

Vysoká škola strojní a textilní v Liberci  
nositelka Řádu práce

Fakulta strojní  
Katedra strojů průmyslové dopravy

Obor 23 - 20 - 8

stroje a zařízení pro strojírenskou výrobu

zaměření

stroje a zařízení pro průmyslovou dopravu

VLIV TEPLoty PROVOZNÍCH HMOT NA PARAMETRY

VZNĚTOVÉHO MOTORU

KSD - 160

Jiří P r o k o r á t

Vedoucí práce: Ing. Lubomír Moc, VŠST Liberec

Rozsah práce a příloh

Počet stran	: 59
Počet tabulek	: 11
Počet obrázků	: 10
Počet příloh	: 11

DT 621.431

10. května 1988

# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMELECKÉHO DÍLA, UMELECKÉHO VÝKONU)

pro Jiří Prokora

obor 23-20-8 stroje a zařízení pro strojírenskou výrobu

Vedoucí katedry Vám ve smyslu nařízení vlády ČSSR č. 90/1980 Sb., o státních závěrečných zkouškách a státních rigorózních zkouškách, určuje tuto diplomovou práci:

Název tématu: Vliv teploty provozních hmot na parametry  
vznětového motoru

## Zásady pro vypracování:

1. V rešeršní části sledujte vliv teploty plnicího vzduchu, paliva a chladicí kapaliny na výkonné parametry motoru, teplotu výfukových plynů a úroveň škodlivých exhalací.
2. Vyhodnocením experimentálních měření na přepínaném motoru stanovte tyto závislosti pro motory řady Liaz a formulujte příslušná doporučení.

VAST/885  
VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ  
Ústřední knihovna  
LIBEREC 1, STUDENTSKÁ 8  
PSČ 461 17

Motorový vektor  
metodický experimentální

Rozsah grafických prací:

Rozsah průvodní zprávy: cca 40 stran průvodní zprávy  
statistické zpracování naměřených výsledků

Seznam odborné literatury:

Kežoušek J.: Spalovací motory, SNTL Praha, 1971  
čas. Expres informace "Pístové motory a plynové  
motory"

Referativnyj žurnal "Dvigateli vnutrennego  
sgeranija"

Vedoucí diplomové práce: Ing. Lubomír Mec

Konzultant: Doc. Ing. Oldřich Červinka, CSc.

Datum zadání diplomové práce: 1. 12. 1986

Termín odevzdání diplomové práce: 10. 5. 1988

L.S.

  
Doc. Ing. Oldřich Červinka, CSc.

Vedoucí katedry

  
Doc. Ing. Ján Alaxin, CSc.

Děkan

v Liberci dne 1. prosince 1986

MÍSTOPŘÍSEŽNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Liberci, dne 10. května 1988

*Prokoraš*

## Obsah

1.	Použitá označení	7
2.	Úvod	10
3.	Rozebíraní parametrů motoru s vysokotlakým přeplňováním	11
4.	Provozní hmoty motoru	12
4.1	Palivo	13
4.2	Plnicí vzduch	13
4.3	Maziva	14
4.4	Chladicí kapalina	15
5.	Ideální oběh vznětového motoru	16
5.1	Teploty v jednotlivých bodech	16
5.2	Teoretická účinnost	17
5.3	Celkové množství tepla	17
6.	Dopravní účinnost	18
6.1	Vliv tlaku v konci sacího zdvihu	19
6.2	Vliv teploty a tlaku plnicího vzduchu	19
7.	Děje v reálném motoru	21
7.1	Stanovení teploty v konci plnění	21
7.2	Stanovení tlaku v konci plnění	22
7.3	Průběh stlačování	22
7.4	Expanze	23
8.	Příprava směsi a spalování	24
8.1	Průtah vznícení	24
8.2	Palivový paprsek	25
9.	Výkonové parametry motoru	26
9.1	Faktory působící na výkon motoru	28
9.2	Závěry měření na motoru 6S 275	29

