

Vysoká škola strojní a textilní v Liberci
nositelka Řádu práce

Fakulta strojní

Obor 23-20-8

STROJE A ZAŘÍZENÍ PRO STROJÍRENSKOU VÝROBU
zaměření

stroje a zařízení pro průmyslovou dopravu

Katedra strojů průmyslové dopravy

KONSTRUKČNÍ ÚPRAVA VZNĚTOVÉHO MOTORU PRO
ČÁSTEČNOU RECIRKULACI NÁPLNĚ VÁLCE

KSD - 084

Roman MINAŘÍK

Vedoucí d. p.: ing. Stanislav Beroun, CSc.
Konzultant: ing. Ladislav Bartoníček

Počet stran:	82
Počet tabulek:	8
Počet obrázků:	29
Počet grafů:	9
Počet výkresů:	20
Počet jiných příloh:	0

DT 621.43.001.6

24. května 1985.

Vysoká škola: VŠST Liberec Fakulta: strojní

Katedra: strojů průmysl. dopravy Školní rok: 1984/85

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

pro Roman M i n a ř í k

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: Konstrukční úprava vznětového motoru pro částečnou recirkulaci náplně válce

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte, s ohledem na dřívější experimentální i konstrukční práce provedené na KSD v dané problematice, posouzení rozsahu potřebných úprav pro zlepšení provozních vlastností vznětového motoru při spouštění a chodu v nízkém zatížení cestou částečné recirkulace náplně válce a určete podmínky pro realizaci těchto úprav.
2. Zpracujte úplné konstrukční řešení zařízení na částečnou recirkulaci pro vozidlový motor LIAZ M634, resp. M640, s uvažováním prostorových možností při zástavbě motoru do vozidla a samočinného řízení činnosti zařízení při provozu motoru.
3. Zabývejte se ekonomickým hodnocením řešené úlohy.

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

V 51 / 85 5
KSD-SPD

Rozsah grafických prací: Sestava zařízení vč. rozpisky, výrobní výkresy hlavních dílů

Rozsah průvodní zprávy: min. 40 stran textu vč. výp očtové části

Seznam odborné literatury: Beroun S.: Provoz vznětového motoru s vypínáním válců a částečnou recirkulací
Sborník ČSVTS Žilina, 1983

Beroun S.: Spouštění vznětového motoru se sníženým stupněm komprese
výzk. zpráva, VŠST Liberec,
SM 153/76, 1976

Vedoucí diplomové práce: Ing. Stanislav Beroun, CSc.

Konzultant: Ing. Ladislav Bartoníček

Datum zadání diplomové práce: 1.12.1983

Termín odevzdání diplomové práce: 24.5.1985



O. Červinka
Doc. Ing. O. Červinka, CSc.
Vedoucí katedry

B. Striž
Doc. RNDr. B. Striž, CSc.
Děkan

v Liberci dne 1.12. 1983

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

Roman Jiráček

V Liberci dne 24. května 1985

OBSAH:

	str. 6
Přehled použitých označení a symbolů	8
ÚVOD	18
1-0 TEORETICKÁ ČÁST	19
1-1 Místo a způsob odběru spalin	19
1-1-1 Volba místa vhodného k odběru spalin	20
1-1-2 Návrh konstrukčního provedení odbočky	21
1-2 Regulační ventil	21
1-2-1 Volba parametrů ovlivňujících regulaci	
1-2-2 Návrhy regulace	26
- v závislosti na teplotě výfuk. plynů	26
--- pneumatické	29
--- hydraulické	31
--- elektrické	32
- v závislosti na tlacích	32
--- bez zesilovače	36
--- se zesilovačem	39
1-2-3 Návrhy ventilů	42
1-3 Převodní potrubí	42
1-3-1 Stanovení průřezu potrubí	46
1-3-2 Konstrukční provedení převodního potrubí	47
1-4 Návrh připojení do sacího potrubí	47
1-5 Konečné uspořádání	47
1-5-1 Výběr varianty odběru, typu ventilu a regulátoru	48
1-5-2 Zpracování výkresové dokumentace	48
1-5-3 Výpočet tuhosti pružin	

2-0 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	str. 53
2-1 Cíl měření	53
2-2 Měřicí stanoviště	54
2-3 Měření soustavy regulátor a ventil	55
2-3-1 Měření regulátoru mimo motor	55
2-3-2 Měření s regulátorem na motoru	55
2-3-3 Naměřené hodnoty	62
2-3-4 Měření a výpočet, úhrnného průt. součinitele μ	62
3-0 KONEČNÝ NÁVRH KONSTR. USPOŘÁDÁNÍ	77
3-1 Výpočet skutečného průměru rec. potrubí pro odběr za turbinou	77
3-2 Konstrukční uspořádání na motoru M 638	77
4-0 ZHODNOCENÍ	79
5-0 ZÁVĚR	81
Seznam použité literatury	82

PŘEHLED POUŽITÝCH OZNAČENÍ A SYMBOLŮ

i	/1/	..... počet válců
k	/Nmm ⁻¹/	..... tuhost pružiny
l	/mm/	..... délka
m_{pe}	/gkW ⁻¹ h ⁻¹/	..... měrná spotřeba paliva
n	/min ⁻¹/	..... otáčky
p_{D12}	/p _a/	..... tlak vzduchu před, resp. za dmychadlem
p_e	/p _a/	..... střední efektivní tlak
p_o	/p _a/	..... barometrický tlak
p_p	/p _a/	..... pracovní tlak
p_{T12}	/p _a/	..... tlak plynů před, resp. za turbinou
p_v	/p _a/	..... řídicí tlak
q	/J/	..... přivedené teplo
r	/Jkg ⁻¹/	..... universální plynová konstanta vzduchu
r_{sp}	/Jkg ⁻¹/	..... universální plynová konstanta spalin
t_{D12}	/°C/	..... teplota vzduchu před, resp. za dmychadlem
t_o	/°C/	..... teplota oleje
t_{T12}	/°C/	..... teplota plynů před, resp. za turbinou
t_w	/°C/	..... teplota vody
w	/J/	..... mechanická práce
x	/mm/	..... posunutí ventilu
y	/mm/	..... posunutí membrány
z	/%/	..... procentuální zatížení motoru
D	/mm/	..... průměr válce
M_K	/Nm/	..... točivý moment
P_e	/W/	..... jmenovitý výkon
S_m	/m ²/	..... plocha membrány
$S_{\check{s}}$	/m ²/	..... plocha průřezu šoupátka
T	/K/	..... absolutní teplota
V	/m ³/	..... objem
V_m	/m ³/	..... objem motoru
V_z	/m ³/	..... zdvihový objem

