

Univerzita Pardubice

Dopravní fakulta Jana Pernera

Diagnostika mechanických dílů pístového spalovacího motoru

Ondřej Burda

Bakalářská práce

2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Ondřej BURDA**
Studijní program: **B3709 Dopravní technologie a spoje**
Studijní obor: **Dopravní prostředky-Silniční vozidla**
Název tématu: **Diagnostika mechanických dílů pístového spalovacího motoru**
Zadávací katedra: **Katedra dopravních prostředků a diagnostiky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Úvod
2. Vlastní diagnostika motoru
3. Vliv netěsnosti na výkonové charakteristiky motoru
4. Diagnostika těsnosti spalovacího prostoru
5. Závěr

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

Vlk, F.: Zkoušení a diagnostika motorových vozidel. Nakladatelství a vydavatelství Vlk, Brno 2001 KREIDL, M.ŠMÍD, R.: TECHNICKÁ DIAGNOSTIKA. BEN- TECHNICKÁ LITERATURA, PRAHA 2006

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Petr Jilek, DiS.

Katedra dopravních prostředků a diagnostiky

Datum zadání bakalářské práce: **26. února 2010**

Termín odevzdání bakalářské práce: **31. května 2010**



prof. Ing. Bohumil Culek, CSc.

děkan

L.S.



doc. Ing. Miroslav Tesař, CSc.

vedoucí katedry

dne

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 20. 5. 2010

Ondřej Burda

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce, panu Ing. Petru Jílku, DiS za informace a připomínky poskytnuty při zpracovávání této bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat vedoucímu odborného výcviku panu Jaroslavu Mertovi, jehož prostřednictvím mně bylo umožněno provést měření vnějších otáčkových charakteristik motoru na stacionární výkonové zkušebně v prostorách odborného výcviku Vyšší odborné školy a Střední průmyslové školy automobilní a technické v Českých Budějovicích.

V Pardubicích dne 20. 5. 2010

Ondřej Burda

ANOTACE

Tato práce se zabývá diagnostikou mechanických dílů pístového spalovacího motoru. Jsou zde popsány metody diagnostikování a následky na provoz spalovacích motorů při výskytu případných závad. Jednou z hlavních částí práce bylo provedeno měření výkonových charakteristik motoru v závislosti na těsnosti spalovacího prostoru. V závěru práce jsou pak popsány moderní metody diagnostikování pístových spalovacích motorů a návrh jejich dalšího využití.

KLÍČOVÁ SLOVA

těsnost spalovacího prostoru, kompresní tlak, manometr, průtokoměr, výkon motoru

TITLE

Diagnostics of the mechanical parts of a piston combustion engine

ANNOTATION

This work deals with the diagnostics of mechanical parts of the internal combustion engine. There are described methods of diagnostics and consequences for the operation of internal combustion engines in the presence of possible defects. One of the main parts of this work was measuring engine power characteristics, depending on the tightness of the combustion engine. In the end of the work there are described the modern methods of diagnosing combustion engines and the proposal for their further use.

KEYWORDS

tightness of the internal combustion engine, compression pressure, manometer, flowmeter, engine power

OBSAH

1	Úvod.....	11
2	Vlastní diagnostika motoru	13
2.1	Diagnóza stavu jednotlivých částí.....	13
2.1.1	Válec, vložka válce.....	13
2.1.2	Píst, pístní čep.....	15
2.1.3	Pístní kroužky.....	16
2.1.4	Sací a výfukové ventily	17
2.2	Vznik dalších netěsností a jejich následky.....	18
3	Vliv netěsnosti na výkonové charakteristiky motoru.....	20
3.1	Závislost vnější otáčkové charakteristiky na snížené těsnosti jednoho válce	21
3.1.1	Vliv netěsnosti jednoho válce na momentovou charakteristiku motoru ...	22
3.1.2	Vliv netěsnosti jednoho válce na výkonovou charakteristiku motoru.....	23
3.2	Vliv netěsnosti dané běžným opotřebením na výkon motoru	26
3.2.1	Měření kompresních tlaků.....	26
3.2.2	Měření výkonové charakteristiky motoru	26
3.2.2.1	Kontrola parametrů před provedením měření	27
3.2.2.2	Měření vnější otáčkové charakteristiky motoru	27
3.2.2.3	Zjištění hodnoty ztrátového výkonu	29
3.2.2.4	Porovnání výkonových charakteristik motorů.....	29
4	Diagnostika těsnosti spalovacího prostoru.....	32
4.1	Měření kompresních tlaků.....	32

4.1.1	Druhy kompresiometrů.....	32
4.1.2	Základní adaptéry pro připojení manometru k válci	33
4.1.3	Požadavky pro měření	33
4.1.4	Postup měření	33
4.2	Měření těsnosti spalovacího prostoru stlačeným vzduchem	35
4.3	Měření průniku plynu do klikové skříně	36
4.4	Měření odběru proudu spouštěčem	37
4.4.1	Vlastnosti měření napěťového signálu	38
4.4.2	Vlastnosti měření proudového signálu	38
4.5	Zkoušky činnosti jednotlivých válců.....	40
4.5.1	Analýza odpojováním zapalovacích kabelů	40
4.5.2	Analýza odpojováním vstřikovačů	40
4.5.3	Analýza ponechání jednoho vstřikovače	41
4.6	Měření tlaku ve válci pomocí piezosenzorů.....	41
4.6.1	Popis měřícího zařízení	42
4.6.2	Princip činnosti diagnostického systému.....	43
4.6.2.1	Zjištění absolutního tlaku	45
4.6.2.2	Průběh přivedeného tepla do soustavy	47
4.6.2.3	Průběh hoření dle Vibeho	49
5	Závěr.....	50
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	52
	SEZNAM OBRÁZKŮ	54

SEZNAM TABULEK.....	55
SEZNAM GRAFŮ.....	55
SEZNAM PŘÍLOH.....	56

1 Úvod

Diagnostika motoru zahrnuje soubor činností, které se zabývají zjišťováním stavu a rozsahu opotřebení jednotlivých dílů pístového spalovacího motoru. Podstatou diagnostiky spalovacího motoru je zjišťování stavu: mazací soustavy, chladicí soustavy, zapalovací soustavy, zdrojové soustavy, palivové soustavy a spalovacího procesu ve válcích, atd. Dále se také zabývá případnými příčinami poškození a také vzájemným nastavením součástí spolu funkčně pracujících. Vhodné diagnostické úkony pak vedou ke snížení provozních nákladů, zjišťování případných závad a jejich příčin. Na základě těchto diagnostických operací pak mohou být plánovány jednotlivé kroky údržby a opravy spalovacího motoru.

Obor diagnostiky motoru a diagnostických systémů se neustále vyvíjí. Diagnostické systémy a užívané metody diagnostiky se stále více zdokonalují a vývoj směřuje k plné automatizaci diagnostiky motoru, nebo jeho funkčních částí. Tento vývoj má za cíl zrychlit a zefektivnit celý diagnostický proces. Neopomenutelné je také hledisko ekonomické. Jelikož užitím diagnostických prostředků se urychlí lokalizace poruch či lokalizace míst se sníženými provozními parametry pro správnou funkci motoru, klesá tím i cena celkových opravárenských činností spojených s diagnostikovaním.

Výrobci vozidel neustále pracují na vývoji diagnostických systémů, které jsou přímo součástí silničních vozidel. Jedná se o tzv. systémy diagnostiky „on-line“. V současnosti se jim přikládá stále větší důležitosti, jelikož jsou schopny monitorovat jednotlivé parametry motoru a jeho funkčních částí přímo za provozu vozidla. Jsou tedy také schopny přímo odhalit možné závady, které by vznikly dalším provozem vozidla. A tím se eliminují ekonomické ztráty spojené s případnými následnými opravami.

Proto se tato bakalářská práce zabývá metodami diagnostikování stavu spalovacího prostoru pístového spalovacího motoru. Dále se zabývá následky na provoz a funkci spalovacího motoru, které mají za příčinu snížení těsnosti spalovacího prostoru vlivem opotřebení jednotlivých částí tohoto funkčního celku.

2 Vlastní diagnostika motoru

Posuzováním těsnosti spalovacího prostoru vozidlového spalovacího motoru se zabývá, jak již bylo řečeno, diagnostika spalovacího motoru. Jedná se o posouzení míry opotřebení součástí motoru. Při provozu spalovacího motoru dochází k nejrůznějším typům opotřebení jednotlivých částí. Těmito typy opotřebení mohou být např.: otěr, otláčení, kavitace, koroze, atd. Vlastní diagnostika motoru posuzuje stav, ve kterém se spalovací motor nebo jeho části nachází. Sleduje míru opotřebení jednotlivých součástí, hodnoty vůlí spolu zabírajících součástí a také posuzuje celkovou změnu jejich geometrického tvaru.

Opotřebovávané části mající přímý vliv na těsnost spalovacího prostoru:

- Válec, vložka válce
- Píst, pístní čep
- Pístní kroužky
- Sací a výfukové ventily

2.1 Diagnóza stavu jednotlivých částí

2.1.1 Válec, vložka válce

Typické opotřebení válce je největší v horní poloze, kdy je píst v horní úvrati. Směrem k dolní části válce se opotřebení snižuje. Vzniká kuželovitost a ovalita válce. Opotřebení bývá způsobeno vlivem vysokých teplot, tlaků a vlivem nespáleného podílu paliva. Bývá také způsobeno nižší pístovou rychlostí, která se vyskytuje kolem horní úvrati a zamezuje tak k vytvoření hydrodynamické vrstvy oleje na stěnách válce. Při tomto stavu dochází k vytlačení oleje pístním kroužkem na styčných plochách. Zvyšováním pístové rychlosti směrem k dolní úvrati se začne postupně vytvářet na stěnách válce hydrodynamická vrstva oleje a tím dochází i ke snížení opotřebení.

Diagnóza válců a vložek válců se provádí kontrolou:

- rovinnosti
- stavu dosedacích ploch
- souososti
- rovnoměrnosti opotřebení
- přesahu vůči dosedací rovině hlavy
- výskytu zadírání
- stavu koroze
- výskytu prasklin
- stavu a znečištění chladicích žebor u vzduchem chlazeného motoru

2.1.2 Píst, pístní čep

Vlivem otěru se píst nejvíce opotřebovává na svém vnějším plášti a to v rovině kolmé na osu pístního čepu. Dále může docházet k „vytloukání“ pístního kroužku v drážce pístu.

Diagnóza pístu se provádí kontrolou:

- průměru a ovality pístu v referenčních místech
- správné montážní polohy
- stavu otvoru pro pístní čep
- stavu dilatačních spár, trhlin
- stavu pláště na vnější straně, styku s válcem, oleštění, zbarvení, přidřených míst, celistvosti
- stavu drážek pro pístní kroužky, stavu štěrbin pro odvod oleje
- úsad na hlavě pístu, zbarvení, struktury, tloušťky
- stavu vnitřku pístu, zbarvení, úsad
- stavu hlavy pístu a čitelnosti značek – vypálená a propálená místa

Diagnóza pístního čepu se provádí kontrolou:

- velikostí průměru
- pohyblivosti (nalisování) v pístu a pohyblivosti v hlavě ojnice
- hmotnosti pístního čepu
- vzhledu, zjevných poškození, pittingu, trhlin, zadírání

2.1.3 Pístní kroužky

Vzniká zde opotřebení otěrem, což má za následek změnu geometrického tvaru průřezu pístního kroužku. Navíc zde může docházet k vytloukání v drážce pístu a následnému nerovnoměrnému opotřebení po obvodu kroužku. Dále dochází k „čerpacímu účinku“. Vlivem pohybu kroužku v drážce pístu je olej dopravován do spalovacího prostoru.