10.	Vznik škodlivých emisí ve spalovacím motoru	30
10.1	Naftové motory	32
10.1.1	Vliv součinitele přebytku vzduchu	33
10.1.2	Vliv teploty a tlaku plnění	33
10.1.3	Vliv teploty chladiva	34
10.1.4	Vliv předstihu vstřikování	34
10.1.5	Vztahy mezi produkty nedokonalého spalování	35
11.	Statistické vyhodnocování naměřených výsledků	36
11.1	Regresní analýza	36
11.2	Kontrola parametrů motoru statistickými metodami	38
11.2.1	Metodika výpočtu	39
12.	Měření na přeplňovaném motoru M 2.4 R	42
12.1	Blokové schéma měřicího stanoviště	42
12.2	Základní parametry motoru	42
12.3	Měření vlivu změny tepelných stavů měření č.1	44
12.3.1	Postup měření	44
12.3.2	Výsledky měření	44
12.3.3	Závěr měření	46
12.4	Měření vlivu teplot provozních hmot	47
12.4.1	Postup měření	47
12.4.2	Výsledky měření	47
12.4.3	Závěr měření	49
12.5	Měření vlivu teplot provozních hmot	50
12.5.1	Postup měření	50
12.5.2	Výsledky měření	50
12.5.3	Závěr měření	51

13. Závěr	56
14. Použitá literatura	58
15. Seznam příloh	59

1.0 Použitá označení

$a$	/ - /	součinitel tlakové ztráty
$c_p$	/ J/kgK /	měrné teplo při stálém tlaku
$c_v$	/ J/kgK /	měrné teplo při stálém objemu
$H_u$	/ J/kg /	měrná výhřevnost paliva
$i$	/ - /	počet válců
$k$	/ % /	stupeň kouřivosti naftového motoru
$L_{vt}$	/ kg /	teoretické množství vzduchu
$m_{pe}$	/ g/kWh /	měrná spotřeba paliva
$M_k$	/ Nm /	kroučící moment motoru
$n$	/ #/min /	výpočtové otáčky motoru
$n_1$	/ - /	polytropický exponent pro kompresi
$n_2$	/ - /	polytropický exponent pro expanzi
$p$	/ MPa /	tlak ve válci motoru
$p_a$	/ MPa /	tlak na konci sání
$p_b$	/ MPa /	tlak na konci expanze
$p_c$	/ MPa /	tlak na konci komprese
$p_e$	/ MPa /	střední užitečný tlak
$p_i$	/ MPa /	skutečný indikovaný tlak
$p'_i$	/ MPa /	střední indikovaný tlak
$p_r$	/ MPa /	tlak výfukových plynů
$p_K$	/ MPa /	tlak dodávané náplně
$p_T$	/ MPa /	tlak před turbínou
$p_Z$	/ MPa /	maximální tlak oběhu
$p_0$	/ MPa /	atmosferický tlak
$P_e$	/ kW /	užitečný výkon motoru
$Q'_1$	/ MJ /	teplo přivedené do oběhu při konst. objemu
$Q''_1$	/ MJ /	teplo přivedené do oběhu při konst. tlaku
$Q_1$	/ MJ /	celkové množství tepla přivedeného do oběhu
$Q_2$	/ MJ /	teplo odvedené z oběhu při konst. objemu



$t_{D1}$	/ °C /	teplota vzduchu před dmychadlem
$t_{D2}$	/ °C /	teplota vzduchu za dmychadlem
$t_{D3}$	/ °C /	výstupní teplota vzduchu z mezi- chladiče
$t_N$	/ °C /	teplota nafty
$t_o$	/ °C /	teplota oleje
$t_p$	/ °C /	teplota plnicího vzduchu
$t_w$	/ °C /	teplota chladicí kapaliny
$t_{w1}$	/ °C /	teplota vody na vstupu do mezi- chladiče
$t_{w2}$	/ °C /	teplota vody na výstupu z mezi- chladiče
$t_{1T1}$	/ °C /	teplota výfukových plynů 1., 2. a 3. válce
$t_{2T1}$	/ °C /	teplota výfukových plynů 4., 5. a 6. válce
$T_a$	/ K /	teplota v konci plnění
$T_b$	/ K /	teplota v konci expanze
$T_c$	/ K /	teplota v konci komprese
$T_r$	/ K /	teplota zbylých spalin
$T_r'$	/ K /	teplota v okamžiku uzavření výfukového ventilu
$T_K$	/ K /	teplota dodávané náplně
$T_Z$	/ K /	max. teplota oběhu u benzínových motorů
$T_Z'$	/ K /	max. teplota oběhu u naftových motorů
$\Delta T$	/ K /	ohřev postupující náplně
$V_a$	/ $dm^3$ /	celkový objem válce
$V_b$	/ $dm^3$ /	objem v konci expanze
$V_c$	/ $dm^3$ /	objem spalovacího prostoru
$V_Z$	/ $dm^3$ /	zdvihový objem
$V_Z'$	/ $dm^3$ /	objem v bodě $z'$

