

**UNIVERZITA PARDUBICE
DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA
KATEDRA DOPRAVNÍCH PROSTŘEDKŮ**

**ANALÝZA VÝVOJE V OBLASTI
ZDOKONALOVÁNÍ PÍSTOVÝCH
SPALOVACÍCH MOTORŮ**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

AUTOR PRÁCE: Lukáš Kala

VEDOUCÍ PRÁCE: doc. Ing. Milan Graja CSc.

2007

**UNIVERSITY OF PARDUBICE
JAN PERNER TRANSPORT FACULTY
DEPARTMENT OF TRANSPORT MEANS**

**AN ANALYSIS OF THE PROGRESS OF
PISTON COMBUSTION-ENGINES**

THESIS

AUTHOR: Lukáš Kala

SUPERVISOR: doc. Ing. Milan Graja CSc.

2007



Univerzita
Pardubice
Dopravní fakulta
Jana Pernera

Fakulta / Vysokoškolský ústav: **Dopravní fakulta Jana Pernera**
Katedra / Ústav : **Katedra dopravních prostředků**
Akademický rok : **2006/2007**

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Pro: **Lukáš Kala**

Studijní program: DOPRAVNÍ TECHNOLOGIE A SPOJE

Studijní obor: DOPRAVNÍ PROSTŘEDKY – SILNIČNÍ VOZIDLA

Název tématu: **Analýza vývoje v oblasti zdokonalování pístových spalovacích motorů**

Zásady pro zpracování – cíl práce:

Závěr práce je zaměřen na zpracování vlastního ideového návrhu, kam by se měl ubírat vývoj v oblasti zdokonalování pístových spalovacích motorů osobních automobilů. Tomu budou předcházet analytické práce se zaměřením na vývoj a inovace v oblasti konstrukčních řešení, řízení spalovacích procesů, atd. Dále zpracování studie realizací a realizovatelnosti jednotlivých inovací u vybraných výrobců motorů automobilů.

Osnova práce:

1. Úvod do problematiky vývoje a inovací spalovacích motorů
2. Analýza vývoje a inovací v oblasti zdokonalování pístových spalovacích motorů osobních automobilů (konstrukční řešení, řízení spalovacích procesů)
3. Studie realizací a realizovatelnosti jednotlivých inovací u vybraných výrobců motorů automobilů.
4. Zpracování vlastního ideového návrhu řešení
5. Závěr – celkové zhodnocení výsledků práce

Seznam odborné literatury:

1. Vlk, F. Vozidlové spalovací motory. Nakladatelství Vlk, Brno 2003. ISBN 80-238-8756-4
2. Vývoj řízení spalovacích motorů. <http://www.automatizace.cz/article.php?a=1182>
3. <http://www.ricardo.com/>

Rozsah: 30 - 40 stran

Vedoucí práce: **doc. Ing. Milan Graja, CSc.**
Katedra dopravních prostředků

Vedoucí katedry: **doc. Ing. Miroslav Tesař, CSc.**

Datum zadání práce: **6. 12. 2006**

Termín odevzdání práce: **30. 11. 2007**

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 Univerzity Pardubice.

V Blansku dne 20. 11. 2007

Lukáš Kala

Poděkování:

Doc. Ing. Milanu Grajovi Csc. – za cenné rady k zpracování práce.

Mgr. Evě Gelnarové (Institut biostatistiky a analýz Lékařské fakulty MU v Brně) – za cenné rady.

Mgr. Jiřímu Hrozovi (Illusion Softworks Brno) – za cenné rady.

Abstrakt:

Tato bakalářská práce je zaměřena na analýzu vývoje pístových spalovacích motorů osobních automobilů v uplynulých 20 letech. Její součástí je obecná analýza za využití statistických metod a technická analýza vybraných inovačních trendů. V další části práce jsou vybrané typické příklady konstrukcí a jejich zhodnocení. Závěr obsahuje zpracování vlastního ideového návrhu spalovacího motoru a shrnutí získaných poznatků.

Abstract:

This bachelor thesis is focused on analysing of progress of piston combustion-engines in the last 20 years. It contains general statistical analyses and technical analyses of selected innovative approaches. In the next section, there are examples of typical engine-constructions and their evaluations. Conclusions include a design of my own combustion-engine and summary of important pieces of knowledge.

