	0.065	17.2	102.67	43.2	1064.8	584.5	116.0	80.4	0.57	2.69	1.86	250.6	96.5
9	0.631	125.5	745.48	33.1	778.6	603.9	85.0	71.2	0.81	2.57	2.15	263.9	96.5
10	0.424	84.4	570.55	24.9	585.4	183.5	40.9	32.2	1.65	1.66	1.66	294.6	96.5
11	0.211	42.1	371.68	16.6	386.5	88.7	28.7	35.5	0.24	1.73	2.14	394.4	96.5
12	0.066	17.2	283.10	13.0	296.1	39.5	20.6	66.2	0.14	1.59	5.11	754.0	96.5
13	0.021	1.4	118.94	7.5	126.4	55.1	20.5	15.5	0.46	2.73	2.07	5516.9	96.5

Limit EU 2

7.0

1.1

4.0

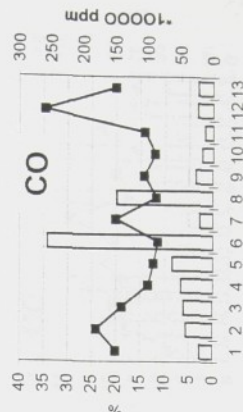
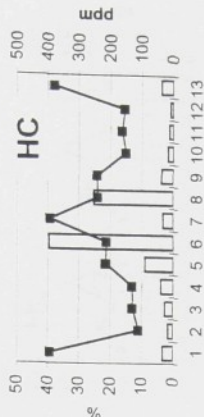
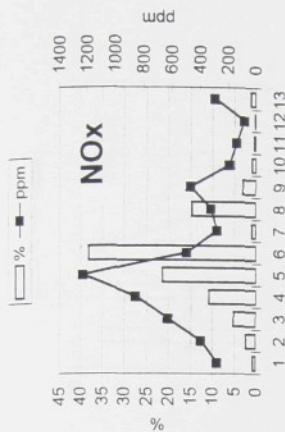
$NO_x = 5.169 \text{ g/kwh}$

$HC = 0.596 \text{ g/kwh}$

$CO = 0.528 \text{ g/kwh}$

$m_e = 270.8 \text{ g/kwh}$

$CO_2 = 817.2 \text{ g/kwh}$



PLYNNÉ EMISE DLE TESTU ESC

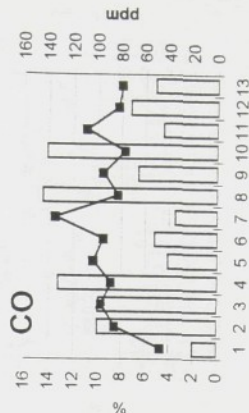
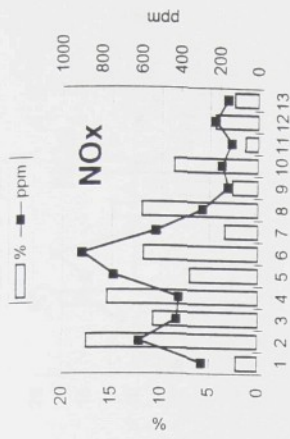
Typ motoru	ML 637	Protokol číslo	
Vřtání (mm)	130	Datum měření	"13 3 2000
Zdvih (mm)	150	Bar tlak (kPa)	98 45
Počet válců	6	Vlhkost (%)	
Kompres poměr	10.4	Teplí vzduch (°C)	
Předsih		Obj. mot. (dm3)	11 946
Palivo	PB 60/40	15 64 Konst. clonky	10.607
Paliv systém	Deltec- elektronická regulace		
Zapal systém	Delco, svíčky Bosch XR 4CS		
Turbodmychadlo	CZM 4067MNA/27 21-Wg-18mm		
Mezichladič	Karosa, ventilátor 450 mm, klinové řemeny		
Poznámky	Katalyzátor MINEX-DC10 (z odhadu účinnosti)		

Měření	Bod	n	1/min	Mt	dp	landa	ID1	tSani	tT1	dp sání	pcl	NOx	HC	CO	Fi
				mm	mmHg		°C	torr	°C	mmH2O		ppm	ppm	ppm	%
1	650	15	000	000	000	1	27	4				288	129	47	37
2	1199	945	000	000	000	1	30	104				608	170	85	41
3	1500	471	000	000	000	1	32	51				422	145	97	41
4	1500	711	000	000	000	1	33	108				410	232	89	41
5	1200	477	000	000	000	1	29	30				740	126	104	43
6	1200	712	000	000	000	1	30	59				900	186	95	43
7	1200	242	000	000	000	1	32	13				526	126	135	43
8	1500	920	000	000	000	1	30	23				185	107	83	41
9	1499	241	000	000	000	1	31	254				188	241	77	41
10	1799	840	000	000	000	1	33	32				140	158	109	41
11	1799	210	000	000	000	1	29	145				222	262	83	41
12	1800	633	000	000	000	1	27	79				160	159	80	41
13	1800	421	000	000	000	1	30								

Vypočty

Bod	pe	Pj	Gvzd	Gpal	Gexh	NOx	HC	CO	mNOx	mHC	mCO	me	psání
	MPa	kw	kg/h	kg/h	kg/h	g/h	g/h	g/h	g/kgzd	g/kgpal	g/kgpal	g/kgwh	kg/h
1	0.016	1.0	119.56	7.6	127.2	44.0	7.0	4.9	0.37	0.92	0.84	287.0	88.45
2	0.994	118.7	604.91	27.7	632.6	640.1	48.3	48.2	1.06	1.75	1.67	233.3	98.45
3	0.495	74.0	422.56	19.3	441.9	316.1	28.8	36.9	0.75	1.49	1.91	261.4	98.45
4	0.748	111.7	613.24	27.4	640.6	452.2	67.0	49.2	0.74	2.45	1.80	245.2	98.45
5	0.502	59.9	325.88	15.7	341.6	413.9	18.2	30.3	1.27	1.22	1.93	282.0	98.45
6	0.259	59.3	453.16	21.6	475.3	589.2	39.6	38.6	1.52	1.84	1.79	241.3	98.45
7	0.259	59.3	453.16	21.6	475.3	589.2	39.6	38.6	1.52	1.84	1.79	241.3	98.45
8	0.668	144.5	764.89	34.6	859.5	398.2	71.2	25.7	0.95	1.19	2.44	350.2	98.45
9	0.254	37.8	284.31	13.0	297.4	75.4	24.5	21.3	0.28	1.65	1.65	239.7	98.45
10	0.884	158.2	938.08	39.9	977.9	316.5	106.9	65.3	0.24	2.68	1.62	251.8	98.45
11	0.221	39.6	336.60	15.3	351.9	79.6	25.0	33.0	0.24	1.64	2.16	395.8	98.45
12	0.666	119.3	717.67	30.8	748.5	260.0	89.8	53.8	0.36	2.88	1.75	258.1	98.45
13	0.443	79.4	527.52	22.6	550.2	144.6	39.6	38.1	0.27	1.75	1.65	265.3	98.45

Pozn. Bod č. 1 z měř. 2/3/00 č. 7



Limit EU 3

5.0
0.7
2.1

$NO_x = 3.674 \text{ g/kwh}$
 $HC = 0.55 \text{ g/kwh}$
 $CO = 0.466 \text{ g/kwh}$

$m_e = 269.8 \text{ g/kwh}$
 $CO_2 = 814.2 \text{ g/kwh}$

Měřil Scholz, Myška Štuma, Blažek

P10

PLYNNÉ EMISE DLE TESTU ESC

Typ motoru	ML 637PBW	Protokol číslo	
Vrtání (mm)	130	Datum měření	*27.3.2000
Zdvih (mm)	150	Bar. tlak (kPa)	96.5 98.45
Počet válců	6	Vlhkost (%)	
Kompres. poměr	10.4	Tepl. vzduchu (°C)	
Předstih		Obj. mot. (dm ³)	11.946
Palivo	PB 60/40	Konst. clonky	10.607
Paliv. systém	Deltec-elektronická regulace		
Zapal. systém	Delco, svíčky Bosch XR 4CS		
Turbodmychadlo	CZM 4067MNA/27.21-Vg-18mm		
Mezichladic	Karosa, ventilátor 450 mm, klínové řemeny		
Poznamky	Katalyzátor MINEX-DC10 (z odhadu účinnosti)		

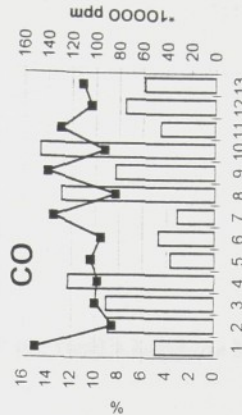
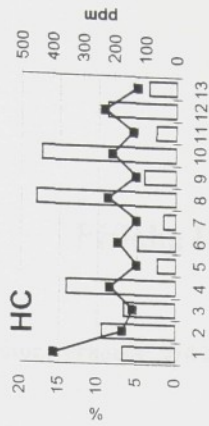
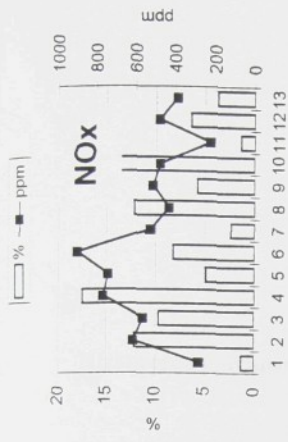
Měření

Bod	n 1/min	Ml Nm	dp mmHg	lamda	ID1 °C	tSani °C	IT1 °C	dp sani torr	pol mmH2O	NOx ppm	HC ppm	CO ppm	FI %
1	848	20	0.00	1.036	24	30	18	1.4	10.4	48	18	150	40
2	1199	945	0.00	1.397	30	30	15	1.0	5.1	600	105	392	43
3	1498	475	0.00	1.377	31	31	15	1.0	5.1	560	137	100	40
4	1499	711	0.00	1.397	28	28	15	1.0	9.7	766	211	98	41
5	1200	477	0.00	1.327	29	29	15	1.0	3.0	740	126	104	43
6	1198	712	0.00	1.346	28	28	15	1.0	5.8	900	186	95	43
7	1200	240	0.00	1.292	32	32	15	1.0	1.3	526	126	135	43
8	1500	955	0.00	1.446	28	28	15	1.0	18.3	432	219	83	41
9	1496	238	0.00	1.321	30	30	15	1.0	2.2	512	130	140	41
10	1496	238	0.00	1.453	32	32	15	1.0	2.48	476	204	92	41
11	1800	567	0.00	1.354	30	30	15	1.0	3.0	224	140	129	40
12	1798	635	0.00	1.354	30	30	15	1.0	12.9	480	230	104	40
13	1800	422	0.00	1.404	29	29	15	1.0	6.9	389	127	111	40

Vypočty

Bod	pe MPa	Pj kW	Qvzd l/min	Qpal l/min	Gesh kg/h	NOx ppm	HC ppm	CO ppm	mtNOx g/kWh	mHC g/kWh	mCO g/kWh	me g/kWh	pSani kPa
1	0.021	1.4	10.000	1.3	1.08	37	18	15	2.15	2.73	2.15	4339.1	96.5
2	0.094	118.7	604.91	27.7	932.6	640.1	48.3	48.2	1.06	1.39	1.93	283.3	96.5
3	0.500	74.5	419.69	19.5	435.5	407.0	27.0	37.6	0.97	1.39	1.93	283.3	96.5
4	0.748	111.6	580.54	26.6	607.1	739.6	57.6	51.2	1.27	2.17	1.93	238.0	96.5
5	0.502	59.9	325.88	15.7	341.6	413.9	19.2	34.6	0.95	1.19	1.93	283.0	96.5
6	0.749	89.3	453.71	21.6	475.3	659.2	39.6	38.6	1.52	1.84	1.79	241.3	96.5
7	0.252	30.2	213.45	10.6	224.0	202.4	12.6	25.7	0.72	2.33	1.69	234.7	96.5
8	1.005	150.0	796.19	35.2	831.4	571.2	82.2	59.6	0.72	2.33	1.69	234.7	96.5
9	0.630	127.4	586.13	27.4	659.2	743.2	16.8	34.6	0.84	2.19	1.89	241.6	96.5
10	0.630	127.4	586.13	27.4	659.2	743.2	16.8	34.6	0.84	2.19	1.89	241.6	96.5
11	0.221	39.6	323.56	14.9	335.2	113.7	21.3	75.3	1.42	2.51	2.51	377.1	96.5
12	0.668	119.6	666.79	29.9	696.7	545.4	72.2	63.5	0.82	2.41	2.09	250.3	96.5
13	0.444	79.5	469.04	22.3	511.3	319.2	29.2	48.8	0.65	1.31	2.19	280.0	96.5

Pozn.: Body č. 2,5,6,7 z měř. 133.000 č. 5,6,7,8



Měřil Scholz, Myška, Štuma, Blažek

P11

Příloha P8

Nízkoemisní plynový motor s výkonem 210 kW pro vozidla kategorie M3, N3

Souhrn: Jedná se o publikovaný článek ve sborníku Konference AUTOSYMPO '2000 v Brně, ČAS v roce 2000.

V článku se popisuje a zdůvodňuje zvolená koncepce přepřlňovaného plynového (CNG) motoru s mezichladičem plnicího vzduchu a elektronickou víceparametrovou regulací bohatosti směsi a předstihu zážehu. Blíže jsou vysvětleny základní funkce elektronického systému a způsob víceparametrové optimalizace vstupních parametrů a jejich 3-D vyjádření v tabulkách předstihu zážehu a součiniteli přebytku vzduchu.

Popisují se výsledky 13-ti bodového testu měření plynných emisí výfukových plynů podle EHK č.49 a analýz jednotlivých skupin organických látek (PAH, PAH_{KARC} a ALD). Porovnání výsledků s klasickým vznětovým motorem ukazuje na přednosti plynových motorů.

NÍZKOEMISNÍ PLYNOVÝ MOTOR S VÝKONEM 210 KW PRO VOZIDLA KATEGORIE M3, N3

Bartoniček Ladislav, Beroun Stanislav, Scholz Celestýn, Myška Miroslav

Technická univerzita v Liberci, Fakulta strojní, Katedra strojů průmyslové dopravy
Hájkova 6, 461 17 LIBEREC I, tel. 048-5353130, FAX 048-5353139

SOUHRN

Konverze vozidlového naftového motoru na nízkoemisní plynovou verzi motoru musí být řešena s využitím běžných i speciálních vývojových postupů, obvyklých v motorářské praxi a pro dosažení dnes požadovaných vlastností vozidlového plynového motoru musí využívat moderních skupin příslušenství zážehového motoru včetně elektronických regulačních systémů pro řízení a zabezpečení provozu plynového motoru. Koncepte vozidlového plynového přeplňovaného motoru s výkonem 210 kW, založená na spalování chudých až velmi chudých směsí, konstrukční uspořádání plnicího a palivového systému a optimalizace spalovacího prostoru a seřízení motoru, řešené s využitím dlouhodobých zkušeností řešitelského pracoviště s konverzí vozidlových naftových motorů na jejich plynové verze, dávají vozidlovému plynovému přeplňovanému motoru s výkonem 210 kW velmi kvalitní výkonové, provozní a ekologické parametry. Článek podává základní technické informace o řešení tohoto vozidlového plynového přeplňovaného motoru a na výsledcích měření ukazuje charakteristické vlastnosti motoru.

Klíčová slova: plynový vozidlový motor, koncepte motoru, výkonové a emisní parametry

ÚVOD

Zájem o náhradu klasických kapalných paliv plyným palivem bývá často motivován důvody ekonomickými (plynná paliva jsou cenově příznivější než klasická kapalná paliva), významné jsou ale i efekty ekologické (zejména při náhradě nafty plyným palivem je snížení zátěže životního prostředí výfukovými emisemi i hlukem výrazné). V každém případě musí být konverze motoru na plyné palivo řešena tak, aby zaručovala plnění příslušných předpisů a požadavků na schvalování technické způsobilosti vozidla. V případě emisních parametrů by měl plynový motor plnit platné emisní limity s velkou rezervou: z hlediska nízkých výfukových emisí jsou však možná pouze dvě základní koncepční řešení plynových zážehových motorů.

a): Plynový motor se seřízením pro spalování směsí stechiometrického složení, tj. s $\lambda=1$ ve všech režimech chodu motoru. Toto řešení vyžaduje elektronicky řízený palivový systém s λ sondou a třísoložkovým katalyzátorem ve výfukovém systému motoru. Teploty výfukových plynů u těchto motorů dosahují hodnot kolem 800°C.

b): Plynový motor se seřízením pro spalování extrémně chudé směsí, se součinitelem přebytku vzduchu $\lambda=1,45$ až 1,55. Toto řešení je použitelné především ve spojení s přeplňováním motoru (u nepřepřňovaného plynového motoru vede chudá směs ke snížení výkonu); motor této koncepce má poněkud vyšší celkovou účinnost než plynový motor podle a); účinnost plynového motoru však bude vždy nižší než u naftového motoru s relativně vysokým kompresním poměrem. Teploty výfukových plynů u těchto plynových motorů se pohybují do cca 700°C. Ke snížení nespálených uhlovodíků ve výfukových plynech (při spalování extrémně chudých směsí se mohou poněkud zvýšit) se používá oxidační katalyzátor, který kromě nespálených uhlovodíků výrazně snižuje i emise oxidu uhelnatého CO.

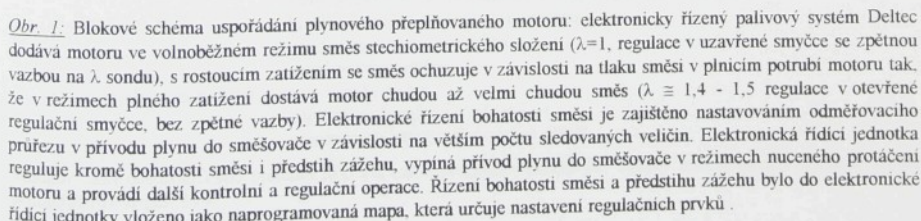
Plynové zážehové motory, vytvořené konverzí z motorů naftových, musí být vybaveny regulačními systémy pro palivové zařízení, ústrojím pro tvoření směsí a dodávku směsí do motoru, pro zapalování, pro řízení a ovládání výkonu motoru. Řešení těchto systémů musí zajistit jak spolehlivý a bezpečný provoz plynových motorů, tak potřebné výkonové a emisní vlastnosti těchto motorů.

KONCEPTE PLYNOVÉHO PŘEPLŇOVANÉHO MOTORU 210 kW

Katedra strojů průmyslové dopravy se dlouhodobě zabývá řešením plynových vozidlových motorů. Jedno z posledních řešení je plynový přeplňovaný (s mezichladičem) motor s výkonem 210 kW. Plynový motor na stlačený zemní plyn je určen pro pohon autobusů a nákladních automobilů. Byl vyroben v Škoda Motory, a.s., podle podkladů katedry strojů

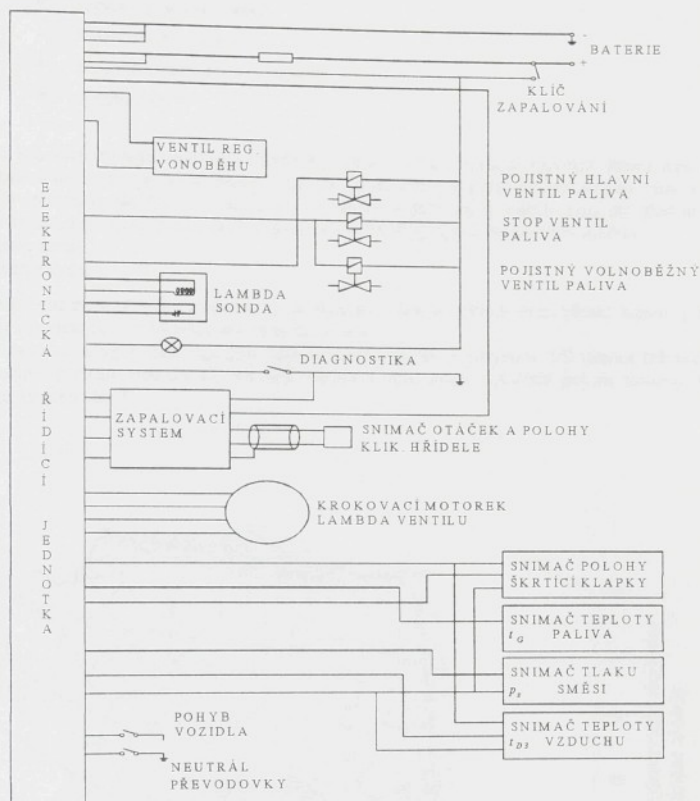
Tabulka T1: Základní technické parametry plynového motoru, nové skupiny příslušenství motoru

Oxidační katalyzátor



Vazbu EŘJ na sledované veličiny a akční členy znázorňuje blokové schéma na obr.2. Elektronický řídicí systém se skládá z:

- Elektronické řídicí jednotky s pamětí EPROM, kde jsou uložena nastavovací data s programem Calpac (Calibration Package)



Obr. 2: Blokové schéma elektronického řídicího systému DELTEC s vyznačením vzájemných (funkčních) vazeb snímačů a výkonových členů k EŘJ

- Snímačů**
 - tlaku směsi vstupující do válců
 - teploty vzduchu před směřovačem
 - teploty plynu před směřovačem
 - polohy a otáček klikového hřídele
 - polohy škrticí klapky
 - množství kyslíku ve výfukových plynech (lambda sonda $\lambda=1$)
- Akčních členů**
 - lambda-ventilu s krokovacím motorkem
 - ventilu regulátoru volnoběhu
 - zapalovacího systému
- Bezpečnostních členů**
 - stop ventilu paliva
 - pojistného hlavního ventilu paliva
 - pojistného volnoběžného ventilu paliva

Všechny části elektronického systému jsou vzájemně propojeny kabelovými svazky. Napájení je z automobilového akumulátoru o napětí 24V.