Diagnóza pístních kroužků se provádí kontrolou:

- vůle v zámku
- axiální vůle v drážce
- celistvosti, zejména u stíracích kroužků s expandérem
- správné montážní polohy, čitelnosti značek
- opotřebení břitů
- průchodnosti drážek u stíracích kroužků s expandérem
- pohyblivosti na vyjmutém pístu

2.1.4 Sací a výfukové ventily

Opotřebení vzniká mezi ventilem a sedlem. Dále se zde mohou vyskytovat další opotřebení, které mohou mít za následek propálení a podpálení ventilu. Příčina této závady může být např. ve špatně nastavené velikosti vůle ventilu.

Diagnóza ventilů se provádí kontrolou:

- čela dříku v místě styku s vahadlem na otisk vahadla (zdvihátka)
- úsad
- dosedacích ploch – průměr, šířka, průměr a šířka otisku sedla, rovnoměrnost otisku, zbarvení od úsad, praskliny, podpálená místa, obvodové rýhy způsobené otáčením ventilu
- průměru dříku v dolní části a v oblasti klínku
- délky ventilu
- jakosti povrchu, zejména v oblasti přechodu dříku do talíře
- pittingu
- zda nedochází k otáčení ventilu
- dříku a talíře na trhliny
- házivosti a ovality
- výšky talíře

Pokud by se kontrolované hodnoty uvedené u jednotlivých částí motoru nacházely v nevyhovujících stavech, mohlo by to předpovídat výskyt netěsností ve spalovacím prostoru motoru.

2.2 Vznik dalších netěsností a jejich následky

Z předchozího členění je patrné, že největší vliv na těsnost spalovacího prostoru má válec (vločka válce), píst, pístní kroužky a v neposlední řadě také ventily. Netěsnosti ale také mohou vznikat mezi hlavou motoru a válcem. Příčina může být v poškozeném těsnění, nedokonalém dotažení hlavy motoru, nebo vlivem prasklin a deformací v hlavě motoru. Další netěsnosti mohou vznikat v místě vstřikovačů nebo svíček. Příčinou těchto netěsností je většinou špatné dotažení nebo deformace.

Netěsnost spalovacího motoru má negativní vliv na výkon motoru. Tato závislost bude více posouzena v kapitole 3. Dále dochází ke zvýšené spotřebě paliva a oleje a snížení kompresních tlaků. Motor se obtížněji spouští a udržuje volnoběžné otáčky. Dochází k nedokonalému spalování, což se projevuje vzrůstajícím podílem emisních škodlivin ve výfukových plynech. Dále dochází k úniku chladicí kapaliny do olejové náplně.

Při vyhodnocení všech těchto pozorování lze posoudit stav spalovacího prostoru a pomocí jednotlivých prostředků diagnostiky lokalizovat místa netěsností.

Přestože diagnostika jednotlivých částí zahrnuje poměrně jednoduché diagnostické úkony, které spočívají převážně ve vizuální kontrole a proměření geometrických parametrů jednotlivých částí, bývá její použití ve většině případů poněkud nevhodné. Nevhodnost užití této diagnostické metody je dvojího charakteru. Tím prvním je hledisko časové. K samotnému diagnostickému úkonu by totiž přibyla demontáž a zpětná montáž jednotlivých diagnostikovaných dílů, která by celý tento diagnostický proces velice prodloužila. Nehledě na to, že moderní diagnostické systémy si kladou za požadavek, aby celý proces probíhal bez demontážně a nedestruktivně. S tím je spjata druhé hledisko spočívající v tom, že po opětovné montáži by docházelo k znovu zabíhání funkčních částí mezi sebou, které by vedlo ke zvýšenému opotřebením. Proto se vhodnost užití těchto diagnostických úkonů jeví jen u součástí z motoru již demontovaných. Pro diagnostiku pístového spalovacího motoru jako funkčního celku

existují daleko vhodnější a přesnější diagnostické systémy a postupy. Tyto metody budou popsány v následujících kapitolách.

3 Vliv netěsnosti na výkonové charakteristiky motoru

Výkon je charakterizován mírou mechanické práce vykonanou za jednotku času. V zásadě se jedná o dva typy výkonu. Výkon průměrný, kde motor vykoná mechanickou práci za určitý časový interval a výkon okamžitý, kde je mechanická práce vztažena k určitému časovému elementu dt . Definice výkonu je popsána rovnicí (3.1).

Výkonová charakteristika spalovacího motoru je pak vyjádření závislosti průběhu výkonu vzhledem k otáčkám motoru v celém spektru zátěže. Nejčastěji bývá uváděna společně s momentovou charakteristikou motoru. Vyjádření výkonové a momentové charakteristiky motoru v jednom grafu pak bývá označováno jako vnější otáčková charakteristika motoru.

V minulosti byl výkon spalovacích motorů vyjadřován fyzikální jednotkou PS nebo také HP. Tato jednotka označovala tzv. koňskou sílu. Což mělo opodstatnění pro představu velikosti hodnot výkonu. V současné době se již od tohoto označení upouští a výkon bývá vyjadřován jednotkami SI.

$$P = \frac{dW}{dt} \quad (3.1)$$

kde

W...mechanická práce

t...čas

Práci lze definovat vztahy (3.2) a (3.3).

$$dW = p \cdot dV = \frac{F}{S} \cdot S \cdot ds \quad (3.2)$$

$$dW = F \cdot ds \quad (3.3)$$

Po úpravách jsou oba vztahy totožné.

Dosazením rovnice (3.3) do vztahu (3.1) lze psát

$$P = \frac{F \cdot ds}{dt} = F \cdot v \cdot \cos \alpha = F_t \cdot v \quad (3.4)$$

Rychlost je definována

$$v = r \cdot \omega \quad (3.5)$$

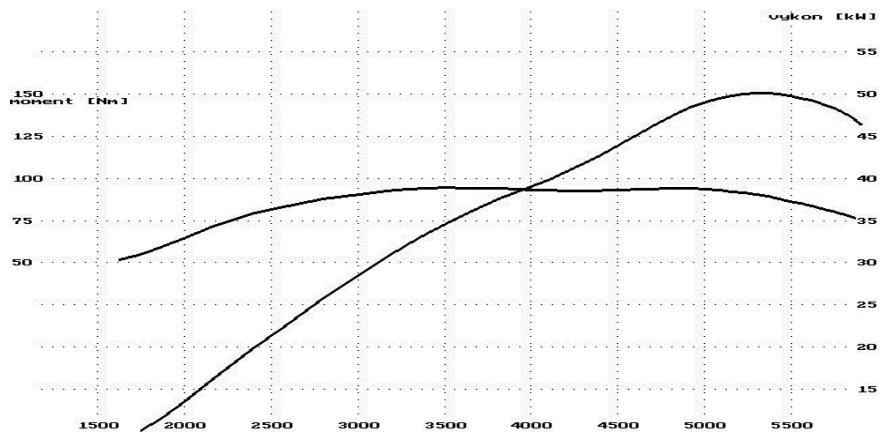
U pístového spalovacího motoru bude tedy výkon ovlivněn prací, kterou je motor schopen vykonat. Tato práce je dále závislá na středním efektivním tlaku (síle na píst) a na změně objemu. Proto výkon závisí na síle, která je vyvinuta na píst (středním efektivním tlakem) a úhlové rychlosti.

$$P = F \cdot r \cdot \omega \quad (3.6)$$

Je zřejmé, že pokud by byla snížena těsnost spalovacího prostoru pístového spalovacího motoru, nemohlo by dojít v době kompresního a expanzního zdvihu k vyvinutí stejně velkého tlaku jako u motoru s dokonale těsným spalovacím prostorem. Toto snížení tlaku by mělo za následek snížení práce, kterou by byl schopen spalovací motor vykonat. Což by následně vedlo ke snížení výkonu pístového spalovacího motoru.

3.1 Závislost vnější otáčkové charakteristiky na snížené těsnosti jednoho válce

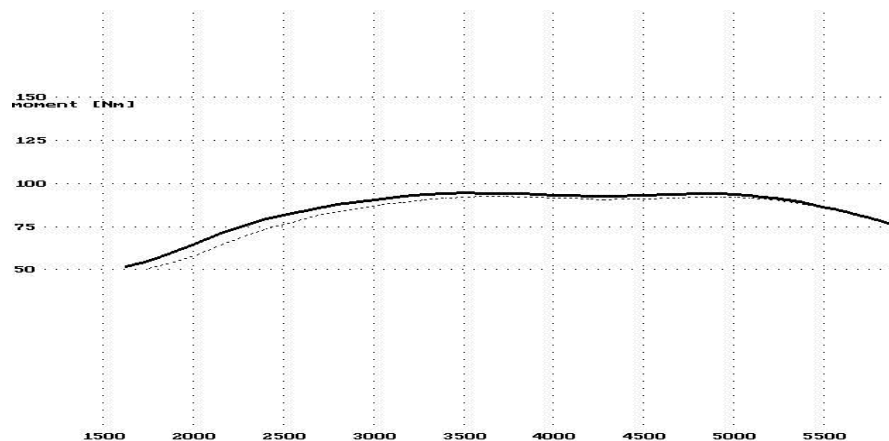
Součástí díla Diagnostika provozních parametrů spalovacích motorů [11] bylo měření, které se zabývalo závislostí točivého momentu motoru na těsnost spalovacího prostoru. Tento experiment probíhal na vozidle Škoda Felicia s jednobodovým vstřikováním. Motor v tomto vozidle je vybaven centrálním jednobodovým vstřikováním před škrtkou. Nejdříve na tomto vozidle bylo provedeno měření výkonové a momentové charakteristiky (vnější otáčkové charakteristiky motoru). Vozidlo bylo při tomto měření v normálním technickém stavu. Výsledek tohoto měření je zobrazen na obrázku 3.1.



Obrázek 3.1 – Vnější otáčková charakteristika motoru [11]

3.1.1 Vliv netěsnosti jednoho válce na momentovou charakteristiku motoru

Následně byla snížena těsnost spalovacího prostoru prvního válce. To bylo provedeno nastavením záporné vůle na sacím ventilu. Snížení těsnosti bylo provedeno tak, aby hodnoty maximálních kompresních tlaků tohoto válce dosahovaly 75 % maximálních kompresních tlaků motoru před simulací této poruchy. Následně bylo provedeno měření momentové charakteristiky motoru. Na obrázku 3.2 jsou znázorněny obě momentové charakteristiky motoru bez závady a motoru se simulovanou poruchou.



— dobrý technický stav, simulace poruchy

Obrázek 3.2 – Porovnání momentových charakteristik [11]

Funkce s plnou čarou představuje hodnoty reprezentující spalovací motor bez závady a funkce vykreslená přerušovanou čarou charakterizuje spalovací motor se simulovanou poruchou. Při porovnání těchto momentových charakteristik lze konstatovat, že při snížené těsnosti jednoho válce se výsledný točivý moment motoru projeví snížením točivého momentu hlavně v nižších otáčkách. Tato práce se ale již dále nezabývala tím, jak se snížení těsnosti jednoho spalovacího prostoru projeví na výsledné výkonové charakteristice motoru.

