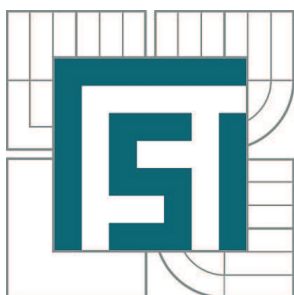


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

SNIŽOVÁNÍ MECHANICKÝCH ZTRÁT MOTORU

REDUCING OF ENGINE MECHANICAL LOSSES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

TOMÁŠ ČERNOHOUS

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. MARTIN BERAN

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Tomáš Černohous

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Snižování mechanických ztrát motoru

v anglickém jazyce:

Reducing of Engine Mechanical Losses

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Vypracujte rešerži popisující problematiku snižování mechanický ztrát jednotlivých komponent spalovacího motoru. Zhodnoťte moderní trendy v této oblasti

Cíle bakalářské práce:

- 1) Provedte rešerži popisující problematiku mechanických ztrát spalovacího motoru
- 2) Metody zjišťování mechanických ztrát
- 3) Moderní trendy při snižování mechanických ztrát
- 4) Závěrečné zhodnocení

Seznam odborné literatury:

[1] Rauscher, J.: Vozidlové motory, studijní opory, FSI VUT Brno 2003

[2] Vlk, F.: Vozidlové spalovací motory, Nakladatelství a vydavatelství Vlk, Brno 2003

[3] International Engine of the Year Awards, web page [online], 2012, poslední revize 12.10.2012.

Dostupné z: <http://www.ukipme.com/engineoftheyear/>

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Martin Beran

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/2013.

V Brně, dne 29.10.2012

L.S.

prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty



ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou mechanických ztrát ve spalovacích motorech a ukazuje metody a způsoby k jejich zjišťování. Dále představuje moderní trendy při snižování mechanických ztrát.

KLÍČOVÁ SLOVA

mechanické ztráty, spalovací motor, výkon, tření, dynamometr, mazání, viskozita

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the mechanical losses in combustion engines and demonstrates methods and techniques for their detection. It also presents the modern trends in reducing mechanical losses.

KEYWORDS

mechanical losses, combustion engine, power, friction, dynamometer, lubrication, viscosity



BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ČERNOHOUS, T. *Snižování mechanických ztrát motoru*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 37 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Martin Beran.



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Martina Berana a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 24. května 2013

.....

Tomáš Černohous



PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych tímto poděkovat panu Ing. Martinu Beranovi za ochotu a odbornou pomoc při tvorbě této bakalářské práce.



OBSAH

Úvod	15
1 Problematika mechanických ztrát.....	16
1.1 Definice mechanických ztrát.....	17
1.1.1 Efektivní výkon spalovacího motoru.....	17
1.2 Rozdělení mechanických ztrát	18
1.2.1 Ztráty způsobené třením	18
1.2.2 Ztráty způsobené výměnou náplně ve válci	19
1.2.3 Ztráty vzniklé pohonem rozvodového mechanismu.....	19
1.2.4 Ztráty vzniklé pohonem pomocných mechanismů.....	20
1.3 Vliv mechanických ztrát na zatížení životního prostředí.....	20
1.3.1 Emisní normy EURO	21
2 Metody zjišťování mechanických ztrát	22
2.1 Metody měřicí.....	22
2.1.1 Měření ztrát na motoru se spalováním	22
2.1.2 Měření ztrát na motorové brzdě.....	22
2.1.3 Metoda vypínání jednotlivých válců	23
2.1.4 Metoda extrapolace křivky celkové spotřeby paliva (Willansova čára).....	24
2.1.5 Metoda tzv. doběhu motoru.....	24
2.2 Metody výpočetní	24
2.2.1 Empirické modely	24
2.2.2 Semiempirické modely	24
2.2.3 MKP modely	25
3 Moderní trendy při snižování mechanických ztrát	26
3.1 Mazání	26
3.1.1 Viskozita.....	26
3.1.2 Režimy a způsoby mazání	27
3.1.3 Motorové oleje.....	28
3.1.4 Namáhání motorového mazacího oleje	29
3.2 Materiály.....	30
3.2.1 Písty, kroužky, ojnice a válce	30
3.3 Ložiska a uložení klikového hřídele	31
3.3.1 Ložiska	31
3.3.2 Uložení klikového hřídele	31



3.4	Snižování ztrát ve ventilových rozvodech	32
3.4.1	Počet ventilů na válec	32
3.4.2	Volba provedení ventilových rozvodů	32
	Závěr	33
	Seznam použitých zkratk a symbolů	36
	Seznam příloh	37



ÚVOD

Mechanické ztráty jsou jedním z důležitých faktorů u spalovacích motorů, protože výrazně ovlivňují jejich výslednou účinnost. S rostoucími mechanickými ztrátami klesá u spalovacích motorů výkon a také výrazně roste spotřeba paliva. Snahou je hledání a vymýšlení nových řešení, které by měly za následek snižování mechanických ztrát. Důležité je také zvyšování životnosti a spolehlivosti u těchto rozšířených pohonných zařízení. Těmto problémům se po celém světě zabývá spousta odborníků a znalců. Je to způsobeno značnou důležitostí tohoto problému.

Tato práce se bude zabývat problematikou mechanických ztrát u spalovacích motorů. Jejím cílem bude objasnění veškerých mechanických ztrát, tedy pasivních odporů, které nepříznivě ovlivňují výsledné vlastnosti motoru. Práce se bude také zabývat metodami a způsoby zjišťování těchto pasivních odporů a moderními trendy dnešní doby pro jejich eliminaci. Zejména zde bude popsáno mazání, které je v této problematice velice důležité.



1 PROBLEMATIKA MECHANICKÝCH ZTRÁT

Spalovací motory jsou tepelné hnací stroje, které dosahují poměrně velkých hodnot účinnosti. Základní podstatou je spalování kapalných nebo plyných paliv, ze kterých se získaná tepelná energie mění na mechanickou práci. To se děje při tlaku vyšším než atmosférickém ve vnitřní pracovní části motoru. Pracovní látkou jsou přitom zplodiny, které vznikly při spalování paliva. [3]

Spalovací motory se základně dělí na pístové spalovací motory, spalovací turbíny a reaktivní motory. V této práci nás budou zajímat především motory pístové s přímočarým vratným pohybem pístu. Ty se dělí podle několika dalších dílčích hledisek. Na motory podle druhu užitého paliva (plynná nebo kapalná paliva). Podle principu činnosti (čtyřdobé nebo dvoudobé motory). Podle způsobu plnění válce (plněné podtlakem nebo přetlakem). Podle způsobu zapálení směsi (s umělým zažehnutím nebo samočinným vznícením). Často se spíše uvádí rozdělení na vznětové a zážehové spalovací motory, to však není zcela správné, neboť je důležitější průběh hoření pohonné látky. Poslední důležité rozdělení je podle konstrukční úpravy motoru. Zde motory dělíme podle uspořádání válců, podle použitého rozvodu a podle smyslu otáčení klikového hřídele. [3][1]

Pístové spalovací motory jsou v dnešní době velice rozšířené a pro populaci zcela nezbytné, neboť slouží jako pohony pro další nápomocná strojní zařízení. Pro své vhodné vlastnosti nacházejí široké uplatnění v nejrůznějších odvětvích. Tyto stroje různých typů se však nejčastěji užívají v dopravních a mechanizačních prostředcích jako pohon. Hojně užití těchto motorů v automobilovém průmyslu má za následek jejich rychlý rozvoj, zdokonalování a neustálé vylepšování. Také značná konkurence v tomto průmyslu způsobuje, že výrobci automobilů jsou nuceni mezi sebou soupeřit a předhánět se o zákazníky, jestliže chtějí předejít bankrotu a udržet se tak na trhu. K tomu jim pomáhají jejich odborníci, kteří vymýšlejí nové trendy. Tím neustále zdokonalují své výrobky.