Mezi základní funkce elektronického systému patří:

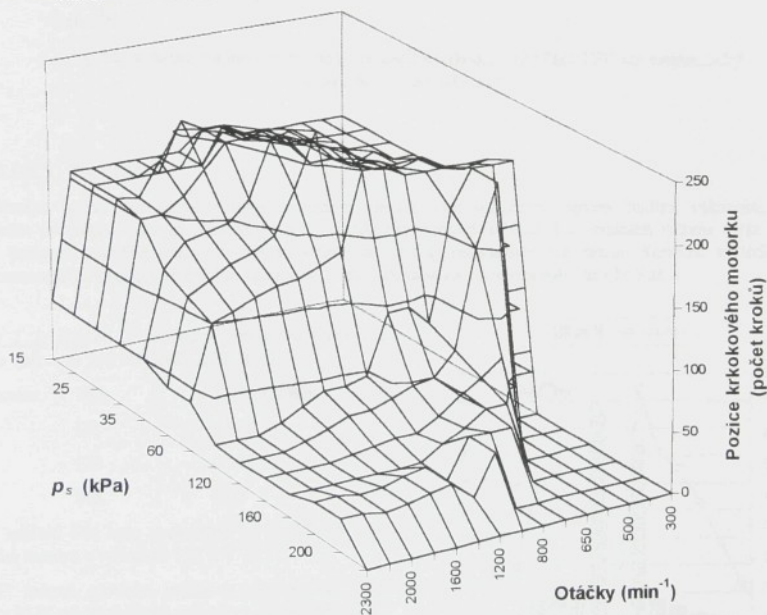
- start motoru
- regulace volnoběhu
- regulace pracovní oblasti
- korekce bohatosti směsi
- bezpečnostní omezení parametrů
- diagnostika

Elektronická řídicí jednotka reguluje seřizovací parametry motoru v celém rozsahu provozní oblasti motoru. Jako příklad lze uvést funkce regulací v pracovní oblasti: pracovní oblast tvoří celé pracovní pole motoru mimo volnoběh. Regulace probíhá v otevřeném okruhu a požadované pole hodnot regulovaných veličin musí být předem zjištěno (kalibraci každého nového typu motoru) a uloženo v paměti EPROM. Regulují se obvykle tyto veličiny:

bohatost směsi
předstih zážehu

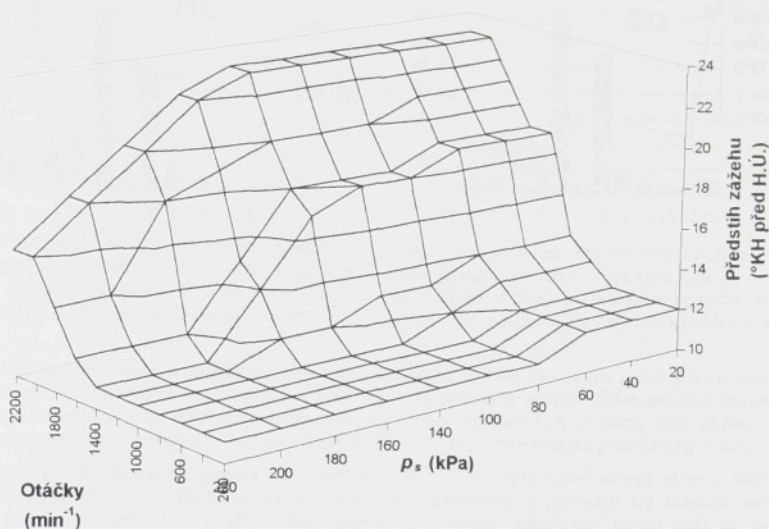
- **bohatost směsi** (součinitel přebytku vzduchu λ) se reguluje změnou průřezu mezi přední hranou posuvného lambda-ventilu a pevnou hranou hlavního seřizovacího šroubu.

Pozice krokového motoru, který ovládá regulační lambda-ventil jsou pevně uloženy v 3-D tabulce (závislost počtu kroků (pozice) krokového elektromotoru na otáčkách motoru a tlaku směsi v plynici potrubí motoru). Grafické vyjádření tabulky je patrné z obr. 3.



Obr. 3: Mapa naprogramovaných hodnot pozice krokového elektromotoru regulačního λ ventilu pro řízení bohatosti směsi pro celou pracovní oblast plynového přepřínávaného motoru

- **předstih zážehu** : Zapalovací systém DELCO má pevně nastaven svůj autonomní režim změny předstihu zážehu v závislosti na otáčkách. Pokud je systém připojen na elektronickou řídicí jednotku DELTEC, lze ovládat předstih zážehu z paměti EPROM v závislosti nejen na otáčkách, ale i zatížení motoru. Regulace předstihu zážehu je v paměti elektronické řídicí jednotky uložena v 3-D tabulce, kterou lze v grafické podobě znázornit mapou podle obr. 4.



Obr. 4: Mapa naprogramovaných hodnot předstihu zážehu v EŘJ DELTEC pro elektronický zapalovací systém DELCO

VÝSLEDKY, ZÁVĚR

Optimalizační práce, prováděné s cílem dosáhnout regulovaným seřizením motoru kvalitní výkonové, provozní (ekonomika provozu) i emisní parametry, byly zajišťovány pomocí běžných i speciálních měření (byla využívána masivní podpora zejména emisních měření v průběhu většiny optimalizačních prací). Konečné výsledky motoru v nejvýznamnějších charakteristických vlastnostech ukazuje tabulka T2 a diagramy na obr. 5 až 8.

Tabulka T 2: Emisní a provozní parametry plynového motoru s výkonem 210 kW podle EHK 49.02

Měrné emise	NO _x	...	3,355 g/kWh
	HC	...	0,808 "-"
	CO	...	0,223 "-"
	PM	...	0,02 "-"

Pozn. 1: měření PM bylo provedeno na podobném typu plynového motoru s výkonem 175 kW [2,3].

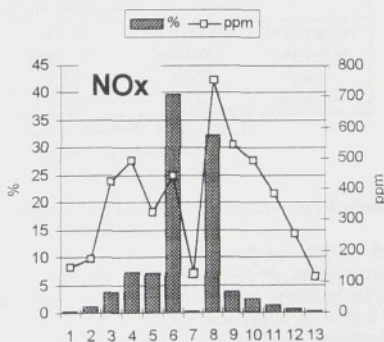
„Střední“ měrná spotřeba paliva z vyhodnocení podle metodiky EHK 49.02 (vážený průměr, v ekvivalentu NG):

$$m_{pe} \dots 226,1 \text{ g/kWh (NG)}$$

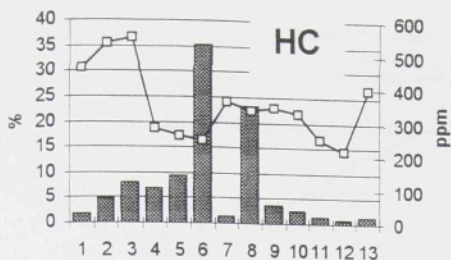
Měrná produkce CO₂, určená podle „střední“ měrné spotřeby paliva:

$$m_{CO_2} \dots 622 \text{ g/kWh}$$

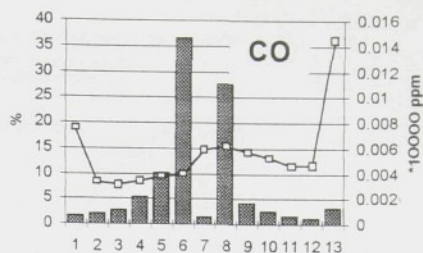
Pozn. 2: původní naftový motor má v testu EHK 49 „střední“ měrnou spotřebu paliva $m_{pe} = 235,2 \text{ g/kWh}$, měrná produkce CO₂ je potom $m_{CO_2} = 741 \text{ g/kWh}$.



Obr. 5: Koncentrace NO_x ve vyfukových plynech v jednotlivých režimech emisního testu a podíl jednotlivých režimů na celkovém výsledku měrných emisí NO_x v emisním testu EHK 49



Obr. 6: Koncentrace HC ve výfukových plynech v jednotlivých režimech emisního testu a podíl jednotlivých režimů na celkovém výsledku měrných emisí HC v emisním testu EHK 49 (legenda viz obr.5).



Obr. 7: Koncentrace CO ve výfukových plynech v jednotlivých režimech emisního testu a podíl jednotlivých režimů na celkovém výsledku měrných emisí CO v emisním testu EHK 49 (legenda viz obr.5).

Pozn. 3: Měrná spotřeba paliva u optimalizovaného plynového přeplňovaného motoru (na zemní plyn) je proti verzi naftového přeplňovaného motoru (i při snížení celkové účinnosti plynového motoru vlivem menšího kompresního poměru) nižší v důsledku větší výhřevnosti zemního plynu. Měrná produkce CO_2 je potom ještě snížena vlivem menšího hmotnostního podílu uhlíku v 1 kg zemního plynu (cca 0,75 kg v zemním plynu proti 0,86 kg u nafty).

Výsledky dalších emisních měření, prováděných v laboratoři KSD TUL, jednoznačně ukazují plynový motor jako ekologicky šetrnou pohonnou jednotku silničních vozidel. V optimalizovaném provedení má konverze naftových motorů na pohon CNG nebo LPG (a při použití účinného katalyzátoru) jednoznačně kladný efekt na množství emitovaných oxidů dusíku, oxidu uhelnatého, částic, aldehydů a polycyklických aromatických uhlovodíků. Proti naftovému motoru mají plynové motory cca 10x nižší emise škodlivých částic. Výrazný rozdíl je potom i v podílu hygienicky nejškodlivějších organických složek na celkových emisích nespálených uhlovodíků - u plynových motorů jsou emise PAH rovněž o řád nižší (proti motoru naftovému). Z celkových emisí PAH se cca 10% těchto uhlovodíků zachytí na povrchu tuhých částic (tzv. polotěkavé uhlovodíky na PM), zbytek je v plynné fázi (těkavé uhlovodíky). Nejrizikovější skupina PAH_{KARC} představuje zhruba 0,2 - 0,3% celkových emisí PAH (u motoru naftového i motoru plynových). Porovnání emisí tzv. neregulovaných škodlivin PAH, PAH_{KARC} a ALD (skupiny aldehydů) z autobusového naftového motoru ML 636 E a autobusového plynového motoru ML 636 NGE ukazuje následující tabulka T3 (měření KSD TUL, analýzu jednotlivých skupin organických látek ve výfukových plynech provedla laboratoř organické chemie Krajské hygienické stanice v Ústí n/L, a laboratoř Ústavu technologie ropy a petrochemie VŠCHT v Praze) /2,3/.

Tabulka T 3:

Motor	Emise organických látek ve výfukových plynech				
	PAH - celk. [mg/kWh]	PAH_{KARC} -celk. [µg/kWh]	ALD -celk. [mg/kWh]	PAH na PM [mg/kWh]	PAH na PM [mg/kWh]
ML 636 E (nafta)	0,81	2,9	0,112	0,04*	0,08**
ML 636 NGE (plyn)	0,08	0,24	0,054	0,004*	0,003**

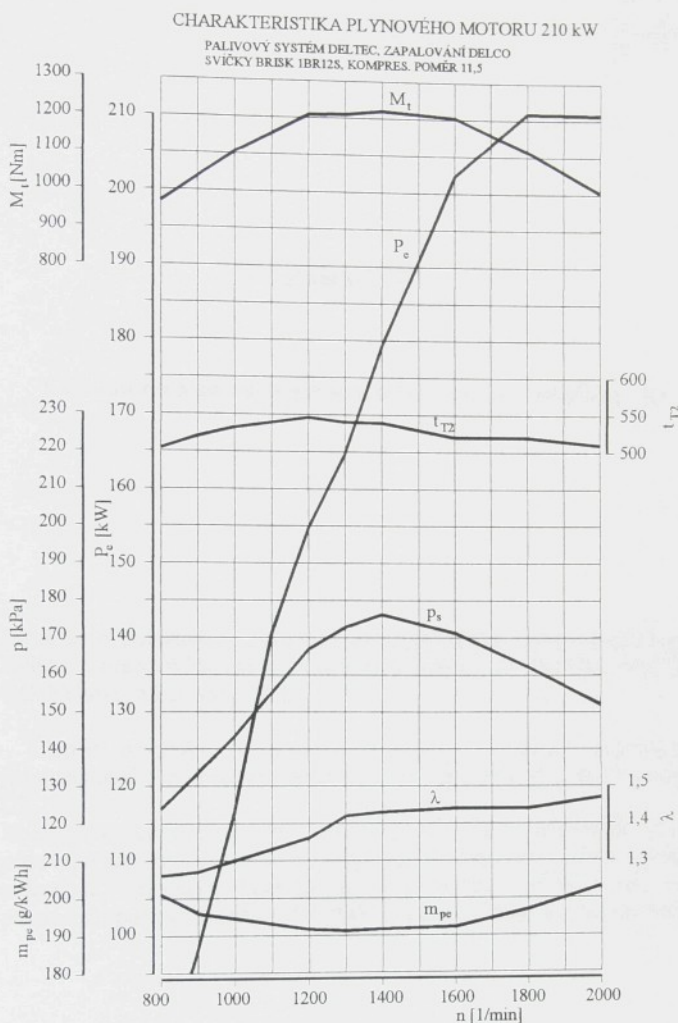
Pozn.: celkové měrné emise stanoveny jako vážený průměr z režimů emisního testu EHK 49

*) měrné emise při otáčkách motoru $n = 1400 \text{ 1/min}$ a plném zatížení motoru

**) měrné emise při otáčkách motoru $n = 2000 \text{ 1/min}$ a plném zatížení motoru

Vhodné, technicky správné a optimalizované řešení konverze naftového motoru na jeho plynovou verzi s koncepcí spalování chudých směsí zajišťuje plynovému motoru velmi kvalitní vlastnosti /1/:

- Vysokou zatížitelnost motoru (střední efektivní tlak) vzhledem k hranici detonačního chodu. Hranice dosažitelného p_e (z hlediska detonačního spalování) souvisí se snížením nejvyšších teplot při spalování směsi s velkým přebytkem vzduchu (je to ale samozřejmě podmíněno i vysokou antidetonační odolností paliva) a vhodným vířením (turbulencí) v náplni válce: plynový přeplňovaný motor 210 kW dosahuje $p_{e \text{ max}} = 1,28 \text{ MPa}$. Provozní parametry plynového přeplňovaného motoru s výkonem 210 kW na vnější otáčkové charakteristice ukazuje obr.8.
- Velmi dobrou celkovou účinnost motoru (v každém případě však nižší proti původnímu naftovému motoru). Vysokých hodnot celkové účinnosti je u této kategorie motorů dosahováno využitím výhod přeplňování a zajištěním dostatečné rychlosti hoření extrémně chudých směsí (zapalovacím systémem, turbulencí náplně ve spalovacím prostoru): významné je rovněž snížení tepelných ztrát oběhu disociací (souvisí to především se snížením nejvyšších teplot při spalování, ztráty disociací se potom snižují i vyššími spalovacími tlaky u přeplňovaných motorů): plynový přeplňovaný motor 210 kW má nejvyšší $\eta_e = 38 \%$.



Obr. 8: Vnější otáčková charakteristika plynového přeplňovaného motoru na zemní plyn s výkonem 210 kW

POUŽITÉ PRAMENY

1. BARTONIČEK, L., BEROUN, S.: Spalování chudých směsí v plynových motorech na CNG. Motorové vozidla na pohon CNG, Piešťany, 1999. ISBN:80-967475-9-2.
2. BEROUN, S., SCHOLZ, C.: Ekologické efekty náhrady nafty plyným palivem. Sborník referátů 3. Mezinárodního symposia Motorová paliva 98. Slovenská spoločnosť priemyselnej chémie, Bratislava, 1998.
3. BEROUN, S., BLÁŽEK, J., POSPÍŠIL, M.: Emise pevných částic a organických sloučenin z naftových a plynových motorů. MOTORSYMPO 99, Brno, 1999. ISBN:80-01-01985-3.
4. BEROUN, S., BARTONIČEK, L., SCHOLZ, C.: Ekologické přínosy automobilové dopravy. Technická zpráva projektu S 401/220/005/96, SM 364/00. KSD TU Liberec, 2000.

Publikace byla vytvořena v souvislosti s řešením etapy a) Výzkumného záměru č. MSM 242100001, podporovaného Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy.

Příloha P9

Laboratorní jednoválec pro spalování vodíku a zemního plynu

Souhrn: Jedná se o publikovaný článek ve sborníku XXIX. Mezinárodní konference kateder a pracovišť spalovacích motorů českých a slovenských vysokých škol v Gabčíkově, STU v roce 1998.

Článek pojednává o pracích spojených s realizací experimentálního jednoválcového zařízení pro spalování vodíku řešeného v rámci projektu GA ČR.

Konstrukce zařízení dovoluje simulaci pracovních podmínek zážehového pístového motoru s měnitelným kompresním prostorem a vnitřní tvorbou směsi paliva se vzduchem. Popisuje se elektronický systém řízení vstupních parametrů (počátku a délky vefukování paliva, předstihu a intenzity zážehu).

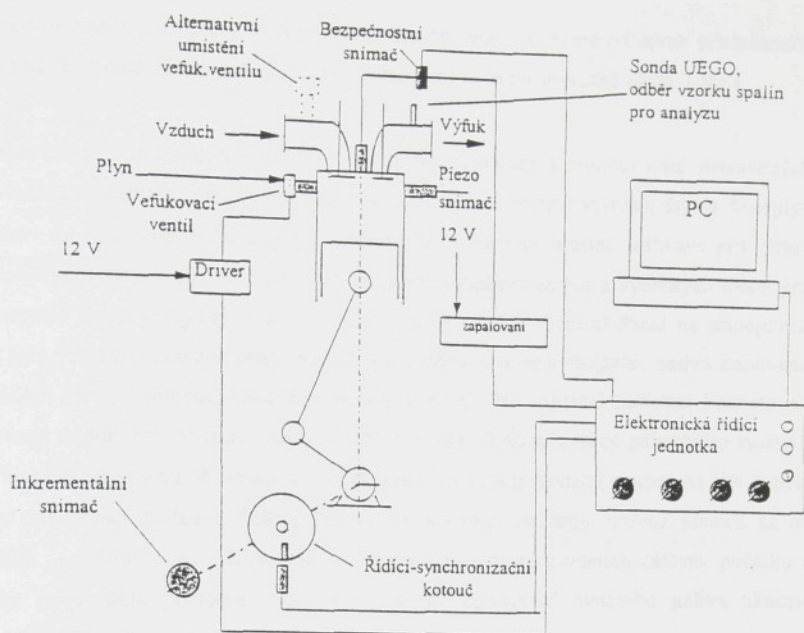
XXIX. MEDZINÁRODNÁ KONFERENCIA PRACOVNÍKOV KATEDIER
A PRACOVÍSK SPAĽOVACÍCH MOTOROV
SLOVENSKÝCH A ČESKÝCH VYSOKÝCH ŠKOL, BRATISLAVA, 1998

LABORATORNÍ JEDNOVÁLEC PRO SPAĽOVÁNÍ VODÍKU A
ZEMNÍHO PLYNU

Farník, P., Scholz, C., Zuzánek, L., TU v Liberci
Lektoroval: Kovář, Z., TU v Liberci

Referát pojednává o dosavadních přípravách a řešeních pro realizaci grantového projektu GA ČR č.101/97/S053 (řešitel Z. Kovář, Liberec, spoluřešitel J. Macek, Praha) na libereckém pracovišti a popisuje konstrukční řešení laboratorního jednoválce pro spalování vodíku a zemního plynu.

Základní výzkum spalování plyných paliv bude realizován na upraveném motoru OKC v režimech při konstantních otáčkách $n=900\text{ 1/min}$, v dalších etapách se předpokládá příp. úprava motoru a připojeného zařízení (zatěžování synchronním motorem u stávající verze nebo jiný způsob zatěžování) pro vyšší otáčky (až do $n=2000\text{ 1/min}$). Pro provoz motoru OKC na plyná paliva byly navrženy celkové změny v provedení a uspořádání příslušenství motoru i konstrukční změny na válci a hlavě válce motoru (vyrobeném jako jeden díl - odlitek) a změny v provedení pístu (spalovací prostor a příp. zvýšení kompresního poměru motoru): projekt rekonstrukce motoru řešil některé koncepční změny v příslušenství motoru a návrh jeho nové provedení vč. podmínek pro jeho výrobu, vybavení systémem pro ovládání a indikaci nastavených parametrů (seřizování počátku a velikosti dodávky plyného paliva do motoru, předstihu zážehu a intenzity zapalovací energie). Výroba navrženého příslušenství motoru byla zadána firmě OKD-DPB Paskov, divize Autoplyn (ve spolupráci s firmou VAPE Ostrava). Schematické znázornění základních skupin motoru a jeho příslušenství podle návrhu KSD ukazuje nákres na obr.1. Kromě veličin měřených pomocí snímačů vyznačených v nákresu, se na motoru měří teploty v několika místech hlavy a válce a dále všechny obvyklé teploty pracovních a provozních látek - sběr vybraných údajů je zajištěn pomocí elektronického systému a spolu s významnými parametry seřízení motoru jsou příslušné hodnoty zobrazovány na monitoru PC.