3.1.2 Vliv netěsnosti jednoho válce na výkonovou charakteristiku motoru

Je známo, že výkon v závislosti na točivém momentu je charakterizován následujícím vztahem (3.7).

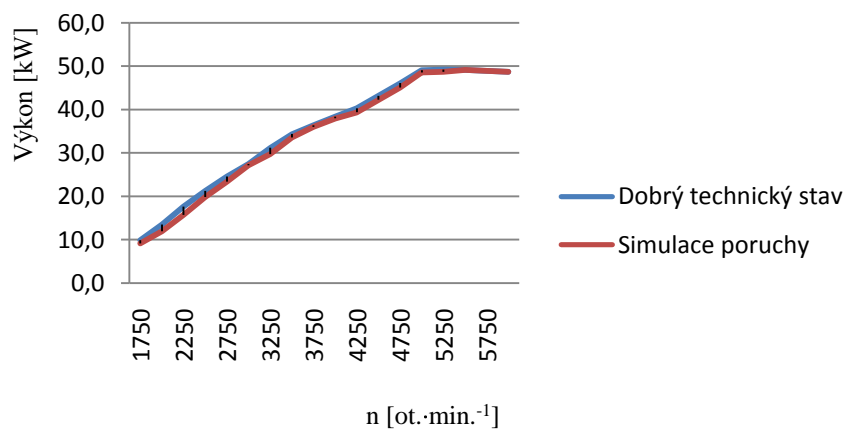
$$P = M \cdot \omega \quad (3.7)$$

V rámci této bakalářské práce byl následně proveden výpočet výkonu pro jednotlivé otáčky motoru z momentových charakteristik motoru se simulovanou poruchou a motoru v dobrém technickém stavu dle uvedeného vztahu (3.7). Jednotlivé hodnoty výkonů byly s příslušnými otáčkami motoru zaneseny do tabulky 3.1. Na základě této tabulky pak byla vytvořena srovnávací výkonová charakteristika. Tato charakteristika je znázorněna grafem 3.1.

Tabulka 3.1 – Závislost výkonu na otáčkách motoru

Dobrý technický stav P [kW]	Simulace poruchy P [kW]	Otáčky n [ot. min. ⁻¹]
9,9	9,2	1750
13,5	12,0	2000
17,7	15,7	2250
21,3	19,9	2500
24,6	23,4	2750
27,5	27,2	3000
31,2	29,8	3250
34,4	33,6	3500
36,4	36,0	3750
38,4	38,0	4000
40,3	39,4	4250
43,2	42,3	4500
46,1	45,1	4750
49,1	48,6	5000
49,3	48,7	5250
49,2	49,2	5500
49,0	49,0	5750
48,7	48,7	5875

Porovnání výkonových charakteristik motoru



Graf 3.1 – Srovnávací výkonová charakteristika

To, že pro srovnávací výkonovou charakteristiku byla vybrána výkonová charakteristika dobrého motoru odvozena z momentové charakteristiky motoru místo výkonové charakteristiky přímo měřené, bylo provedeno z důvodu eliminace systémových chyb. Tyto chyby mohou vznikat například nevhodnou kalibrací přístroje, chybou přístroje, atd. Pokud tedy budou porovnávány výkonové charakteristiky, které jsou obě získány z momentových charakteristik motoru, dojde tím právě k vzájemné eliminaci těchto systémových chyb. Výkonová charakteristika odvozena z momentové charakteristiky motoru v dobrém technickém stavu se od skutečně měřené výkonové charakteristiky sice poněkud liší, hlavně v parametrech absolutních hodnot výkonů pro jednotlivé otáčky. Ale pro posouzení odlišností výkonových charakteristik motoru se simulovanou poruchou a motoru v dobrém technickém stavu se jeví jako více přesná. To je dáno tím, že při porovnávání výkonových parametrů motorů více záleží na relativních hodnotách jednotlivých výkonových charakteristik pro jednotlivé otáčky motoru než na hodnotách absolutních.

Ze srovnávací výkonové charakteristiky uvedené v grafu 3.1 je tedy zřejmé, že snížená těsnost spalovacího prostoru jednoho válce vede ke snížení výkonu v celém spektru otáček motoru. Přičemž nejvíce negativně jsou ovlivněny hodnoty výkonů při nižších otáčkách motoru. Pro přesnější diagnostické vyhodnocení by však bylo vhodnější provést srovnání výkonových charakteristik jednotlivých válců.

3.2 Vliv netěsnosti dané běžným opotřebením na výkon motoru

V rámci této bakalářské práce bylo provedeno měření, které mělo za úkol sledovat průběh výkonu motoru v závislosti na běžném opotřebením spalovacího prostoru motoru vzhledem k průběhu výkonu nového motoru. Pro tento experiment bylo vybráno vozidlo Škoda Octavia s motorem 1,8 l AGN 92 kW/ 125 PS.

3.2.1 Měření kompresních tlaků

Nejdříve bylo provedeno měření kompresních tlaků postupem, který je uveden v kapitole 4.1. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 3.2.

Tabulka 3.2 – Naměřené hodnoty kompresních tlaků

Válec	Kompresní tlaky [MPa]
1. Válec	1,04
2. Válec	1,01
3. Válec	0,98
4. Válec	1,01

Výrobce udává hodnoty kompresních tlaků u nového motoru až 1,4 MPa a hodnoty kompresních tlaků na hranici opotřebením 0,75 MPa. Z výše uvedeného vyplývá, že motor, na kterém bylo provedeno měření kompresních tlaků, se nachází ve stavu běžného opotřebením. Proto tento motor splňuje základní podmínku pro uskutečnění experimentu.

3.2.2 Měření výkonové charakteristiky motoru

Měření proběhlo na stacionární výkonové válcové zkušební. Před samotným měřením je třeba zkontrolovat vozidlo, zda se nachází v odpovídajícím stavu. Tento úkon je třeba provést kvůli objektivnosti následujícího měření.

3.2.2.1 Kontrola parametrů před provedením měření

Aby měření bylo objektivní, je třeba nejprve vykonat kontrolu následujících parametrů.

- kontrola provozních kapalin
- kontrola tlaku v pneumatikách – výrobci měřícího zařízení doporučují hustit pneumatiky na horní mez stanovenou výrobcem vozidla.
- kontrola stavu pneumatik – měření se provádí na letních pneumatikách (neprovádí se na protektorech a zimních pneumatikách).
- kontrola upevnění vyvažovacích závaží
- kontrola stavu hnacího agregátu
- kontrola správného nastavení geometrie kol

3.2.2.2 Měření vnější otáčkové charakteristiky motoru

Při měření musí být spalovací motor ohřátý na provozní teplotu. Po nájedu hnacími koly na válce zkušebny je třeba vozidlo zajistit. Zajištění se provádí pomocí bezpečnostních popruhů. Pomocí těchto popruhů se vozidlo připoutá k pevným bodům podlahy. Dále je potřeba zajistit kola hnané nápravy klíny. Pokud je konstrukční provedení parkovací brzdy uzpůsobeno pro hnanou nápravu, provede se zajištění i pomocí této brzdy. Následně se na výfukové potrubí vozidla nasadí odsávací zařízení výfukových plynů. Při měření je potřeba, z důvodu nadměrné zátěže spalovacího motoru, zajistit přídavné chlazení motoru. To je provedeno umístěním přídavného ventilátoru před chladič vozidla. Samotné měření probíhalo na čtvrtý rychlostní stupeň.

Před samotným měřením výkonové charakteristiky motoru je třeba zjistit skutečný převodový poměr od klikového hřídele motoru až na obvod hnacích kol. Nejpresnější metodou zjištění tohoto převodového poměru je pomocí funkce, kterou je měřící zařízení vybaveno. Zjištění převodového poměru pomocí této funkce je přesnější než zjištění převodového poměru výpočtem z údajů dané výrobcem vozu. To je dáno

tím, že diagnostické zařízení je schopno zahrnout do tohoto převodového poměru i ztráty, které se vyskytují při přenosu točivého momentu z klikového hřídele na obvod kol hnací nápravy. Dále se také tímto převodovým poměrem eliminují ztráty vznikající prokluzem mezi koly hnací nápravy a válci výkonové zkušebny. Samotné zjištění tohoto převodového poměru probíhá tak, že se pomocí plynového pedálu vozidla udržují určité konstantní otáčky motoru. Měřicí zařízení určí otáčky, kterými se odvalují válce zkušebny. Celkový převodový poměr je pak dán podílem otáček, které signalizuje otáčkoměr zabudovaný v palubní desce vozidla a otáček naměřených na válcích výkonové zkušebny.

Dalším krokem je zanesení hodnoty účinnosti. Pomocí této hodnoty lze ovlivňovat celkovou vnější otáčkovou charakteristiku motoru. Velikost hodnoty účinnosti je značně závislá na znalosti a zkušenosti obsluhy měřícího zařízení. Při tomto konkrétním měření byla zvolena hodnota 85 %.

Měřicí zařízení dále zaznamenává hodnoty okolních atmosférických podmínek. To je důležité hlavně z hlediska korekce. Výrobci vozidel totiž uvedené, jimi naměřené, vnější otáčkové charakteristiky motoru provádí za stálých podmínek. Toto se provádí z hlediska dodržení co největší objektivnosti měření. Výrobce uváděný jmenovitý výkon se vždy vztahuje k atmosférickému tlaku 101,3 MPa a teplotě 20 °C.

Následně bylo realizováno měření vnější otáčkové charakteristiky motoru a to na čtvrtý rychlostní stupeň. Pomocí plynového pedálu se otáčky motoru z určitých počátečních otáček zvyšovaly postupně až do maxima. Měřicí zařízení pak příslušným otáčkám přiřadilo hodnoty výkonů v jednotlivých bodech. Tyto hodnoty určí na základě znalosti hnací síly kol a obvodové rychlosti válců v příslušných bodech. Hodnoty točivých momentů v jednotlivých bodech se určí dle (3.7) výpočtem.

3.2.2.3 Zjištění hodnoty ztrátového výkonu

K největším ztrátám dochází při přenosu točivého momentu od klikového hřídele na kola hnací nápravy. Tyto ztráty jsou závislé na dílčích účinnostech jednotlivých částí, jako jsou např. spojka, převodovka, spojovací hřídel, rozvodovka a další. K významným ztrátám dochází také při prokluzu kol a deformací pneumatik vlivem stavu povrchu. Literatura uvádí, že velikost těchto ztrát může být až 25 %.

Pro výpočet výkonu na klikovém hřídeli bylo třeba provést korekci doběhem vozidla. Tato korekce probíhala na stejný rychlostní stupeň jako samotné měření. Principem korekce je zvyšování otáček motoru pomocí plynového pedálu až do maxima. Při maximálních otáčkách se provede vyšlápnutí spojkového pedálu a ubrání plynu. Kola hnací nápravy se pak ponechají doběhnout do zastavení. Při tomto měření se eliminují ztráty obsažené v převodovém ústrojí od spojky až na obvod kol hnací nápravy. Tímto měřením se zjistí hodnota tzv. ztrátového výkonu.

Na základě všech těchto výše uvedených parametrů, jako jsou např. ztrátový výkon, převodový poměr, účinnost a atmosférické podmínky, byla diagnostickým zařízením vytvořena vnější otáčková charakteristika motoru. Protokol z tohoto měření je uveden v příloze č. 1.