z	/mm/	.....	zdvih
γ	/K ⁻¹/	.....	součinitel objemové roztažnosti
Δ	/1/	.....	přírůstek
ε	/1/	.....	kompresní poměr
η_c	/1/	.....	účinnost celková
η_{ch}	/1/	.....	účinnost chemická
η_m	/1/	.....	účinnost mechanická
η_p	/1/	.....	účinnost plnosti diagramu
η_t	/1/	.....	účinnost teoretická
η_{td}	/1/	.....	účinnost termodynamická
μ	/1/	.....	úhrrný průtokový součinitel
$\bar{\kappa}$	/1/	.....	Ludolfovo číslo
ρ_{V20}	/kgm ⁻³/	.....	měrná hmotnost vzduchu při 20 °C
ρ_0	/kgm ⁻³/	.....	měrná hmotnost vzduchu při 0 K
ρ_V	/kgm ⁻³/	.....	měrná hmotnost vzduchu
ρ_{SP}	/kgm ⁻³/	.....	měrná hmotnost spalin
SN		.....	snímač
PO		.....	porovnávací člen
Z		.....	zesilovač
SM		.....	servomotor
M		.....	motor
KKK		.....	turbodmychadlo
B		.....	brzda
R		.....	regulátor
V		.....	ventil
MB		.....	morová brzda

ÚVOD

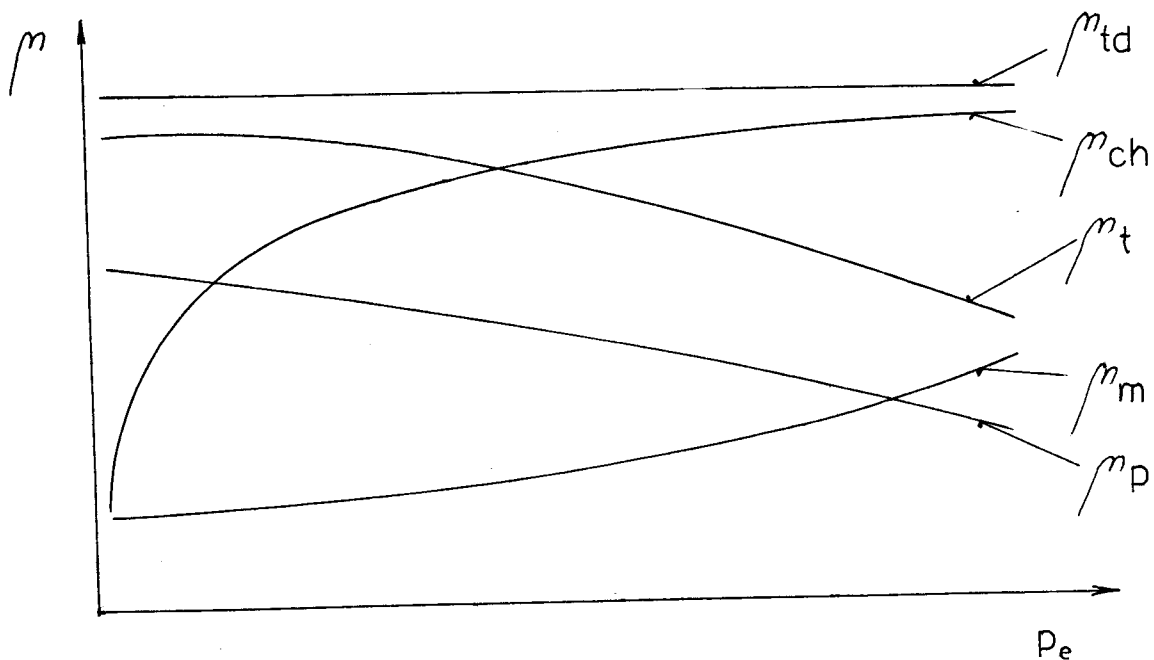
V souvislosti s novými předpisy, týkajícími se obsahu škodlivin ve výfukových plynech a s ohledem na nové požadavky provozu spalovacích motorů se pozornost odborníků stále častěji obrací ke zlepšení parametrů motoru v oblastech volnoběhu a chodu motoru v nízkém zatížení.

Mechanická práce w na výstupu motoru je dána součinem přivedeného tepla q a celkové účinnosti η_c /1/, která se skládá z teoretické účinnosti oběhu η_t , termodynamické účinnosti η_{td} , chemické účinnosti η_{ch} , účinnosti plnosti diagramu η_p a mechanické účinnosti η_m motoru /1/.

$$w = q \cdot \eta_c$$

$$\eta_c = \eta_t \cdot \eta_{td} \cdot \eta_{ch} \cdot \eta_p \cdot \eta_m$$

Všechny uvedené účinnosti vykazují určitým způsobem závislost na tepelném zatížení motoru /1/ /obr. 1/.



Obr. 1

Na obrázku 1 jsou schematicky zachyceny průběhy jednotlivých účinností v závislosti na středním efektivním tlaku p_e .