Důraz je kladen zejména na jejich pohonná zařízení. Výrobci do nich investují značné množství peněz a úsilí, které jsou důležité k jejich vývoji. Nuceni jsou jednak ze strany budoucích zákazníků, ale i ze strany jiných ekologických institucí. Svě budoucí zákazníci potřebují zaujmout zejména životností, spolehlivostí a co nejmenší nutností údržby motoru. Dalšími důležitými faktory jsou také výkon a měrná spotřeba paliva motoru. Většina lidí by totiž ráda vlastnila automobil s vysokým výkonem a především s minimální spotřebou paliva, neboť ceny pohonných hmot jsou značně vysoké a dokonce každým rokem rostou.

S těmito požadavky výrazně souvisí účelné zvyšování účinnosti spalovacích motorů. Toho lze v podstatě dosáhnout dvěma způsoby. První možností je redukce mechanických ztrát. Druhou možností je pak zvyšování účinnosti motoru za použití přeplňování. Nás však v této práci bude zajímat především zvyšování účinnosti snižováním mechanických ztrát. [12]

V kapitole 1.1 si definujeme, co jsou mechanické ztráty ve spalovacích motorech. Ukážeme si, jaký mají nepříznivý vliv na výkon motoru. V kapitole 1.2 si uvedeme hlavní zdroje mechanických ztrát a jejich místa výskytu. V kapitole 1.3 si objasníme jejich nepříznivý vliv na životní prostředí.



1.1 DEFINICE MECHANICKÝCH ZTRÁT

Mechanické ztráty jsou všechny ztráty energie v motoru, snižující výkon indikovaný na výkon efektivní (užitečný), který je odebírán na klikovém hřídeli. Často se také můžeme setkat s označením pasivní odpory. Vznik těchto odporů ve spalovacích motorech je způsoben především třením, výměnou náplně ve válci, pohonem rozvodového mechanismu a pohonem vedlejších pomocných zařízení. [2]

1.1.1 EFEKTIVNÍ VÝKON SPALOVACÍHO MOTORU

Efektivní výkon P_e [kW] spalovacího motoru se nejčastěji zjišťuje na některém druhu výkonové brzdy, přesně stanoveným algoritmem. Efektivní výkon je roven rozdílu indikovaného výkonu P_i [kW] a ztrátového výkonu P_m [kW]. To lze popsat následující rovnicí. [2]

$$P_e = P_i - P_m \quad (1)$$

Přičemž indikovaný výkon je výkon teoretický (výkon bez veškerých odporů), který vychází ze středního indikovaného tlaku. Ztrátový výkon je výkon potřebný k překonání mechanických ztrát v motoru a také k pohonu přístrojů připojených při zjišťování efektivního výkonu.

Pro indikovaný výkon P_i [kW] platí následující rovnice. [2]

$$P_i = \frac{p_i \cdot i \cdot V_{zv} \cdot n}{30\tau} \quad (2)$$

Kde p_i [MPa] je střední indikovaný tlak, i [-] je počet válců motoru, V_{zv} [dm³] je zdvihový objem válce, n [min⁻¹] počet otáček motoru, τ [-] počet dob motoru (4 nebo 2).

Pro ztrátový výkon P_m [kW] platí následující rovnice. [2]

$$P_m = \frac{p_m \cdot i \cdot V_{zv} \cdot n}{30\tau} \quad (3)$$

Kde p_m [MPa] je střední tlak mechanických ztrát, ostatní veličiny mají stejný význam, jako při určování indikovaného výkonu.

Mechanické ztráty lze vyjádřit vztahem mechanické účinnosti η_m [-], která je určena poměrem efektivního a indikovaného výkonu motoru. Platí následující rovnice. [2]

$$\eta_m = \frac{P_e}{P_i} = \frac{p_e}{p_i} = \frac{\eta_e}{\eta_i} \quad (4)$$

Hodnota mechanické účinnosti pro zážehové motory dosahuje $\eta_m = 0,75-0,92$. U vznětových motorů se pak hodnota mechanické účinnosti pohybuje $\eta_m = 0,70-0,87$. Mechanické ztráty vznětových motorů jsou vyšší z důvodu vyšších spalovacích tlaků. [2]



1.2 ROZDĚLENÍ MECHANICKÝCH ZTRÁT

Mezi hlavní zdroje mechanických ztrát patří především ztráty způsobené třením. Tření mezi dvěma stykovými plochami je největším procentem z celkových ztrát a odebírá značnou část z výkonu motoru. Dalšími zdroji ztrát jsou ztráty způsobené výměnou náplně ve válci a také ztráty způsobené pohonem rozvodů i dalších mechanismů, důležitých pro bezproblémovou činnost motoru. Jednotlivá procenta ztrát u zážehových a vznětových motorů jsou uvedena v následující tabulce. [2]

Tab. 1 Podíl ztrát u zážehových a vznětových motorů v procentech ztrátového výkonu. [2]

Ztráty	Zážehový motor [%]	Vznětový motor [%]
Tření mezi pístem s kroužky a válcem.	45	50
Tření ložisek klikového a vačkového hřídele.	23	24
Výměna náplně ve válci.	20	14
Pohon rozvodového mechanismu.	6	6
Pohon pomocných zařízení.	6	6

1.2.1 ZTRÁTY ZPŮSOBENÉ TŘENÍM

Tření označuje jev, který vzniká při posouvání dvou pevných těles po sobě. Při tomto vzájemném pohybu existuje třecí síla, která působí proti. Čím silněji jsou povrchy k sobě tlačeny a také čím jsou povrchy drsnější, tím je tření větší. Vlivem tření dochází k silnému opotřebování třecích ploch pohybujících se částí a také ke zvyšování teploty na povrchu ploch v místě tření. Pro snižování tření je důležité mazání, které má spoustu příznivých účinků na místa namáhaná třením. Mazání si uvedeme později. [3][4][6]

Účelem pístu s pístními kroužky je zachycení tlaku z plynů vzniklých při spalování a jeho přenesení ojnici na klikový hřídel. Při následně vzniklém pohybu pístu s pístními kroužky válcem motoru vzniká značné tření. To má za následek až polovinu všech mechanických ztrát v motoru. Z tohoto důvodu je tato část motoru pod značným zájmem zkoumání. Důraz je kladen zejména na zvolení vhodných materiálů a pečlivou výrobu pístu, pístních kroužků a také válce. Ty musí odolávat výraznému tepelnému a tlakovému namáhání. Velice důležitým faktorem je také jejich povrchová úprava a mazání pro následné eliminování tření a chlazení. [3]

Ložiska na klikovém a vačkovém hřídeli jsou nezbytné součásti motoru. Nesou, vedou a umožňují rotaci klikového a vačkového hřídele, proto jsou silně namáhána. Jsou vystavena velkému vnitřnímu tření. To způsobuje až čtvrtinu mechanických ztrát v motoru. Proto musí být pro správnou funkčnost kvalitní a řádně mazána. [3]