3.2.2.4 Porovnání výkonových charakteristik motorů

V tabulce 3.3 jsou vyneseny jednotlivé hodnoty výkonů odpovídající příslušným otáčkám měřeného motoru stacionární výkonovou zkušebnou. Dále jsou zde uvedeny hodnoty výkonů pro jednotlivé otáčky nového motoru, které byly zjištěny z vnější otáčkové charakteristiky poskytnuté výrobcem vozidla.

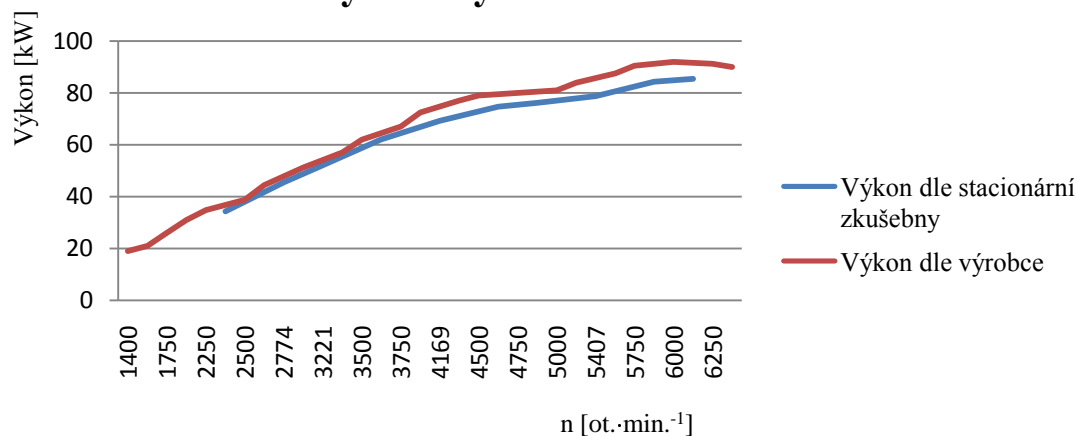
Tabulka 3.3 - Závislosti výkonů na otáčkách měřeného motoru a motoru nového

Otáčky n [ot. $min.^{-1}$] měřeného motoru	Výkon P [kW]
2274	34,31
2774	45,58
3221	52,12
3711	62,03
4169	69,24
4607	74,61
4995	76,13
5407	78,73
5856	84,3
6238	85,37

Otáčky n [ot. $min.^{-1}$] motoru nového	Výkon P [kW]
1400	19
1500	21
1750	26
2000	31
2250	34,75
2500	38,75
2750	44,5
3000	51,25
3250	57
3500	62
3750	67
4000	72,5
4250	77
4500	79
4750	80
5000	81
5250	84
5500	87,5
5750	90,5
6000	92
6250	91,25
6375	90

V grafu 3.2 jsou znázorněny výkonové charakteristiky motorů. V tabulkách 3.3 jsou uvedeny závislosti dílčích výkonů na jednotlivých otáčkách motoru.

Porovnání výkonových charakteristik motorů



Graf 3.2 – Srovnávací výkonová charakteristika

Při porovnání obou výkonových charakteristik motorů je patrné, že běžné opotřebení spalovacího prostoru, které se projevuje rovnoměrným snížením těsnosti všech spalovacích prostorů motoru, vede ke snížení celkového výkonu v celém spektru zátěže motoru. Nejvíce se ale toto snížení projeví ve vyšších otáčkách na rozdíl od výše uvedeného měření snížené těsnosti jednoho spalovacího prostoru, kde se snížení těsnosti projeví zejména v otáčkách nižších. Bohužel srovnání výkonových parametrů motorů provedeno v rámci této bakalářské práce je méně přesné, než výše uvedené porovnání výkonových parametrů motoru v běžném technickém stavu a motoru se simulovanou poruchou. To je dáno tím, že výkonová charakteristika motoru byla porovnávána s určitým ideálním případem. Daleko přesnější by bylo, provést srovnání s výkonovými parametry totožného vozidla na počátku svého uvedení do provozu. Což je ale z časového hlediska velmi nevhodné.

4 Diagnostika těsnosti spalovacího prostoru

Jak již bylo řečeno v kapitole 2, jedním ze základních parametrů pro posouzení stavu pístového spalovacího motoru je posouzení stavu spalovacího prostoru. Proto se dále tato práce zabývá diagnostickými systémy a postupy, které vedou k posouzení stavu spalovacího prostoru a jednotlivých částí tvořících tento konstrukční celek. Dále budou také uvedeny diagnostické postupy vedoucí k popisu děje, který probíhá při spalování ve válci v závislosti na stavu opotřebení spalovacího prostoru pístového spalovacího motoru.

4.1 Měření kompresních tlaků

Měřené hodnoty kompresních tlaků jednotlivých válců jsou jedním ze základních ukazatelů stavu pístového spalovacího motoru. Měření se provádí kompresiometrem (manometrem). Kompresiometr je konstrukčně uzpůsoben pro měření maximálních tlaků. To je provedeno buď užitím vlečené ručičky na stupnici přístroje, nebo zpětným ventilem, který při měření udržuje maximální naměřený tlak v přístroji. Kompresiometr také může být vybaven záznamovým zařízením s registračními štítky.

4.1.1 Druhy kompresiometrů

Pro měření kompresních tlaků se používá různých druhů kompresiometrů. Použití příslušného druhu kompresiometru je dáno typem spalovacího motoru, na kterém má být provedeno měření. Hlavní rozdělení kompresiometrů je tedy z hlediska měřicího rozsahu. Pro zážehové motory se volí užití kompresiometru s nižším měřicím rozsahem. To je dáno tím, že hodnoty kompresních tlaků bývají nižší, než u motorů vznětových. Maximální měřicí rozsah bývá 0,4 MPa – 2,1 MPa. Kompresiometry s vyšším měřicím rozsahem bývají voleny pro měření kompresních tlaků vznětových motorů. Tyto kompresiometry jsou schopny zaznamenávat tlak až

4,5 MPa. Existují také kompresiometry, které jsou určeny pro měření maximálních kompresních tlaků obou typů konstrukcí motorů.

4.1.2 Základní adaptéry pro připojení manometru k válci

Adaptér je konstrukční prvek, pomocí kterého lze propojit spalovací prostor s manometrem. Toto propojení bývá realizováno prostřednictvím otvoru pro zapalovací svíčku nebo vstřikovač. Adaptéry existují dvojího druhu. Adaptéry se závity a adaptéry s pryžovou koncovkou. Při měření kompresních tlaků vznětových motorů se užívá většinou jen adaptérů se závitem. To proto, že hodnoty kompresních tlaků, jak již bylo řečeno, jsou vyšší, než u zážehových motorů. Na adaptér s pryžovou koncovkou by totiž nebylo možno vyvinout dostatečně velkou přítlačnou sílu, která by zamezila unikání tlaku kolem pryžové koncovky. Tím by docházelo k velké chybě měření. Při měření kompresních tlaků zážehových motorů je možno užít obou druhů adaptérů.

4.1.3 Požadavky pro měření

Při měření je třeba dodržet několik základních požadavků, které by jinak vedly k negativnímu ovlivnění celkového výsledku měření. Je třeba dbát dobrého technického stavu akumulátoru. Pokud by tato podmínka nebyla splněna, nemohl by spouštěč vyvinout dostatečný točivý moment. To by se projevilo nižší hodnotou naměřených maximálních kompresních tlaků. S tím také souvisí podmínka druhá, která klade důraz na dobrý technický stav spouštěče. Dále je třeba dbát dobré čistoty vzduchového filtru. To proto, aby motoru nebyly kladeny příliš velké odpory při jednotlivých sacích zdvizích.

4.1.4 Postup měření

Při provádění měření musí být motor zahřátý na provozní teplotu. Teplota motorového oleje by neměla být menší než 30 °C. Dále je potřeba zamezit přeskoku jisker na kontaktech zapalovacích svíček zážehových motorů. To se může provést např. odpojením zapalování. Je také potřeba, aby byl zamezen přísun paliva do válce

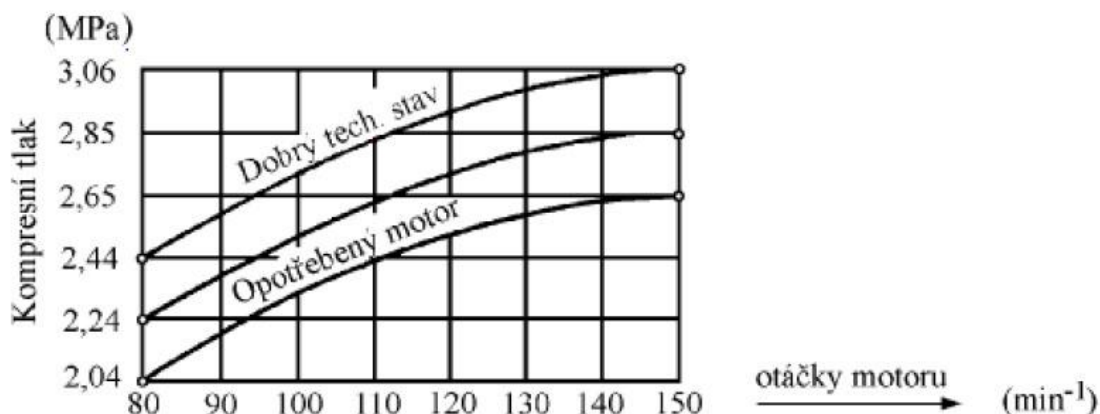
a následně do výfukového potrubí. Mohlo by totiž dojít ke zničení katalyzátoru. To může být provedeno přerušením přívodu proudu do čerpadla např. vyjmutím pojistky. Nyní je potřeba odpojit vysokonapěťové kabely od zapalovacích svíček, demontovat svíčky a několikrát protočit motorem pomocí spouštěče. To se provádí kvůli odstranění nečistot a usazenin ze spalovacího prostoru. Přitom se musí dbát na to, aby bylo vozidlo dostatečně zajištěno. Nyní se kompresiometr přes adaptér s koncovkou napojí do otvoru pro svíčku. Při měření musí být plně otevřena škrtkovací klapka. Spouštění většinou provádí druhá osoba, nebo lze propojit svorky číslo 30 a 50. Motor se protáčí spouštěčem, dokud se hodnota tlaku na kompresiometru neustálí na maximální hodnotě. V praxi se spouštěč nechá v činnosti cca 5 sekund, což odpovídá přibližně 8 otáčkám motoru. Měření se pak provádí i u ostatních válců.

U vznětových motorů je před samotným měřením potřeba odpojit elektrické vedení od přerušovače chodu motoru na vstřikovacím čerpadle. Dále je potřeba demontovat vedení a vstřikovače. Samotné měření se pak provádí skrze otvory pro vstřikovače.

Při porovnání naměřených hodnot kompresních tlaků s údaji od výrobce by se hodnoty neměly lišit o více jak 30 %. To by již znamenalo, že se jedná o závadu nebo podstatné opotřebení. Dalším ukazatelem je srovnání hodnot maximálních kompresních tlaků jednotlivých válců. Jednotlivé hodnoty by se neměly lišit o víc jak 10 %. V příloze č. 2 je uvedena tabulka orientačních hodnot maximálních kompresních tlaků jednotlivých typů konstrukcí spalovacích motorů.