Teoretická účinnost s rostoucím zatížením mírně klesá, v oblasti volnoběhu a velmi malého zatížení je však její pokles zanedbatelný. Příčiny vyplývají z rozdílného přívodu tepla do teoretického a skutečného oběhu. Termodynamická účinnost je v oblasti tepelného zatížení motoru přibližně konstantní, protože vnitřní ztráty pracovní látky vznikající nehomogenitou a proměnlivostí rychlostí jsou v podmínkách práce motoru malé, s určitým zjednodušením je můžeme považovat za téměř stálé. Nedokonalost využití paliva, hodnocení oxidační reakce a vliv tvoření směsi zahrnuje chemická účinnost, která se vzhledem k způsobu vytváření směsi u vznětových motorů, zpočátku zvyšuje dosti výrazně. Účinnost plnosti diagramu je dána poměrem ploch indikovaného a teoretického diagramu. Vyjadřuje ztráty tepla prostupem stěnami spalovacího prostoru. Vlivem růstu součinitele prostupu tepla tato účinnost se zvyšováním tepelného zatížení klesá. Na mechanickou účinnost má vliv několik faktorů. Jsou to např. viskozita oleje, přizpůsobování součástí vzájemnému tvaru, což v důsledku vede ke snižování ztrátového výkonu a tím ke zvyšování mechanické účinnosti.

Z uvedených závislostí je vidět, že v oblasti nízkého zatížení chemická účinnost značně snižuje celkovou účinnost oběhu.

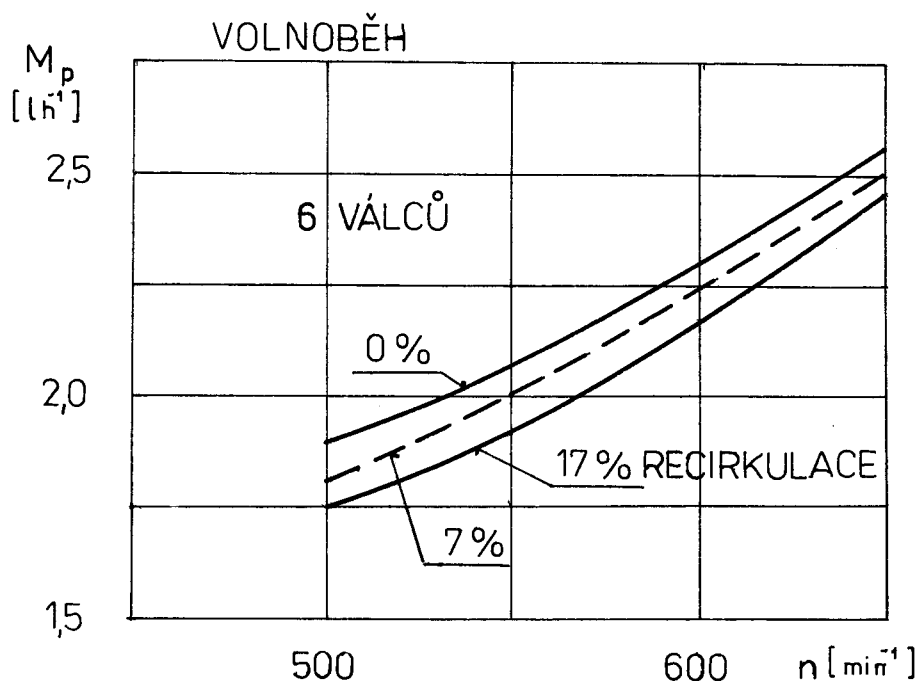
Ke způsobům zlepšení patří:

1. Odpojení skupiny válců, čímž by se ve zbývajících válcích vytvořily příznivější tepelné podmínky a došlo by ke zvýšení chemické a tím celkové účinnosti.
2. Převezením části horkých výfukových plynů, které obsahují kromě spalín ještě dostatek nespáleného kyslíku a nedokonalé spálených kysličníků, na vstup do motoru. Tím by se zlepšila tepelná bilance motoru, motor by se tolik neo-chlazoval a opět by byly vytvořeny podmínky pro dokonalejší

spalování, které by ve svých důsledcích vedlo nejen ke zlepšení indikované účinnosti, ale i snížení spotřeby paliva doprovázené snížením škodlivých emisí.

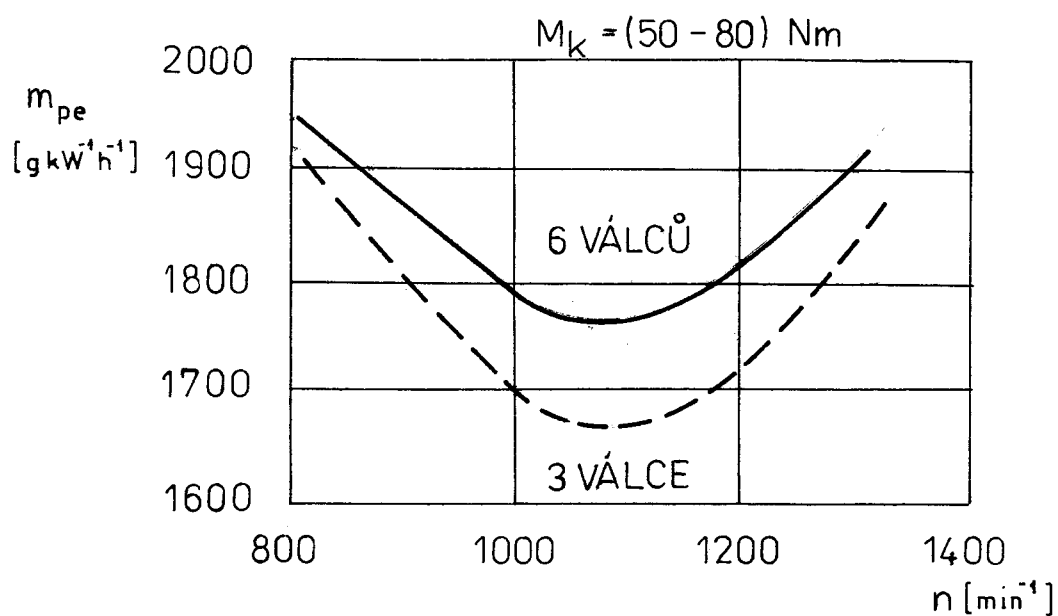
Měřením na motorech LIAZ M 634 a M 638 se ukázalo, že uvedené způsoby mají odlišné důsledky u přimonasávajících a přeplňovaných motorů. Zatímco u přimonasávajícího motoru M 634 vedlo odpojení skupiny 3 válců ke snížení spotřeby paliva /obr. 2/ u přeplňovaného motoru M 638 tomu bylo právě naopak /obr. 3/ /1/.