Obr. 1

Nové příslušenství zkušebního jednoválce OKC bylo vybráno s ohledem na požadavky předpokládaného programu výzkumných úloh i s přihlédnutím k dostupnosti jednotlivých prvků při nákupu, resp. při výrobě. Po diskusi na hlavním řešitelském pracovišti (katedře strojů průmyslové dopravy - KSD) a po posouzení možností u dodavatele systému příslušenství bylo vypracováno zadání, obsahující specifikaci jednotlivých skupin celé sestavy příslušenství vč. systému pro její řízení a monitorování:

- Zapalování: bezkontaktní, plně elektronické, postavené s využitím 1 sekce zapalovací soupravy DIS DELCO; pro zkušební jednoválec OKC bude toto zapalování upraveno tak, aby bylo možno za provozu měnit předstih zážehu i energii VN výboje (max. energie VN výboje 45 mJ).
- Palivový systém motoru: vefukovací ventil SERVOJET SP 014 (resp. SP 021) s napájecí a řídicí jednotkou („driver“), umožňující měnit počátek dodávky a velikost dávky plynného paliva v širokém rozsahu od začátku sacího zdvihu motoru až do pokročilé fáze komprese.

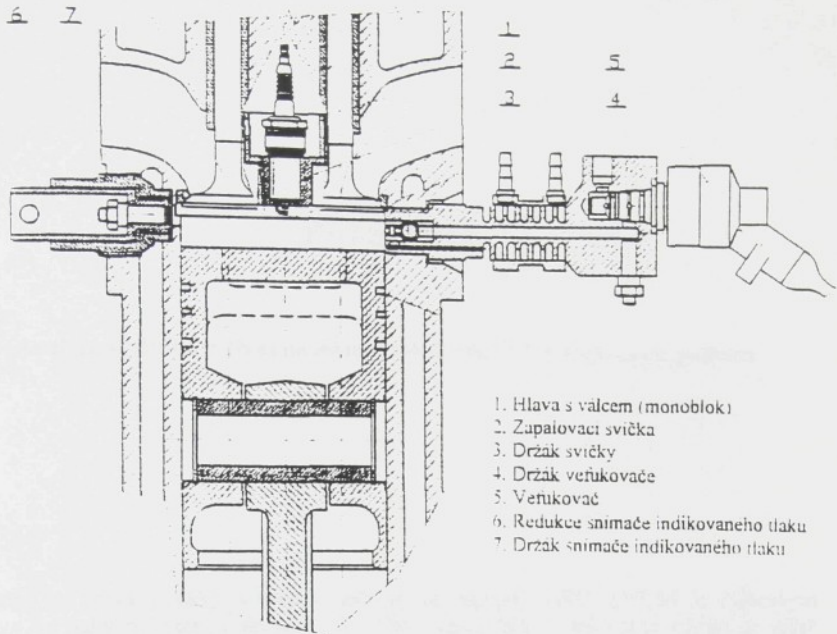
Přívod plynného paliva k vefukovacímu ventilu byl řešen odděleně od úprav příslušenství na motoru; vstupní tlak paliva do vefukovacího ventilu se předpokládá až do 3 MPa.

- Elektronická řídicí jednotka (EŘJ) pro seřizování, ovládání a monitorování nastavených provozních parametrů zapalování a palivového systému motoru: výrobek divize Autoplyn Paskov (a jejich dodavatele, tj. fy VAPE). EŘJ obsahuje vlastní software pro řízení zapalování a palivového systému a pro vizualizaci nastavovaných a vybraných měřených parametrů (otáčky, teploty, výstup UEGO) v prostředí SW Control Panel na připojeném PC (pro vizualizaci hodnot předstihu zážehu, počátku a doby vefukování paliva stanoveno rozlišení po 1^0 pootočení klikového hřídele motoru). Pro zajištění potřebné bezpečnosti provozu motoru (zejména na vodík) je EŘJ vybavena funkční vazbou palivového systému na činnost zapalování vč. kontroly funkce zapalování (bezpečnostní snímač na VN kabelu před zapalovací svíčkou). Řešení EŘJ je koncipováno pro příp. provoz motoru až do otáček $n=3000 \text{ 1/min}$. Rozsah možností pro nastavování předstihu zážehu, počátku a doby (resp. úhlu pootočení klikového hřídele) vefukování plynného paliva ukazuje následující tabulka:

Předstih zážehu:	60 ⁰ před HÚ	-	10 ⁰ za HÚ
Začátek vefuku:	HÚ (zač.sání)	-	50 ⁰ za DÚ (v kompresním zdvihu)
Délka otevření vefuku:	0 ⁰ až	140 ⁰	pootočení klikového hřídele motoru

Jednoválcový motor OKC je konstrukčně upraven pro zástavbu a instalaci výše uvedeného příslušenství - řešení těchto úprav a jejich realizace byly samostatnou úlohou při celkové přípravě motoru pro ověřovací provoz a výzkumný program v rámci projektu GAČR. Většina měření na motoru je prováděna současně s vysokotlakou indikací a s průběžným sledováním výfukových emisí - instalace snímačů pro tato měření je zakreslena v obr.1, podrobnější popis uspořádání těchto měření, způsobu jejich zpracování a vyhodnocení tvoří rovněž samostatnou část materiálů výzkumného programu.

Konstrukční úpravy válce a hlavy válce se zabudovaným systémem pro vefukování plynu přímo do válce jsou zřejmé z obr. 2. V první etapě měření je použit původní píst motoru OKC, pro další etapy se připravují písty s několika variantami spalovacího prostoru v hlavě pístu.



Obr.2

V současné době probíhá na motoru v laboratoři katedry 1. etapa měření jak s vodíkem, tak se zemním plynem. Vybrané výsledky těchto měření budou prezentovány na konferenci kateder.

PODKLADOVÝ MATERIÁL:

BEROUN, S.: Příslušenství jednoválcového motoru OKC pro výzkumné práce s plyným palivem. Interní technická zpráva, KSD, TU Liberec, 1997.

PODĚKOVÁNÍ

Práce prezentované v tomto příspěvku byly realizovány s finanční podporou grantu GA ČR č. 101/97/S 053.

Příloha P10

Analýza výsledků měření na motoru OKC-OKTAN s vodíkovým palivem

Souhrn: Zpráva podává výsledky měření na motoru OKC-OKTAN s vodíkovým palivem v rámci projektu GA ČR. Palivo bylo vefukováno přímo do silně vířivé vzdušné náplně válce (vír byl generován clonkou sacího ventilu). Uvádí se vliv součinitele přebytku vzduchu, počátku vefukování paliva a předstihu zážehu na střeni indikovaný tlak, maximální spalovací tlak, rychlost spalování a plynné emise výfukových škodlivin. Optimální seřízení :

- součinitel přebytku vzduchu $\lambda=2$
- předstih zážehu 5°KH před HÚ
- vefukování paliva v kompresním zdvihu, 50°KH za DÚ.

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra strojů průmyslové dopravy

ANALÝZA VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ NA MOTORU OKC-OKTAN S VODÍKOVÝM PALIVEM

(Měření v listopadu 1998)

Zpracoval:

Ing. Celestýn Scholz

Scholz

Měřil:

Doc. Ing. Michal Takáts, CSc. (ČVUT)

Ing. Celestýn Scholz

Ing. Vladimír Zuzánek

Ing. Zuhdi Saihab

Vedoucí katedry:

Doc. Ing. Stanislav Beroun, CSc.

Vedoucí úkolu:

Prof. Ing. Zdeněk Kovář, CSc.

Č. úkolu: GAČR 101/97/S053

Č. zpravy: SM 352/99

Liberec, leden, 1999

Počet stran zpravy: 7
Počet příloh: 11
Počet stran celkem: 18

Úvod

Předkládaná technická zpráva analyzuje soubor měření provedených v závěru roku 1998 v rámci grantového úkolu GAČR „Pístový motor pro spalování vodíku – pohonná jednotka budoucnosti“ na upraveném zkušebním jednoválcovém motoru OKC-OKTAN.

Program měření byl stanoven hlavními řešitelskými pracovišti (TUL a ČVUT) na základě výsledků předchozích měření provedených v průběhu roku 1998. Cílem bylo ověřit závislosti parametrů motoru spalujícího vodíkové palivo na změně přebytku vzduchu, v co nejširším rozsahu, pro dvoji způsob vefukování (do sání v místě 80°KH před DÚ, do komprese v místě 50°KH po DÚ) při konstantním předstihu zážehu 5°KH před HÚ. Pro doplnění programu byly vybrány režimy podrobeny změně předstihu zážehu a změně paliva na zemní plyn (CNG).

Vlastní měření

Bylo provedeno dne 13.11.1998 s těmito hlavními měřicími přístroji (zařízeními) na:

- Analýzu koncentrace škodlivin ve výfukových plynech
NOx: BECKMAN 951 A
HC: FIDAS 2T
- Součinitele přebytku vzduchu, který je určen měřením zbytkového kyslíku ve spalínách (vyhřívána sonda s přístrojem UEGO, převodní tabulka U-λ fy Deltec)
- Množství vzduchu (plynoměr s rotačními písty GZDA fy Gaselan)
- Množství paliva (hmotový průtokoměr Micro Motion sestávající ze senzoru CMF 010M a převodníku RFT 9739)
- Časovou polohu zážehu směsi a průběh vefukování paliva (elektronická řídicí jednotka fy Autoplyn s ovládáním hodnot předstihu zážehu, počátku a doby vefukování paliva, délku nabíjení zapalovacího systému v závislosti na úhlu pootočení KH)
- Indikaci průběhu tlaku ve válci (piezoelektrický snímač 12QP300cvk a zesilovač 3066-A01(kanal A) od fy AVL, A/D převodník PCL-818(kanal 1) fy Advantech, Dogstation a Laptop TN4 fy Tesco, software DISYS fy Merlin)
- Indikaci průběhu tlaku ve vefukovači (piezoelektrický snímač GU 21D a zesilovač 3066-A01(kanal B) od fy AVL, A/D převodník PCL-818(kanal 2) fy Advantech, Dogstation a Laptop TN4 fy Tesco, software DISYS fy Merlin)

- Indikaci průběhu napětí na zapalovací svíčke (vysokonapěťová sonda, kompenzační dělič, A/D převodník PCL-818(kanal 3) fy Advantech, Dogstation a Laptop TN4 fy Tesco, software DISYS fy Merlin)
- Polohu otočení klikového hřídele (rotační inkrementální snímač polohy IRC 205/720 fy Larm, diagnostická karta IEPC-1 a řidiči zákaznická karta fy Esso, A/D převodník PCL-818(kanal externího časování) fy Advantech, Dogstation a Laptop TN4 fy Tesco, software DISYS fy Merlin)
- Záznam teplot v sacím a výfukovém potrubí (termočlánky HEMTSS M150-150 pro výfuk a HEMTSS M100-150 pro sání, fy Omega, analogový měřicí modul ADAM-4018, převodník rozhraní ADAM-4520, software Control Panel fy FCC Folprecht, PC).

Tabulka uvádí označení měřicích režimů motoru OKC-OKTAN s atmosférickým plněním a při konstantních otáčkách 910 min^{-1} , kompresním poměru 10:1, délce nabíjení 6 ms, a při použití zapalovací svíčky BRISK 1BR 12S.

Označení	Palivo	Počátek vefukování do válce	Předstih	Přebytek vzduchu
p1, p2, p3, p4, p5, p6, p7	vodík	během sání (int) 100°KH (80°KH před DÚ)	5°KH před HÚ	proměnný
p8, p9, p10, p11, p12, p13	vodík	během komprese (com) 230°KH (50°KH po DÚ)	5°KH před HÚ	proměnný
p14, p15, p16, p17	vodík	během komprese (com) 230°KH (50°KH po DÚ)	proměnný	$\lambda = 2.00$
p18, p19, p20, p21, p22, p23	zemní plyn	během sání (int) 100°KH (80°KH před DÚ)	5°KH před HÚ	proměnný

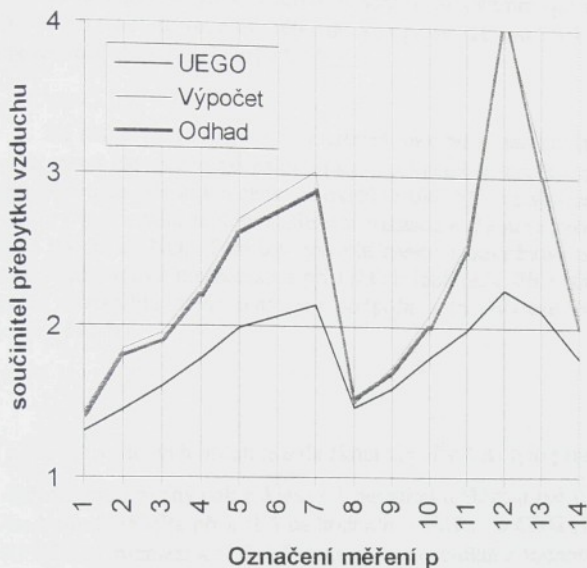
Pro každý měřicí režim byly ručně zaznamenány výsledné údaje charakteristických hodnot a na disk počítače uloženy indikační záznamy souborů:

- 150 pracovních cyklů průběhu tlaků ve válci po 0.5°KH s označením $xxa.sgr$
 - 10 pracovních cyklů tří průběhů (tlaků ve válci, tlaku ve vefukovači, napětí na zapalovací svíčke) po 1.5°KH s označením $xxc.sgr$
- (pozn. xx – je označení měřicího režimu).

Analýza výsledků měření

Výsledek porovnání přímo měřeného (pomocí přístrojů UEGO) součinitele přebytku vzduchu s jeho výpočtem ze změřeného množství vzduchu a paliva ukazuje následující obrázek. Hrubý nesoulad součinitelů přebytků vzduchu UEGO s vypočteným ukazuje na systematickou chybu minimálně jednoho ze tří měřidel. Před dalším měřením je proto nutná

další kontrola a kalibrace těchto měřidel. Další postup vyhodnocení byl proveden s hrubým (pracovním) odhadem součinitele přebytku vzduchu, který je blízký vypočtenému (?). Hodnoty součinitelů přebytků vzduchu, stanovené 3 různými způsoby, jsou uvedeny v tabulce na příloze P1.



Pomocí software INDI-2 bylo provedeno (ze souborů typu xxa.sgr) vyhodnocení průměrných hodnot středního indikovaného tlaku, maximálního tlaku ve válci a dalších odvozených termodynamických veličin.

Prostřednictvím termodynamického výpočtu INDI-2 (výpočet neuvažuje kvalitativní proměnlivost náplně vlivem změn jejího složení během spalování, což pro spalování vodíku je stěží přípustné) byly zjištěny jen informativní termodynamické veličiny pracovního oběhu. V termodynamickém výpočtu není rovněž uvažována změna hmotnosti náplně vlivem dodávky paliva, což pro případ vefukování paliva do válce v kompresním zdvihu zanáší další zkreslení výsledků. Z těchto důvodů je třeba veličiny ovlivněné tímto zjednodušením brát s určitou rezervou.

Výsledky jsou vyneseny v grafech na přílohách P2, P3, P4, P5. Grafy jsou sice na první pohled poněkud nepřehledné, ale pro analýzu užitečné, neboť umožňují porovnat a určit závislosti dvou příbuzných parametrů (veličin) tří variant (způsob vefukování, palivo) na proměnné (součinitel přebytku vzduchu, předstih zážehu). Opačně lze pak posoudit vliv proměnné na parametry motoru.

Vliv součinitele přebytku vzduchu λ

Z grafů uvedených na přílohách P2, P3 je patrný pokles koncentrace NO_x na velmi nízké hodnoty pod 50ppm, nejdříve u spalování zemního plynu (CNG) s chudostí směsi $\lambda > 1.8$, pak u vodíku vefukovaného do komprese (H2com) s $\lambda > 2.0$ a nejpozději u vodíku vefukovaného do sání (H2int) s $\lambda > 2.3$.

Na škodlivinu NO_x má vliv úroveň maximální teploty spalování. Na grafu přílohy P3 je vidět trend klesající maximální teploty spalování se zvyšujícím se λ , který koresponduje s již zmíněnou závislostí koncentrace oxidů dusíku NO_x ve spalínách. Opačný trend koeficientu variability maximální teploty spalování naznačuje, že jeho vyšší hodnota působí příznivě na snížení produkce NO_x . Toto lze vysvětlit známou skutečností zastavení (zamrznutí) řetězové reakce Zeldovičova mechanismu při nižších teplotách. Při nízké teplotě spalování může její zvýšená variabilita navíc tento jev podpořit a to dokonce významně (jak je patrné mezi H2com a H2int).

Na grafech uvedených příloh je dále zkoumán vliv λ na tyto parametry:

- Střední indikovaný tlak p_i klesá s λ pomaleji u H2com než u CNG a to zhruba ze společné hodnoty 0.55MPa při $\lambda=1.5$ na hodnotu 0.3MPa (u CNG při $\lambda=1.9$, u H2com při $\lambda=2.7$). U H2int v rozmezí $\lambda=1.8-2.7$ klesá p_i velice zvolna z hodnoty 0.35 na 0.3MPa. Variabilita p_i nejnižší úrovně 1% byla dosažena u H2int v rozmezí $\lambda=1.8-2.2$, (u H2com pak 2%), přičemž u obou způsobů vefukování se zvyšováním chudosti roste. U CNG variabilita p_i nad $\lambda=1.5$ prudce roste z hodnoty 2%.
- Maximální tlak $p_{\max}$ s chudostí směsi obecně klesá u všech sledovaných paliv. Vyšších hodnot dosahuje u H2com a při $\lambda > 2.7$ se vyrovnává s H2int. Variabilita $p_{\max}$ s chudostí směsi stoupá a při určité chudosti začne klesat pravděpodobně tím, že maximální tlak se blíží tlaku kompresnímu, který svou stálostí příznivě ovlivňuje variabilitu.
- Maximální gradient tlaku $dp/d\alpha$ s chudostí klesá obdobně jako NO_x a variabilita má obdobný průběh jako při $p_{\max}$.
- Maximální rychlost hoření $w_{\max}$ s chudostí klesá u H2int a H2com shodně, u CNG jsou rychlosti hoření přirozeně nižší. Variabilita $w_{\max}$ je u H2com vyšší.

Vliv způsobu (polohy) vefukování

V dalším bylo provedeno porovnání parametrů dvou způsobů vefukování paliva do válce H2int a H2com v jejich optimálním rozsahu chudosti směsi $\lambda=1.9-2.2$ s tímto výsledkem:

- Koncentrace NO_x je u H2com značně nižší, což zřejmě není způsobeno jenom úrovní spalovací teploty, ale i její vyšší variabilitou. Účinek variability je při nižších teplotách 1500-1800°C zřejmě dominantní.
- Měrná spotřeba paliva u H2com je proti H2int nižší v důsledku vyššího dosaženého p_i .
- Variabilita p_i je pro oba případy nízká 1-2%. Přesto je H2com vyšší (2%), což může být způsobeno nižším maximálním gradientem tlaku s vyšší variabilitou, vyšší variabilitou max. rychlosti hoření a max. tlaku. Svůj díl může mít i variabilita funkce vefukovacího zařízení (kuličkový uzavírací ventil).

Pro analýzu rozdílů parametrů mezi oběma způsoby vefukování byly porovnány měřené režimy 4 (ev. 3) příslušející H2int a 10 příslušející H2com. Na příloze P4 (výběr ze souboru typu xxc.sgr přepočteného na přetlaky vůči okolí) je patrný průběh tlaků ve válci (silná čára) a tlaku ve vefukovači. Jak bylo možné očekávat při vefukování paliva do komprese H2com, tlak ve vefukovači klesne po ukončení vefukování jen na kompresní tlak (tj. na 30% své původní hodnoty) a netěsnosti uzavírací kuličky se zvyšuje během hoření směsi ve válci až na 60% své původní hodnoty. Pokles nastává během expanse a nutně představuje vyprazdňování objemu paliva a vzduchu vefukovače.

Otázkou zůstává, zda toto vyprazdňování objemu směsi z vefukovače během expanse představuje další hoření (dohořívání). K ověření bylo provedeno porovnání průběhů přivedeného tepla a jeho rychlosti u vybraných cyklů měřených režimů 4 a 10. Jak je patrné z přílohy P5, nenastává v oblasti výše uvedeného vyprazdňování (okoli 440°KH při H2com) žádná dramatická reakce. K dořešení této otázky je ale nezbytný analyzátor H2 pro měření koncentrace zbytkového vodíku ve výfukových plynech. Pak bude možné korigovat další program na optimalizaci polohy vefukování a realizovat konstrukční úpravy ke zlepšení funkce vefukování.