Jestliže byly naměřeny minimální rozdíly jednotlivých válců, ale maximální hodnoty kompresních tlaků jsou o mnoho nižší, než udává výrobce, je možno provést orientační identifikaci závady. Do spalovacího prostoru se vpraví cca 10 ml oleje a motorem se pomalu protočí, aby olej vyplnil prostor mezi pístními kroužky. Následně se celé měření zopakuje. Jestliže se hodnoty kompresních tlaků přiblíží předepsaným, znamená to, že příčina netěsnosti je v místech pístních kroužků. Pokud by hodnoty kompresních tlaků zůstaly stejné, znamenalo by to, že příčina netěsnosti je v místě styku hlavy válce s blokem motoru, nebo v místech sedel ventilů. Pokud by došlo jen k nepatrnému zlepšení, znamenalo by to, že příčina netěsnosti je jak v místech sedel

ventilů popř. v těsnění mezi hlavou válců a blokem motoru, tak v místech pístních kroužků. Na obrázku 4.1 je znázorněna závislost kompresních tlaků na otáčkách.



Obrázek 4.1 – Závislost kompresních tlaků na otáčkách [13]

4.2 Měření těsnosti spalovacího prostoru stlačeným vzduchem

Druhou základní diagnostickou metodou pro zjišťování stavu těsnosti spalovacího prostoru a lokalizaci netěsností je zkouška měření těsnosti stlačeným vzduchem. Měření je třeba provádět na spalovacím motoru, který je zahřátý na provozní teplotu. To proto, abychom těsnost motoru posuzovali objektivně, za jeho provozních podmínek. Protože s rostoucí teplotou, až na provozní, dochází k vymezování vůlí.

Samotné měření probíhá tak, že se demontují zapalovací svíčky nebo vstřikovače. Dále se u měřeného válce nastaví píst do horní úvratí kompresního zdvihu. To lze provést několika způsoby. Obvykle bývá značka na řemenici, pomocí které lze první válec nastavit do horní úvratí kompresního zdvihu (ventily na čtvrtém válci jsou ve stříhu u čtyřválcového motoru). Při měření dalších válců se již jen otáčí klikovým hřídelem po zapalovacích úhlech a postupuje se dle pořadí zapalování. Druhým způsobem nalezení kompresního zdvihu na příslušném válci je pomocí píšťaly. Tato píšťala se umístí do otvoru pro zapalovací svíčku nebo vstřikovací ventil, a začne se otáčet klikovým hřídelem. Pokud bude příslušný válec v kompresním zdvihu, píšťala začne pískat a po dosažení horní úvratí přestane. Následně je třeba zabezpečit klikový hřídel proti pootočení, které by nastalo po přivedení stlačeného vzduchu do spalovacího

prostoru. To může být provedeno zařazením rychlostního stupně a současně zabrzděním vozidla nebo zajištěním setrvačnicku vhodnou západkou. Nyní se přivede tlakový vzduch přes redukční a škrťací ventil, otvorem pro zapalovací svíčku nebo vstřikovač do spalovacího prostoru. Hodnota stlačeného vzduchu bývá 0,3 MPa – 0,5 MPa.

Ukazatele vyhodnocení stavu těsnosti spalovacího prostoru

- Pokles tlaku vzduchu přivedeného do spalovacího prostoru, který nám ukazuje manometr.
- Doba, za kterou tlak poklesne na konečnou hodnotu po přerušení přívodu tlaku vzduchu do válce.

Dále lze pomocí této diagnostické metody identifikovat místa netěsností. To se provádí lokalizací míst úniku vzduchu (slyšitelné syčení).

- Sací potrubí - Příčina zhoršené těsnosti je v sacích ventilech.
- Výfukové potrubí - Příčina zhoršené těsnosti je ve výfukových ventilech.
- Odvzdušnění klikové skříně, plnicí otvor oleje, otvor pro kontrolní měрку stavu množství oleje - Opatřebenění pístu a pístních kroužků.

Pokud by docházelo k pomalému zvyšování tlaku v chladicí soustavě, znamenalo by to, že je poškozeno těsnění pod hlavou nebo vznik větších deformací.

4.3 Měření průniku plynu do klikové skříně

Do této metody se dají zařadit dva druhy měření.

- Měření průtočného množství plynu.
- Měření tlaku plynu v klikové skříně.

U obou typů měření, je výsledkem míra opotřebenění pístů, pístních kroužků a válce motoru.

Měření se provádí tak, že se demontuje vedení odvětrávání klikové skříně. Místo něj se připojí příslušný měřicí přístroj. Pro měření průtočného množství je to průtokoměr a pro měření přetlaku vhodný manometr. Při měření průtočného množství plynu se spalovací motor ponechá pracovat v příslušném požadovaném režimu po určitou dobu. U měření tlaku plynu v klikové skříně postačí vyčkat ustáleného stavu.

Kritériem pro posouzení stavu motoru může být srovnání hodnot s hodnotami od výrobce, nebo s hodnotami zjištěnými při shodném měření na podobných typech motorů. Přibližné hodnoty ztrát do klikové skříně vzhledem k teoreticky nasátému objemu vzduchu by neměli překročit hodnotu cca 0,1 % – 0,5 %.

4.4 Měření odběru proudu spouštěčem

Toto měření je někdy také nazýváno jako dynamická zkouška komprese. Podstatou měření je skutečnost, že odebíraný proud je úměrný okamžitým mechanickým odporům spouštěného motoru. A právě tyto odpory závisí na těsnostech spalovacího prostoru jednotlivých válců.

Měření lze také provádět sledováním okamžitého poklesu (zvlnění) palubního napětí na svorkách spouštěče při spouštění spalovacího motoru.

Při tomto měření je ale třeba dbát, aby výsledek měření, neovlivňovali další vlivy, kterými by mohly být:

- Jiné mechanické odpory – mechanický odpor spouštěče, odpor převodu, atd.
- Závady v elektrickém obvodu spouštěče - přechodové odpory, špatný stav akumulátoru, atd.
- Ostatní vlivy ovlivňující mechanické odpory motoru - snížená průchodnost sání, teplota motoru, atd.
- Citlivost diagnostického signálu na průběh změn měřených parametrů a jeho necitlivost vzhledem k rušivým vlivům.

Při protáčení čtyřválcového motoru proběhnou během čtyř otáček klikového hřídele ve válci dva pracovní cykly. Při sacím, výfukovém a expanzním zdvihu klade motor přibližně stálý mechanický odpor proti protáčení. To je dáno tím, že je vždy jeden ventil otevřen, nebo právě expanduje stlačená směs. Při kompresi dochází ke stlačování směsi nebo vzduchu a odpor proti protáčení vzrůstá. Pro překonávání odporu pak musí spouštěč vyvinout větší točivý moment, což se projeví tím, že bude muset odebírat větší proud. Současně s tím klesne napětí na svorkách spouštěče. Z toho je zřejmé, že čím těsnější bude spalovací prostor, tím větší budou rozdíly momentů, které bude muset spouštěč vyvinout v jednotlivých pracovních zdvizích.

Snímání proudového signálu může probíhat bezkontaktně pomocí proudových kleští. Měřený signál pak dále prochází přes A/D převodník, zesilovač až do osciloskopu. Snímání napětí probíhá na svorkách spouštěče a je vedeno přes A/D převodník do osciloskopu.

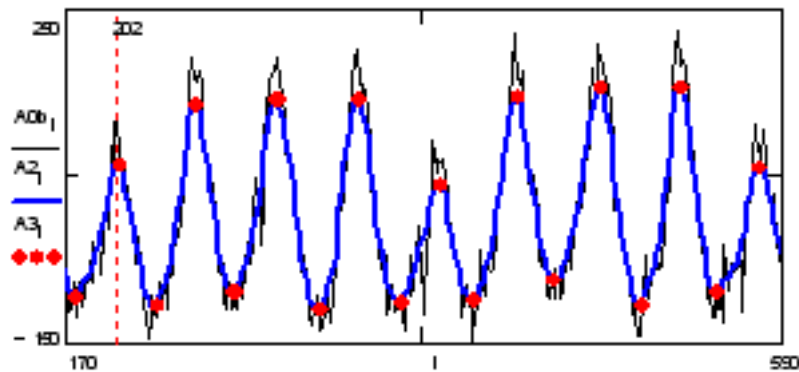
4.4.1 Vlastnosti měření napět'ového signálu

- Není třeba užití speciální sondy, univerzální použití, snadné připojení měřící sondy
- Menší amplituda, možný vliv rušení (např. jiskření komutátoru spouštěče), nutno užít citlivějšího přístroje s větší přesností

4.4.2 Vlastnosti měření proudového signálu

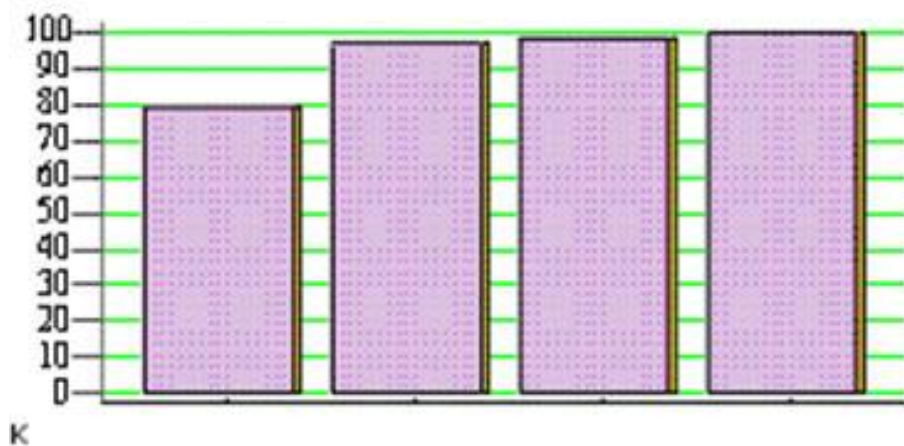
- Větší amplituda, menší vlivy rušení, bezkontaktní snímání
- Výstupní signál nutno převést na napětí, nutná bezkontaktní sonda, zesílení signálu

Na obrázku 4.2 je znázorněn příklad, jak by mohl vypadat průběh odebíraného proudu spouštěčem při spouštění spalovacího motoru. Z obrázku je patrné, že při kompresním zdvihu prvního válce spouštěč odebírá menší proud. Z toho lze usuzovat sníženou těsnost prvního válce.



Obrázek 4.2 – Průběh odebíraného proudu spouštěčem [11]

Kritériem pro posouzení stavu opotřebení spalovacího prostoru je srovnání relativních hodnot naměřeného signálu. Amplitudy jednotlivých proudů odpovídající příslušným válcům jsou porovnávány s válcem s maximální amplitudou. To je znázorněno v obrázku 4.3.



K – komprese vyjádřena procentuálně

Obrázek 4.3 – Srovnání relativních kompresních tlaků [11]

Maximální přípustná odchylka kompresního tlaku je vyjádřena jako odchylka od průměrné hodnoty. Přičemž do výpočtu průměrné hodnoty nejsou zahrnuty válce s maximálním a minimálním kompresním tlakem.

4.5 Zkoušky činnosti jednotlivých válců

Pomocí těchto prostředků nejsme schopni přesně analyzovat stavy jednotlivých spalovacích prostorů motoru. Lze však pomocí nich identifikovat nadměrně opotřebovaný spalovací prostor. Tyto zkoušky bývají aplikovány většinou v opravárenské praxi.