$\alpha$	/ ° /	úhel natočení klikového hřídele
$\beta$	/ - /	stupeň izobarického spalování
$\delta$	/ - /	stupeň expanze
$\delta_T$	/ - /	součinitel teplotní změny
$\epsilon$	/ - /	stupeň stlačení
$\eta_d$	/ - /	dopravní účinnost
$\eta_i$	/ - /	indikovaná účinnost
$\eta_{mv}$	/ - /	mechanická účinnost
$\eta_o$	/ - /	objemová účinnost
$\eta_p$	/ - /	plnost diagramu
$\eta_{t,sp}$	/ - /	teoretická účinnost smíšeného oběhu
$\bar{p}$	/ - /	izochorické zvýšení tlaku
$\bar{p}_{zbl}$	/ - /	součinitel zbylých spalin
$\kappa$	/ - /	adiabatický exponent
$\lambda$	/ - /	součinitel přebytku vzduchu
$\xi_1$	/ - /	součinitel poměru měrného tepla spalin při teplotě $T_r$ a měrného tepla nasávaného vzduchu při teplotě $T_a$
$\xi_2$	/ - /	součinitel uvažující vypláchnutí spalovacího prostoru
$\xi_3$	/ - /	součinitel uvažující dodatečné naplnění válce
$\pi_k$	/ - /	stlačení v kompresoru
$\rho_v$	/ kg/m <sup>3</sup> /	měrná hmotnost plnicího vzduchu
$\tau$	/ - /	součinitel udávající pracovní cyklus motoru

2.0 Úvod

Naftové motory jako důležitý zdroj energie se prakticky uplatňují téměř ve všech odvětvích národního hospodářství. Od jejich vzniku jsou hledány cesty zvyšování jejich výkonu, technické dokonalosti a zlepšování hospodárnosti provozu. Nejvýznamnější z nich je přeplňování motorů, použité v devadesátých letech minulého století, ale plně se rozvíjející až po válce.

Typickým vývojovým jevem v oboru naftových motorů je zvyšování měrného výkonu při současném zvyšování životnosti, spolehlivosti, hospodárnosti provozu a zmenšování rozměrů i snižování hmotnosti motorů. Tomuto nejlépe vyhovují přeplňování motorů za účelem jeho zvýšení výkonu.

Vývoj se ubíral přes nízkotlaké přeplňování, kdy se u čtyřdobých motorů dosahovalo až 50% zvýšení výkonu oproti výkonu motoru s nasávaním, k výrobě čtyřdobých motorů s vysokotlakým přeplňováním. Pro nejhospodárnější provoz přeplňovaného motoru je nejlepší takové spojení turbodmychadla s motorem, kdy pro pohon dmychadla není třeba odebrat výkon motoru. Všechny dosud vyvinuté čtyřdobé motory s vysokotlakým přeplňováním tohoto principu použily.

Z konfrontace stavu čs. motorů vůči světové úrovni je účelný tento postup:

1. Soustředit vývojové kapacity na dosažení současné světové úrovně aplikací přeplňování ve výši asi 100% u dosavadních motorových řad 275 III, 350 II a 520 II a jejich urychlené zavedení do výroby a odbytu.
2. Provést urychlený výzkum těchto motorů na těžká paliva, např. plynná paliva.
3. V oblasti dráhových motorů dokončit vývoj motorů KV 220 a pokračovat v dalším trvalém zvyšování jejich parametrů.
4. ve výzkumné oblasti zvládnout intenzivní a komplexní výzkum vysokotlakového přeplňování se všemi jeho problémy.