Obsah práce:

| | | |
|----|--|----|
| 1. | Úvod do problematiky vývoje spalovacích motorů..... | 8 |
| 2. | Analýza vývoje spalovacích motorů | |
| | 2.1. Obecná analýza..... | 8 |
| | 2.2. Technický analýza vybraných inovačních trendů..... | 28 |
| 3. | Studie realizací vybraných příkladů inovačního vývoje..... | 45 |
| 4. | Zpracování ideového návrhu..... | 50 |
| 5. | Závěr..... | 52 |
| 6. | Přílohy..... | 53 |

1. Úvod do problematiky vývoje a inovací spalovacích motorů

Spalovací motor je stroj, který je již více než 100 let starý. Za toto období prošel rozsáhlým inovačním vývojem, který značně poznamenal jeho současnou podobu. Cílem této práce je popsat nejdůležitější aspekty tohoto vývoje. Vzhledem k omezenému rozsahu není reálné popsat vývoj spalovacího motoru od počátku. Z tohoto důvodu bylo po dohodě s vedoucím práce přistoupeno k redukci sledovaného období. Bylo stanoveno, že práce bude sledovat vývoj od konce 80. let 20. století. Dalším zúžením studovaného předmětu je oblast sledovaných motorů. Práce je zaměřena na spalovací motory osobních automobilů.

Při nezbytném shromažďování výchozích materiálů a následném posuzování vhodnosti přístupu bylo zjištěno, že i takto zúžená oblast obsahuje mnoho motorů a konstrukčních řešení. Tento aspekt ukázal nereálnost individuálního přístupu k jednotlivým motorům ve sledovaném období. Proto byla stanovena následující struktura práce, která zaručuje co možná nejširší přístup k danému úkolu.

Zvolená struktura analýzy vývoje spalovacích motorů:

- a) Obecná analýza
- b) Technická analýzy vybraných inovačních trendů

Struktura odpovídá zadané osnově práce, kterou upřesňuje.

2. Analýza vývoje spalovacích motorů

2.1. Obecná analýza inovačního vývoje spalovacích motorů

Statistická analýza sledování vybraných částí inovací spalovacích motorů byla zvolena zejména z důvodu nutnosti sledovat velice rozsáhlé množství inovačních trendů, jejichž slovní popis by zcela přesahoval možnosti této práce. V rámci tohoto přístupu byla zvolena sledovaná kritéria, která v sobě zahrnují maximum možných informací o inovačním vývoji v oblasti spalovacích motorů. Konkrétní rozbor zvolené analýzy, metody získání vzorku a jeho dalšího zpracování jsou uvedeny v příloze č. 2 této práce.

Zvolená sledovaná kritéria:

a) Konstrukční oblast

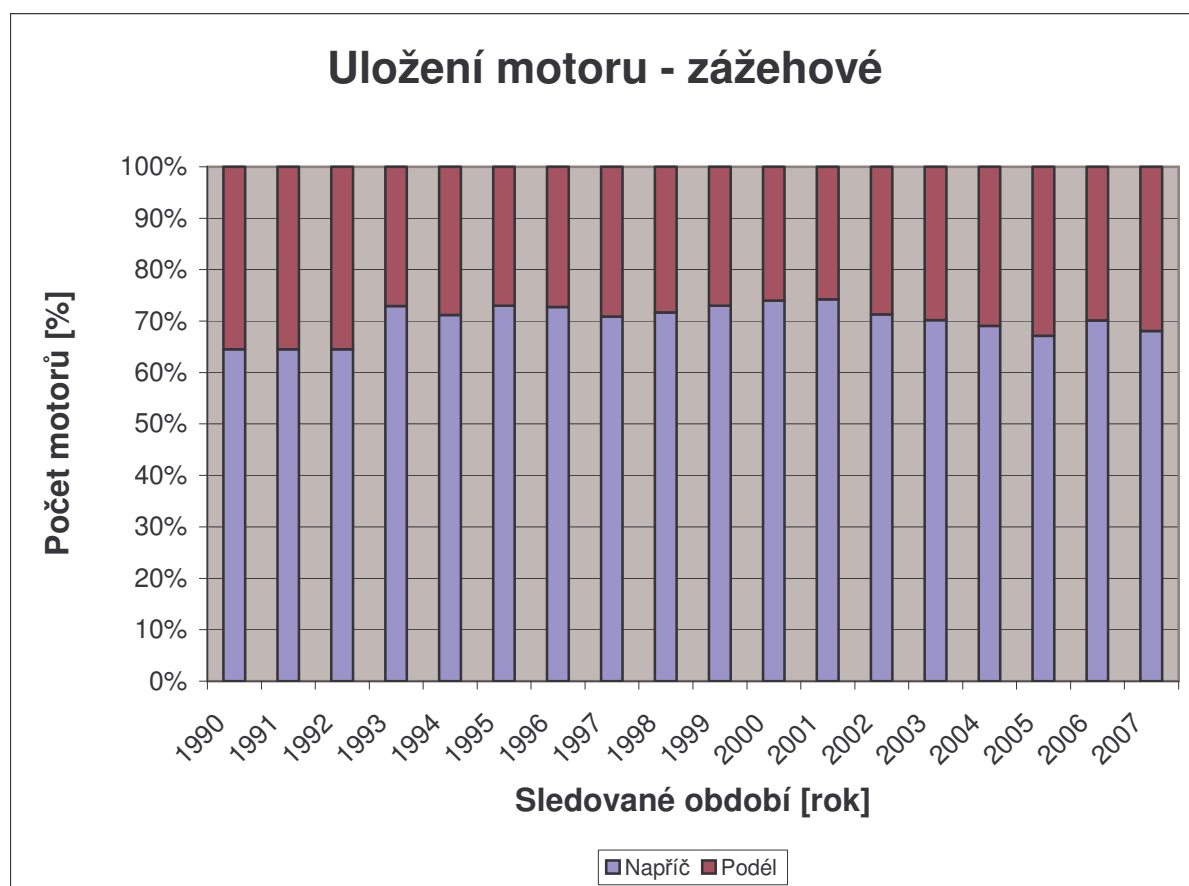
V této oblasti byla analýza zaměřena na konstrukční charakteristiky a jejich vývoj ve sledovaném období. Jako údaje byly stanoveny:

1. Celková koncepce motorů a jejich uložení

Toto rozdělení bylo zvoleno jako demonstrativní pro ilustrování sledovaných variant uložení motorů. Bylo zvoleno jejich rozdělení podle zdvihového objemu pro ilustraci preferovaných typů motorů. Ty byly rozděleny na zážehové a vznětové. Oba grafy (graf č. 2.1 - zážehové motory a graf č. 2.2 - vznětové motory), byly uloženy do přílohy č. 3, neboť jejich

velikost by značně narušovala hlavní text této práce. Grafy jsou doplněny tabulkami dat označenými tabulka č. 2.1. – seznam použitých zkratk, tabulka č. 2.2. – zážehové motory a tabulka č. 2.3. – vznětové motory.

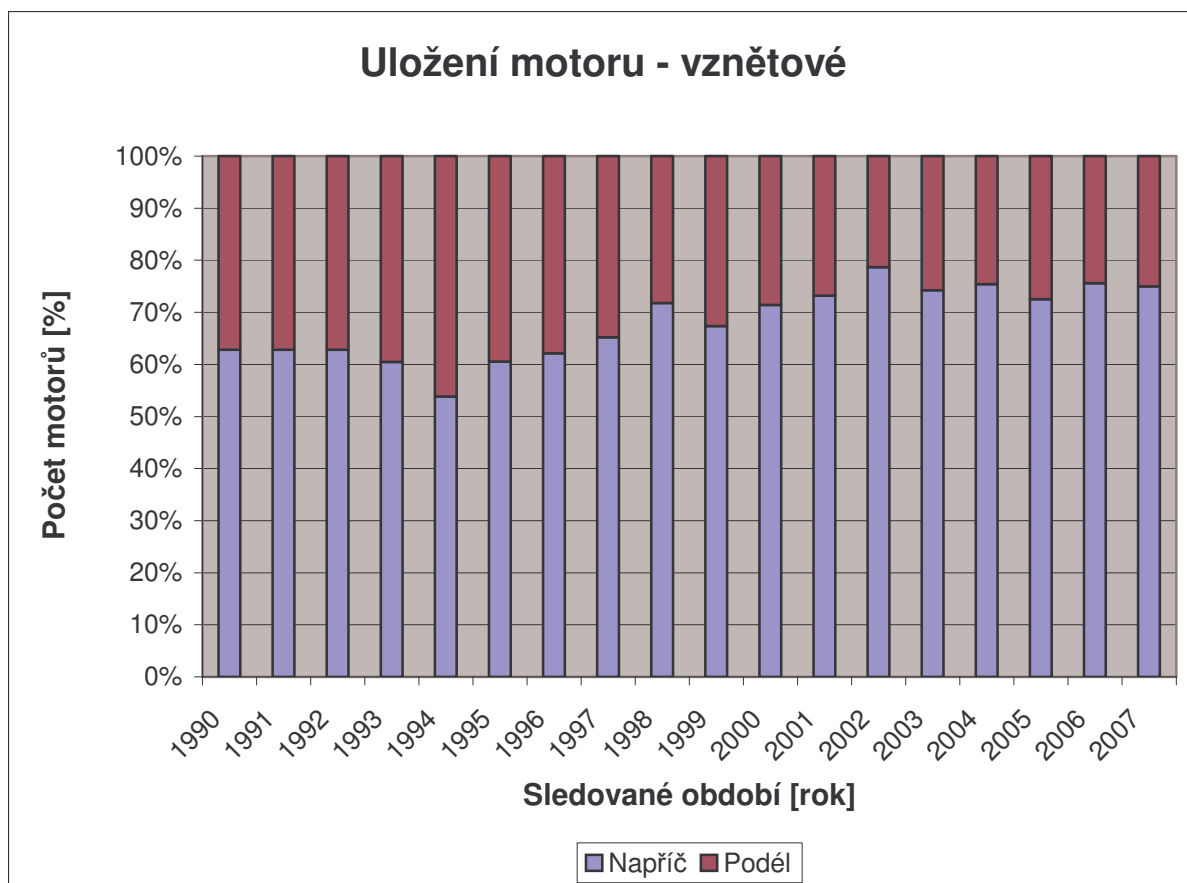
Z hlediska analýzy vývoje tyto grafy a příložené tabulky dat jednoznačně potvrzují stálost a jednoznačnost současného používání tzv. „moderní koncepce automobilů“, tedy uložení motoru vepředu napříč. Vznik této koncepce časově předchází rozsah této práce, ale výsledky potvrzují její stálost a platnost. Z grafů a tabulek vyplývá, že v nejsledovanější oblasti motorů o zdvihových objemech 1000 cm³ až 2500 cm³ zcela dominují řadové čtyřválcové motory s uložení vepředu napříč. K jejich celkovému počtu se pouze částečně přibližují motory o celkovém uspořádání jako čtyřválcové uložené vepředu podél a částečně i čtyřválcové motory koncepce boxer¹. U vznětových motorů je tento poměr stejný, nevyskytují se významné odchylky od této koncepce. Relativně překvapujícím faktem je poměrně dost velké zastoupení motorů s lichým počtem válců, což je zajímavé zejména s ohledem na vyvažování². Zajímavá oblast variant uložení motoru podél a napříč, která je důležitá zejména z hlediska celkové konstrukce automobilů, byla prostudována rovněž z časového hlediska. Získané výsledky jsou shrnuty v grafu označeném graf č. 2.3. – zážehové motory a graf č. 2.4. – vznětové motory. Grafy jsou doplněny tabulkami hodnot, které jsou uvedeny v příloze č. 3 a označeny tabulka č. 2.4. – zážehové motory a tabulka č. 2.5. – vznětové motory.