V každém případě vefukování paliva H2int (přimo do válce motoru během sacího zdvihu) je **neopodstatněné** pro řadu nevýhod. Hlavní nevýhodou pak je dosažitelnost nižšího indikovaného tlaku, což je způsobeno, především u nepřepřlňovaného motoru, nižším stupněm naplnění válce čerstvým vzduchem (vefukování paliva během sání snižuje sací efekt). Na přílohách P6 a P7 lze pomocí grafů ($p-v$, $p-\alpha$) ukázat rozdíl dvou způsobů vefukování paliva: u H2com (režim 10) je vzhledem k lepšímu naplnění válce vzduchem o 14% více směsi proti H2int (režim 4), vyšší kompresní a spalovací tlak. Porovnáme-li samotné vefukování do sání vzhledem k součiniteli přebytku vzduchu (režimy 3 a 4), liší se množství směsi jen o 2.5%. Na grafech na přílohách P8 a P9 lze pak pozorovat, že kompresní křivky téměř splývají (obdobně jako v případě porovnání mezi cykly jednoho režimu). To svědčí o malé proměnnosti množství směsi. U režimu 3 byl zjištěn během měření snos (drift) snímače ve směru snižování plnicího tlaku (cykl 35 a 141): je zřejmé, že množství směsi bylo shodné, došlo jen k posunu celé kompresní křivky.

Vliv předstihu zapalování

Na přílohách P10 a P11 jsou znázorněny závislosti vybraných parametrů na předstihu zážehu v rozsahu 0-15°KH před HÚ (režimy 14-17 při palivu H2com) při konstantním

součiniteli přebytku vzduchu $\lambda=2$. Z hlediska návaznosti na předchozí měření (6/1998) a prověření opakovatelnosti jsou v grafech i podobné režimy z tohoto data (režimy o4, o6).

Se zvyšujícím se předstihem zážehu je patrný nárůst koncentrace NO_x . Dle očekávání roste i teplota spalování, max. spalovací tlak i jeho gradient a rychlost hoření. Naopak klesá střední indikovaný tlak, ovšem velmi pozvolna. Porovnatelnost měření v časovém odstupu je více než dobrá.

Závěr a doporučení

S dosavadních výsledků lze říci, že pro uspořádání zkušebního motoru OKC-OKTAN (píst bez komůrky, kompresní poměr 10, uspořádání zapalovací svíčky na okraji hlavy válce, sací ventil v poloze 3 (označení ČVUT pro vřetové číslo 5.8 a ztrátu $\mu\sigma_{\text{str}}=0.19$) se clonou, atmosférické plnění) z hlediska parametrů z předpokladu správnosti odhadu λ je

optimální seřízení

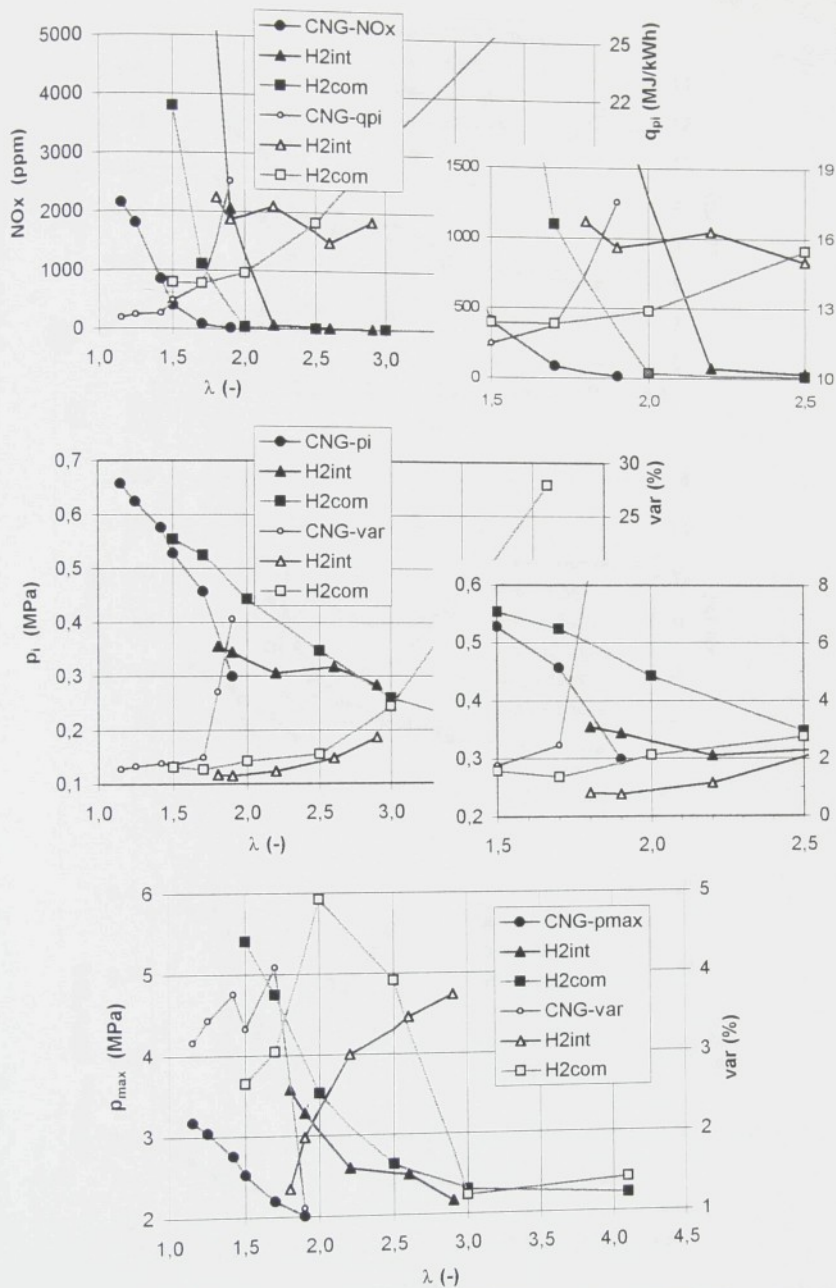
- ☐ Součinitel přebytku vzduchu $\lambda=2$
- ☐ Předstih zážehu 5°KH před HÚ
- ☐ Vefukování paliva do válce v poloze 50°KH za DÚ

Pro další postup (ještě před přestavbou na přetlakové plnění válce) lze doporučit:

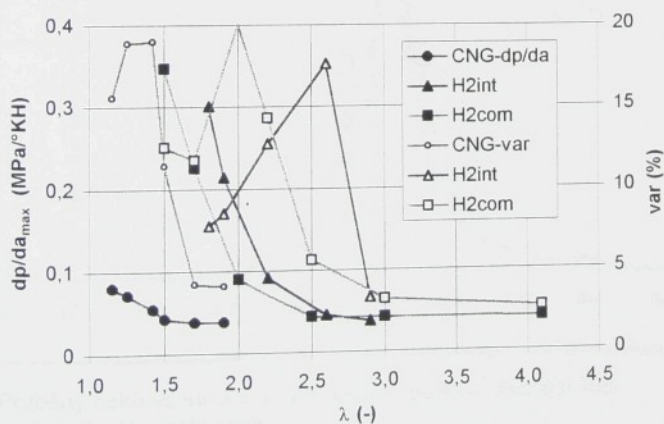
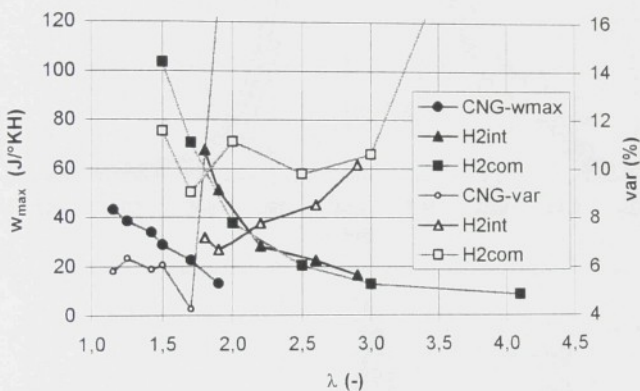
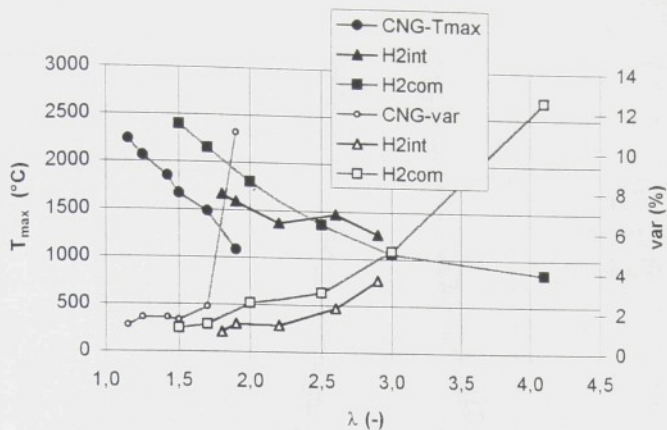
- 1) Prověření a kalibraci měřicích řetězců pro měření množství vzduchu, paliva a součinitele přebytku vzduchu. Na základě výsledků realizovat případné změny.
- 2) Ověřit způsob vefukování paliva do sacího potrubí.
- 3) Ověřit vliv vřetové clony sacího ventilu (nevířivé provedení s výrazně zlepšenými průtokovými vlastnostmi)

Oktan XI 98

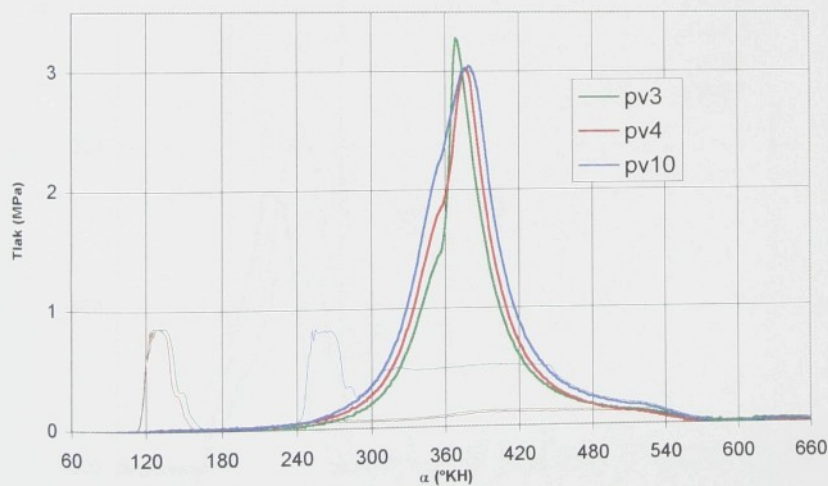
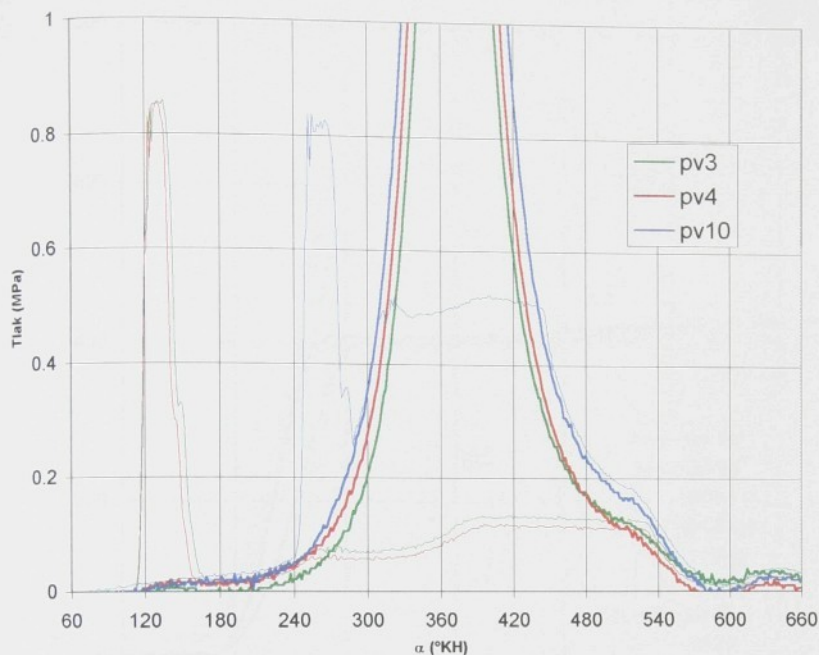
č. měř.	pbar kPa	vlhkost %	teplota °C	Mvzd m3	čas s	λ-měř	Mpal-měř kg/h	NOx ppm	HC ppm	CO ppm	Vypočet Lt hust.vzd. kg/m3	Mvzd. kg/h	Mpal kg/h	λ vypoč.	λ odhad	mi g/kWh	qi MJ/kWh	Hu MJ/kg	pl č. měř.
p18	97	60	20,6	0,1	32	1,32	850	12438	850	12438	17	1144	12,873	0,574	1,42	215,91	10,80	50	0,575 p18
p19	97	60	22,1	0,1	31	1,39	400	11863	400	11863	17	1138	13,214	0,559	1,50	229,21	11,46	50	0,528 p19
p20	97	60	22,8	0,1	31	1,50	85	17054	85	17054	17	1135	13,180	0,517	1,70	244,76	12,24	50	0,487 p20
p21	97	60	22,5	0,1	31	1,60	14	30998	14	30998	17	1136	13,194	0,485	1,90	351,11	17,56	50	0,299 p21
p22	97	60	22,5	0,1	33	1,18	1800	13016	1800	13016	17	1136	12,395	0,618	1,25	214,29	10,71	50	0,624 p22
p23	97	60	23,1	0,1	34	1,10	2150	11370	2150	11370	17	1134	12,003	0,642	1,15	211,44	10,57	50	0,657 p23
p1	97	60	20,9	0,1	40	1,30	0,21	5600	0	0	34,307	1,143	10,287	0,231	1,40	139,76	16,72	119,62	p1
p2	97	60	21,5	0,1	36	1,45	0,18	5300	0	0	34,307	1,140	11,404	0,229	1,847	130,56	15,62	119,62	0,355 p2
p3	97	60	21,8	0,1	36	1,60	0,17	2050	0	0	34,307	1,139	11,392	0,208	1,953	136,15	16,29	119,62	0,344 p3
p4	97	60	21,8	0,1	35	1,78	0,15	70	0	0	34,307	1,139	11,717	0,192	2,277	120,75	14,44	119,62	0,305 p4
p5	97	60	21,5	0,1	34	1,99	0,13	20	0	0	34,307	1,140	12,075	0,177	2,707	129,88	15,54	119,62	0,317 p5
p6	97	60	21,2	0,1	29	2,78	0,00	0	0	0	34,307	1,142	14,173	0,149	3,029	103,40	12,37	119,62	0,283 p6
p7	97	60	20,9	0,1	33	2,14	0,12	0	0	0	34,307	1,143	12,469	0,170	3,029	103,11	12,33	119,62	0,554 p7
p8	97	60	21,2	0,1	31	1,46	0,26	3800	0	0	34,307	1,142	13,259	0,265	1,466	129,35	15,47	119,62	0,524 p8
p9	97	60	22,8	0,1	30	1,59	0,23	1100	0	0	34,307	1,135	13,619	0,250	1,726	107,62	12,87	119,62	0,443 p9
p10	97	60	23,1	0,1	30	1,80	0,19	35	0	0	34,307	1,134	13,604	0,220	2,087	129,35	15,47	119,62	0,347 p10
p11	97	60	22,8	0,1	29	1,98	0,16	10	0	0	34,307	1,135	14,089	0,207	2,567	129,35	15,47	119,62	0,172 p11
p12	97	60	22,1	0,1	29	2,25	0,10	0	0	0	34,307	1,138	14,125	0,183	4,117	106,42	12,73	119,62	0,455 p12
p13	97	60	21,5	0,1	29	2,11	0,13	0	0	0	34,307	1,140	14,147	0,196	3,174	108,96	13,03	119,62	0,455 p13
p14	97	60	21,7	0,1	29	1,80	0,20	25	0	0	34,307	1,140	14,147	0,229	2,082	106,42	12,73	119,62	0,449 p14
p15	97	60	22,5	0,1	30	1,80	0,19	40	0	0	34,307	1,136	13,634	0,221	2,092	104,62	12,51	119,62	0,432 p15
p16	97	60	22,5	0,1	31	1,80	0,19	105	0	0	34,307	1,136	13,634	0,221	2,092	105,90	12,67	119,62	0,423 p16
p17	97	60	22,5	0,1	32	1,80	0,18	240	0	0	34,307	1,136	12,782	0,207	2,070	105,90	12,67	119,62	0,423 p17



Vliv součinitele přebytku vzduchu na parametry motoru OKC-OKTAN při vefukování CNG během sání (80°KH před DU) a H₂int (během sání 80°KH před DU a H₂com (během komprese 50°KH po DU)



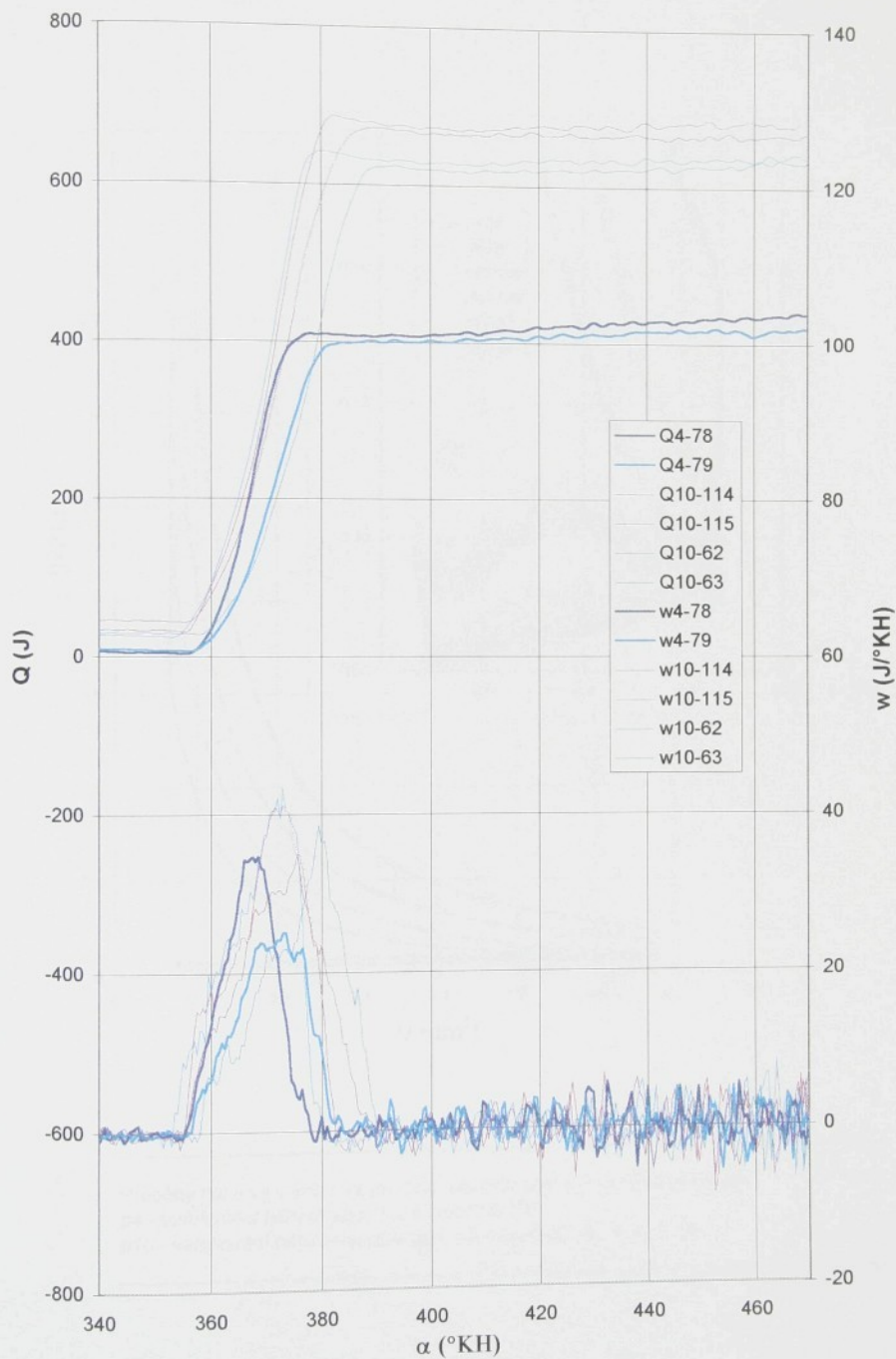
Vliv součinitele přebytku vzduchu na parametry motoru OKC-OKTAN při vefukování CNG během sání (80°KH před DÚ) a H2int (během sání 80°KH před DÚ a H2com (během komprese 50°KH po DÚ)