Desavadní vývoj motorů je zaměřen na soustavné zvyšování středního užitečného tlaku, střední pístové rychlosti, otáček, zvyšování hospodárnosti, spolehlivosti a snižování škodlivých exhalací. Požadavky na zvyšování spolehlivosti se zvětšují mnohem progresivněji než požadavky na zvyšování ostatních základních parametrů motorů.

První část této diplomové práce zpracovává údaje dostupné z uvedené literatury, druhá část se týká vyhodnocení výsledků měření na motoru M 2. 4 R.

### 3. O Rozbor parametrů motoru s vysokotlakým přeplňováním

Nejvyšší dnes dosahované hodnoty středního užitečného tlaku u přeplňovaných čtyřdobých motorů se pohybují kolem 1,6 až 1,8 MPa u jednostupňového přeplňování. Při zvýšení výkonu motoru asi o 200% je nutno počítat se spalovacími tlaky nejméně 14 MPa. Zvyšování spalovacích tlaků umožňuje dosáhnout nižší spotřeby paliva v rozsahu 180 až 200 g/kWh.

Hodnota spalovacího tlaku má vliv i na teplotu výfukových plynů. U motorů MAN bylo při stejném středním užitečném tlaku dosaženo snížení teploty výfukových plynů asi o 100°C při zvýšení spalovacích tlaků o 0,15 až 0,3 MPa. Naproti tomu u motorů PIELSTICK mají nízké spalovací tlaky za následek stoupnutí teploty výfukových plynů před turbínou až na hodnotu 580°C. U motorů MAN je při stejném zatížení teplota výfukových plynů asi 500°C.

Přechod na vysokotlaké přeplňování vyžaduje i zvýšení hodnoty plnicího tlaku. Motory MAN dosahují středního užitečného tlaku 1,6 MPa při plnicím tlaku 0,265 MPa a také se uvádí, že pro vysokotlaké přeplňování je nutné poměrné stlačení v dmychadle 2,5 až 3. U motorů PIELSTICK je dosaženo užitečného tlaku 1,5 MPa při plnicím tlaku 0,2 MPa.

U motorů s vysokotlakým přeplňováním je nutno počítat se zvýšeným přebytkem vzduchu ve válci, který nejen zajišťuje vyšší účinnost pracovního cyklu a hospodárný provoz při vysokém výkonu motoru, ale je i vhodným regulátorem tepelného namáhání. Podle teoretických a experimentálních prací

je třeba, aby byl součinitel přebytku vzduchu větší než 2, k čemuž je nutno použít dmyhadla s vyšším stlačením vzduchu v rozmezí 2,5 až 3. Čím vyšší je součinitel přebytku vzduchu ve válci, tím příznivější jsou tepelně dynamické hodnoty motoru a teplota výfukových plynů zůstává v původních mezích.

Nejnižší měrnou spotřebu paliva při vysokotlakém přeplňování dosahují motory MAN a je to asi 170 g/kWh.

Z výsledků měření na těchto motorech vyplývá, že účinnost pracovního cyklu stoupá se zvyšujícím se kompresním poměrem, s větším přebytkem vzduchu a větším poměrem spalovacích a kompresních tlaků. Při maximálních spalovacích tlacích nad 12 MPa bylo dosaženo velmi vysoké celkové účinnosti asi 45%.

Vysokotlaké přeplňování vyžaduje intenzivní chlazení plnicího vzduchu, aby jeho teplota byla co nejnižší. Tím se dosáhne zvýšení hmotnostní náplně válce a současně snížení střední teploty cyklu, teploty pístu a výfukových plynů. Firma MAN používá pro některé případy ochlazení plnicího vzduchu až na teplotu vsání dmyhadla. U dráhových motorů, kdy je k dispozici jen teplejší chladicí voda asi 55°C, se ochladí plnicí vzduch asi na 80°C.

Kompresní poměr se používá v dosti širokém rozmezí 11 až 16, přičemž nižší hodnoty se používají u pomaloběžných motorů a pro motory rychloběžné se hodnota kompresního poměru zvyšuje.

#### 4.0 Provozní hmoty motoru

Provozními hmotami rozumíme palivo, plnicí vzduch, maziva a chladicí kapalinu.