Vliv recirkulace výfukových plynů však souhlasil s předpokladem: spotřeba paliva se se zvyšujícím procentem recirkulovaných plynů snižovala /obr. 4/ /1/.

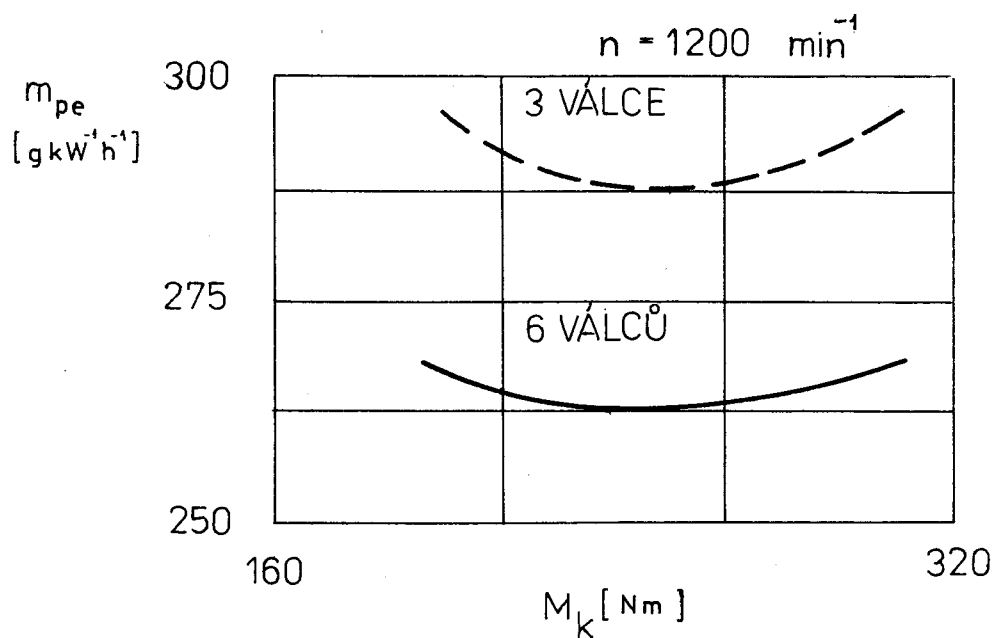


Obr. 4

Důležitým faktorem při recirkulaci spalín je snižování obsahu škodlivin ve výfukových plynech spojené se snižováním kouřivosti.



Obr. 2: Závislost měrné spotřeby paliva na otáčkách motoru M 634



Obr. 3: Závislost měrné spotřeby paliva na točivém momentu motoru M 638

Konkrétním příkladem by mohla být měření firmy Hitachi Shipbuilding Energ. Co. Ltd. prováděná na motoru

$i = 4$, $V_m = 2,6$ l, $D = 98$ mm, $Z = 92$ mm, $\ell = 18,7$,
 $n = 2000$ min⁻¹.

Spaliny byly v tomto případě ochlazovány vodním postřikem z 600 °C na 100 °C. Výsledky výzkumu jsou v tab. 1.

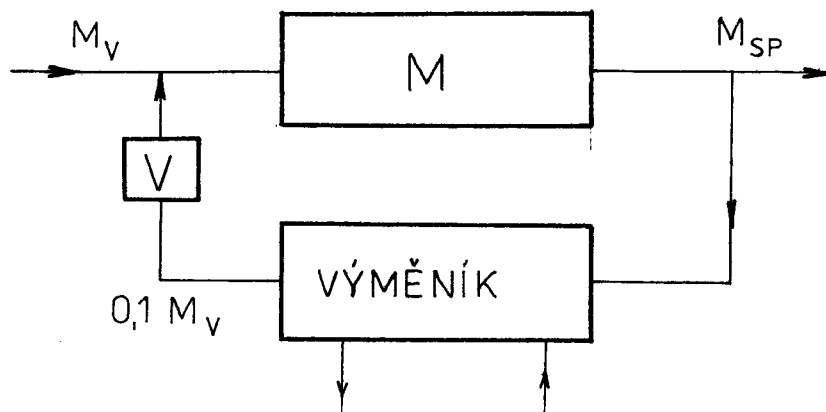
Výrazný pokles kouřivosti je způsoben právě chlazením vodním postřikem.

Cyklus	Zatížení / % /	P_e / MPa	Koef. zb. O_2	Kouřivost ed. Bosch	Konc. NO_x
Normální	50	0,24	2,59	0,8	1500-3000
	100	0,64	1,44	3,1	
Recirk.	50	0,29	2,84	0,04	158
	100	0,63	1,7	0,23	zanedb.

Tab. 1

Také obsah síry se v tomto případě snížil na zanedbatelných 0,01 - 0,04 % /2/.

Další měření byla provedena na zařízení dle obr. 5.