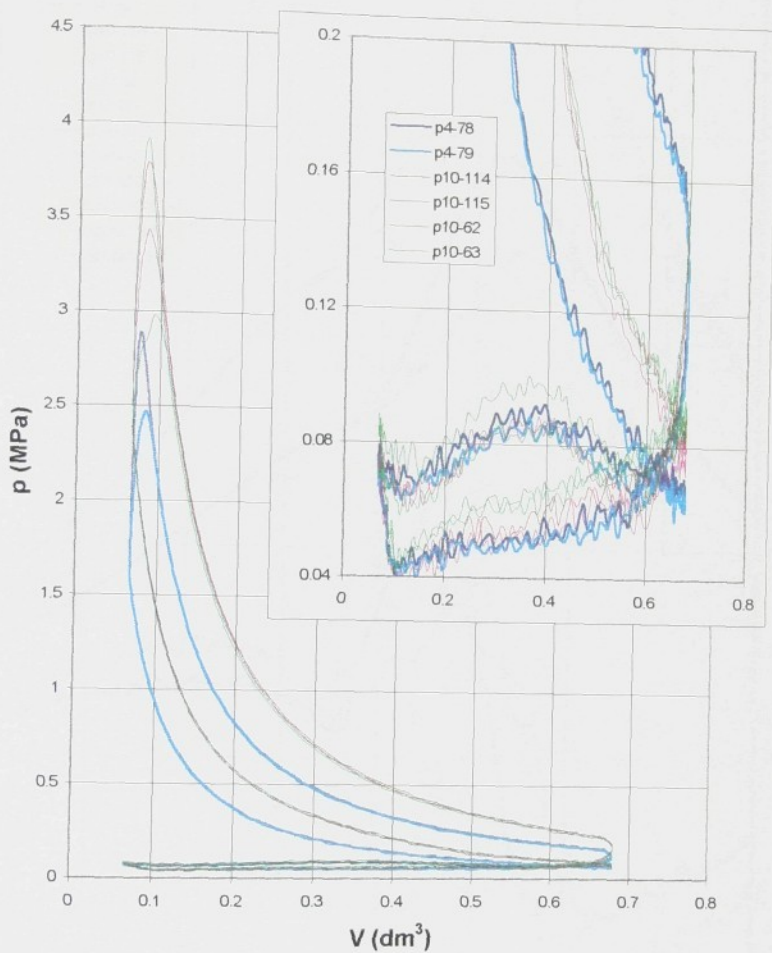


Průběhy tlaků ve válci a ve vefukovači motoru OKC-OKTAN
spalujícího H_2 v režimech

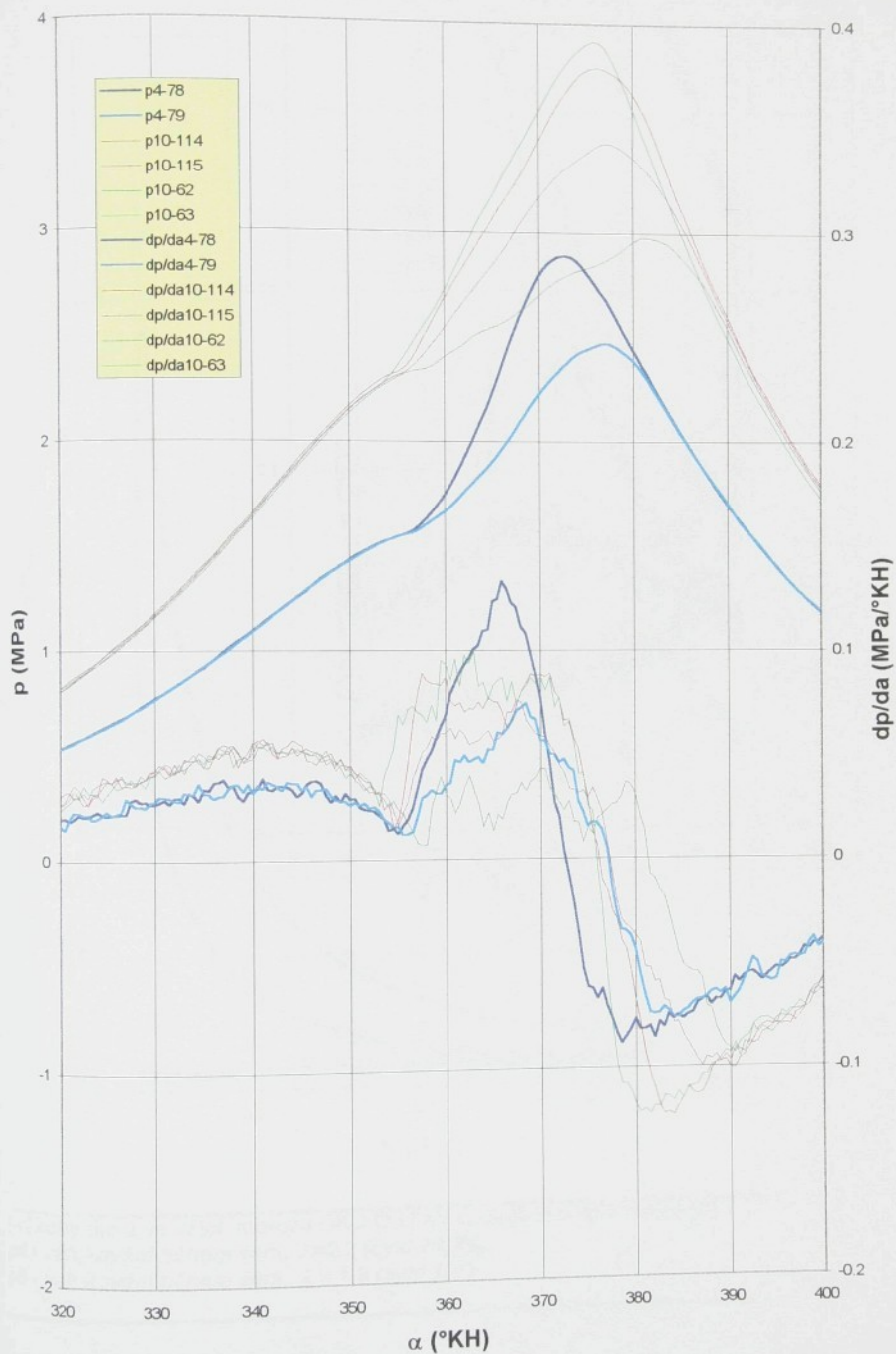
p3, p4 - vefukování během sání, $\lambda = 1.9, 2.2$

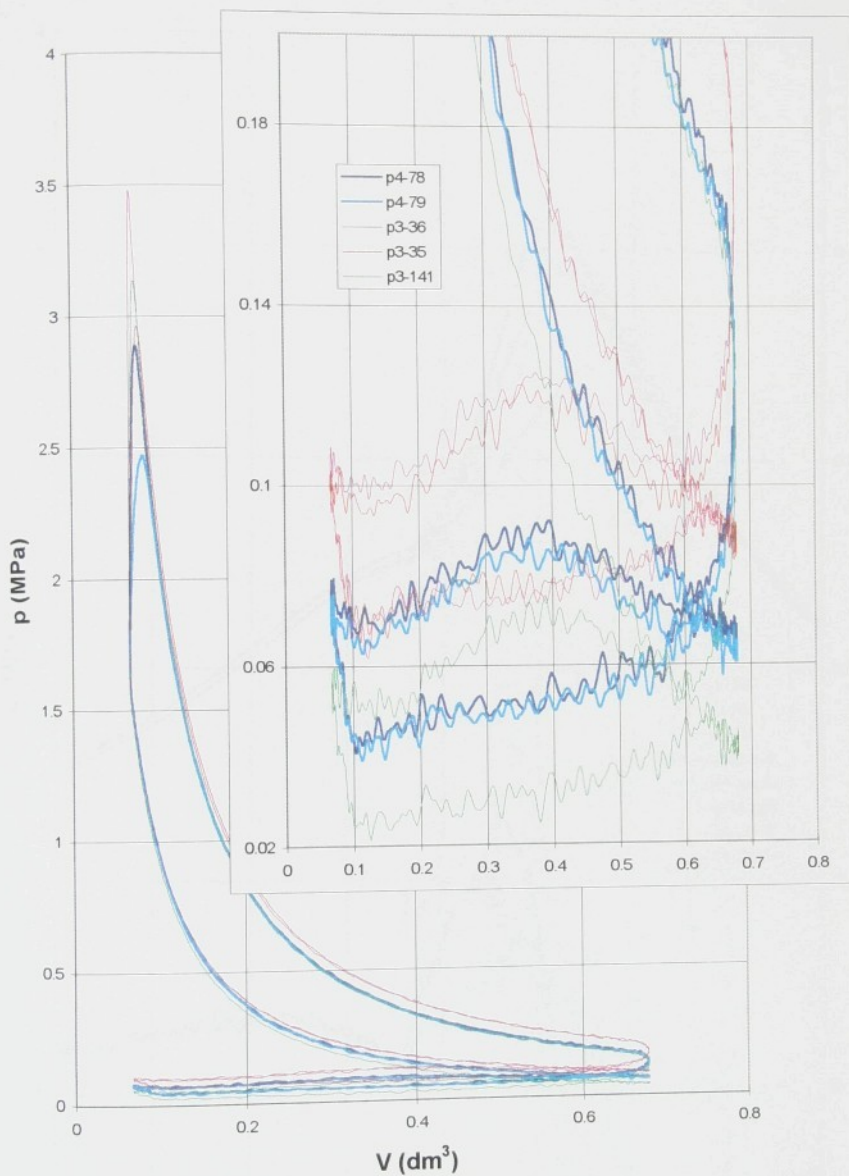
p10 - vefukování během komprese, $\lambda = 2.0$



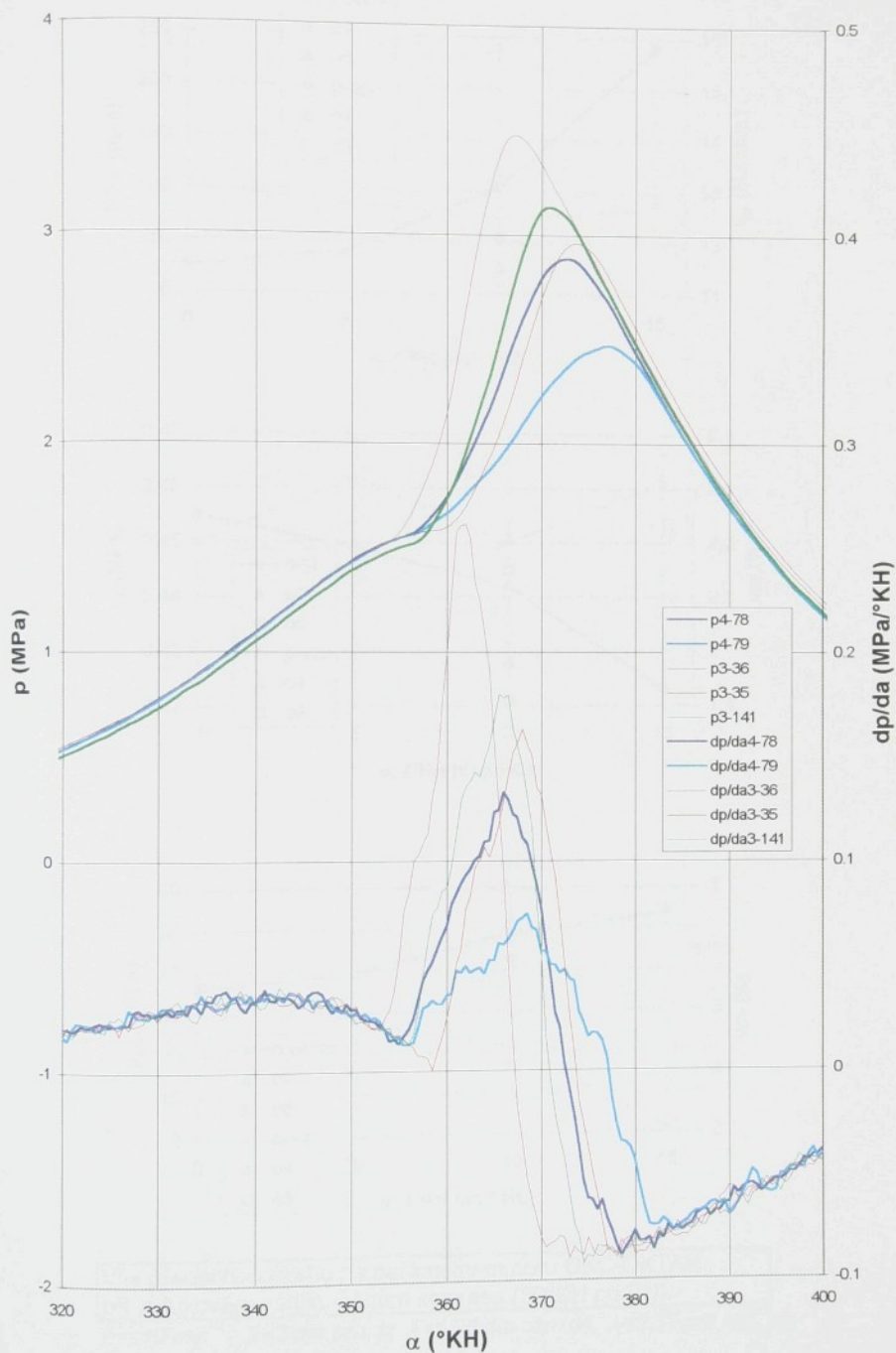


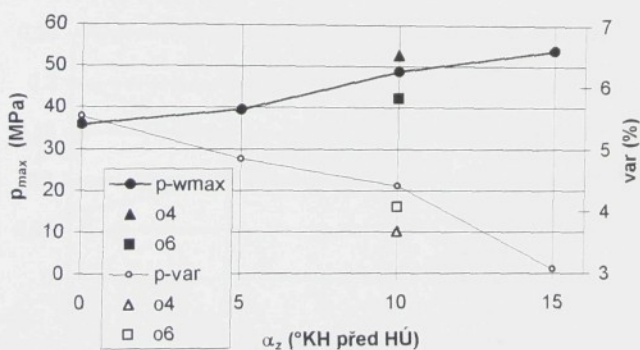
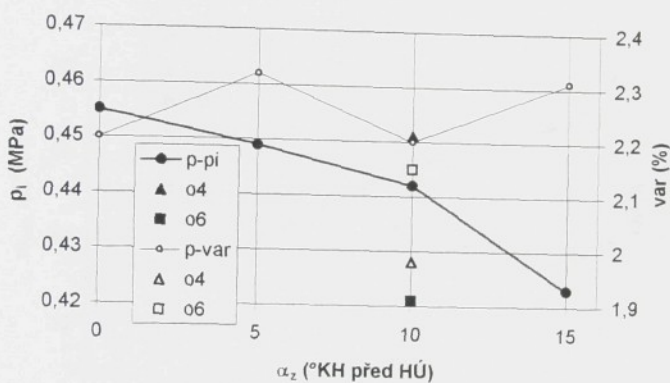
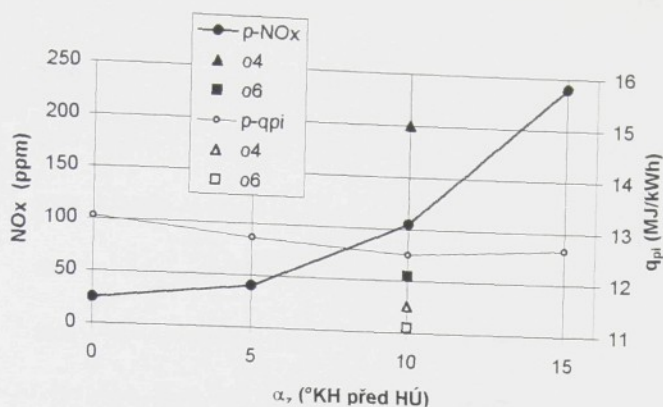
Průběhy tlaků ve válci motoru OKC-OKTAN spalujícího H₂ v režimech
 p_4 - vefukování během sání, $l=2.2$ (cykl 78, 79)
 p_{10} - vefukování během komprese, $l=2.0$ (cykl 62, 63, 114, 115)





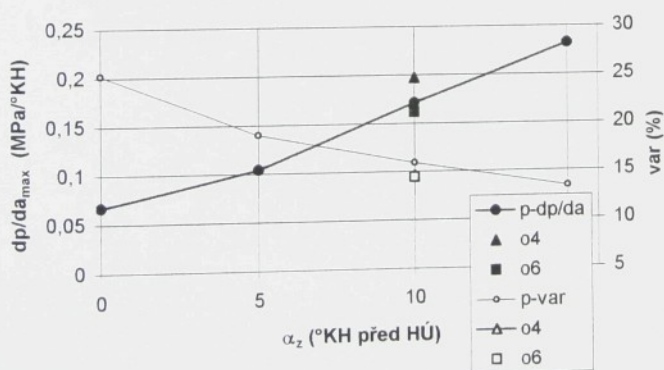
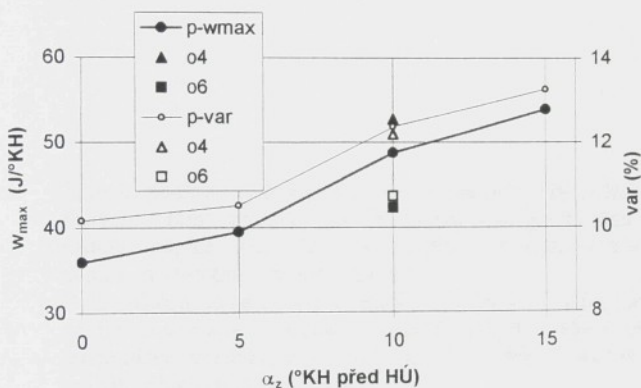
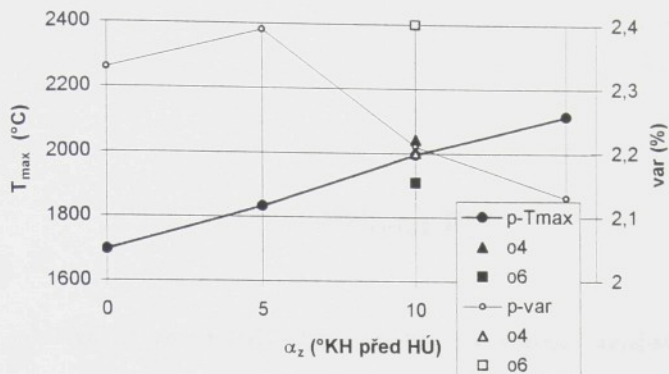
Průběhy tlaků ve válci motoru OKC-OKTAN spalujícího H₂ v režimech
 p4 - vefukování během sání, $\lambda = 2.2$ (cykl 78, 79),
 p3 - vefukování během sání, $\lambda = 1.9$ (cykl 141)





Vliv předstihu zážehu na parametry motoru OKC-OKTAN
při vefukování vodíku během komrese (50°KH po DÚ)

$n=910 \text{ min}^{-1}$; $\lambda=2$ pro ozn. p ; $\lambda=1.96$ pro ozn. $o4$; $\lambda=2.17$ pro ozn. $o6$.



Vliv předstihu zážehu na parametry motoru OKC-OKTAN
při vefukování vodíku během komrese (50°KH po DÚ)

$n=910 \text{ min}^{-1}$; $\lambda=2$ pro ozn. p; $\lambda=1.96$ pro ozn. o4; $\lambda=2.17$ pro ozn. o6.

Příloha P11

Měření na motoru OKC-Oktan s vodíkovým palivem – nevířivé provedení

Souhrn: Zpráva podává výsledky měření na motoru OKC-OKTAN s vodíkovým palivem v rámci projektu GA ČR. Palivo bylo vefukováno přímo do nevířivé vzdušné náplně válce. Cílem bylo ověřit vliv výrazné změny víření vzdušné náplně na výstupní parametry motoru.

Bylo zjištěno, že nevířivé provedení v kombinaci s vefukováním do kompresního zdvihu je výhodné z hlediska dosažení vyšších středních indikovaných tlaků, jejich nízké variability a příznivé spotřeby paliva. Vyšší vývin oxidu dusíku je možné redukovat chudostí směsi.

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

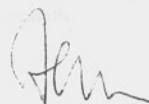
Katedra strojů průmyslové dopravy

MĚŘENÍ MOTORU OKC-OKTAN S VODÍKOVÝM PALIVEM - NEVÍŘIVÉ PROVEDENÍ -

Zpracoval: Ing. Celestýn Scholz, Ph.D.



Měřil: Ing. Celestýn Scholz, Ph.D.
Ing. Ladislav Zuzánek
Ing. Zuhdi Saihab



Vedoucí katedry: Prof. Ing. Stanislav Beroun, CSc.

Vedoucí úkolu: Prof. Ing. Zdeněk Kovář, CSc.

Č. úkolu: GAČR 101/97/S053
Č. zprávy: SM 357/99

Liberec, srpen 1999

Počet stran zprávy: 4
Počet příloh: 12
Počet stran celkem: 16

Úvod

Zpráva pojednává o souboru měření provedených v první polovině roku 1999 v rámci grantového úkolu GAČR „Pístový motor pro spalování vodíku – pohonná jednotka budoucnosti“ na upraveném zkušebním jednoválcovém motoru OKC-OKTAN v nevířivém provedení (místo sacího ventilu s vířivou clonou byl použit hladký ventil tvarově shodný s výfukovým ventilem).

Program měření byl stanoven v návaznosti na předchozí měření motoru OKC-OKTAN ve vířivém provedení (Zpráva SM 352/99- Analýza výsledků měření na motoru OKC-OKTAN s vodíkovým palivem).

Cílem bylo ověřit vliv výrazné změny víření a zvýšení hmotnostního naplnění válce (spočívající v redukci vírového čísla z 5.8 na 0.02 a snížení průtočné ztráty z $\mu\sigma_{str}=0.19$ na $\mu\sigma_{str}=0.32$) na výstupní parametry motoru a průměrné parametry ze 150 pracovních cyklů.

Tato zpráva podává přehled výsledků měření a jejich grafické zpracování. Podrobnější rozbor a diskuse bude předmětem připravované publikace.

Výsledky měření a jejich rozbor

Vlastní měření bylo prováděno porovnatelně s předchozí měřením (Zpráva 352/99) a rovněž vyhodnocení bylo provedeno shodným vyhodnocovacím softwarem.

Přehled měření je patrný z tabulky uvedené na příloze P1.