4.5.1 Analýza odpojováním zapalovacích kabelů

Tato metoda však není vhodná pro uplatnění na moderních pístových spalovacích motorech. Pokud by byla použita u motoru, který je vybaven katalyzátorem, hrozilo by jeho poškození. Odpojením zapalování se také zvyšuje zatížení zapalovacího obvodu a mohlo by dojít k poruše některých elektronických prvků.

Tato metoda spočívá v tom, že se u spuštěného motoru postupně odpojují jednotlivé vysokonapěťové kabely od jednotlivých zapalovacích svíček. Současně s tím se sleduje pokles otáček, který vznikne po odpojení vysokonapěťového kabelu. Pokud by bylo zjištěno, že po odpojení kabelu nedošlo k poklesu otáček, signalizovalo by to závadu na příslušném válci.

Podmínkou pro realizaci tohoto měření jsou zvýšené otáčky motoru a udržení konstantní polohy akcelérátoru.

4.5.2 Analýza odpojováním vstřikovačů

Tuto metodu lze na rozdíl od předešlé, kde hrozilo riziko poškození katalyzátoru, aplikovat i u moderních vozidel. Při provedení této metody totiž nedochází k úniku nespáleného podílu paliva do výfukového potrubí.

Princip metody je obdobný jako u předešlého, ale s tím rozdílem, že se odpojují jednotlivé vstřikovače. Následně se jako u předchozí metody sleduje pokles otáček. Pokud by nedošlo k poklesu, signalizovalo by to závadu na příslušném válci.

Protože jsou motory většinou vybaveny regulací chodu volnoběhu, je dobré před začátkem měření zvýšit volnoběžné otáčky pomocí plynového pedálu.

4.5.3 Analýza ponechání jednoho vstřikovače

Postup této metody je takový, že se nastaví volnoběžné otáčky cca na polovinu maximálních otáček. Odpojují se jednotlivé vstřikovače, přičemž se stále přidává plyn, aby se tyto otáčky udržely. Až zůstane v činnosti pouze vstřikovač příslušného válce, který je sledován, sešlápne se opatrně plný plyn a po ustálení otáček se odečte jejich hodnota. Celý tento postup se zopakuje i u zbylých válců. Jestliže by některý z válců dosáhl poměrně menších otáček než ostatní, nebo by se motor neudržel v činnosti, znamenalo by to, že je závada právě na tomto válci.

Při aplikaci těchto metod je třeba počítat s tím, že je spalovací motor a jeho příslušenství nadměrně namáháno. Proto by zkoušky měly trvat co nejkratší dobu.

4.6 Měření tlaku ve válci pomocí piezosenzorů

Děj probíhající ve spalovacím prostoru pístového spalovacího motoru lze hodnotit v závislosti na kvalitě přivedené směsi do spalovacího prostoru. Hořením směsi ve spalovacím prostoru se přivádí do oběhu tepelná energie. Při tomto procesu se přeměňuje chemická energie obsažená ve směsi paliva se vzduchem na energii mechanickou a na tepelnou. A právě změna přivedeného tepla do oběhu má za následek změnu tlaku ve spalovacím prostoru. Současnými diagnostickými prostředky lze s požadovanou přesností celkem dobře určit průběh tlaků ve spalovacím prostoru, které reprezentují průběh hoření směsi. A na základě této závislosti lze stanovit další parametry, které udávají průběh hoření směsi.

Tento systém diagnostiky umožňuje zaznamenávat průběh spalovacího procesu za provozu vozidlového spalovacího motoru. Není určen přímo ke zjišťování stavu těsnosti spalovacího prostoru motoru, ale k popisu děje, který probíhá ve spalovacím prostoru v různých režimech zatěžovaného motoru.

4.6.1 Popis měřícího zařízení

V současnosti existuje několik typů těchto systémů např. Kistler DATAC, AVL Indimeter, apod. V zásadě pracují všechny na stejném principu, jen se od sebe liší rozsahem diagnostických funkcí (např. počtem zaznamenávaných cyklů, atd.). Pro následující popis systému byl vybrán diagnostický systém s indikační aparaturou firmy AVL. Diagnostický systém je složen ze senzoru, zesilovače, systému sběru dat a systému zpracování dat.

Druhy užitých senzorů

Jako senzory tlaku jsou zde použity různé druhy piezoelektrických snímačů. V tomto systému se nachází tři piezoelektrické snímače. Tyto snímače jsou umístěny v sacím a výfukovém potrubí a ve spalovacím prostoru. Dále se zde nachází snímač otáček, který udává informace o úhlové rychlosti a poloze klikového hřídele. Nejčastěji použitým senzorem zde bývá indukční snímač.

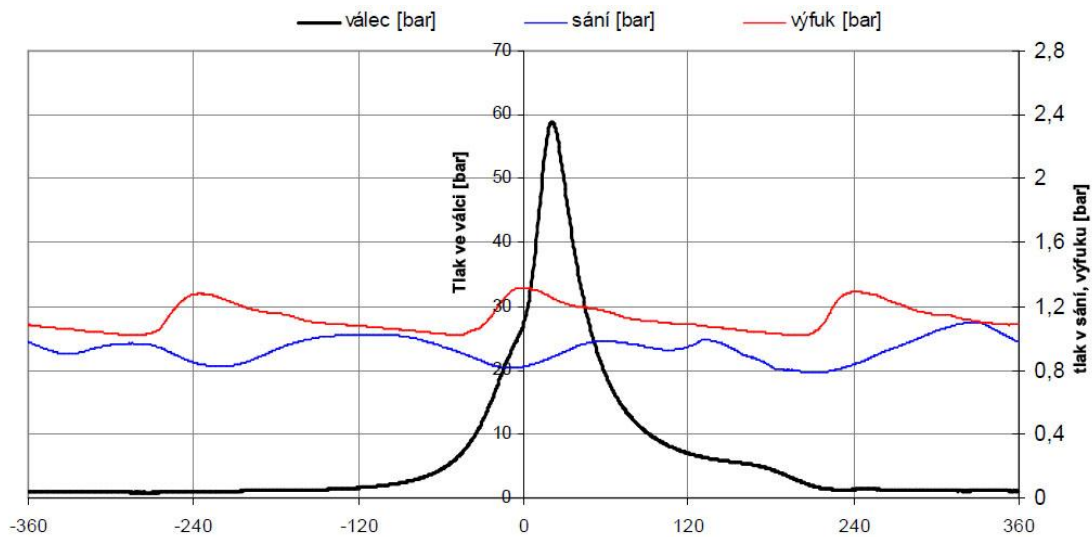
Typy piezoelektrických snímačů

Vzhledem k umístění snímačů se používají nechlazené a chlazené piezoelektrické snímače. Nechlazené snímače umožňují zaznamenávání tlaku v měřeném prostoru, jehož teplota nepřevyšuje hodnotu 240 °C. Proto jsou vhodné k umístění do sacího potrubí.

Chlazené snímače existují ve dvou modifikacích. Vyrábějí se chlazené snímače a tzv. nechlazené snímače s chladícím adaptérem. Pro zaznamenávání procesu, který se odehrává ve výfukovém potrubí a v spalovacím prostoru, je vhodné užít právě těchto piezoelektrických chlazených snímačů. Tyto snímače jsou schopny pracovat v teplotách nad 240 °C.

Z hlediska vlastností piezoelektrického snímače je třeba, aby byl v těsné blízkosti tohoto senzoru napěťový signál zesílen. Po zesílení pak může být dále zpracováván výpočetní technikou pro určení dalších ukazatelů provázejících proces hoření směsi.

Na obrázku 4.4 je pro ilustraci znázorněn průběh tlaků v sacím a výfukovém potrubí a ve spalovacím prostoru v jednom ze zaznamenaných cyklů. Na tomto obrázku jsou již získané signály ze senzorů zpracovány indikační aparaturou.



Obrázek 4.4 – Průběh tlaku ve spalovacím prostoru a v sacím a výfukovém potrubí [10]

4.6.2 Princip činnosti diagnostického systému

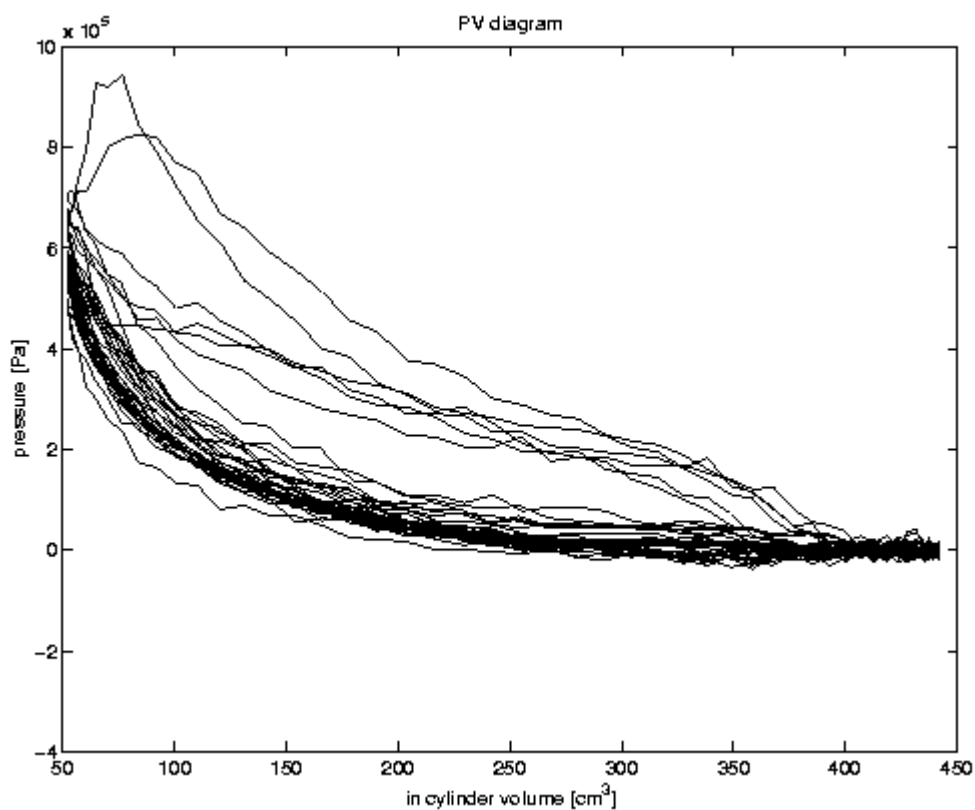
To, že tento systém není primárně určen k diagnostice těsnosti spalovacího prostoru, je dáno vlastnostmi snímače, který zaznamenává průběh spalovacího procesu. Piezoelektrický senzor je vhodný pro dynamická měření. Lze pomocí něj měřit tlak, tlakovou sílu, zrychlení a mechanické napětí. A právě kvůli nevhodnosti statického měření tlaku není tento systém navržen pro měření těsnosti spalovacího prostoru. Avšak hodnoty změn tlaků ve spalovacím prostoru umožňují, abychom si vytvořili určitou představu o stavu těsnosti daného spalovacího prostoru. Tuto představu lze realizovat porovnáním průběhů tlaků jednotlivých spalovacích prostorů ve stejných režimech zátěže pístového spalovacího motoru.

Pomocí tohoto diagnostického systému lze přímo měřit p_{max} maximální tlak ve spalovacím prostoru, $\frac{dp}{d\alpha_{max}}$ maximální nárůst tlaku vzhledem k pootočení klikového

hřídele, $\alpha_{p_{max}}$ hodnotu polohy klikového hřídele v místě maximálního tlaku a $\alpha_{\frac{dp}{d\alpha}}_{max}$ polohu maximálního nárůstu tlaku.