Obr. 1 Řez válcem spalovacího motoru [9]

1.2.2 ZTRÁTY ZPŮSOBENÉ VÝMĚNOU NÁPLNĚ VE VÁLCI

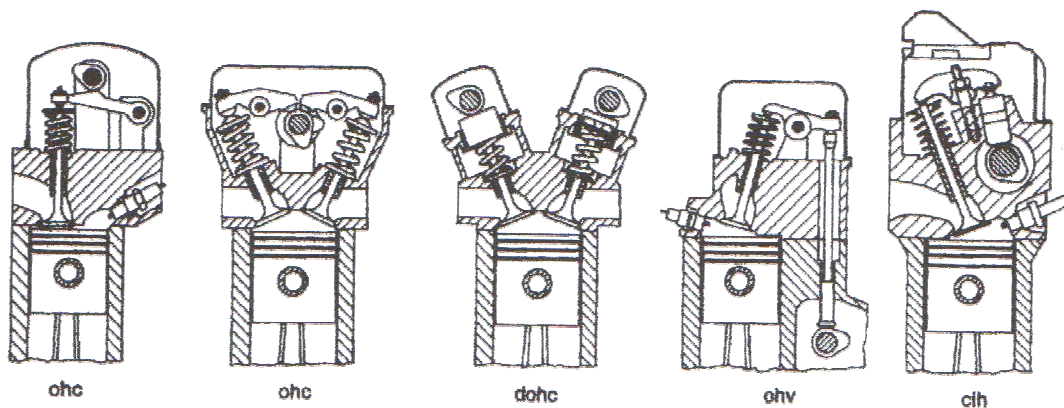
Jedná se o ztráty, které vznikají prouděním v sacím a výfukovém potrubí během výměny náplně. Velikost ztrát je závislá na tvaru, průřezu a délce potrubí. Je nutné, aby plochy vnitřní stěny potrubí byly hladké. Ztráty také způsobuje užití vzduchového filtru v sacím potrubí a užití katalyzátorových tlumičů, tlumičů hluku a filtrů pevných částic ve výfukovém potrubí. Důležitým faktorem je také vhodné nastavení časování ventilů. To spočívá ve vhodném nastavení okamžiků a rychlostí při otevírání i uzavírání sacích a výfukových ventilů. Důležitou roli hraje také výška zdvihu ventilů, protože silně ovlivňuje průtokovou rychlost vzduchu nebo směsi proudící do válce a vzniklých plynů z něj. Výměna náplně ve válci představuje až 20% ztrát z celkového ztrátového výkonu u zážehových motorů a okolo 14% u motorů vznětových. [3][5]

1.2.3 ZTRÁTY VZNIKLÉ POHONEM ROZVODOVÉHO MECHANISMU

Rozvodový mechanismus je důležitou součástí spalovacího motoru a má výrazný vliv na dosažení parametrů výkonu. Slouží k řízení plnění válců směsí (u zážehových motorů) nebo vzduchem (u motorů vznětových). Dále také slouží k řízení odvodu zplodin vzniklých při hoření ven z válce. Hlavní princip činnosti je ten, že vačky rozvodového hřídele otevírají pomocí dalších částí rozvodu (zdvihátek, vahadel, ventilových tyček a dalších) sací a výfukové ventily proti silám ventilových pružin. Ventilové pružiny způsobují uzavírání ventilů. Váčkový hřídel je hnán buď válečkovým řetězem, ozubeným řemenem a nebo čelním ozubeným soukolím. [3]



V dnešní době existuje řada provedení ventilových rozvodů. Mezi nejužívanější patří rozvody s postranními ventily (SV), rozvody s ventily v hlavě válců a vačkovým hřídelem v bloku motoru (OHV), rozvody s ventily v hlavě válců a vačkovým hřídelem nad hlavou válců (OHC), rozvody se dvěma vačkovými hřídeli nad hlavou válců (DOHC) a rozvody s vačkovým hřídelem v hlavě válců (CIH). [3]



Obr. 2 Rozvody čtyřdobých spalovacích motorů [2]

Ztráty v rozvodovém mechanismu představují okolo 6% z celkového ztrátového výkonu motoru. Jedná se zejména o ztráty vzniklé třením na dřívku ventilu, dotykových plochách vahadla, v uložení vahadla a třením na vačce. Tření v ložiskách na vačkovém hřídeli je bráno jako ztráty v ložiskách a tedy do ztrát rozvodového mechanismu není počítáno. Všechna místa, kde vzniká tření, je nutné dostatečně mazat. Ztráty také vznikají při přenosu kroutícího momentu od klikového hřídele (v řetězovém, řemenovém převodu nebo v ozubeném soukolí) a při překonávání sil ventilových pružin. [2][10]

1.2.4 ZTRÁTY VZNIKLÉ POHONEM POMOCNÝCH MECHANISMŮ

Za pomocné mechanismy v motoru považujeme vodní čerpadlo, olejové čerpadlo, vstřikovací čerpadlo, podávací palivové čerpadlo, alternátor a další. Pohon těchto zařízení odebírá okolo 6% ztrát z celkového ztrátového výkonu. Pro správnou funkci motoru jsou tyto mechanismy ovšem nezbytně důležité. [2]

1.3 VLIV MECHANICKÝCH ZTRÁT NA ZATÍŽENÍ ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

Všechny mechanické ztráty ve spalovacích motorech představují výrazný problém. Větší mechanické ztráty zvyšují měrnou spotřebu paliva. S rostoucím počtem provozovaných automobilů a s rozvojem automobilového průmyslu dochází vlivem spalování pohonných hmot ke značnému znečištění životního prostředí. Dále také ke zhoršování kvality ovzduší, které výrazně poškozuje zdraví. Těmito problémy se zabývají ekologické instituce. Vydávají závazné normy a nařízení, které musí být dodržovány. Tato nařízení stanovují limitní hodnoty škodlivých látek obsažených ve výfukových plynech vypouštěných do prostředí.

Pro pohon spalovacích motorů bývá jako paliva zejména užíváno benzín nebo motorové nafty. Jedná se o směsi chemických sloučenin vodíku (H) a uhlíku (C) v různých poměrových



koncentracích. Tyto sloučeniny se označují jako uhlovodíky (HC). Při hoření se uhlík a vodík slučují s kyslíkem (O) ze vzduchu. To má za následek, že se uvolní tepelná energie a vzniknou jiné chemické sloučeniny. [5]

Při dokonalém spalování by se výfukové plyny skládaly jen z oxidu uhličitého (CO₂) a vody (H₂O) v plynné formě. Ty nejsou zdraví nijak škodlivé, ale oxid uhličitý (CO₂), označovaný jako nejdůležitější skleníkový plyn, má negativní vliv na klimatické změny na zemi. Spalování paliva v motorech ovšem není dokonalé. Výfukové plyny se totiž skládají nejen z oxidu uhličitého (CO₂) a vody (H₂O), ale také z množství oxidu uhelnatého (CO), oxidů dusíku (NO_x), nevyhořelých uhlovodíků (HC), oxidů síry, pevných částic a dalších složek. Maximální množství škodlivých látek ve výfukových plynech určují emisní normy, které si uvedeme v následující kapitole. [5]