Jednotlivé parametry variant označené

H2com(0) - vefukování do komprese v nevířivém provedení

H2int(0) - vefukování do sání v nevířivém provedení

a pro porovnání vlivu víření varianty převzaté z předchozího měření (Zpráva 352/99) a označené

H2com - vefukování do komprese ve vířivém provedení

H2int - vefukování do sání ve vířivém provedení

jsou vyneseny v závislosti na součiniteli přebytku vzduchu (λ), viz přílohy P2, P3, P4, P5, P6, P7.

Takto získané výsledky na přílohách lze komentovat:

P2 -vývin oxidu dusíku (NO_x) se zvyšuje s rostoucí bohatostí směsi, a to při $\lambda < 2.5$ velmi prudce (při $\lambda = 2.5$ dosahují všechny varianty $\text{NO}_x < 100$ ppm a při $\lambda = 2$ již

$\text{NO}_x < 1000$ ppm). Výhodnější z hlediska vývinu NO_x se jeví vířivá varianta s vefukováním do komprese a nevířivá s vefukováním do sání.
 -indikovaná spotřeba paliva (m_i) vykazuje sice určitý rozptyl, ale pomocí regrese lze stanovit horší prognózu pro varianty s výhodnějším průběhem NO_x .

- P3** -střední indikovaný tlak (p_i) v celém sledovaném rozsahu λ dosahuje nejvyšších hodnot při nevířivém provedení s vefukováním do komprese. Vířivé provedení s vefukováním do komprese dosahuje nižších hodnot o 0.03 až 0.04 MPa, další snížení o 0.05 až 0.06 MPa bylo zaznamenáno u nevířivého provedení s vefukováním do sání. Vířivé provedení s vefukováním do sání se odlišuje od předcházejících variant značně pomalejším poklesem p_i v závislosti na růstu λ . Nižších hodnot p_i dosahuje jen při $\lambda < 2.5$.
 -variabilita středního indikovaného tlaku (VAR_{p_i}) je jednoznačně nejnižší u variant nevířivého provedení s vefukováním do komprese a u vířivého provedení s vefukováním do sání. Nejvyšší je pak u varianty nevířivého provedení s vefukováním do sání. Tendence průběhů VAR_{p_i} v závislosti na λ se celkem dobře shodují s průběhy m_i .
- P4** -hmotnostní naplnění válce vzduchem (M_{vzd}) je největší při nevířivém provedení s vefukováním do komprese. Varianty s vefukováním do sání vykazují nejnižší hodnoty M_{vzd} . V grafech jsou znázorněny závislosti M_{vzd} na λ i na p_i .
- P5** -maximální spalovací tlaky (p_{max}) jsou (v rozsahu $\lambda = 2$ až 3) zhruba srovnatelné mimo varianty nevířivého provedení s vefukováním do sání, která dosahuje nižších hodnot o 1 MPa.
 -maximální gradienty spalovacího tlaku ($dp/d\alpha$) vykazují obdobné tendence jako p_{max} .
- P6** -střední rychlost hoření ve fázi při niž shoří 0.5% přivedeného paliva ($w_{strd0.5}$) má u varianty nevířivého provedení s vefukováním do komprese jednoznačně odlišný průběh (vykazuje neobvykle vysoké rychlosti na počátku hoření).
 -střední rychlost hoření ve fázi při niž shoří 5% přivedeného paliva (w_{strd5}) vykazují obdobný průběh jako $w_{strd0.5}$, ovšem s menším rozdílem rychlostí. Nejpomaleji hoří v obou případech varianta nevířivého provedení s vefukováním do sání.
- P7** -střední rychlosti hoření ve fázi při niž shoří 50% přivedeného paliva (w_{strd50}) jsou již zhruba srovnatelné mimo pomalého hoření varianty nevířivého provedení s vefukováním do sání.
 -maximální rychlosti hoření (w_{max}) mají obdobný průběh jako w_{strd50} .

Dále jsou zkoumány závislosti parametrů na předstihu zážehu, viz přílohy **P8**, **P9**, při vefukování do komprese nevířivého (0) a vířivého provedení:

- P8** -střední indikovaný tlak (p_i) se zvětšováním předstihu zážehu (α_z) v rozmezí 0° až 15° před H.Ú. mírně klesá o 9% v obou provedeních, přičemž nevířivé provedení je posazené o 7% výše,
 -variabilita středního indikovaného tlaku (VAR_{p_i}) je menší u nevířivého provedení,

-vývin oxidu dusíku (NO_x) je větší a silněji roste se zvětšováním α_z u neviřivého provedení,

-indikovaná spotřeba paliva (m_i) je zhruba nezávislá na α_z a pro sledované $\lambda = 2$ je u vířivého provedení o 8% nižší.

P9 -všechny parametry $p_{\max}$, $dp/d\alpha$, $w_{\max}$ a $T_{\max}$ v závislosti na α_z rostou. Nižších hodnot je dosahováno u neviřivého provedení.

U neviřivého provedení byl sledován vliv počátku vefukování (mezi krajními polohami, tj. vefukování zhruba uprostřed sacího zdvihu (100°KH) a vefukování do čisté komprese (230°KH) na některé parametry, viz přílohy **P10** a **P11**. Další měřené body byly v D.Ú. (180°KH), tj. na konci sacího zdvihu a v poloze (210°KH), tj. v okamžiku zavření sacího ventilu.

Průběhy parametrů v závislosti na poloze vefukování jsou v přílohách **P10** a **P11** znázorněny pro dosud standardně nastavený kompresní poměr 10:1 (v legendě (10)). Pro informaci zde je vyneseno i bod měření při kompresním poměru 17.5:1 (v legendě (17)). Výsledky ukazují na to, že správné umístění počátku vefukování může mít významný vliv.

Mimo rámec programu měření byla informativně sledována výrazná změna kompresního poměru. Na příloze **P12** je kompresní poměr 10:1 označen (10) při cyklech č.16 a 17, kompresní poměr 17.5:1 označen (17) při cyklech č.8 a 9.

Je patrné, že při vyšším kompresním poměru je zvýšení kompresních tlaků zhruba dvojnásobné a při spalování je pak zvýšení gradientu tlaku $dp/d\alpha$ nad hodnotu gradientu kompresního tlaku. Při vybraném cyklu č.8 má gradient spalovacího tlaku dokonce dvě maxima. Střední indikovaný tlak je srovnatelný.

Závěr

Lze říci, že neviřivé provedení v kombinaci s vefukováním do kompresního zdvihu má pro spalování vodíku své výhody i nevýhody.

Výhodou jsou výrazně nejvyšší dosažitelné střední indikované tlaky (p_i) v celém sledovaném rozsahu λ při velice nízké VAR_{p_i} . Průběh spotřeby paliva je rovněž příznivý.

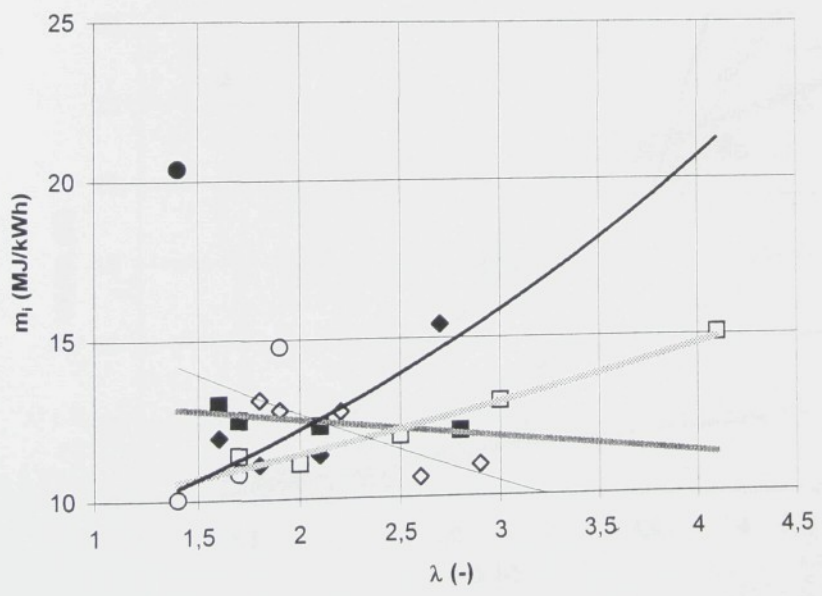
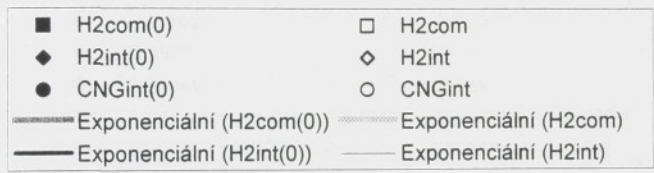
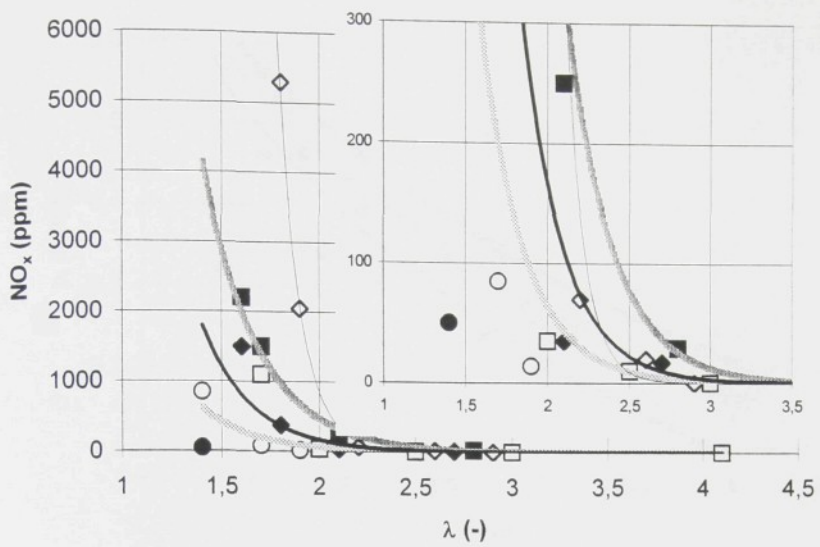
Nevýhodou je vyšší vývin oxidu dusíku (NO_x) při bohatosti směsi $\lambda < 3$. Při $\lambda = 3$ se již rozdíl stírají.

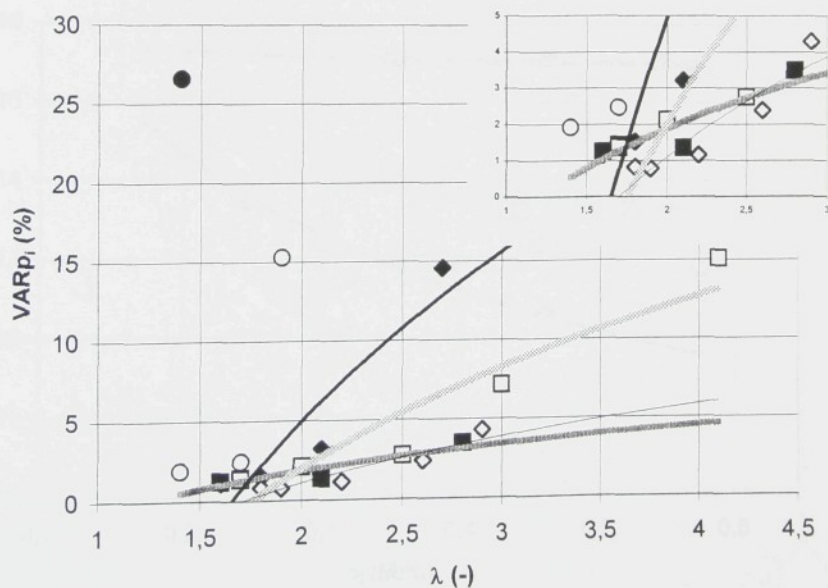
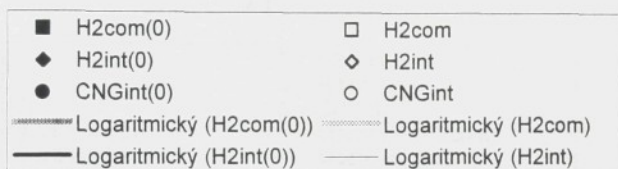
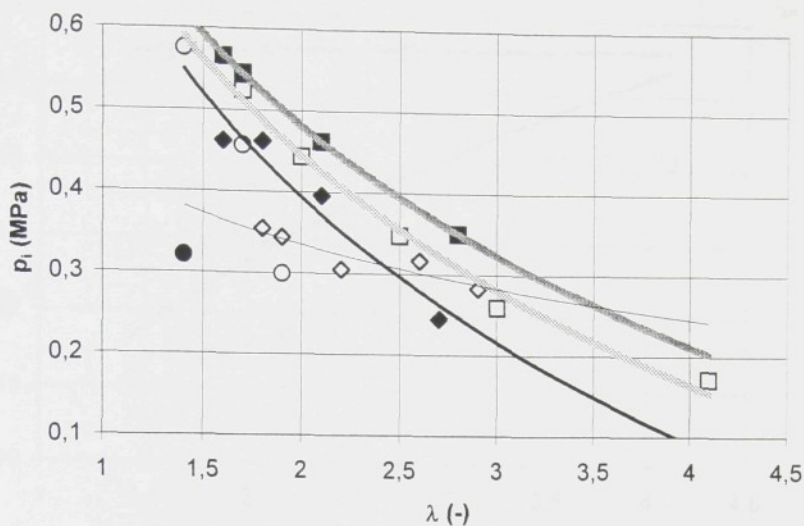
Při spalování zemního plynu absence víru způsobuje nerovnoměrné spalování s $\text{VAR}_{p_i} = 26$ a vysokou spotřebou paliva (viz přílohy **P2**, **P3** atd).

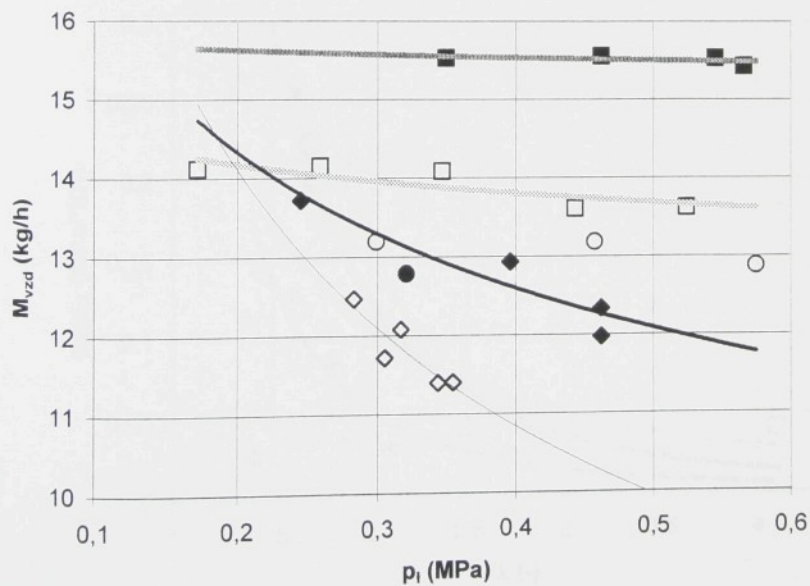
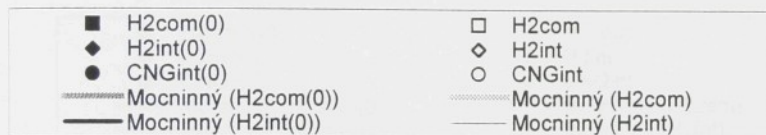
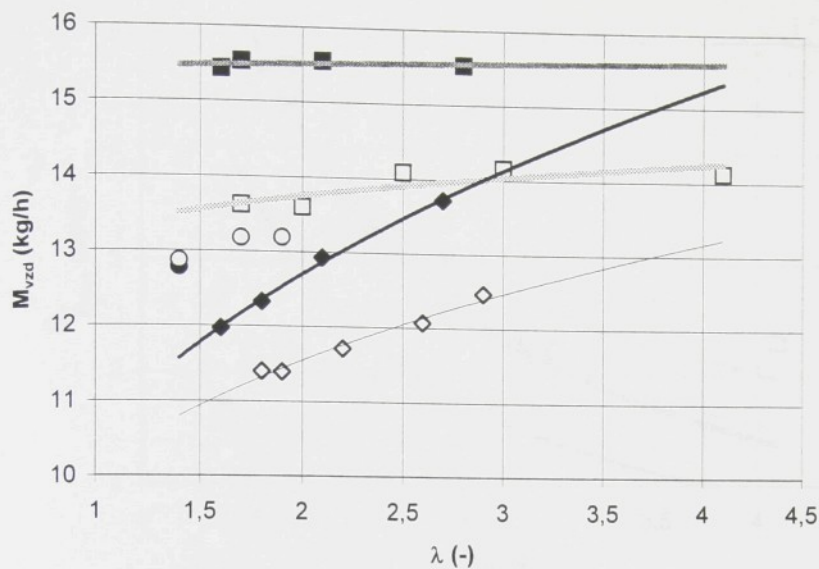
Potlačení radiálního víření vzdušné náplně válce v kombinaci s vefukováním do komprese je jistě vhodnou cestou k zvládnutí spalování vodíku v pístovém zážehovém motoru, což neplatí pro spalování zemního plynu (CNG) Mírné (optimalizované) víření v kombinaci s posunem počátku vefukování do oblasti sacího zdvihu nelze však v žádném případě vyloučit, zejména pro určitou část pole úplné charakteristiky motoru.

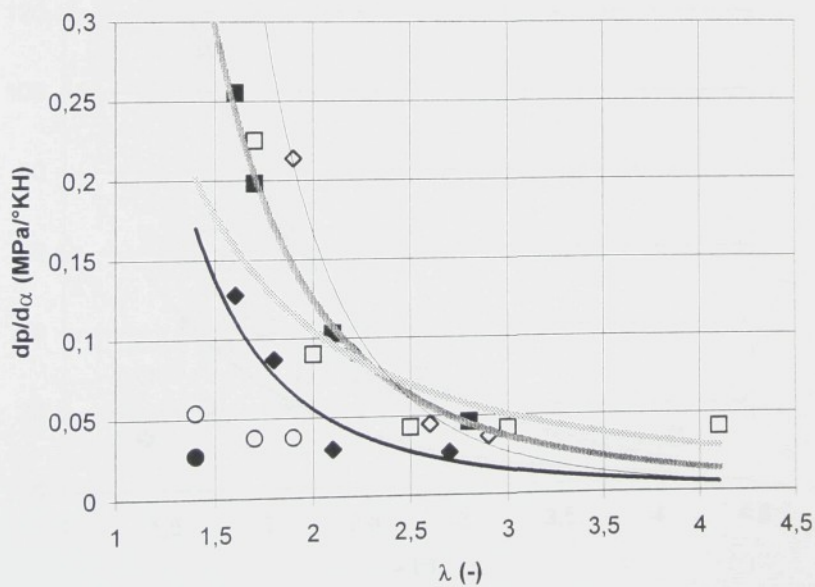
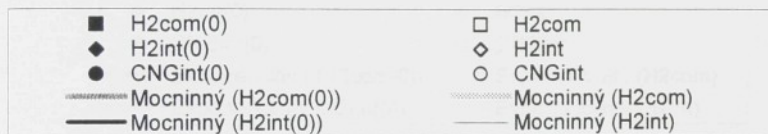
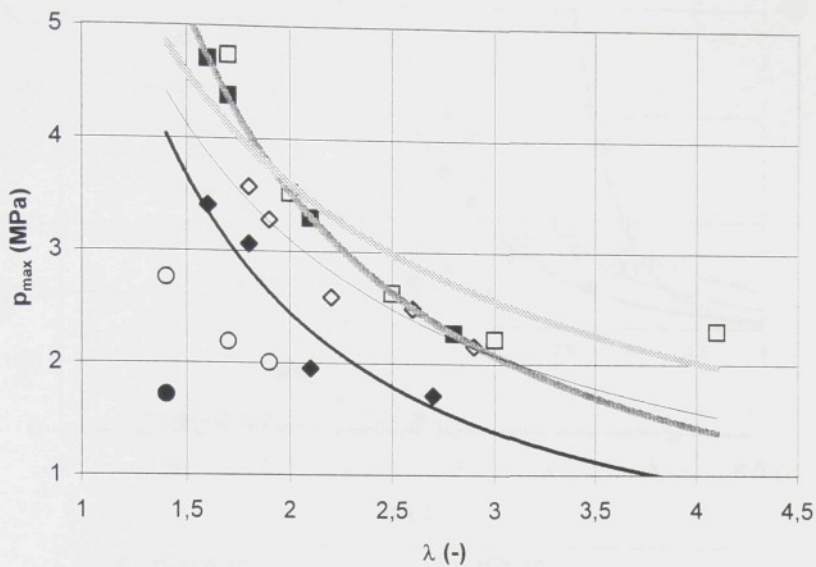
Oktan "17.5.1999