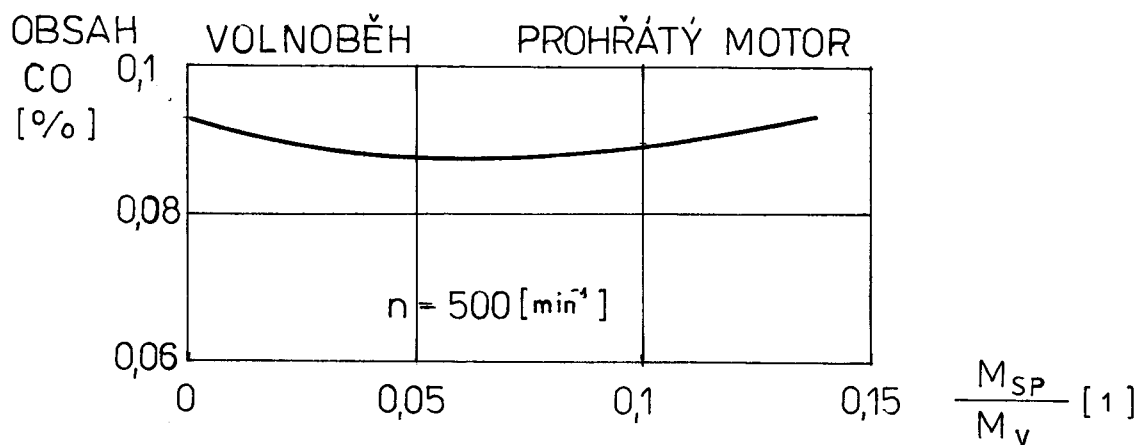
Obr. 5

Výsledky měření obsahu škodlivin ve výfukových plynech při chodu bez recirkulace, s recirkulací bez přeplňování a s přeplňováním a recirkulací jsou v tab. 2 /3/.

MOTOR	ROZMĚRY V $\text{gkW}^{-1}\text{h}^{-1}$		
	NO_x	CO	CH
NEPŘEPLŇOVANÝ	22,0	1,36	1,36
NEPŘEPLŇOVANÝ + REC.	11,0	8,2	1,36
PŘEPLŇOVANÝ + REC.	5,4	2,7	1,36

Tab. 2

Z uvedených příkladů vyplývá, že recirkulace spalin značně snižuje obsah kysličníků dusíku NO_x ve výfukových plynech a zmenšuje kouřivost motoru. Na druhé straně je vidět, že má negativní vliv na obsah kysličníku uhelnatého CO, jehož obsah se u nepřeplňovaného motoru zvyšuje výrazněji než u přeplňovaného. Tím pádem se obsah CO stává limitujícím faktorem při volbě množství recirkulujících plynů /obr. 6/.



Obr. 6

Aby nebyla překročena povolená hodnota koncentrace CO ve spalinách, nemělo by množství recirkulujících plynů u motoru LIAZ přesáhnout 10 % /1/.

Důležitou úlohu sehrává recirkulace při spouštění studených motorů a motorů se sníženým stupněm komprese. Při výzkumných měřeních uveřejněných v japonském časopise Trans. Ja. Soc. Mech. Eng. se u motoru s $\epsilon = 17,5$ při teplotě vzduchu $-8,5$ °C podařilo zkrátit recirkulací čas spouštění z 26 na 18 sekund /4/. Jak odpojování skupin válců tak částečná recirkulace jsou úpravy, které byly řadou zahraničních firem realizovány, zkoušeny a patentovány. Ke společným znakům těchto způsobů patří odběr plynů z výfukového potrubí přes škrťací clonu a automatická regulace množství recirkulujících plynů pomocí membránových regulátorů nebo mechanickou vazbou na páku vstřikovacího čerpadla. K těmto způsobům patří například:

System recirkulace s clonou na vstupu do sacího potrubí, kinematicky svázanou s pákou vstřikovacího čerpadla. Přívodní kanál obsahuje ventil membránového typu. Jedna část je spojena s atmosférou a druhá pomocí elektromagnetického ventilu se zásobníkem vakua. Elektromagnetický ventil je ovládán signálem závislým na otáčkách motoru, poloze páky čerpadla a režimu práce startéru /5/.

Další systém recirkulace obsahuje na vstupu do hlavního ventilu 3 zúžení. Hlavní ventil se řídí membránovým mechanismem. Jedna z jeho částí je spojena s atmosférou a druhá, obsahující vratnou pružinu, je spojena spojovací trubicí, se stavitelnou tryskou, se sacím potrubím. Korekce trysky se zabezpečuje tří membránovým čtyřkomorovým regulátorem. První komora je spojena s atmosférou a element zpětné vazby, upevněný na membráně, reguluje množství atmosferického vzduchu dodávaného do spojovací trubky. Druhá komora je spojena s difuzorem a přes místní zúžení /trysku/ s atmosférou. Třetí je spojena s atmosférou a čtvrtá s druhou /6/.

Jeden z membránových regulátorů je na obr. 7. Plochy membrán a tuhosti pružin se volí tak, aby ventil byl do určitého tlaku uzavřen, v rozmezí určitých tlaků otevíral a od stanoveného tlaku byl úplně otevřený /7/.

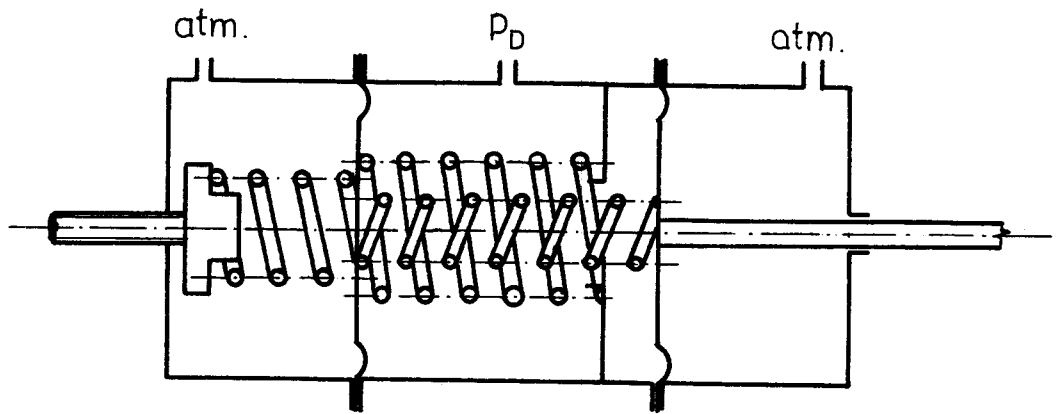
V dalším systému je ventil ovládán membránovým regulátorem. Funkce regulátoru je patrná z obrázku 8. /8/