Graf č. 2.3. – časový vývoj uložení zážehových motorů podél a napříč

¹ Osy y obou grafů jsou v logaritmickém měřítku z důvodu dominance jedné veličiny a s tím související nepřehlednosti grafů v klasickém měřítku.

² Tato problematika je ovšem mimo rozsah této práce, proto jí nebude věnována další pozornost.



Graf č. 2.4. – časový vývoj uložení vznětových motorů podél a napříč

Při rozboru grafů je zřejmé, že poměr obou uložení je z časového hlediska velmi stálý a u obou typů motorů podobný. Při zpracování dat byla zřejmá jistá „setrvačnost“ světových výrobců v této oblasti, kteří dlouhodobě dodržují jednu, případně druhou koncepci uložení. Tento fakt potvrzují i výsledky, zejména jejich relativní neměnnost. K jednoznačnému potvrzení této domněnky byla získaná data podrobena testování pomocí χ^2 -testu nezávislosti (Pearsonův test)¹. Jako hypotézy byly zvoleny tyto varianty:

Nulová hypotéza:

H_0 : Zastoupení jednotlivých způsobů uložení motorů je na čase nezávislé.

Alternativní hypotéza:

H_1 : Zastoupení jednotlivých způsobů uložení motorů je na čase závislé.

Hladina významnosti $\alpha = 0,05$

Výsledky provedeného testu jsou v tabulce č. 2.6. – zážehové motory a tabulce č. 2.7. – vznětové motory. Popis použitého označení je v příloze č. 2.

¹ Přesné vysvětlení použitého testu je v příloze č. 2.

Tabulka č. 2.6. – test uložení zážehových motorů

| χ^2 - test (Pearsonův) - uložení zážehových motorů | | | | |
|---|-------------------------------------|----|-------|------|
| | T | f | p | N |
| Výsledky testu | 16,400 | 17 | 0,496 | 3642 |
| Výsledek | p>0,05 - nezamítám nulovou hypotézu | | | |