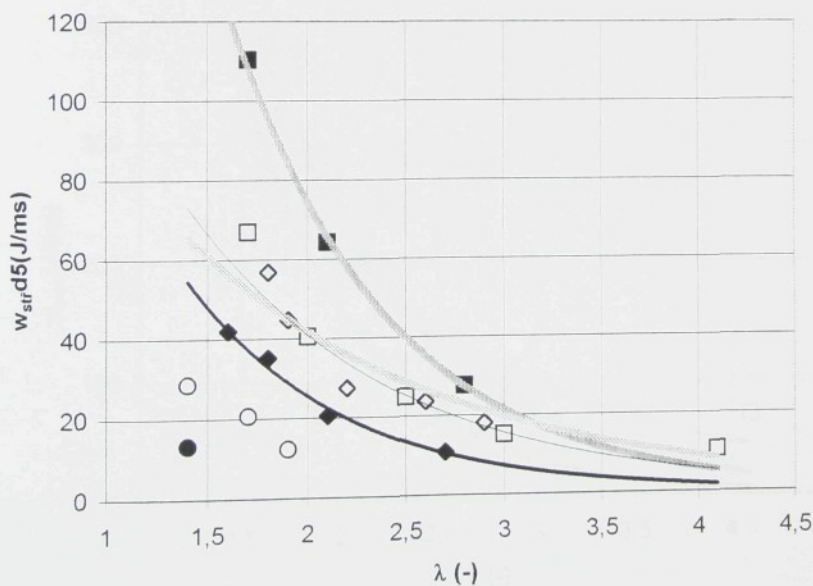
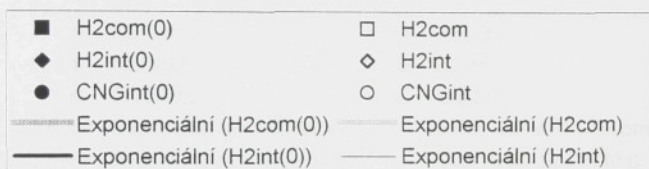
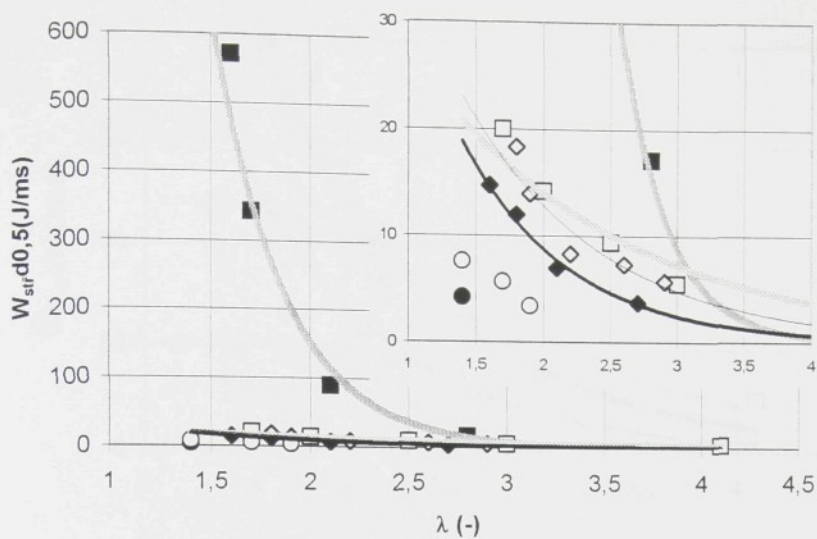
č. měř.	u	pbar kPa	vlhkost %	teplota °C	Mízd. m3	čas s	α K _{HP} DU	Mpal-měř kg/h	NOx ppm	HC ppm	p. vef. °KH	Vypočet Lt hust.vzd. kg/m3	Mízd. kg/h	λ vypoč.	λ zaokr.	λ	mi g/KWh	qi MJ/kWh	Hu MJ/kg	pl č. měř.
17	17	98,05	52	27,8	0,1	28,2	5		50	1220	100	17	1,128	14,394	1,40		407,74	20,39	50	0,321 17
1x	1x	98,05	52	23,4	0,1	33,45	5	0,198	370	24	100	34,307	1,146	12,331	1,80	1,815	92,75	11,09	119,62	0,462 1x
2	2	98,05	52	24,3	0,1	31,8	5	0,174	35	22	100	34,307	1,142	12,928	2,10	2,166	95,09	11,37	119,62	0,396 2
3	3	98,05	52	24	0,1	30	5	0,146	17	5	100	34,307	1,143	13,719	2,70	2,739	128,97	15,43	119,62	0,245 3
4	4	98,05	52	23,7	0,1	27,1	5	0,072	11	14	100	34,307	1,144	15,203	6,10	6,155			119,62	0,4
5	5	98,05	52	24,6	0,1	34,3	5	0,213	1500	20	100	34,307	1,141	11,972	1,60	1,638	99,78	11,94	119,62	0,462 5
6	6	98,05	52	24,3	0,1	26,3	5	0,263	1500	20	230	34,307	1,142	15,631	1,70	1,732	104,44	12,49	119,62	0,545 6
7	7	98,05	52	25	0,1	26,35	5	0,219	250	32	230	34,307	1,139	15,562	2,071	2,071	102,59	12,27	119,62	0,462 7
8	8	98,05	52	24,3	0,1	25,9	5	0,163	39	5	230	34,307	1,142	15,873	2,80	2,838	100,79	12,06	119,62	0,35 8
9	9	98,05	52	23,7	0,1	25,2	5	0,082	12	5	230	34,307	1,144	16,350	5,80	5,812	108,59	12,99	119,62	0,566 9
10	10	98,05	52	23,7	0,1	26,7	5	0,284	2200	34	230	34,307	1,144	15,431	1,60	1,584	99,67	11,92	119,62	0,469 10
11	11	98,05	52	25	0,1	26,4	0	0,216	150	14	230	34,307	1,139	15,532	2,066	2,066	100,21	11,99	119,62	0,469 11
12	12	98,05	52	24,6	0,1	26,4	10	0,213	500	10	230	34,307	1,141	15,555	2,10	2,129	106,22	12,71	119,62	0,461 12
13	13	98,05	52	25	0,1	26,4	15	0,214	800	22	230	34,307	1,139	15,532	2,16	2,16	106,22	12,71	119,62	0,436 13
14	14	98,05	52	24,6	0,1	26,4	5	0,213	130	13	210	34,307	1,141	15,555	2,19	2,19	97,46	11,66	119,62	0,473 14
15	15	98,05	52	25,3	0,1	26,4	5	0,211	30	11	180	34,307	1,138	15,515	2,143	2,143	96,34	11,52	119,62	0,474 15
16	16	98,05	52	26,2	0,1	31,25	5	0,172	12	4	100	34,307	1,134	13,068	2,20	2,214	95,20	11,39	119,62	0,391 16
1	1	98,05	52	21,8	0,1	32,7	5	0,162	15	130	100	34,307	1,152	12,668	2,263	2,263	94,25	11,27	119,62	0,372 1

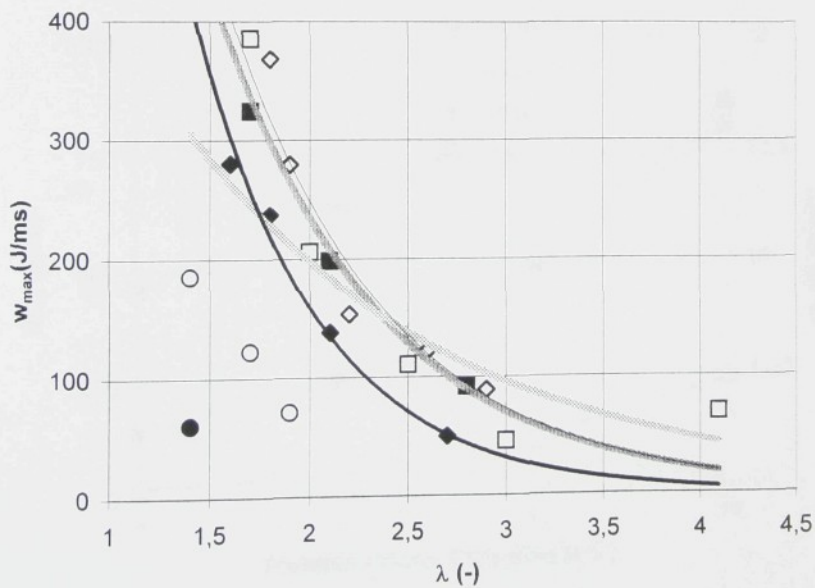
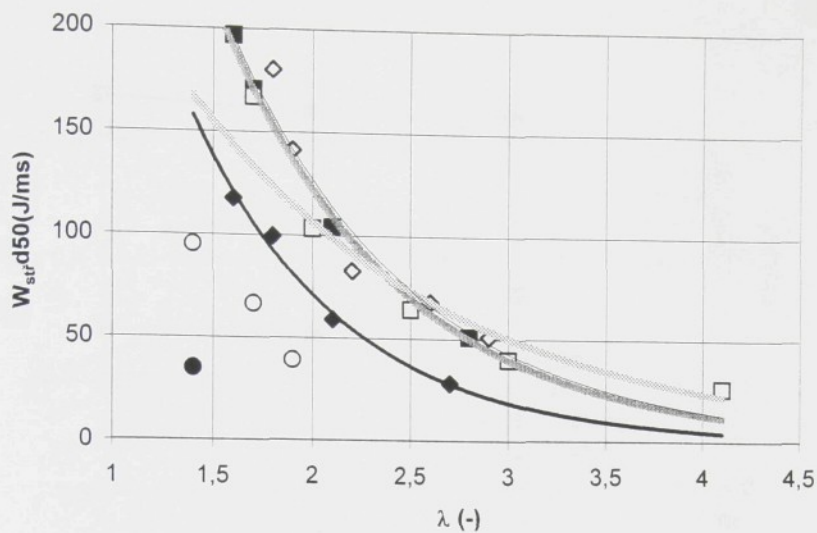


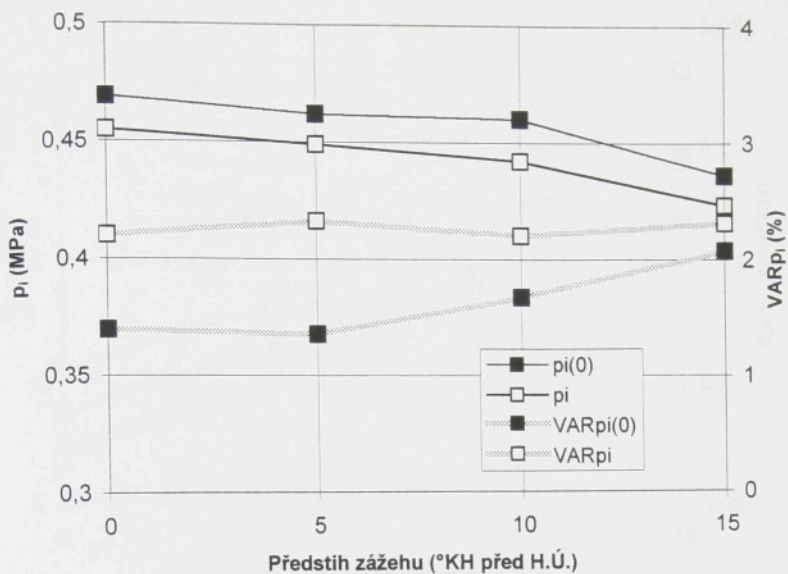






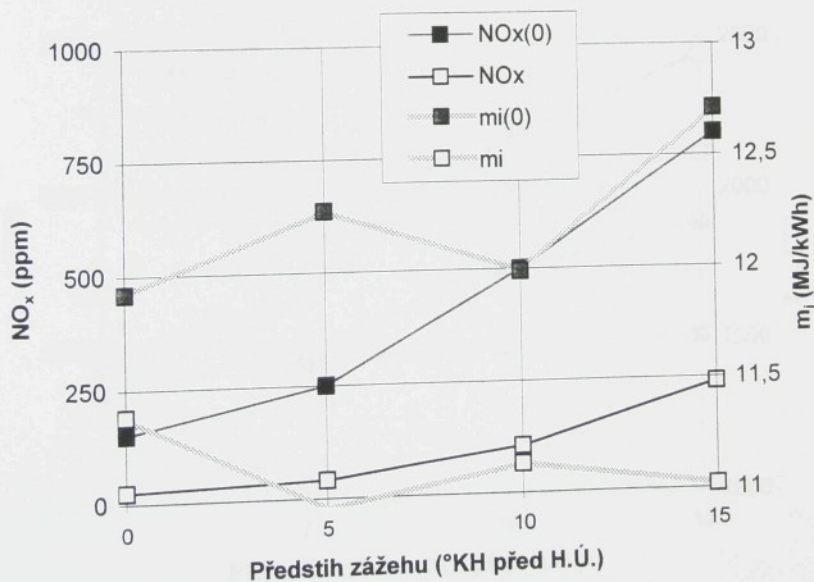


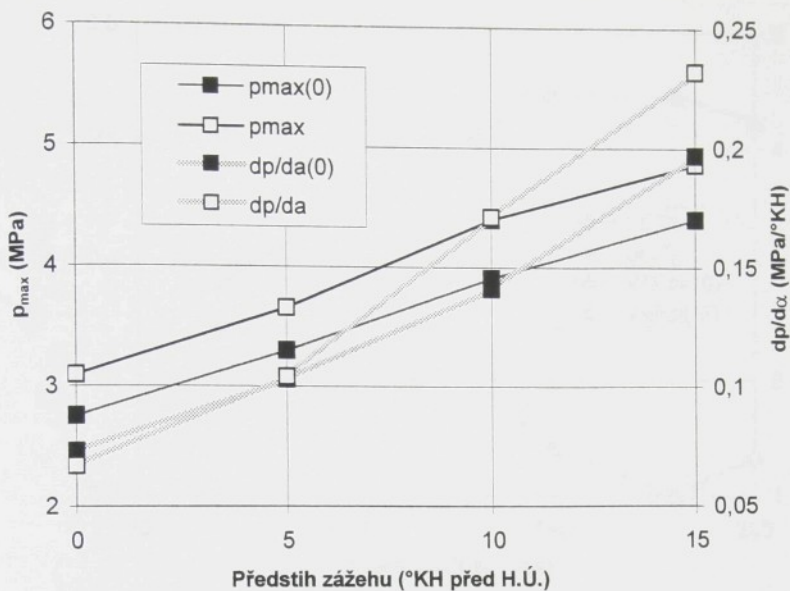




Vliv předstihu zážehu na parametry

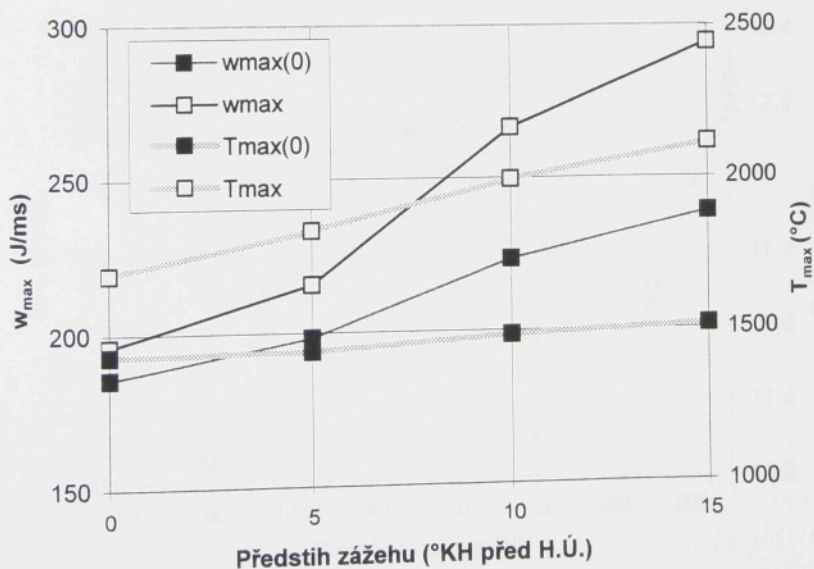
vefukování H_2 do komprese (230 °KH), kompresní poměr 10, $\lambda = 2.0$ až 2.1
vířivé a nevířivé (0) provedení

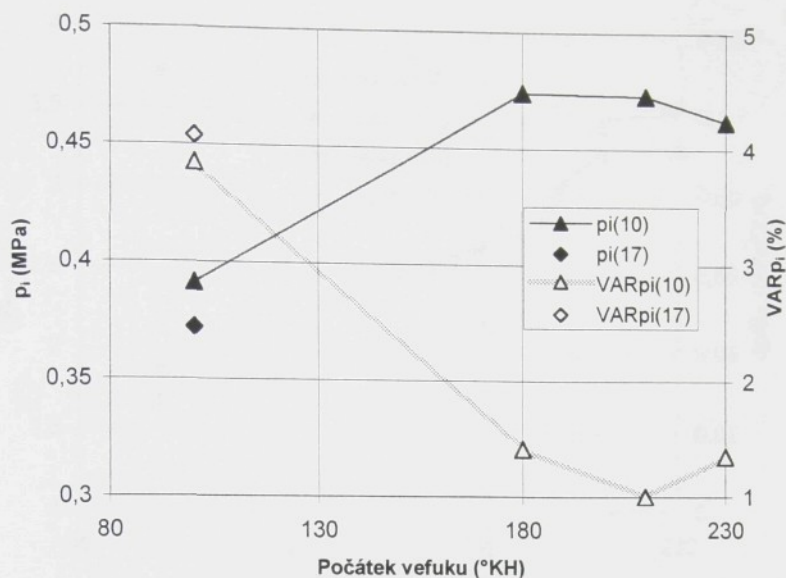




Vliv předstihu zážehu na parametry

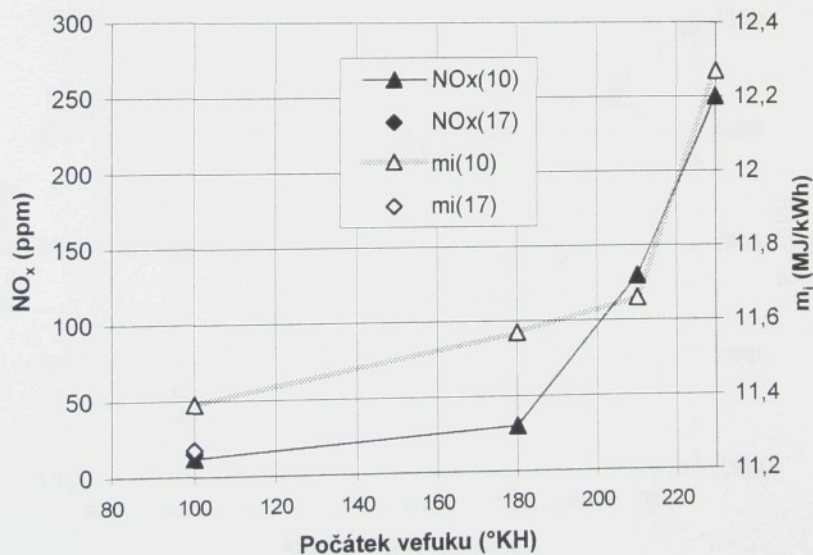
vefukování H_2 do komprese (230 °KH), kompesní poměr 10, $\lambda = 2.0$ až 2.1
vířivé a nevířivé (0) provedení

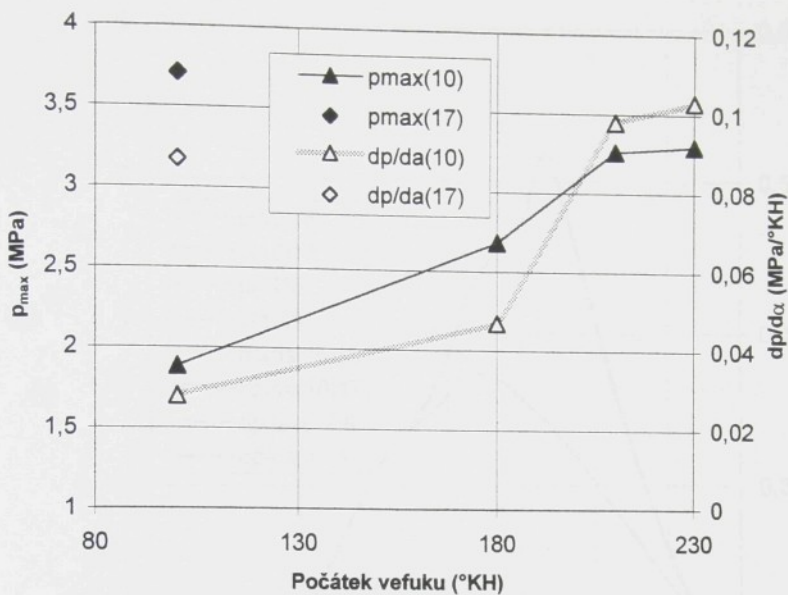




Vliv počátku vefuku paliva na parametry

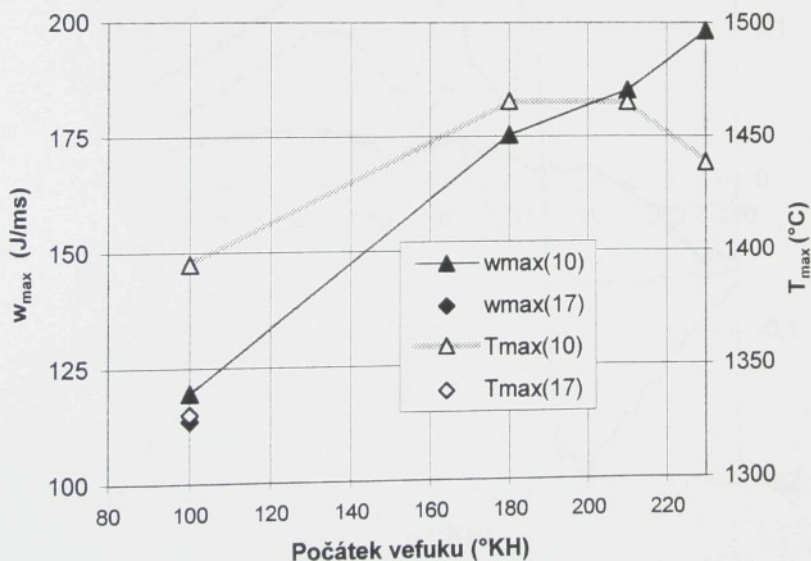
nevířivé provedení, předstih zážehu 5° před H.Ú., $\lambda = 2.1$ až 2.2
kompresní poměr 10 a 17