Systém patentovaný firmou NISSAN je na obr. 9. Termoven-til uzavírá potrubí při neprohřátém motoru. /9/

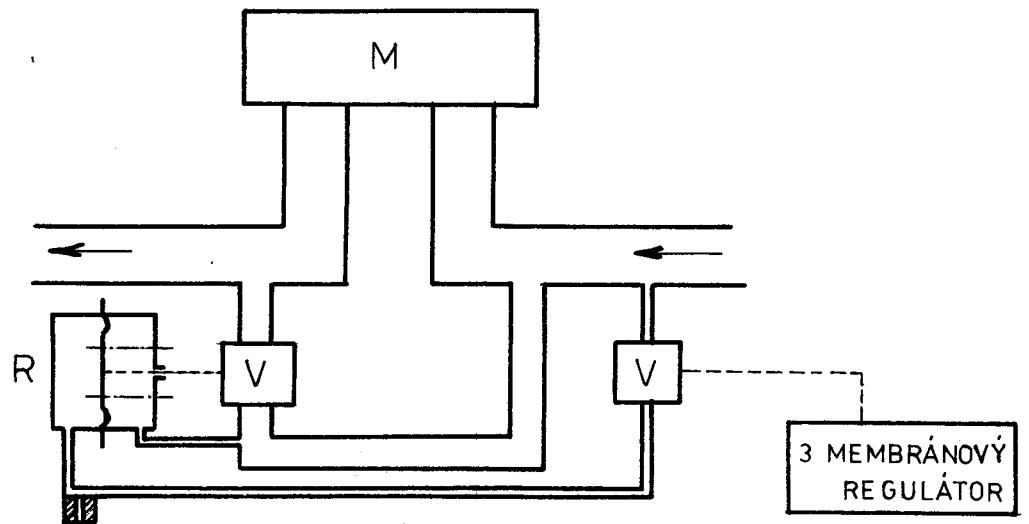
Další patentovaný systém firmy NISSAN obsahuje ventil řízený membránovým regulátorem. Jedna komora tohoto regulátoru, obsahující vratnou pružinu, je spojena přes ventil EMV s vstupním potrubím. Ventil EMV zabezpečuje stálý tlak ve spojovacím potrubí elektromagnetickým ventilem, tak, že při zvýšení tlaku propojuje potrubí do atmosféry. Řízení elektromagnetického ventilu se provádí v závislosti na poloze škrtkové klapky a otáčkách motoru /10/. Schema tohoto systému je na obr. 28.

Další způsoby recirkulace a jejího ovládání se mohou lišit například počtem válců od kterých jsou výfukové plyny pro recirkulaci odebírány, počtem kanálů, kterými jsou převáděny na sání, umístěním těchto kanálů /mimo motor nebo přímo v hlavě válců/, typy regulátorů /počty komor, membrán, ale hlavně veličinou, která regulaci ovlivňuje/, způsoby regulace /skoková n - polohová nebo plynulá/, úpravou spalín /čistěním a ochlazováním na požadovanou teplotu/.

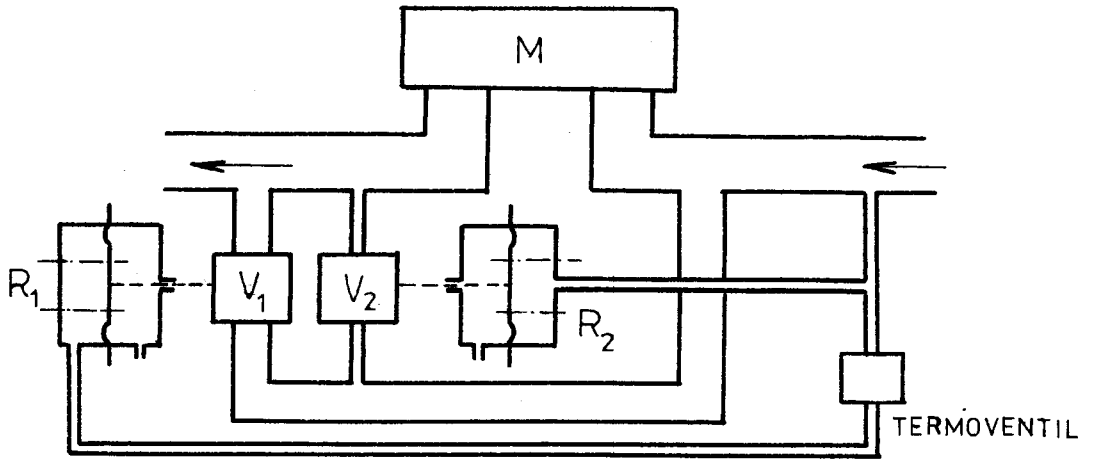
Z uvedených příkladů vyplývá, že správně navržená soustava recirkulace, s vhodně zvolenými parametry regulace, představuje zlepšení práce spalovacího motoru v oblasti nízkého zatížení a volnoběhu. Proto se v dalším řešení zaměřím na návrh recirkulační soustavy výfukových plynů pro motory LIAZ.