1.3.1 EMISNÍ NORMY EURO

První emisní předpisy byly zavedeny roku 1968 na americkém kontinentě v Kalifornii, v Evropě až v roce 1971. Evropská emisní norma pod označením EURO vznikla v roce 1992. V dnešní době je již v platnosti pro automobily norma EURO 5 a v roce 2014 začne platit norma EURO 6. [8]

Norma EURO stanovuje maximální přípustné množství oxidu uhelnatého (CO), oxidů dusíku (NO_x), uhlovodíků (HC) a množství pevných částic (PČ) ve výfukových plynech u motorů nově vyrobených automobilů. Hodnoty množství jsou normou udávány v miligramech na ujetou vzdálenost jednoho kilometru. Přehled jednotlivých norem EURO s maximálními hodnotami jednotlivých škodlivin je patrný z následující tabulky, kde červeně jsou označeny hodnoty pro benzínové a černě pro naftové motory. [8]

Tab. 2 Limitní hodnoty jednotlivých emisních norem EURO pro automobily. [8]

Rok	Norma	CO		NO _x		HC+NO _x		HC	PČ
		[g/km]	[g/km]	[g/km]	[g/km]	[g/km]	[g/km]	[g/km]	
1992	EURO 1	3,16	3,16	-	-	1,13	1,13	-	0,18
1996	EURO 2	2,20	1,00	-	-	0,50	0,70	-	0,08
2000	EURO 3	2,30	0,64	0,15	0,50	-	0,56	0,20	0,05
2005	EURO 4	1,00	0,50	0,08	0,25	-	0,30	0,10	0,025
2009	EURO 5	1,00	0,50	0,06	0,18	-	0,23	0,10	0,005
2014	EURO 6	1,00	0,50	0,06	0,08	-	0,17	0,10	0,005



2 METODY ZJIŠŤOVÁNÍ MECHANICKÝCH ZTRÁT

Zjišťování mechanických ztrát ve spalovacích motorech je možné pomocí dvou hlavních způsobů. Prvním z nich je způsob využívající měření (experimentální). Nejvýznamnější a nejužívanější měřicí metody pro určování mechanických ztrát si uvedeme v kapitole 2.1. Druhým možným způsobem je využití výpočetních metod. Tyto metody a jejich principy si objasníme pouze stručně v kapitole 2.2.

2.1 METODY MĚŘICÍ

Mezi metody pro měření mechanických ztrát u spalovacích motorů patří měření na motoru se spalováním a motorové brzdě. Měření ztrát na motorové brzdě umožňuje i určení jednotlivých složek mechanických ztrát. Jako další se používají metody vypínání jednotlivých válců, metody extrapolace celkové spotřeby paliva a metody tzv. doběhu motoru. Tyto metody však nejsou často používané a výsledky jsou jen orientační. [12]

2.1.1 MĚŘENÍ ZTRÁT NA MOTORU SE SPALOVÁNÍM

Jedná se o nejpřesnější měřicí metodu, avšak její provedení je velmi náročné. Metoda vychází z mechanické účinnosti, kterou vyjadřuje rovnice (4). Mechanickou účinnost vyjadřuje poměr středního efektivního tlaku a středního indikovaného tlaku. Střední efektivní tlak p_e [MPa] lze vyjádřit následující rovnicí. [12]

$$p_e = \frac{\tau \cdot \pi \cdot M_t}{V_z} \quad (5)$$

Kde V_z [dm³] je zdvihový objem motoru, τ [-] je počet dob motoru (4 nebo 2), M_t [Nm] je točivý moment motoru.

Střední indikovaný tlak p_i [MPa] lze vyjádřit následující rovnicí. [12]

$$p_i = \frac{\sum_{i=1}^i p_{i1}}{i} \quad (6)$$

Kde p_{i1} [Mpa] je střední indikovaný tlak jednoho válce a i [-] je celkový počet válců motoru.

Pro výpočet středního indikovaného tlaku je nutné, aby bylo provedeno měření průběhu tlaku ve válci v závislosti na poloze klikového hřídele. [12]

2.1.2 MĚŘENÍ ZTRÁT NA MOTOROVÉ BRZDĚ

Motorové brzdy jsou strojní zařízení, pomocí nichž lze získat a určit důležité charakteristiky a vlastnosti spalovacích motorů. Jedná se o určení točivého momentu a výkonu v závislosti na otáčkách motoru. Motorové brzdy jsou známé také pod označením dynamometry. Skládají se



z variabilního absorbéru a kontrolního systému. Dynamometr bývá propojený přímo s klikovou hřídelí zkoušeného motoru. Dynamometry se základně dělí na pasivní (absorpční), motorické a aktivní dynamometry. Při práci se spalovacími motory se však využívají pouze pasivní a aktivní dynamometry různých druhů a provedení. [7]

Mezi nejpoužívanější pasivní dynamometry při měření spalovacích motorů patří vířivé, hydrodynamické a diskové dynamometry. Jejich princip činnosti spočívá v tom, že dokáží pouze brzdit měřený motor, nikoliv jej i pohánět. Působí na něj tedy pouze brzdícím momentem. [7]

Mezi nejpoužívanější aktivní dynamometry pak patří elektrické a setrvačné. Jedná se o moderní dynamometry, které dokáží zkoumaný motor nejen brzdit, ale také ho pohánět. Výhodou u těchto dynamometrů je možnost měřit i jednotlivé vnitřní mechanické ztráty při postupném odpojování částí v motoru. Je možné například odpojovat pomocné mechanismy (olejové čerpadlo, vodní pumpu, alternátor atd.) a také rozvodový mechanismus. Změří se ztrátový výkon P_m potřebný k překonání pasivních odporů a výkon P_1 při odpojené součásti 1. Procentuální velikost hodnoty mechanické ztráty odpojené součásti z celkových ztrát lze potom určit následující rovnicí. [7][10]

$$\text{podíl ztráty součásti 1} = \left(100 - \frac{P_1}{P_m}\right) \cdot 100 \quad (7)$$



Obr. 3 Dynamometr SF-POWERMARK výrobce SuperFlow [11]

2.1.3 METODA VYPÍNÁNÍ JEDNOTLIVÝCH VÁLCŮ

Tato metoda je označována také jako Morseova metoda. Je efektivní jen pro motory s více válci, neboť se využívá odpojování zapalování nebo vstřikovávání paliva u jednoho válce motoru. Následně se sleduje pokles kroutícího momentu a také výkonu v závislosti na otáčkách při odpojeném válci motoru. Metoda je efektivní pouze pro nepřepřítanované motory a je pouze orientační. [12]



2.1.4 METODA EXTRAPOLACE KŘIVKY CELKOVÉ SPOTŘEBY PALIVA (WILLANSOVA ČÁRA)

Tato metoda se využívá jenom u vznětových motorů a je též pouze orientační. Je však překvapivě přesná a to zejména tam, kde je rozhodující vliv otáček a zatížení. Vliv zatížení je přitom minimální. Willansovu čáru je možno získat následujícím způsobem. Na osu x se vynese spotřeba paliva v závislosti na středním efektivním tlaku či momentu, jenž se vynáší na osu y. Vzniklou křivku extrapolujeme až do nulové hodnoty spotřeby paliva. Ztrátový tlak nebo ztrátový moment poté získáme následným odečtením záporné hodnoty středního efektivního tlaku nebo točivého momentu z osy y. [12]

2.1.5 METODA TZV. DOBĚHU MOTORU

Základní princip této metody spočívá v tom, že se zaznamenává brzdný moment v závislosti na otáčkách při doběhu motoru z maximálních otáček do klidu. To se uskutečňuje s odpojeným zapalováním nebo bez vstřikování paliva. Tato metoda se používá zejména k ověření stavu motoru. [12]

2.2 METODY VÝPOČETNÍ

Pro výpočet mechanických ztrát ve spalovacích motorech se v dnešní době používají tři různé způsoby. Jsou jimi empirické modely, semiempirické modely a modely využívající metod konečných prvků tzv. MKP modely. Tyto výpočetní modely si však vysvětlíme pouze stručně.