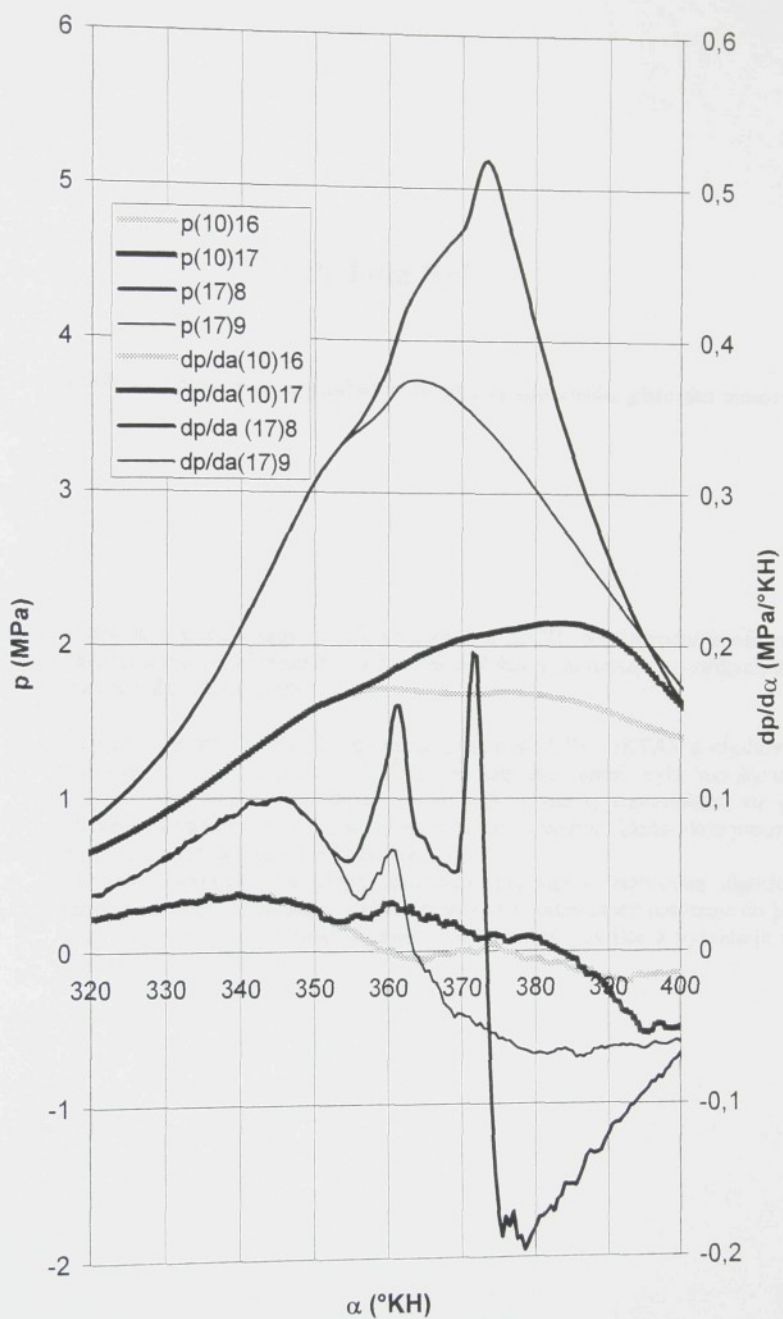




Vliv počátku vefuku paliva na parametry

nevířivé provedení, předstih zážehu 5° před H.Ú., $\lambda = 2.1$ až 2.2
kompresní poměr 10 a 17





Příloha P12

Vliv víření a komprese na spalování vodíku ve zkušebním pístovém motoru

Souhrn: Jedná se o publikovaný článek ve sborníku XXXI. Mezinárodní konference kateder a pracovišť spalovacích motorů českých a slovenských vysokých škol v Žilině, ŽU v roce 2000.

Článek pojednává o výsledcích měření na motoru OKC-OKTAN s vodíkovým palivem v rámci projektu GA ČR. Homogenita směsi byla modelována vefukováním paliva v odlišných pracovních zdvizích, tangenciální vír pro vířivé provedení byl generován clonkou na sacím ventilu. Změnu kompresního poměru umožňuje zkušební jednoválec.

Zkoumání vnitřních parametrů spalování (indikací a inverními algoritmy termodynamiky) vodíkového paliva při určitých podmínkách potvrzuje do jisté míry hypotézu vzniku nehomogenní směsi v místě jiskřiště a vysvětluje tak odlišné rychlosti hoření.

VLIV VÍŘENÍ A KOMPRESY NA SPALOVÁNÍ VODÍKU VE ZKUŠEBNÍM PÍSTOVÉM MOTORU

Celestýn Scholz¹, Josef Blažek²

Influence of whirl and compression on hydrogen combustion in experimental piston engine.

The combustion gathers from a series of measurements, which were pursued in 1999 at Technical University in Liberec by operation of experimental single-cylinder engine burning hydrogen fuel. Presentation of results of combustion process parameters and NO_x emissions is focused on verification of influence of air filling whirl-level and on compression-level by non-whirl version. Both influences are investigated by injection to the cylinder in course of intake stroke and compression stroke.

1 Úvod

Vzhledem ke snižujícímu se stavu světových zásob fosilních paliv se v posledních letech stále více věnuje pozornost spalování alternativních paliv v pístových motorech. Tato paliva by měla zčásti, nebo v budoucnosti zcela, nahradit dnes používaná paliva a současně řešit narůstající problém znečišťování ovzduší škodlivými zplodinami hoření a rovněž redukovat vývin CO₂.

Jednou možnou variantou je spalování vodíku v konvenčních pístových motorech. Tato varianta může v budoucnosti sehrát významnou roli pro nenásilný přechod k zcela novým energetickým systémům.

Je namístě připomenout myšlenku, kterou již v roce 1874 napsal spisovatel Jules Verne ve své knize –Tajuplný ostrov „Věřím, že jednoho dne vodík a kyslík, z nichž se skládá voda, sami nebo společně, budou použity jako nevyčerpatelné zdroje k výrobě tepla a světla“.

2. Oblasti experimentu

Příspěvek vychází ze souboru měření provedených v roce 1999 na pracovišti Technické univerzity v Liberci v rámci řešení grantového projektu GA ČR „Pístový motor pro spalování vodíku – pohonná jednotka budoucnosti“.

Práce probíhaly na upraveném zkušebním jednoválci OKC-OKTAN s vefukováním stlačeného vodíku přímo do válce atmosféricky plněným

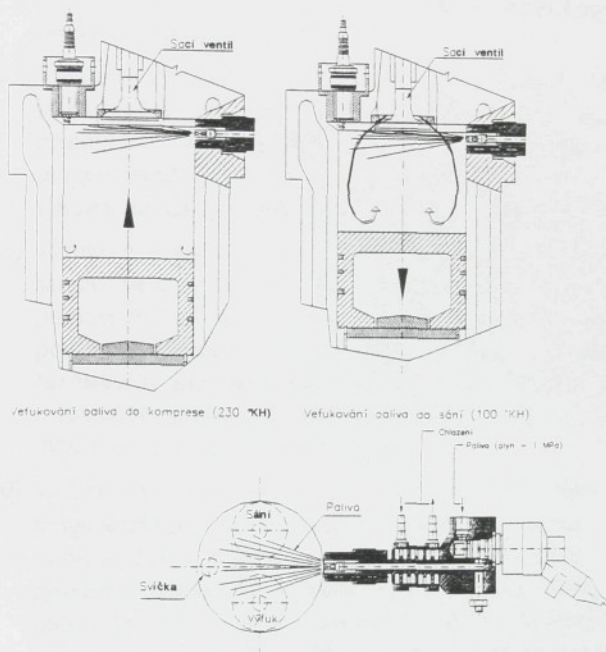
¹ Ing. Celestýn Scholz, PhD., Technická univerzita v Liberci, Česká republika, E-mail: celestyn.scholz@vslib.cz
tel. +420 48 5353155, fax. +420 48 5353139

² Ing. Josef Blažek, Technická univerzita v Liberci, Česká republika, E-mail: josef.blazek@vslib.cz
tel. +420 48 5353154, fax. +420 48 5353139

vzduchem. Zkušební jednoválcový zážehový motor s rozměrem válcové jednotky $\varnothing 82.5 \times 114.3$ a konstrukce vyfukovacího ventilu je blíže popsána v pracích [1 a 2]. Výsledky a zhodnocení prvních ověřovacích zkoušek, měření průběhů tlaku ve válci a jeho termodynamická analýza jsou publikovány v pracích [3 a 4].

Pro posouzení přípravy směsi s odlišnou homogenitou byl časován počátek výfuku paliva do válce v odlišných pracovních zdvích, jak znázorňuje obrázek 1., a to konkrétně v:

- sacím zdvihu (*int*) v místě 80°KH před dolní úvratí
- kompresním zdvihu (*com*) v místě 50°KH před horní úvratí.



Obr. 1 Tvorba směsi v sacím nebo kompresním zdvihu pracovního cyklu

Pro modelování tzv. vířivého provedení byl použit sací ventil s clonkou, který při sacím zdvihu generuje velmi intenzivní tangenciální pohyb vzduchu, ovšem za cenu vysoké průtočné ztráty (vírové číslo 5.8 při průtokovém součiniteli $\mu\sigma_{\text{str}}=0.19$). Pro tzv. nevířivé provedení byl použit naopak sací ventil bez clonky, který při nevířivém sacím kanálu zajišťuje absenci tangenciálního pohybu vzduchu ve válci a snižuje průtočné ztráty (vírové číslo 0.02 při průtokovém součiniteli $\mu\sigma_{\text{str}}=0.32$). Samotný proces plnění válce vede ovšem k vytvoření určitého proudového pole. Proudění vzduchu mezi sedlem a sacím

ventilem se rozšiřuje na prostor válce a generuje prstencové víření, které je pravděpodobně nestabilní a rychle se rozpadá. Ploché dno pístu způsobuje při kompresi pouze koutové víry u stěn válce.

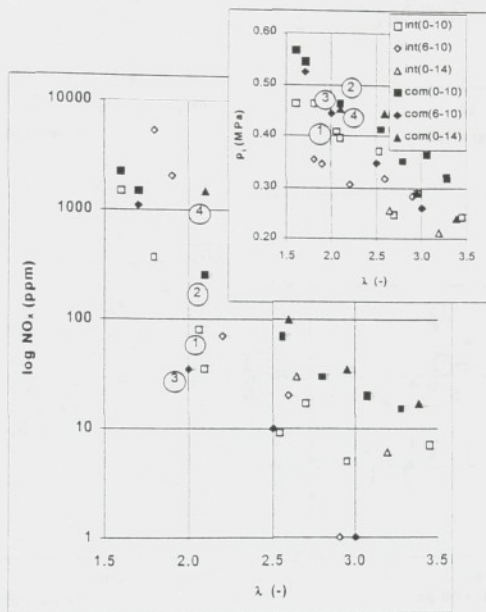
Kombinací dvou způsobů odlišného výfuku paliva a dvou způsobů pohybu vzduchu ve válci získáme pro základní kompresní poměr $\varepsilon=10$ čtyři základní možné varianty tvorby směsi:

- *int(0-10)* vyfukování paliva do válce v sacím zdvihu za absence tangenciálního víru a přítomnosti prstencového víření vzduchu znamená pomalé míšení obou složek, které pokračuje během komprese. Na konci komprese je pohyb směsi ovlivňován jen koutovými víry. Výsledkem je **nízká turbulence homogenní směsi** v místě jiskřiště svíčky.
- *int(6-10)* vyfukování paliva do válce v sacím zdvihu za přítomnosti intenzivního tangenciálního víření vzduchu znamená rychlé promíšení obou složek. Ke konci komprese je intenzita tangenciálního víření zesílena koutovými víry. Výsledkem je **vysoká turbulence homogenní směsi** v místě jiskřiště svíčky.
- *com(0-10)* vyfukování paliva do válce v kompresním zdvihu (po uzavření sacího ventilu) za absence tangenciálního víru znamená velmi pomalé míšení obou složek, které může být ke konci komprese poněkud zesíleno díky koutovým vírům. Výsledkem je **malá turbulence nehomogenní směsi**. Směr výfuku paliva je přitom orientován přímo na jiskřiště svíčky, což se příznivě projeví zvýšenou bohatostí v tomto místě.
- *com(6-10)* vyfukování paliva do válce v kompresním zdvihu za přítomnosti tangenciálního víření vzduchu představuje kratší čas k smíšení obou složek a míšení nemusí být ani dokončeno. Výsledkem je **poměrně vysoká turbulence nehomogenní směsi**. Směr výfuku paliva je přitom rovněž orientován přímo na jiskřiště svíčky, ale vlivem tangenciálního víření je dosud nesmíšené palivo udržováno ve středu válce (hmotnost paliva je nižší než vzduchu), což se nepříznivě projeví sníženou bohatostí v místě jiskřiště.

Zkoumání vlivu kompresního poměru bylo na základě předchozích orientačních měření omezeno na porovnání parametrů variant $\varepsilon=10$ a 14 v nevířivém provedení s dvojím časováním výfuku paliva do válce. K výše uvedeným variantám přibývají tedy *int(0-14)* a *com(0-14)*.

3. Vlastní experiment a jeho vyhodnocení

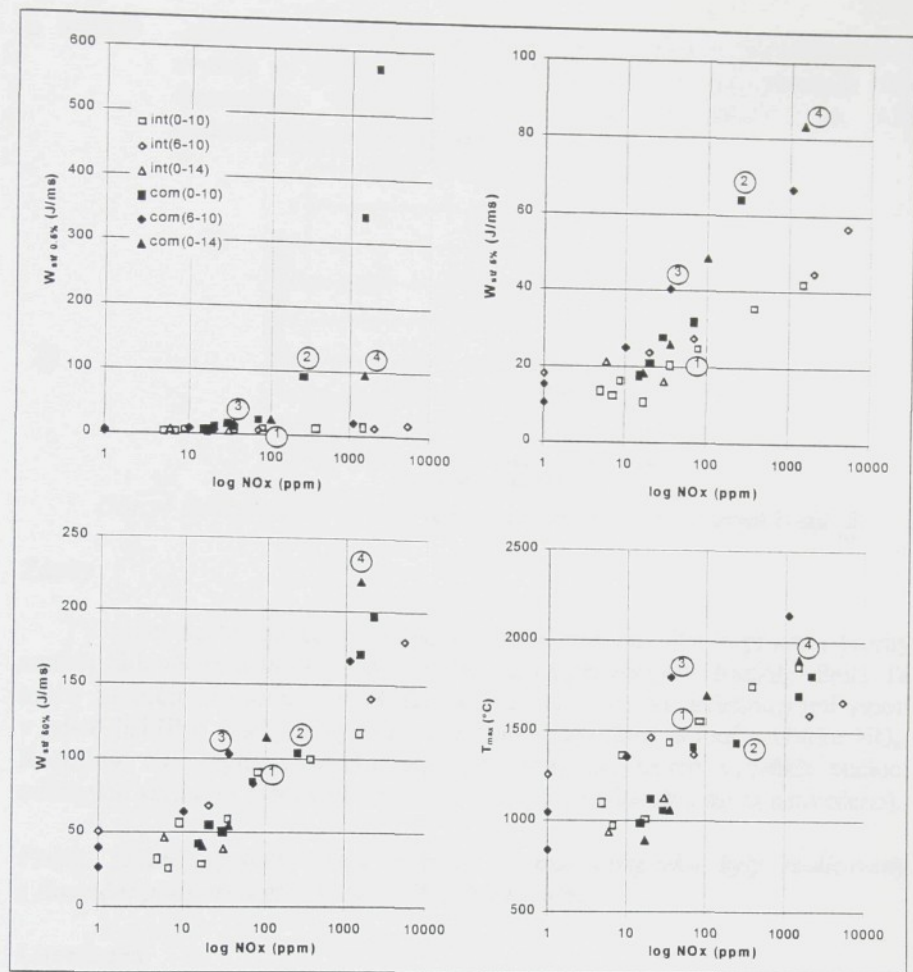
Experiment byl proveden s těmito hlavními měřicími přístroji: Beckman 951A- analýza koncentrace NO_x ; plynoměr GZDA fy Gaselan- množství vzduchu; hmotový průtokoměr Micro Motion- množství H_2 , sestava UEGO- zbytkový kyslík ve spalínách; měřicí a vyhodnocovací systém INDI- indikace průběhu tlaků ve válci a jeho termodynamické vyhodnocení; apod. Výsledky nejdůležitějších výstupních parametrů (NO_x a středního indikovaného tlaku p_i) v závislosti na součiniteli přebytku vzduchu λ jsou vyneseny v grafech na obrázku 2.



Obr. 2 NO_x a p_i v závislosti na λ pro jednotlivé varianty

Z grafů je patrné, že z hlediska dosažitelnosti nejvyššího středního indikovaného tlaku je nejvýhodnější varianta *com*(0-10). Tato varianta se sice vyznačuje vyšší tvorbou NO_x ve spalínách, které však jsou při $\lambda > 2$ ještě v mezích budoucích limitů. Mimo rozsah použitelnosti je varianta *int*(6-10) pro velmi nízký dosažitelný střední indikovaný tlak, způsobený vysokou ztrátou při plnění.

Pro hodnocení ostatních variant vůči nejvýhodnější je výhodné graficky porovnat i vnitřní parametry spalování (střední rychlosti definované jako množství paliva 0.5%, 5% a 50% spálené za jednotku času tj. $w_{stf0.5\%}$, $w_{stf5\%}$ a $w_{stf50\%}$ a maximální teplotu spalování T_{max}) v závislosti na NO_x , viz obrázek 3.

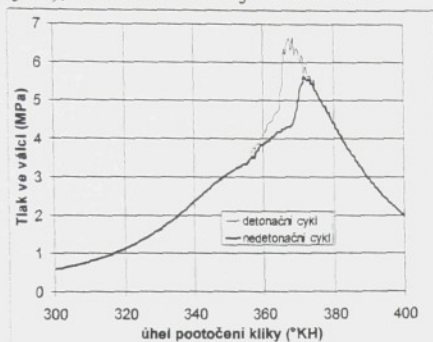


Obr. 3 Vnitřní parametry spalování v závislosti na NO_x

Porovnejme parametry pro konstantní $\lambda=2.1$:

- bod ① -int(0-10) -pomalé hoření nasvědčuje nízké turbulenci směsi v místě jiskřiště a odpovídá nízkému vývinu NO_x
- bod ② -com(0-10) -velmi rychlé hoření v počátečních fázích při nízké turbulenci svědčí o lokální bohatosti nehomogenní směsi v místě jiskřiště. Tomu odpovídá i zvýšená tvorba NO_x
- bod ③ -com(6-10) -středně rychlé hoření v počátečních fázích při předpokládané vysoké turbulenci svědčí naopak o lokální chudosti nehomogenní směsi v místě jiskřiště.

- bod ④ -com(0-14) –zvětšením kompresního poměru se rychlost hoření zvyšuje ve všech jeho fázích. Tento režim se již vyznačuje 10% detonačním spalováním (15 cyklů detonačních ze 150 sledovaných), což dokumentuje obrázek 4.



Obr. 4 Průběh tlaků ve válci dvou sousedních cyklů v režimu bodu ④

Závěr

V práci se hypoteticky a experimentálně zkoumá vliv (v procesu tvorby směsi) řádově nižší hustoty vodíkového paliva při různých druzích víření. Ta může za určitých podmínek výfuku paliva vést k vzniku nehomogenní směsi v místě jiskřiště svíčky a vysvětlit tak odlišné rychlosti hoření a tvorbu NO_x . Rozdílný vliv teplot spalování na vznik NO_x lze patrně vysvětlit pomocí odlišných variabilit pracovních cyklů (v práci pro nedostatek místa neuvedeno).

Práce, jejichž výsledky jsou uvedené v tomto příspěvku byly realizovány s finanční podporou grantu GR ČR č.101/97/S053.

Literatura

- [1] Farník,P.-Scholz,C.-Zuzánek,L.: Laboratorní jednoválec pro spalování vodíku a zemního plynu. In: XXIX.mezinárodní konference kateder a pracovišť spalovacích motorů slovenských a českých VŠ. Gabčíkovo 1998
- [2] Zuzánek,L.: Pístový motor pro spalování vodíku – vefukování paliva do válce. In: Motorsympo 99, Brno 1999
- [3] Takáts,M.: Pístový motor pro spalování vodíku – termodynamika pracovního oběhu. In: Motorsympo 99, Brno 1999
- [4] Scholz,C.: Variabilita pracovního procesu zážehového motoru při spalování vodíku. In: Motorsympo 99, Brno 1999

Lektoroval: Prof. Ing. Zdeněk Kovář, CSc.