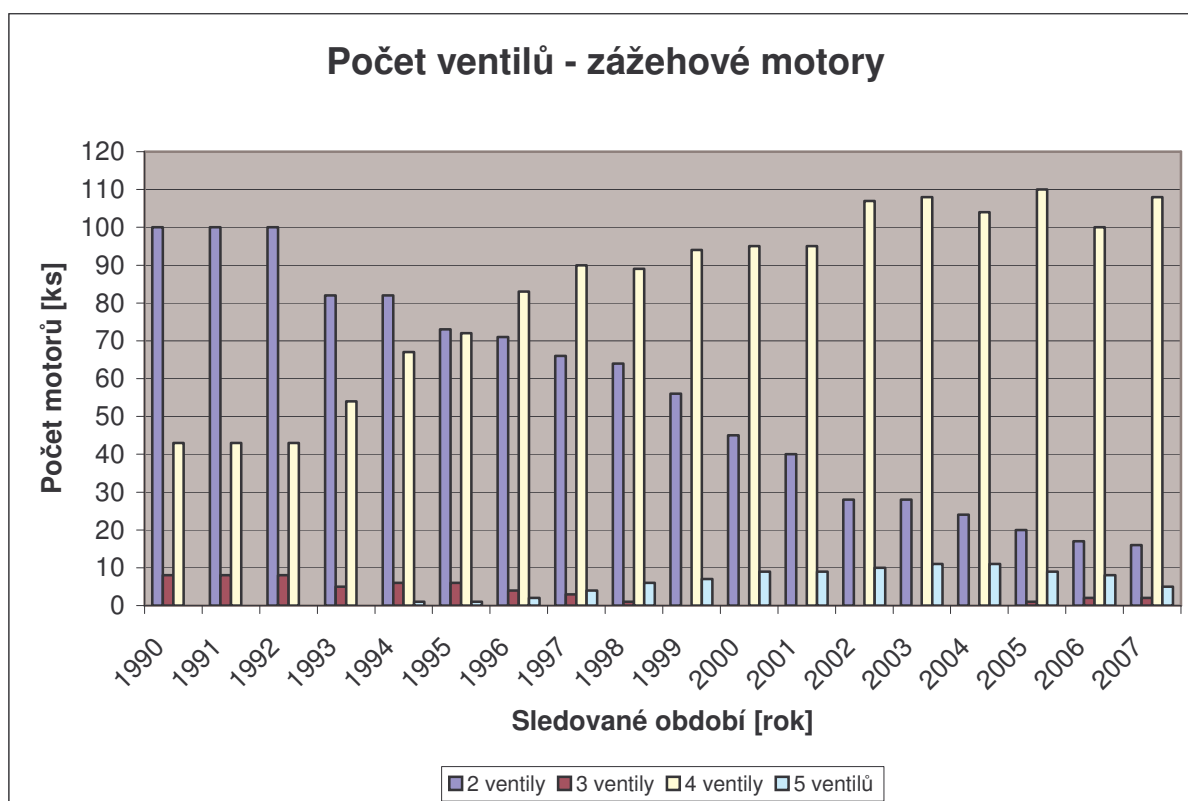
Tabulka č. 2.7. – test uložení vznětových motorů

| χ^2 - test (Pearsonův) - uložení vznětových motorů | | | | |
|---|-------------------------------------|----|-------|-----|
| | T | f | p | N |
| Výsledky testu | 19,608 | 17 | 0,295 | 971 |
| Výsledek | p>0,05 - nezamítám nulovou hypotézu | | | |

Z výsledků obou testů je zřejmé, že zastoupení obou variant uložení motorů je na čase nezávislé. Výrobci se tedy rozhodují bez vzájemného ohledu a jejich motivaci je nutno hledat jinde¹.