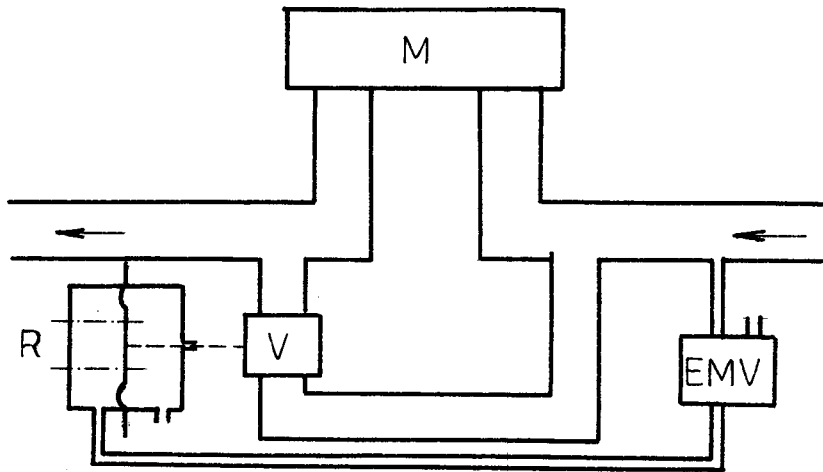
Obr. 7



Obr. 8



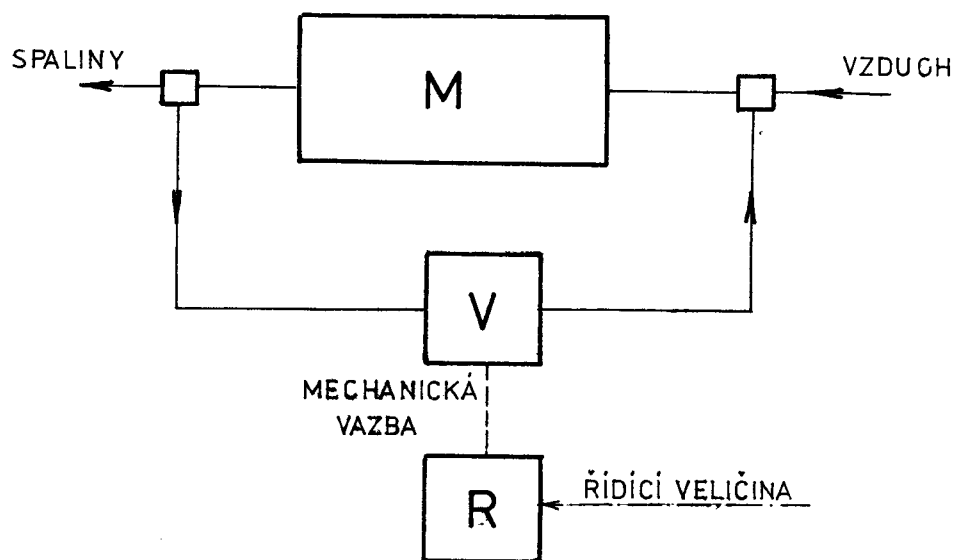
Obr. 9



Obr. 28

1-0 TEORETICKÁ ČÁST

Základní blokové schema systému recirkulace je uvedeno na obrázku 10.



Obr. 10

Při návrhu soustavy budu postupovat po jednotlivých rozhodujících uzlech zpětné větve recirkulace, tj. místo odběru spalin, ventil, který řídí průtočné množství spalin, regulátor, ovládající tento ventil, převodní potrubí a napojení tohoto potrubí do sacího traktu.

1-1 MÍSTO A ZPŮSOB ODBĚRU SPALIN

1-1-1 Volba místa vhodného k odběru spalin

Prvním úkolem řešení problému recirkulace je určení místa ve výfukovém traktu, ze kterého budeme plyny pro recirkulaci odebírat a způsob, resp. provedení odbočky z tohoto potrubí.

Vzhledem k rozdílnému konstrukčnímu uspořádání výfukového potrubí u motoru M 634 a M 638 bude nutné řešit oba případy zvlášť.

Hlavní kritéria pro volbu místa odběru budou:

1. Množství válců, od kterých budeme plyny odebírat.
2. Náročnost konstrukčních úprav ve stávající výrobě.

Z uvedených hledisek plynou dvě řešení:

1. Odebírat plyny od části válců /tří/, což by znamenalo změnu modelu odlitku části výfukového potrubí, ale na druhé straně by značně zkrátilo délku recirkulačního potrubí. Tato výhoda by vynikla zejména u motoru M 638 s turbodmychadlem. Tento způsob odběru plynů by v případě motoru M 638 znamenal také jejich vyšší teplotu /k odběru by docházelo před turbinou/ a změnu tlaku plynů v jedné větvi výfukového potrubí, spojenou s ovlivněním práce turbíny, která by se po uzavření ventilu neprojevovala. U motoru M 634 by toto řešení nepřinášelo uvedené výhody, protože k napojení do sání by bylo nutno vést spaliny až do společné sací roury.

2. Odebírat plyny ze společné části výfukového potrubí, tj. od všech šesti válců, což by si vyžádalo dodatečné vestavění odbočky do výfukového traktu, kterou by bylo vhodné zařadit až za klapku motorové brzdy, aby se nezvyšovala možnost netěsností před touto klapkou. Toto řešení by vedlo k delšímu převodnímu potrubí /zvláště u motoru M 634/, ale jednotná odbočka /pouze s různými přírubami/ by neznamenal tak velkou konstrukční úpravu výfukového potrubí, zvláště kdybychom uvažovali možnost navařit odbočku přímo na stávající výfukové potrubí /tzn. bez přírub a dalších šroubových spojů/.

1-1-2 Návrh konstrukčního provedení odbočky

Odbočka se bude skládat buď z válcové části zakončené přírubami pro motor M 634, resp. M 638 a k ní připojení části rovněž kruhového průřezu ukončené přírubou pro usazení ventilu, nebo pouze této části s přírubou, přivařené přímo na výfukové potrubí. Pro co nejmenší narušení proudění plynů ve výfuku by bylo vhodné připojit odbočku pod určitým úhlem ve směru proudění, což však přinese problémy do řešení přívodního potrubí, které by bylo nutné ohýbat o větší úhel než by bylo potřebné při připojení odbočky v pravém úhlu nebo proti směru proudění. Tento problém jde částečně řešit i tělesem regulátoru, což ukáží v kapitole 2-2-3.