2.2.1 EMPIRICKÉ MODELY

Tyto modely výpočtu a odhadu mechanických ztrát jsou poměrně jednoduché a rychlé. Empirické modely vznikají díky měření více motorů o stejném způsobu spalování, ale o jiných zdvihových objemech. Získané koeficienty z korelací lze užít pro odhad celkových průměrných mechanických ztrát. Empirické modely však nezohledňují důležité vlivy, kterými jsou teplota, typ užitého oleje, povrchové vlastnosti materiálů atd. [12]

2.2.2 SEMIEMPIRICKÉ MODELY

Semiempirické modely jsou vhodné k určování okamžitých hodnot mechanických ztrát a mají dvojí rozdělení. První model počítá okamžité třecí ztráty na každé třecí dvojici v závislosti na úhlu natočení klikového hřídele. Využívají se přitom semiempirické korelace. Druhý model je založen na počítání tlakového pole oleje a predikci třecích ztrát na pohybujících se částech motoru řešením Reynoldsovy rovnice. Tímto způsobem lze navíc získat informace o tloušťce olejové vrstvy v ložisku a jeho zatížení. [12]



2.2.3 MKP MODELY

Tyto modely jsou z výpočtových metod nejsložitější. Pro výpočet využívají metod konečných prvků a řeší složité rovnice. Jsou náročné časově, důležitá je znalost geometrie částí motoru, fyzikálních zákonů a také potřebují velká datová úložiště pro ukládání výsledků. [12]



3 MODERNÍ TRENDY PŘI SNIŽOVÁNÍ MECHANICKÝCH ZTRÁT

V této kapitole si ukážeme způsoby, pomocí kterých se dosahuje snižování mechanických ztrát ve spalovacích motorech. Bude zde především popsáno mazání, které má výrazný vliv na snižování třecích ztrát motoru.

3.1 MAZÁNÍ

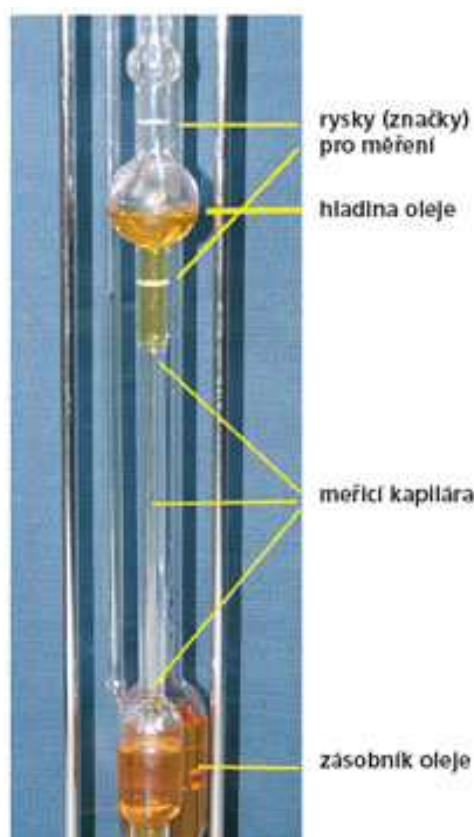
Hlavním úkolem mazání ve spalovacích motorech je snižování třecích ztrát, mechanického opotřebení a zahřívání třecích povrchů pohybujících se částí. Mazání je také důležité ke zlepšení těsnění jednotlivých součástí motoru (mezi válcem motoru a pístem s pístními kroužky), odvodu vzniklých nečistot, konzervaci vnitřku motoru, zabránění vzniku koroze a snížení hlučnosti motoru. Jako maziva se u spalovacích motorů používají motorové oleje, které splňují tyto požadavky. Může být užito minerálních, polosyntetických a syntetických motorových olejů. Důležitou charakteristikou olejů je jejich viskozita, která udává jejich tekutost při různých teplotách. [3]

Vývoji maziv je v dnešní době kladena značná pozornost, jelikož výrazně ovlivňují správnou činnost spalovacích motorů. Při nedostatečném a nekvalitním mazání dochází ke vzniku třecích ztrát, které mají nepříznivý vliv na účinnost motoru a jeho životnost. Je tedy kladen důraz zejména na kvalitu, odolnost a výdrž mazacích olejů. [3][4]

3.1.1 VISKOZITA

Viskozita je jednou z nejdůležitějších vlastností všech tekutin a také olejů. Jedná se o míru vnitřního tření. Vyjadřuje tekutost a mění se v závislosti na teplotě a tlaku, není tedy konstantní. S rostoucí teplotou se viskozita snižuje a tuto závislost popisuje viskozitní index. Čím vyšší je jeho hodnota, tím méně se mění viskozita při změnách teploty. Oleje s nižší viskozitou jsou tekutější a mají menší vnitřní odpor proti proudění. Oleje s vyšší viskozitou jsou naopak méně tekuté a mají větší vnitřní odpor proti proudění. Rozdělujeme viskozitu na kinematickou a dynamickou, kde dynamická viskozita je součinem kinematické viskozity a hustoty. [3][13]

Kinematickou viskozitu je možné měřit pomocí viskozimetru. Při měření viskozimetrem protéká vzorek oleje skleněnou kapilárou svisle dolů. Měří se čas, při kterém hladina objemu oleje urazí určitou dráhu mezi dvěma ryskami v kapiláře. Výrobci u těchto měřidel udávají ke každému kusu viskozimetru číselnou konstantu, kterou se následně vynásobí změřený čas a určí se tak výsledná kinematická viskozita měřeného oleje. Jednotkou kinematické viskozity jsou milimetry čtverečné za sekundu. Princip měření viskozity je patrný z následujícího obrázku. [13]



Obr. 4 Měření kinematické viskozity pomocí viskozimetru. [14]

Ve spalovacích motorech dochází při provozu ke změnám viskozity maziva až o 20%. Existují dva mezní teplotní stavy, které určují požadavky na viskozitu použitého oleje. Prvním z nich je případ spouštění studeného motoru, kdy je olej studený s velkou hodnotou viskozity. Druhým pak provoz při maximální teplotě motoru. Viskozita oleje je při těchto stavech rozdílná. Snahou výrobců motorových olejů je, aby tyto teplotní změny měly co nejmenší vliv na viskozitu olejů. [14]

Obecně platí, že čím je vyšší provozní teplota a zatížení spalovacího motoru, tím vyšší musí být hodnota viskozity použitého oleje. Při vyšších rychlostech vzájemného pohybu mazaných ploch se olej dostává obtížněji do mazacího prostoru a je z něj rychle vytlačován. Z tohoto důvodu musí být viskozita použitého oleje naopak nižší. Proto například vysokootáčkové spalovací motory vyžadují oleje s nižší hodnotou viskozity. Pro motory nízkootáčkové je naopak vhodnější užití olejů vyšší viskozity. [14]