Dále je systém schopen určit střední indikovaný tlak p_i , hluk spalování, přeměněnou energii a průběh hoření (např. počátek, délku hoření, atd.).

Na následujícím obrázku 4.5 je znázorněn P-V diagram skutečného motoru v různých režimech zatížení. Hodnoty objemů odpovídající jednotlivým referenčním tlakům jsou zjišťovány v závislosti na úhlu natočení klikového hřídele α .



Obrázek 4.5 – Průběh tlaků ve spalovacím prostoru v několika cyklech [12]

Na obrázku 4.5 je znázorněn P-V diagram tepelného oběhu skutečného dvoudobého zážehového motoru. Tento systém dokáže vykreslit zaznamenávané tepelné oběhy spalovacích motorů pouze do jediného P-V diagramu. V současné době již existují diagnostické systémy, které umožňují vykreslit P-V diagramy jednotlivých cyklů v různých režimech zatížení do samostatných indikátorových diagramů.

Z průběhů tlaků a objemů lze také určit indikovanou práci W_i . Velikost této indikované práce W_i lze zjistit z diagramu určením sumy kompresní a expanzní práce. Lze také uvažovat, že indikovaná práce W_i je rovna energii získané z daného pracovního cyklu. Tato energie je dána plochou, kterou uzavírá P-V diagram.

$$E = \oint p \cdot dV \quad (4.1)$$

Proto platí, že

$$W_i = \oint p \cdot dV \quad (4.2)$$

Dále se také zjišťují z výše určených hodnot mechanických prací W_i střední indikované tlaky p_i . Jejichž hodnoty lze stanovit pomocí následujícího vztahu (4.3). Z velikostí středních indikovaných tlaků pak lze stanovit těsnost daného spalovacího prostoru. Může to být např. provedeno porovnáním jednotlivých středních efektivních tlaků všech spalovacích prostorů.

$$p_i = \frac{W_i}{V_z} = \frac{1}{V_z} \cdot \oint p \cdot dV \quad (4.3)$$

4.6.2.1 Zjištění absolutního tlaku

Piezoelektrický senzor je schopen měřit změnu tlaku ve spalovacím prostoru. Pro zjišťování absolutních hodnot tlaků je potřeba, aby naměřené hodnoty byly upraveny o korekci tlaku. V praxi se pro korigování na absolutní tlak využívá dvou druhů metod, metody referenční a metody polytropické.

Metoda referenční

Tato metoda spočívá v navýšení hodnot naměřených tlaků ve válci o určité hodnoty referenčních tlaků. Hodnoty referenčních tlaků lze zjistit dvěma způsoby. Prvním, méně přesným, je odhadnutí velikosti tlaku v sacím potrubí. Tyto hodnoty jsou odhadnuty na základě znalosti např. plnicího tlaku přeplňovaných motorů nebo atmosférického tlaku nepřeplňovaných motorů. Druhým způsobem je určování tlaků v sacím potrubí přímým měřením. Pro měření tlaků se zde používají piezorezistivní

senzory. Výhoda piezorezistivních senzorů je, že snímače jsou schopny měřit hodnoty absolutních tlaků. Naměřené hodnoty jsou však u těchto druhů snímačů ovlivňovány velkými změnami teplot. K těmto vysokým teplotním výkyvům však v sacím potrubí nedochází, a proto se zde uplatňuje jejich využití. Užívá se zde senzorů, které jsou schopny měřit menší rozdíly hodnot tlaků.

Metoda polytropická

Skutečný termodynamický děj, který probíhá ve spalovacím prostoru motoru nelze charakterizovat jako děj adiabatický nebo izotermický. Reálný proces, který zde probíhá, se nachází někde mezi těmito dvěma termodynamickými ději. To je dáno např. vlivem třecích ztrát, které vedou k přívodu dodatečného tepla, což má za následek zvýšení entropie. Naopak výskyt např. netěsnosti vede k ochlazení plynu a tím i snížení entropie. Reálný termodynamický děj probíhající ve spalovacím prostoru je tedy dějem polytropickým, který je charakterizován vztahem (4.4).

$$p \cdot V^n = konst. \quad (4.4)$$

Z čehož vyplývá

$$p_1 \cdot V_1^n = p_2 \cdot V_2^n$$

Principem polytropické metody je úvaha, spočívající v předpokladu konstantnosti polytropického exponentu komprese n . Toto je uvažováno pro kompresi, která probíhá od 120° do 40° natočení klikového hřídele před horní úvratí.

Měřicí systém je schopen zaznamenávat až 150 pracovních cyklů. Záleží na druhu použitého diagnostického přístroje. Pro každý tento cyklus je dále schopen provést analýzu, ze které určí parametry provázející hoření. Celá tato diagnostická analýza jednotlivých cyklů probíhá ve stavu on-line.

4.6.2.2 Průběh přivedeného tepla do soustavy

Průběh přivedeného tepla do soustavy se určí z 1. termodynamického zákona (4.5).

$$dQ = dU + dA \quad (4.5)$$

V následujících rovnicích (4.6) a (4.7) jsou uvedeny obě možnosti vyjádření 1. termodynamického zákona i s možnými úpravami.

$$dU = dQ - dA = dQ - p \cdot dV = c_v \cdot m \cdot dt \quad (4.6)$$

$$dI = dQ + dA_t = dQ + V \cdot dp = c_p \cdot m \cdot dt \quad (4.7)$$

Kde

dA – je element absolutní práce

dA_t – je element technické (vnitřní) práce

$$m \cdot dt = \frac{1}{c_v} \cdot (dQ + V \cdot dp) = \frac{1}{c_p} \cdot (dQ - p \cdot dV)$$

$$\frac{1}{c_v} \cdot dQ - \frac{1}{c_p} \cdot dQ = \frac{1}{c_p} \cdot V \cdot dp + \frac{1}{c_v} \cdot p \cdot dV$$

$$dQ \cdot \left(\frac{1}{c_v} - \frac{1}{c_p} \right) = \frac{1}{c_p} \cdot \left(V \cdot dp + \frac{c_p}{c_v} \cdot p \cdot dV \right)$$

$$dQ \cdot \left(\frac{c_p}{c_v} - 1 \right) = V \cdot dp + \frac{c_p}{c_v} \cdot p \cdot dV$$

$$k = \frac{c_p}{c_v} \quad (4.8)$$

Po předešlých úpravách je průběh změn přivedeného tepla do soustavy dán následujícím výrazem (4.9).

$$dQ = \frac{1}{k-1} (V \cdot dp + k \cdot p \cdot dV) \quad (4.9)$$

Tento diagnostický systém dále umožňuje, na základě vypočtených hodnot průběhů přívodu tepla do oběhu z 1. termodynamického zákona, stanovit další parametry provázející proces spalování.

- Počátek a konec spalování – vyjadřuje se pomocí polohy klikového hřídele. Sleduje se poloha klikového hřídele, při které je přivedeno 5 % (u některých systémů 10 %) a 90 % celkového tepla do soustavy. Výpočet doby hoření se v praxi vyjadřuje vzhledem k pootočením klikového hřídele o určitý úhel za určitý čas. Empirický vztah užívaný v praxi je znázorněn následující rovnicí (4.10), která je uvedena ve zdroji [7].

$$10 \% - 90 \% [^\circ] = 20 \cdot \left(\frac{d}{h_p}\right) + 0,6 \cdot \left(\frac{n \cdot h_p}{30} - 11\right) \quad (4.10)$$

Kde

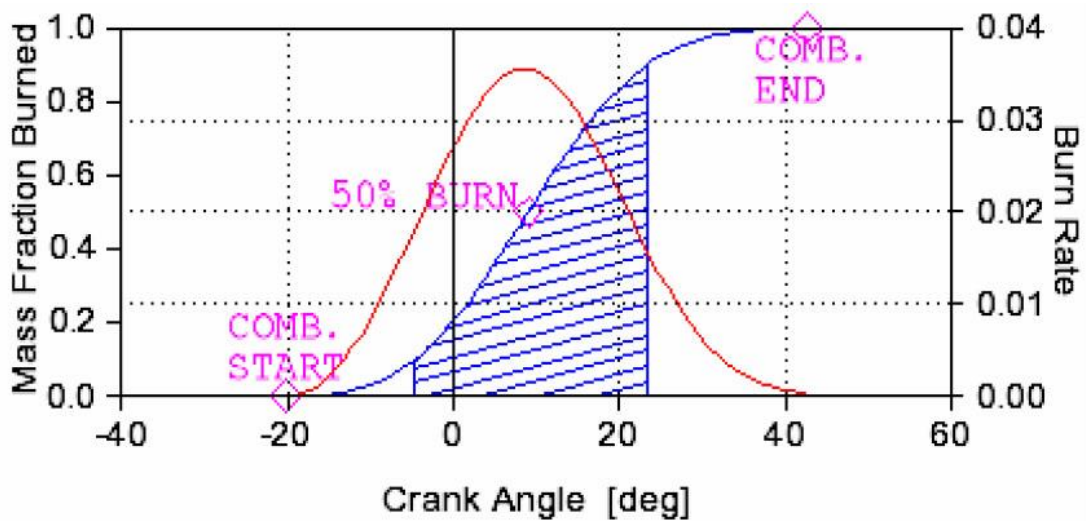
d – Vrtání válce [m]

h_p – Zdvih pístu [m]

n – Otáčky klikového hřídele [min^{-1}]

- Průběh přívodu tepla do oběhu – vyjadřuje se také vzhledem k poloze klikového hřídele. Sleduje se zde ale hodnota 10 % a 50 % tepla z celkově přivedené energie vzhledem k horní úvratí. Zjištěním tohoto přívodu tepla se určí doba zážehu.

Na následujícím obrázku 4.6 je pro ilustraci znázorněn jeden cyklus průběhu spalování. Funkcí, která je vykreslena červenou barvou, je dán průběh tlaku ve spalovacím prostoru. Funkce vykreslená modrou barvou charakterizuje průběh přívodu tepla do soustavy. Šrafovanou oblastí je dána doba hoření. Tato doba, jak již bylo výše uvedeno, je dána přívodem 10 % a 90 % tepla do oběhu.



Obrázek 4.6 – Průběh spalovacího procesu jednoho cyklu [9]

4.6.2.3 Průběh hoření dle Vibeho

V současné době se také experimentálně provádí určení průběhu hoření z tzv. Vibeho funkce. Následující vztah (4.11) dle Vibeho udává podíl vyhořelé směsi.

$$x = 1 - e^{C \cdot \left(\frac{\varphi}{\varphi_k}\right)^{m+1}} \quad (4.11)$$

C – koeficient udávající podíl nespáleného paliva

m – koeficient charakterizující průběh hoření

φ – úhel od počátku hoření

φ_k – celkový úhel hoření

Pro zjištění průběhu hoření je třeba určit Vibeho parametr m a také konstantu C pro přívod 5 % a 90 % tepla do oběhu.