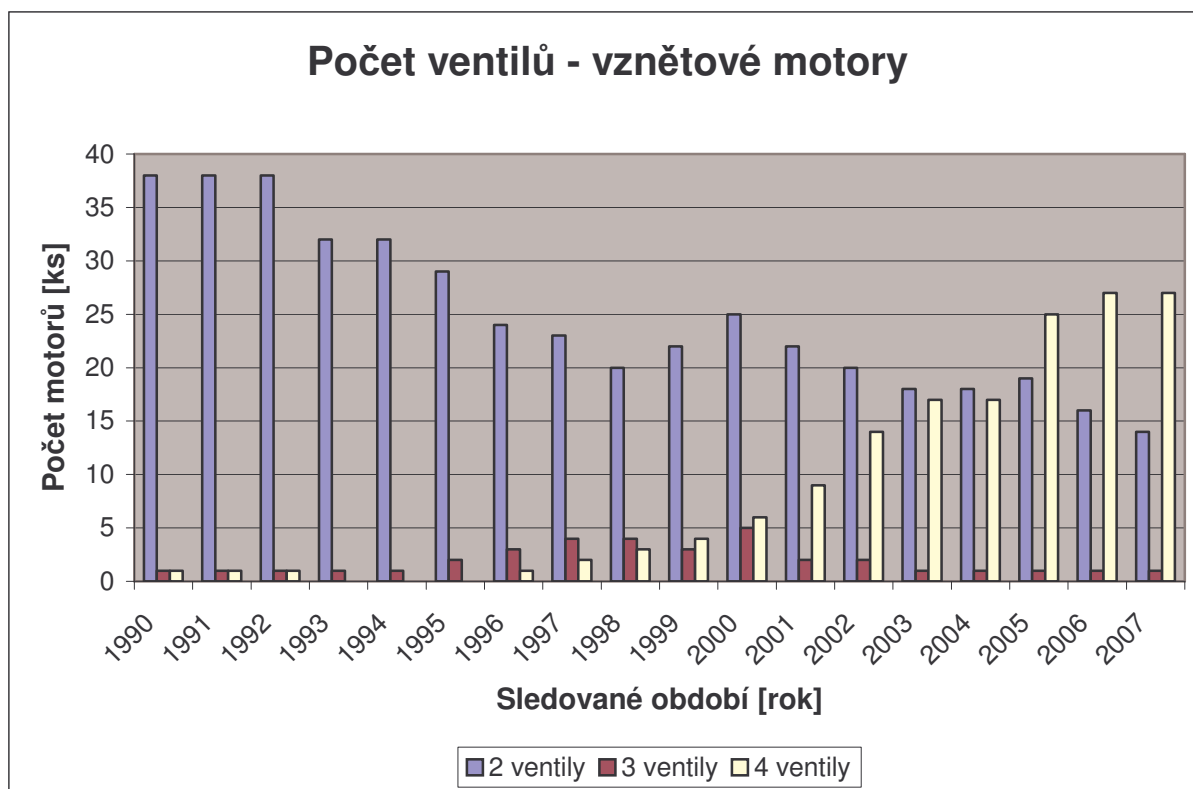
2. Rozvod a počet ventilů na válec

Kritérium bylo zvoleno z důvodu jeho důležitosti v inovačním vývoji. Vývoj v oblasti rozvodu motorů a počtu ventilů je možné do velké míry odhadnout i bez statistického vyhodnocení. Přesto je zpracování důležité z hlediska vypovídací hodnoty a přesnosti zpracování bez ohledu na možné spekulace. Výsledky zkoumání jsou uvedeny v grafu č. 2.5. – zážehové motory a grafu č. 2.6. – vznětové motory. Vstupní data grafů jsou v tabulce č. 2.8. – zážehové motory a tabulce č. 2.9. – vznětové motory. Obě jsou v příloze č. 3.



Graf č. 2.5. – časový vývoj počtu ventilů na válec u zážehových motorů

¹ Zde zejména v již zmiňované jisté „setrvačnosti“ případně celkové koncepci daného výrobce.



Graf č. 2.6. – časový vývoj počtu ventilů na válec u vznětových motorů

Z rozboru obou grafů je zřejmý trend vývoj u dvou a čtyř ventilových motorů, který je shodný jak u zážehových, tak i vznětových motorů. Odlišný trend je možno sledovat u tří ventilových motorů. U zážehových motorů dochází k jejich poklesu až zcela vymizení a znovu se objevují až v posledních letech sledovaného období. U vznětových motorů se častost jejich výskytu maximalizuje v letech 1995 až 2002 a poté dochází k ústupu. U vznětových motorů je tedy možno tří ventilové rozvody považovat za jistou alternativu (přechodné řešení) do doby výrazného nástupu čtyř ventilových motorů. Z grafů je také zřejmý časový vývoj výskytu jednotlivých variant. Data byla podrobena testování pomocí χ^2 -testu nezávislosti (Pearsonův test). Jako hypotézy byly zvoleny tyto varianty:

Nulová hypotéza:

H_0 : Zastoupení jednotlivých variant počtu ventilů je na čase nezávislé.

Alternativní hypotéza:

H_1 : Zastoupení jednotlivých variant počtu ventilů je na čase závislé.

Hladina významnosti $\alpha = 0,05$

Výsledky provedeného testu jsou v tabulce č. 2.10. – zážehové motory a tabulce č. 2.11. – vznětové motory.

Tabulka č. 2.10. – test počtu ventilů u zážehových motorů

| χ^2 - test (Pearsonův) - počet ventilů u zážehových motorů | | | | |
|---|-----------------------------------|----|-------|-------|
| | T | f | p | N |
| Výsledky testu | 498,485 | 51 | 0,000 | 2 664 |
| Výsledek | p<0,05 - zamítám nulovou hypotézu | | | |

Tabulka č. 2.11. – test počtu ventilů u vznětových motorů

| χ^2 - test (Pearsonův) - počet ventilů u vznětových motorů | | | | |
|---|-----------------------------------|----|-------|-----|
| | T | f | p | N |
| Výsledky testu | 217,361 | 34 | 0,000 | 638 |
| Výsledek | p<0,05 - zamítám nulovou hypotézu | | | |

V obou případech došlo k zamítnutí nulové hypotézy, počet ventilů se v čase statisticky významně mění. V praxi se jedná zejména o nahrazování jednotlivých typů motorů variantou s více ventilovým rozvodem¹. Výsledky rozboru je také možno interpretovat jako příklad vysoké shody výrobců v oblasti inovací motorů².

Dalším sledovaným trendem u ventilových rozvodů byl vývoj jejich celkového uspořádání. Pro potvrzení závěrů o oblasti počtu ventilů je nutná shoda.

V oblasti celkové koncepce ventilových rozvodů byl sledován počet motorů s jednotlivými variantami rozvodů. Výsledek analýzy je uveden v grafu č. 2.7. – zážehové motory a grafu č. 2.8. – vznětové motory. Tabulky získaných hodnot jsou uvedeny v tabulce č. 2.12. – zážehové motory a tabulce č. 2.13. – vznětové motory. Obě tabulky jsou uvedeny v příloze č. 3. Získaná data byla testována ze stejných důvodů, jako u analýzy počtu ventilů a při použití stejného testu.

Nulová hypotéza:

H_0 : Zastoupení jednotlivých variant počtu ventilových rozvodů je na čase nezávislé.