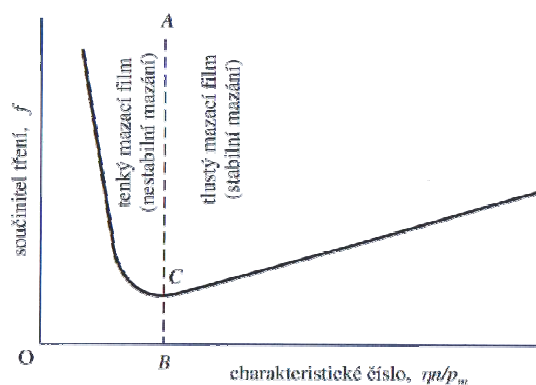
3.1.2 REŽIMY A ZPŮSOBY MAZÁNÍ

Ve spalovacích motorech dochází za provozu mezi třecími plochami součástí ke kapalinnému nebo polosuchému mazání. U kapalinného (hydraulického) mazání bývají třecí plochy odděleny relativně tlustým mazacím filmem. Toto mazání se vyskytuje u ložisek na klikovém a vačkovém hřídeli. Je umožněno díky oleji, který bývá přiváděn pod tlakem. Polosuché mazání vzniká v případě, kdy jsou stykové plochy mazány, avšak dochází k občasnému kontaktu vrcholků povrchů. V tomto případě dochází k výrazně většímu opotřebenosti povrchů, než při mazáním kapalinném. Vyskytuje se na všech třecích plochách motoru, jež



nejdou mazány pod tlakem. Je důležité, aby bylo zcela zabráněno suchému tření (téměř žádný mazací film mezi povrchy materiálů). To by mělo za následek třecí svařování, následné silné opotřebení materiálů a mohlo by vést až k úplnému zadření motoru. [3]

Rozdíl mezi jednotlivými mazání v motoru je patrný z následujícího obrázku. Ten znázorňuje závislost součinitele tření f na charakteristickém čísle η/ρ_m . Vymezuje oblasti stabilního a nestabilního mazání, tedy mazání hydraulického a polosuchého. Tento diagram je označován jako Stribeckova křivka. [2]



Obr. 5 Stribeckova křivka [4]

U čtyřdobých spalovacích motorů se dnes využívá především způsob tlakové mazání. Motorový olej bývá při tomto způsobu na požadovaná třecí místa vytlačován olejovým čerpadlem a po motoru tak cirkuluje. Bývá užíváno dvou způsobů tlakového mazání. Prvním z nich je mazání z klikové skříně, kdy je zásoba oleje ve spodním víku klikové skříně (olejové vaně). Druhým je pak mazání z olejové nádrže, která bývá umístěna mimo klikovou skřín. Je velice důležité, aby motorový olej byl při cirkulaci čištěn a filtrován. [3]

3.1.3 MOTOROVÉ OLEJE

Motorové mazací oleje se základně dělí podle technologie výroby, chemického složení a účelu. Ropa je výchozí surovinou pro výrobu všech olejů. Její destilací se získávají oleje, tedy směsi uhlovodíků s velkými molekulami. Podle technologie výroby rozdělujeme motorové oleje na minerální, hydrokrakové označované jako polosyntetické, syntetické oleje a další. [2]

Motorové oleje se skládají ze základního oleje a různých přísad. Základní olej (minerální, polosyntetický, syntetický) nemá samotný požadované vlastnosti. Je tedy nutné přidání určitého množství přísad (aditiv), které vlastnosti zlepšují. Jedná se zejména o přidání protiotěrových, čistících, protikoročních, antioxidačních, protipěnovacích přísad, snižovačů bodu tuhnutí, zlepšovačů viskozitního indexu a vysokotlakých přísad. Aditiva tvoří okolo 10% z celkového objemu oleje a jsou jeho nezbytnou součástí. [3]

Motorové oleje jsou nejčastěji klasifikovány podle americké normy SAE, která udává jejich viskozitu za určité teploty. Rozděluje oleje pro zimní a letní provoz. Pro zimní provoz používá šest tříd a označení písmenem W (SAE 0W, 5W, 10W, 15W, 20W, 25W). Také se



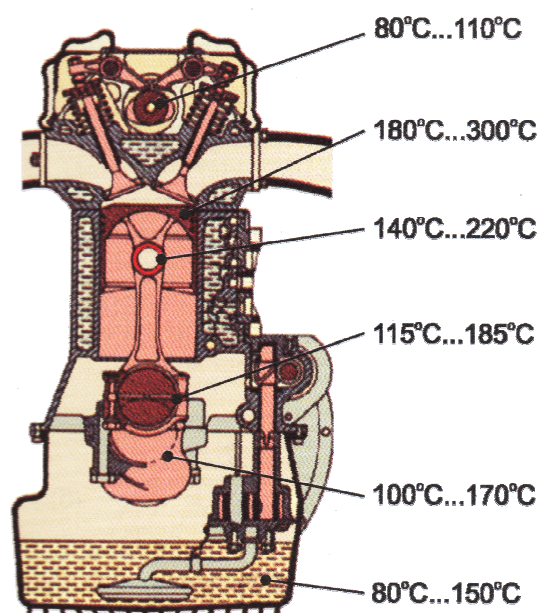
u nich udává hraniční teplota, kdy je olej ještě čerpatelný a umožňuje tak snadné spuštění motoru. Nejčastěji je u nás užíváno olejů viskozitních tříd SAE 15W-40 a SAE 10W-40. Oleje pro letní provoz norma rozděluje do pěti tříd (SAE 20, 30, 40, 50, 60). Dnešní moderní oleje často splňují i požadavky několika tříd současně a používají se celoročně. Jsou označovány jako vícestupňové oleje. Další klasifikací olejů je výkonnostní klasifikace. Zde jsou časté klasifikace institucí API, ACEA a vlastní klasifikace výrobců motorů. Jednotlivé třídy viskozitní klasifikace SAE uvádí následující tabulka. [3]

Tab. 3 Požadavky na viskozitu oleje podle normy SAE [3]

Třída SAE	Max. dynamická viskozita při teplotě		Hraniční čerpatelnost [°C]	Kinematická viskozita při teplotě 100°C [mm ² .s ⁻¹]	
	[MPa.s]	[°C]		min.	max.
0W	3250	-30	-35	3,8	-
5W	3500	-25	-30	3,8	-
10W	3500	-20	-25	4,1	-
15W	3500	-15	-20	5,6	-
20W	4500	-10	-15	5,6	-
25W	6000	-5	-10	9,3	-
20	-	-	-	5,6	< 9,3
30	-	-	-	9,3	< 12,5
40	-	-	-	12,5	< 16,3
50	-	-	-	16,3	< 21,9
60	-	-	-	21,9	< 26,1

3.1.4 NAMÁHÁNÍ MOTOROVÉHO MAZACÍHO OLEJE

Olej ve spalovacím motoru je silně tepelně, chemicky a mechanicky namáhán. To způsobuje stárnutí a znečištění oleje. Olej pak přichází o své mazací schopnosti a to může způsobit poškození motoru. Oxidace způsobená pronikajícími plyny mezi pístem a válcem má vliv na stárnutí oleje. Navíc bývá olej znečišťován částicemi karbonu, prachu, kovu a u vznětových motorů i sazemi. Tyto nečistoty a zkondenzovaná voda pak zhoršují jeho oběh, proto je nutné olej zbavovat nečistot pomocí vhodných filtrů a čističů. Olej znehodnocený oxidací však čistit nelze. Pro zbavení oleje nečistot bývá užíváno nejčastěji plnoprůtokových a obtokových čističů. Plnoprůtokový čistič slouží k čištění celého objemu oleje v motoru. Obtokový čistič připojený paralelně, pak pouze k určité části objemu oleje. Následující obrázek zobrazuje teplotní namáhání motorového oleje ve spalovacím motoru za provozu. [3]