1-2 REGULAČNÍ VENTIL

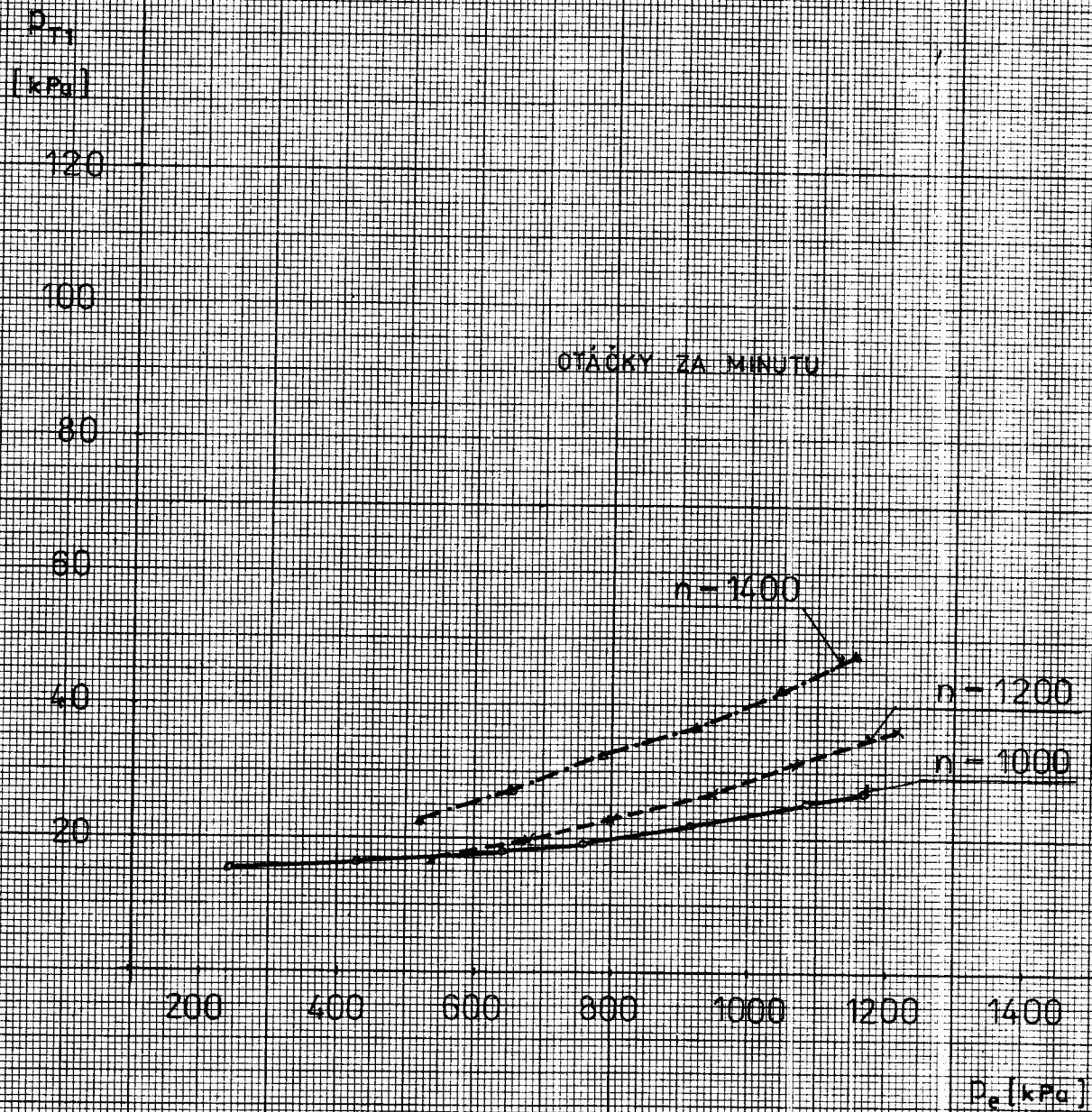
1-2-1 Volba parametrů ovlivňujících regulaci

Druhým úkolem při řešení systému cirkulace je rozhodnutí, kterých veličin bude možné využít pro regulaci průtočného množství paliv. V úvodní části byla již některá řešení ukázána a proto se v následující části budu věnovat výběru jednoho nebo dvou parametrů pro regulaci. Je třeba zdůraznit, že regulace podle více parametrů vede k složitějším vyhodnocovacím členům, zaručuje však přesnější regulaci.

Měření na motorech LIAZ bylo zjištěno, že většina parametrů, jako např. tlaky na vstupu a výstupu, teploty, jsou funkcemi otáčkového, resp. zatěžovacího režimu motoru.

Parametry pro regulaci musí být snadno a přesně změřitelné a pokud možno by měly jednoznačně určovat zatěžovací režim. Z uvedených závislostí v GR. G1a - d získaných z materiálů katedry strojů průmyslové dopravy VŠST Liberec je zřejmé, že takovými vhodnými parametry budou:

1. Teploty - /zvláště teplota výfukových plynů t_{t2} , resp. t_{t1} vykazuje téměř lineární průběh v závislosti na zatížení motoru/.
2. Tlaky - /ať už tlak výfukových plynů p_{T1} , resp. p_{T2} nebo podtlaky v sání p_{D1} , resp. tlak za dmychadlem p_{D2} .
3. Otáčky - /vzhledem k tomu, že regulace dle otáček by si vyžádala buď složitá mechanická nebo drahá elektrická zařízení, nebudu je v dalších návrzích uvažovat/.



61a - závislost tlaku plynů před turbínou na str. ef. tlaku motoru M 638