5 Závěr

Největším přínosem této práce bylo zjištění závislosti průběhů výkonů spalovacích motorů na výskytu jednotlivých netěsností. Srovnávací charakteristiky jsou zobrazeny grafy 3.1 a 3.2. Z měření výkonových charakteristik motorů vyplývá, že snížená těsnost jednoho spalovacího prostoru má daleko menší vliv na celkový výkon, než rovnoměrně snížená těsnost všech spalovacích prostorů dána běžným opotřebením. U motoru, kde byla výkonová charakteristika ovlivněna běžným opotřebením, došlo ke snížení výkonu převážně ve vyšších otáčkách. Naopak u motoru se sníženou těsností jednoho válce byla výkonová charakteristika ovlivněna hlavně v otáčkách nižších. Přesto, že byla snaha při tomto měření dodržet všechny zásady pro práci s výkonovou zkušebnou, je třeba naměřené hodnoty chápat s určitou rezervou. To je dáno tím, že se u tohoto diagnostického systému uvádí nejistota měření až 5 %.

Z popsaných diagnostických metod vyplývá, že přesné hodnoty kompresních tlaků a identifikaci místa opotřebení lze zjistit pouze z přímých metod měření kompresních tlaků. Těmito metodami jsou měření kompresních tlaků a měření těsnosti spalovacího prostoru stlačeným vzduchem. Jejich výhodou je, že oproti ostatním nepřímým metodám jsou schopny poměrně přesně určit stav opotřebení. Na druhou stranu jsou tyto metody poměrně časově náročné, protože je zde potřeba demontovat určitý počet dílů spalovacího motoru. A také je třeba mít k dispozici příslušné měřicí přístroje.

U nepřímých metod zjišťování těsnosti spalovacího prostoru pístového motoru je jejich výhodou oproti přímým jejich jednoduchost a menší náročnost na diagnostické přístroje. Naopak jejich nevýhodou je, že nelze určit přesné hodnoty kompresních tlaků, nebo lokalizovat místa netěsností. Jejich užití je vhodné tam, kde je třeba potvrdit podezření na větší opotřebení.

Nejvýznamnějším diagnostickým systémem se jeví přímé měření kompresních tlaků ve spalovacím prostoru motoru pomocí piezosenzorů. Tento systém nejenže dokáže sledovat vývin tlaků příslušných spalovacích prostorů v jednotlivých cyklech,

ale dokáže také popsat pomocí příslušné výpočetní techniky celý proces spalování. Tento systém se však využívá jen pro vývoj nových pístových spalovacích motorů. Jeho uplatnění bývá také v tzv. systému diagnostiky off-line.

Bakalářská práce se snaží poukázat na vhodnost užití tohoto diagnostického systému i za provozu vozidla. Diagnostický systém by dále mohl být využíván pro zlepšení optimalizace spalování spolu s již v dnešní době používanými systémy.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Diagnostika poruch spalovacích motorů. *Nejčastější závady a možnosti diagnostiky* [online]. 2009 [cit. 2010-01-19].
- [2] Diagnostika spalovacích motorů. *Diagnostika zážehových a vznětových motorů* [online]. 2009 [cit. 2010-01-19].
- [3] VLK, František. *Diagnostika motorových vozidel*. [s.l.] : [s.n.], 2006. 444 s. ISBN 80-239-7064-X.
- [4] VLK, František. *Zkoušení a diagnostika motorových vozidel*. [s.l.] : [s.n.], 2001. 576 s. ISBN 80-238-6573-0.
- [5] PAPOUŠEK, Miroslav, ŠTĚRBA, Pavel. *Diagnostika spalovacích motorů*. 2. aktualiz. vyd. [s.l.] : [s.n.], 2007. 223 s. ISBN 978-80-251-1697-5.
- [6] STODOLA, Jiří. *Diagnostika motorových vozidel*. [s.l.], 2003. 288 s. Vysoké učení technické v Brně. Sylaby k přednáškám.
- [7] SVÍDA, David. *Analýza vnitřní termodynamiky spalovacích motorů* [online]. Brno : Fakulta strojní, 2006. 5 s. Oborová práce. Vysoké učení technické v Brně. Dostupné z WWW: <<http://www3.fs.cvut.cz/web/fileadmin/documents/12241-BOZEK/publikace/2006/>>.
- [8] BLAŽEK, Josef. *Výzkum a vývoj komůrkového zážehu pro vozidlový motor* [online]. Liberec : Technická univerzita v Liberci, 2008. 44 s. Dizertační práce. Technická univerzita v Liberci, Fakulta strojní. Dostupné z WWW: <<http://www3.fs.cvut.cz/web/fileadmin/documents/12241-BOZEK/publikace/2008/>>. ISBN 978-80-7372-301-9.
- [9] BRABEC, Pavel; BLAŽEK, Josef. Simulační model spalovacího prostoru. *Vehicles 2008* [online]. 22.4. 2008, č. 1, [cit. 2010-05-1]. Dostupný z WWW: <<http://www3.fs.cvut.cz/web/fileadmin/documents/12241-BOZEK/publikace/2008/>>.

- [10] BLAŽEK, Josef. *Měření a analýza spalovacích tlaků* [online]. Liberec : Technická univerzita v Liberci, 2009. 38 s. Oborová práce. Technická univerzita v Liberci, FS, Katedra vozidel a motorů. Dostupné z WWW: <http://www.ksd.tul.cz/studenti/texty/experiment_metody/In-TECH2_mereni_tlaku.pdf>.
- [11] KADLEČEK, Boleslav; PEJŠA, Ladislav. Diagnostika provozních parametrů spalovacích motorů. In [online]. Praha : Česká zemědělská univerzita, technická fakulta, katedra jakosti a spolehlivosti strojů, 2000 [cit. 2010-05-1]. Dostupné z WWW: <josef.posta.sweb.cz/KONF/Kadlecek.doc>.
- [12] PÍŠA, Pavel. Řízení zážehového motoru. In [online]. Praha : České vysoké učení technické v Praze, 1998 [cit. 2010-05-25]. Dostupné z WWW: <<http://cmp.felk.cvut.cz/~pisa/zap/minimum.html>>.
- [13] STODOLA, Jiří. *Diagnostika motorových vozidel*. Brno, 2003. 288 s. Sylaby k přednáškám. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav dopravní techniky.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 3.1 – Vnější otáčková charakteristika motoru	22
Obrázek 3.2 – Porovnání momentových charakteristik.....	22
Obrázek 4.1 – Závislost kompresních tlaků na otáčkách.....	35
Obrázek 4.2 – Průběh odebíraného proudu spouštěčem.....	39
Obrázek 4.3 – Srovnání relativních kompresních tlaků.....	39
Obrázek 4.4 – Průběh tlaku ve spalovacím prostoru a v sacím a výfukovém potrubí....	43
Obrázek 4.5 – Průběh tlaků ve spalovacím prostoru v několika cyklech	44
Obrázek 4.6 – Průběh spalovacího procesu jednoho cyklu	49

SEZNAM TABULEK

Tabulka 3.1 – Závislost výkonu na otáčkách motoru	24
Tabulka 3.2 – Naměřené hodnoty kompresních tlaků	26
Tabulka 3.3 - Závislosti výkonů na otáčkách měřeného motoru a motoru nového	30

SEZNAM GRAFŮ

Graf 3.1 – Srovnávací výkonová charakteristika	24
Graf 3.2 – Srovnávací výkonová charakteristika	31

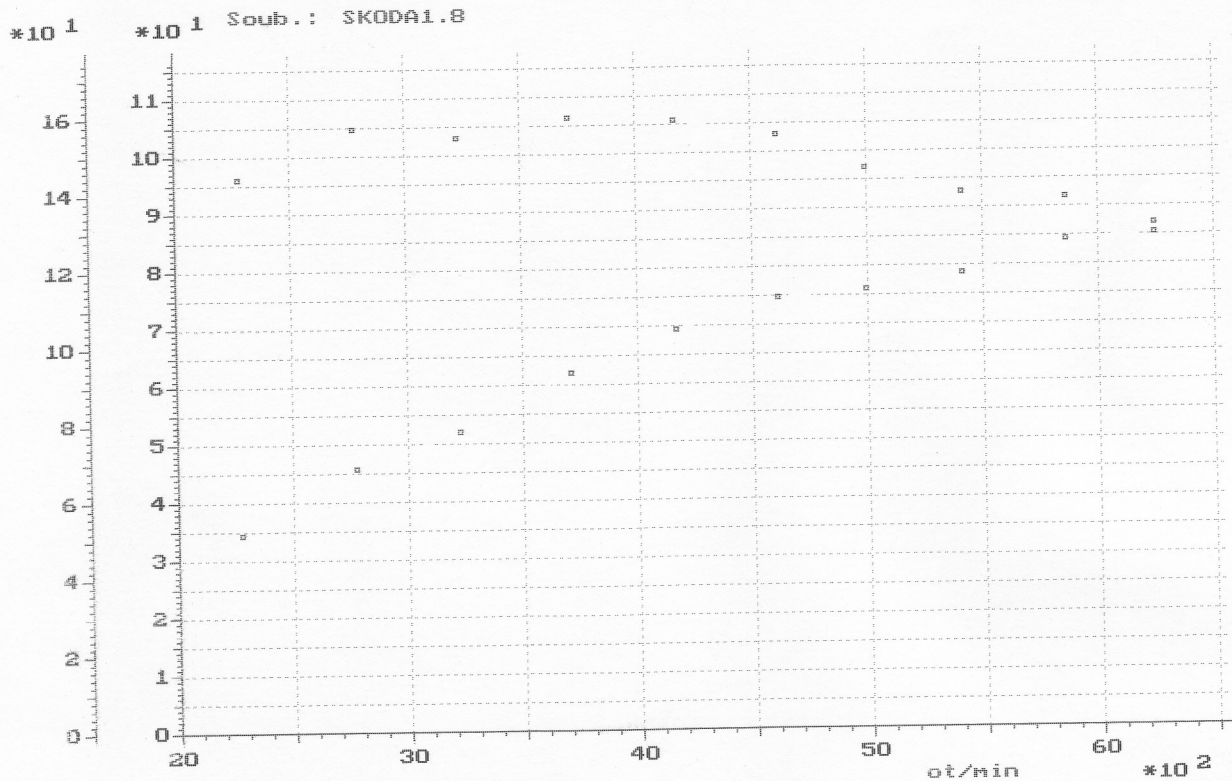
SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1 Protokol z měření vnější otáčkové charakteristiky motoru

Příloha č. 2 Tabulka orientačních hodnot kompresních tlaků

File : SKODA1.8 27. 4.2010 Time 12:47
 Typ motoru : Skoda 1.8 1800cm3
 Popis : skoda1.8

Prevodovy pomer (ot.brzdy/ot.motoru) : 0.2961
 Teplota vzduchu pri mereni [°C] : 22.6
 Atmosféricky tlak pri mereni [kPa] : 98.4
 Vlhkost [%] : 35.8
 Korekční konstanta [-] : 1.0411
 Ucinnost mezi hn.kolem a motorem [%] : 85.0
 Prenos vykonu [Retez/Kolo] : K
 Meril : Spurny



Otá. [rpm]	Vykon [kW]	Vykon [k]	Moment [Nm]
2274	34.31	46.66	144.06
2774	45.58	61.99	156.89
3221	52.12	70.89	154.53
3711	62.03	84.36	159.65
4169	69.24	94.16	158.60
4607	74.61	101.47	154.64
4995	76.13	103.53	145.55
5407	78.73	107.08	139.07
5856	84.30	114.65	137.49
6238	85.37	116.11	130.70

Příloha č. 2 Tabulka orientačních hodnot kompresních tlaků

Motor	Kompresní tlak [MPa]	
	Nové	Hranice opotřebení
Zážehové motory	0,9 - 1,2	0,7
Turbodiesel	0,7 - 0,9	0,6
Vznětové motory	2,5 - 3	2