Obr. 6 Teplota oleje v různých částech motoru za provozu [3]

3.2 MATERIÁLY

Mechanické ztráty lze ve spalovacích motorech snižovat použitím kvalitních moderních materiálů. Vlastnosti materiálů musí splňovat důležité požadavky. Jsou jimi vysoká pevnost, odolnost proti opotřebování, tepelná odolnost, dobré třecí vlastnosti, schopnost vytvoření olejové vrstvy, dobrá tepelná vodivost pro odvod tepla, nízká tepelná roztažnost a především by měly mít co nejmenší měrnou hmotnost. [3]

Snížením hmotnosti u pohybujících se součástí motoru, zejména pístu a ojnice, je docíleno omezení setrvačných sil a momentů na klikové hřídeli, což vede k menšímu zatížení a tření v ložiskách. U materiálů důležitých částí motoru je také důležitá jejich povrchová úprava pro zlepšení povrchových a třecích vlastností. Jedná se o úpravu povrchů, které jsou v kontaktu s jinými při vzájemném pohybu. [3]

Někteří výrobci konstruují své motory jako nízkozdvihové, čímž lze dosáhnout nižší hmotnosti klikového mechanismu a následnému menšímu zatížení a tření v ložiskách. Obecně platí, že je snaha redukovat hmotnost komponent a povrchově upravovat pohyblivé i nepohyblivé součásti motoru. To má za následek snižování mechanických ztrát, avšak za cenu vyšší ceny takto upravených materiálů. [3]

3.2.1 PÍSTY, KROUŽKY, OJNICE A VÁLCE

Jelikož bývá píst velmi namáhán, je důležité, aby byl vyroben z kvalitního a odolného materiálu. Nejčastěji se písty vyrábí ze slitiny hliníku a křemíku. U zážehových motorů se nejčastěji užívá slitina AlSi12. U vznětových a přeplňovaných motorů pak AlSi18, či AlSi25. Jedná se o slitiny, které jsou velice lehké. Pro extrémně namáhané moderní motory, např. u závodních automobilů, bývá používáno ještě lehčích pístů vyrobených ze slitiny hliníku



a hořčíku. Tyto písty se vyrábí metodou kováním a bývají relativně krátké, což vede ke snižování tření ve válci. Důležité také je, z jakého materiálu jsou vyrobeny pístní kroužky. Ty musí snášet velké namáhání a opotřebování. Pro vysoce namáhané motory bývá užíváno legovaných povrchově upravených pístních kroužků. V některých konstrukčních případech se dokonce užívá pouze dvou pístních kroužků, místo obvyklých tří. Tento konstrukční způsob snižuje mechanické ztráty. [3]

Ojnice jsou vyráběny z lehkých a odolných materiálů. U motorů závodních automobilů bývají používány ojnice ze slitin hliníku a titanu (např. TiAlV4), nově i ze spěkaných kovů, které jsou vyrobeny práškovou technologií a mají velkou odolnost i při nízké hmotnosti. [3]

Válce bývají často vyráběny z litiny nebo hliníkových slitin. Plochy válců motoru musí být velice pečlivě opracovány a povrchově upraveny. Používá se různých způsobů jejich úprav. Časté jsou metody Alusil, Nikasil, či tvrdého chromování. U některých moderních motorů bývají užívány i válce s vnitřními vložkami, vyráběných ze slitin hliníku a křemíku. Tyto vložky mají příznivé kluzné vlastnosti a výrazně tak eliminují tření. [3]

3.3 LOŽISKA A ULOŽENÍ KLIKOVÉHO HŘÍDELE

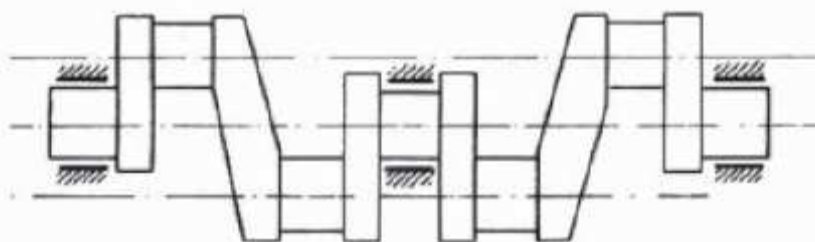
3.3.1 LOŽISKA

Pro nesení a vedení klikového hřídele bývá většinou užíváno dělených kluzných ložisek, které vykazují dobré známky trvanlivosti, ovšem při řádném mazání. Těleso kluzného ložiska bývá součástí klikové skříně a k němu se pevnostními šrouby připevňuje víko ložiska. V tělese a víku je přesný otvor, do kterého se vkládají pánve ložiska. Podle počtu vrstev materiálu se rozlišují ložiska na jednovrstvá, dvouvrstvá a třívrstvá. Pro velké zatížení motorů bývají dnes používána třívrstvá tenkostěnná kluzná ložiska vylévaná do ocelových pánví. Ložiskům je při výrobě věnována značná pozornost, kvalitnější ložiska totiž výrazně ovlivňují mechanické ztráty v motoru. [2]

Pro snížení mechanických ztrát je v některých případech možné nahrazovat ložiska kluzná ložisky valivými. Ty mají menší třecí ztráty a nemusí být mazány velkým množstvím oleje, jak je tomu u ložisek kluzných. [3]

3.3.2 ULOŽENÍ KLIKOVÉHO HŘÍDELE

Vhodný způsob uložení klikového hřídele je jednou z možností, která vede ke snižování mechanických ztrát u spalovacích motorů. Klikový hřídel bývá uložen souose, se středy co nejpřesněji v jedné přímce, na ložiskách. Jejich počet ovlivňuje mechanické ztráty vzniklé třením. Čím větší je počet ložisek pro uložení hřídele, tím klidnější je chod motoru, avšak vznikají větší třecí ztráty. Klikový hřídel u čtyřválcových motorů může být uložen buď v pěti ložiskách, nebo pouze ve třech. Jestliže je uložen pouze na třech kluzných ložiskách, bývají sníženy třecí ztráty, avšak potom je kladen větší důraz na kvalitu materiálů ložisek a hřídele. Schéma uložení čtyřválcového motoru na třech a pěti ložiskách je patrný z následujících obrázků. [2][3]



Obr. 7 Schéma uložení klikového hřídele čtyřválcového motoru na třech ložiskách [15]



Obr. 8 Schéma uložení klikového hřídele čtyřválcového motoru na pěti ložiskách [15]