Alternativní hypotéza:

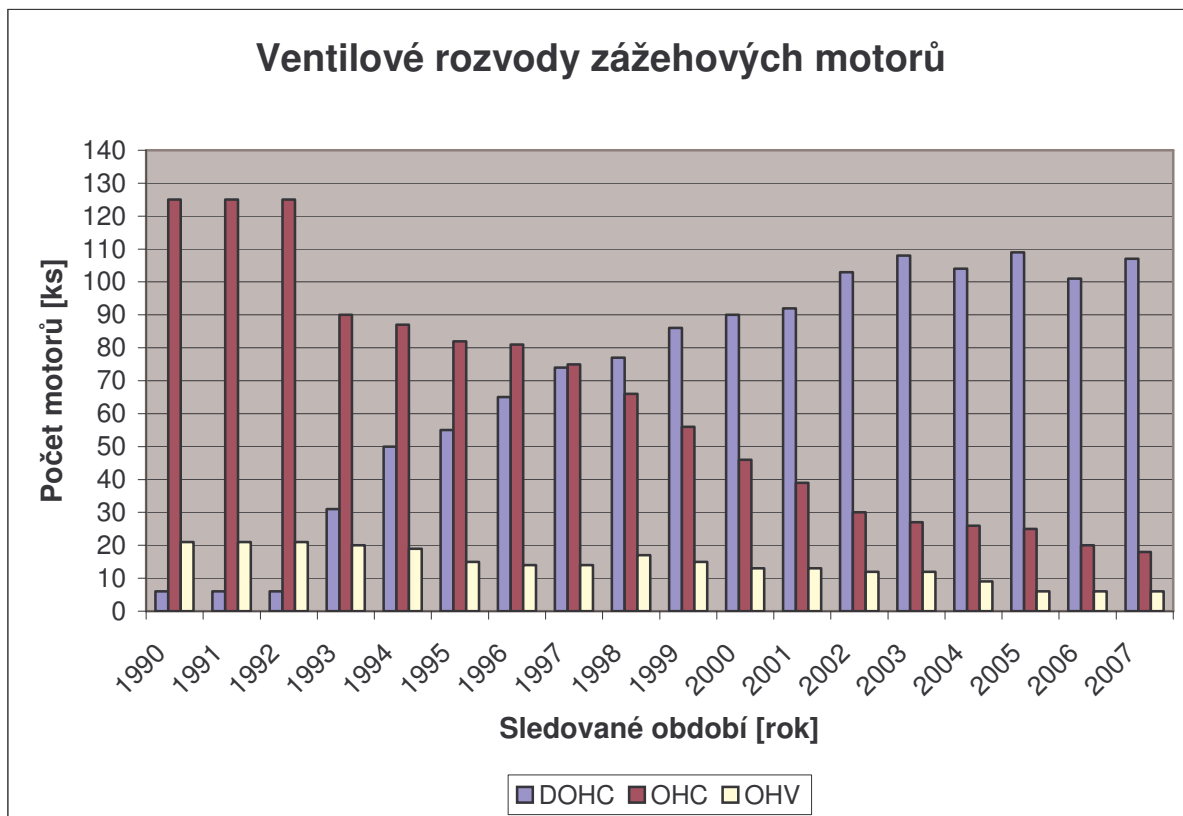
H_1 : Zastoupení jednotlivých variant počtu ventilových rozvodů je na čase závislé.