3.4 SNIŽOVÁNÍ ZTRÁT VE VENTILOVÝCH ROZVODECH

Pro snižování mechanických ztrát u ventilových rozvodů lze užit několik metod. Vhodné je například použití komponent nižších hmotností, avšak nemenších pevností. Povrchová úprava jednotlivých komponent, u kterých se vyskytuje tření, je neméně důležitá metoda pro snížení mechanických ztrát. Pro uložení vačkové hřídele se někdy užívá kluzných ložisek. Jejich nahrazením za valivá, stejně tak jako u ložisek na klikovém hřídeli, může dojít ke snížení mechanických ztrát v důsledku nižšího tření. Valivá ložiska navíc nepotřebují, aby k nim olejové čerpadlo přivádělo tak velké množství oleje, jako u kluzných ložisek. Mechanické ztráty čerpadla způsobené přiváděním oleje jsou pak menší. [10]

3.4.1 POČET VENTILŮ NA VÁLEC

U dnešních čtyřdobých motorů bývá užíváno buď čtyř, nebo pouze dvou ventilů na válec. Jejich počet má vliv na mechanické ztráty. Při použití více ventilů vznikají v motoru větší mechanické ztráty, avšak válec je rychleji plněn a čištěn od zplodin. Dosahuje se tím větších otáček a výkonu. Některé menší moderní motory využívají pouze dvou ventilů na válec za současného použití přeplňování. Je to vhodný způsob pro dosažení nízkých hodnot mechanických ztrát a vysokých hodnot výkonu. [10][2]

3.4.2 VOLBA PROVEDENÍ VENTILOVÝCH ROZVODŮ

Důležitá je volba konstrukčního provedení rozvodového mechanismu. Při volbě rozvodu s větším počtem stykových ploch rostou mechanické ztráty v důsledku tření. Naopak při použití rozvodů, které mají méně mechanických částí a tedy i menší počet stykových ploch, mechanické ztráty klesají. Příkladem snížení ztrát je užití rozvodového provedení OHC. [2]



ZÁVĚR

Mechanické ztráty jsou ve spalovacích motorech nežádoucí. Je třeba uvědomit si, že nemohou být nikdy zcela odstraněny, pouze eliminovány.

V této práci jsme si ukázali místa a příčiny vzniku mechanických ztrát. Ztráty jsou způsobovány zejména třením na plochách těles při vzájemném kontaktu. U spalovacích motorů je tření největší mezi kmitajícím pístem s kroužky a válcem. Velkých hodnot dosahuje také v silně namáhaných ložiskách u klikové, či vačkové hřídele. Snižování tření je možné dosáhnout vhodnou povrchovou úpravou materiálů. Nejdůležitější, je však mazání povrchů materiálů. Vývoj maziv je na popředí zájmu a zkoumání, neboť použitím moderních kvalitních maziv s optimální viskozitou, lze dosáhnout skvělých výsledků při snižování třecích ztrát v motoru. Maziva mají zásadní vliv na bezproblémový a bezpečný chod spalovacích motorů.

Uvedli jsme si také metody, pomocí kterých lze zjišťovat mechanické ztráty. Nejvhodnější a nejefektivnější se zdá být experimentální metoda, využívající motorovou brzdu, neboli dynamometr. Výsledky získané touto metodou jsou velmi přesné a lze dokonce určovat podíl ztrát jednotlivých součástí motoru. Výpočetní metody jsou velice důmyslné, do budoucna lze očekávat jejich hojnější využití a také další zdokonalení.

Je možné bezpochybně konstatovat, že se daří snižovat mechanické ztráty ve spalovacích motorech. Užitím vhodných moderních způsobů, konstrukčních řešení a technologických úprav jsou ztráty eliminovány. Do budoucna lze jistě očekávat, nástup nových efektivních způsobů pro snižování mechanických ztrát. S novými technologiemi to bude pravděpodobně možné. Lze tedy očekávat, nástup vysoce účinných spalovacích motorů s malými mechanickými ztrátami. Otázkou však zůstává, zda nebudou brzy spalovací motory nahrazovány elektromotory, z důvodu nedostatku pohonných hmot.



POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] RAUSCHER, J.: *Vozidlové motory*, studijní opory, FSI VUT Brno 2003
- [2] VLK, František. *Vozidlové spalovací motory*. 1. vyd. Brno: Prof.Ing.František Vlk, DrSc, 2003, 578 s. ISBN 8023887564.
- [3] JAN, Zdeněk a Bronislav ŽDÁNSKÝ. *Automobily (3): Motory*. Brno: Avid, 2007. ISBN 9788090367173.
- [4] SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R MISCHKE, Richard G BUDYNAS, Martin HARTL a Miloš VLK. *Konstruování strojních součástí*. 1. vyd. Brno: VUTIUM, 2010, 1159 s. ISBN 9788021426290.
- [5] FERENC, Bohumil. *Spalovací motory: karburátory a vstřikování paliva*. 1. vyd. Praha: Computer Press, 2004, 388 s. ISBN 8025102076.
- [6] HALLIDAY, David, Robert RESNICK a Jearl WALKER. *Fyzika: vysokoškolská učebnice obecné fyziky*. 1. české vyd., 2. dotisk. Překlad Jan Obdržálek, Bohumila Lencová, Petr Dub. V Brně: Prometheus, 2006, vii, 1034-1198, [30]. ISBN 80-214-1868-0.
- [7] MATAJSZ, P. *Zařízení a pracoviště pro měření výkonu motoru*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 46 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Martin Beran.
- [8] SAJDL, Jan. Emisní norma EURO. In: *Autolexicon.net* [online]. 2013 [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/emisni-norma-euro/>
- [9] MOTOR řezy a obrázky. In: *SUZUKI GSX* [online]. 2001 [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: <http://www.suzuki-gsx.cz/forum/viewtopic.php?t=341&sid=3e14f59513ed1378347c8f8658409182>
- [10] KUČERA, P. *Snižování mechanických ztrát ve ventilovém rozvodu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 45 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Pavel Novotný, Ph.D.
- [11] SuperFlow: Dynamometres & Flowbenches. *Engine Dyno* [online]. 2013 [cit. 2013-05-06]. Dostupné z: <http://superflow.com/Dynamometers/Engine/index.php>
- [12] EMRICH, M. *Predikce mechanických ztrát spalovacích motorů*. Disertační práce. ČVUT v Praze. 2010
- [13] Vlastnosti motorových olejů: Viskozita. In: *Oleje: Svět maziv* [online]. 2013 [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: <http://www.oleje.cz/clanek/517>
- [14] Viskozita automobilových motorových olejů. In: *Oleje: Svět maziv* [online]. 2013 [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: <http://www.oleje.cz/clanek/Viskozita-automobilovych-motorovych-oleju>



- [15] LHOTA, M. *Snižování mechanických ztrát v klikovém mechanismu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 50s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Pavel Novotný, PhD.

**SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ**

i	[-]	počet válců motoru
M_t	[Nm]	točivý moment motoru
n	[min ⁻¹]	počet otáček motoru
P_1	[kW]	výkon při odpojené součásti 1
P_e	[kW]	efektivní výkon
p_e	[MPa]	střední efektivní tlak
P_i	[kW]	indikovaný výkon
p_i	[MPa]	střední indikovaný tlak
p_{i1}	[MPa]	střední indikovaný tlak jednoho válce
P_m	[kW]	ztrátový výkon
p_m	[MPa]	střední tlak mechanických ztrát
V_z	[dm ³]	zdvihový objem motoru
V_{zv}	[dm ³]	zdvihový objem válce
η_e	[-]	efektivní účinnost
η_i	[-]	indikovaná účinnost
η_m	[-]	mechanická účinnost
τ	[-]	počet dob motoru



SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1: Disk CD s elektronickou verzí bakalářské práce.