Hladina významnosti $\alpha = 0,05$

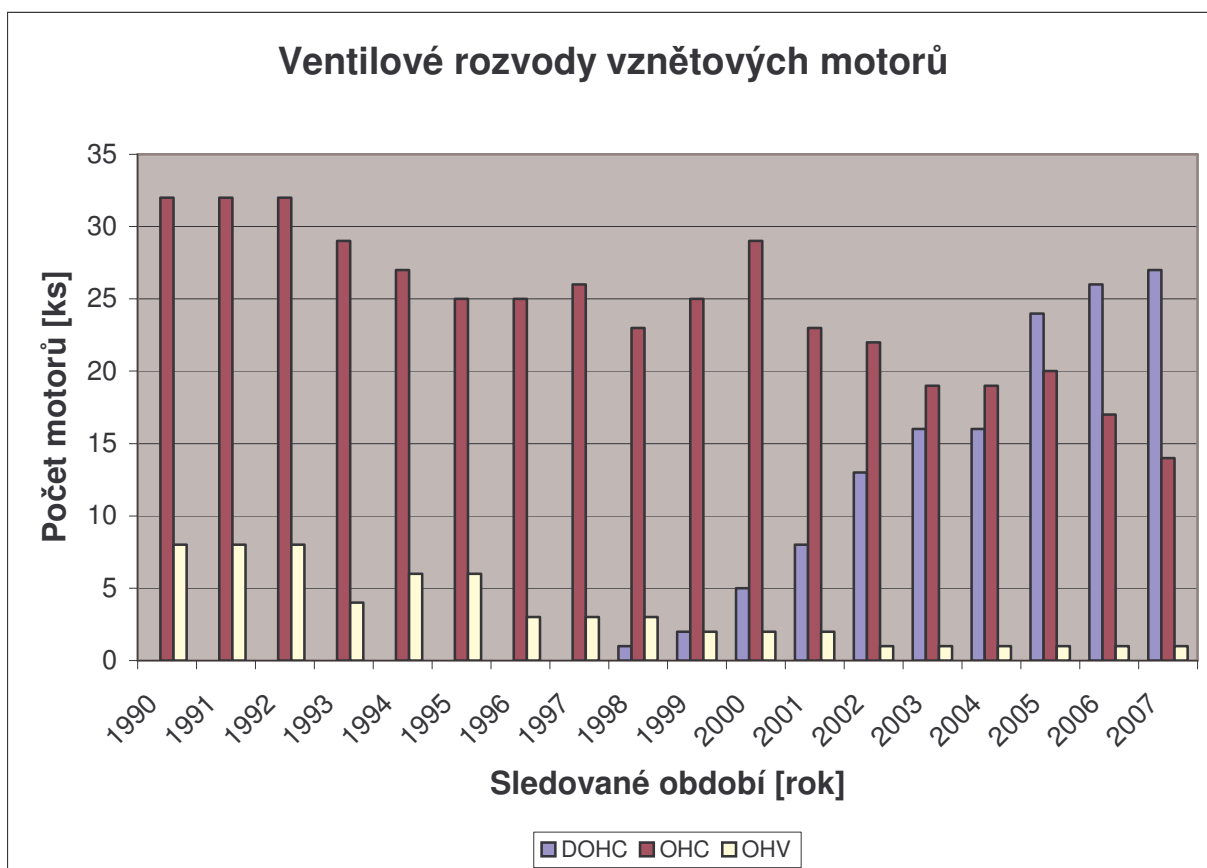
Výsledky provedeného testu jsou v tabulce č. 2.14. – zážehové motory a tabulce č. 2.15. – vznětové motory.

¹ Potvrzované i zkratkami typu 16V, DOHC apod., které jednotlivý výrobci umísťují přímo k názvům svých automobilů.

² Což ovšem zdaleka neplatí obecně.



Graf č. 2.7. – časový vývoj ventilových rozvodů u zážehových motorů



Graf č. 2.8. – časový vývoj ventilových rozvodů u vznětových motorů

Tabulka č. 2.14. – časový vývoj ventilových rozvodů u zážehových motorů

| χ^2 - test (Pearsonův) - poměr variant rozvodů u zážehových motorů | | | | |
|---|-----------------------------------|----|-------|-------|
| | T | f | p | N |
| Výsledky testu | 733,953 | 34 | 0,000 | 2 664 |
| Výsledek | p<0,05 - zamítám nulovou hypotézu | | | |

Tabulka č. 2.15. – časový vývoj ventilových rozvodů u vznětových motorů

| χ^2 - test (Pearsonův) - poměr variant rozvodů u vznětových motorů | | | | |
|---|-----------------------------------|----|-------|-----|
| | T | f | p | N |
| Výsledky testu | 238,627 | 34 | 0,000 | 638 |
| Výsledek | p<0,05 - zamítám nulovou hypotézu | | | |

Z pohledu na oba grafy je patrná velká shoda jak v oblasti trendu tak i intenzity inovačního vývoje. Také výsledky testů vedou ke stejnému závěru, jedná se o časově proměnnou oblast inovací s velkou aktivitou.

3. Zdvihový poměr

Úkolem této části práce je vyjasnit otázku vývoje zdvihového poměru u zážehových a vznětových motorů. V této problematice nelze předem odhadnout výsledek, neboť se jedná o ryze konstrukční prvek, na který má vliv velké množství detailů. Pro konstrukce spalovacích motorů je zdvihový poměr jednou z nejdůležitějších charakteristik, která hraje klíčový význam při návrhu motoru¹. Proto byla vývojová analýza do této práce zařazena.

Z teorie konstrukce spalovacího motoru obecně vyplývá, že zdvihový poměr by se měl pohybovat v rozmezí 0,75 až 1,25. Motory se zdvihovým poměrem menším než jedna se nazývají podčtvercové, se zdvihovým objemem rovným jedné čtvercové a se zdvihovým poměrem nad jedna nadčtvercové. Obecně platí, že podčtvercové motory mají nižší výšku, nižší střední pístovou rychlost a s tím související nižší opotřebení. K jejich nevýhodám patří zejména větší délka klikového hřídele a tím i motoru, vyšší setrvačné síly posuvných částí, menší kompresní prostor (horší tvorba směsi) a větší měrný povrch spalovacího prostoru [4]. Výhody nadčtvercových motorů jsou přesně opačné. Jedná se tedy o nejednoznačné kritérium, jehož případný inovační vývoj není snadné odhadnout.

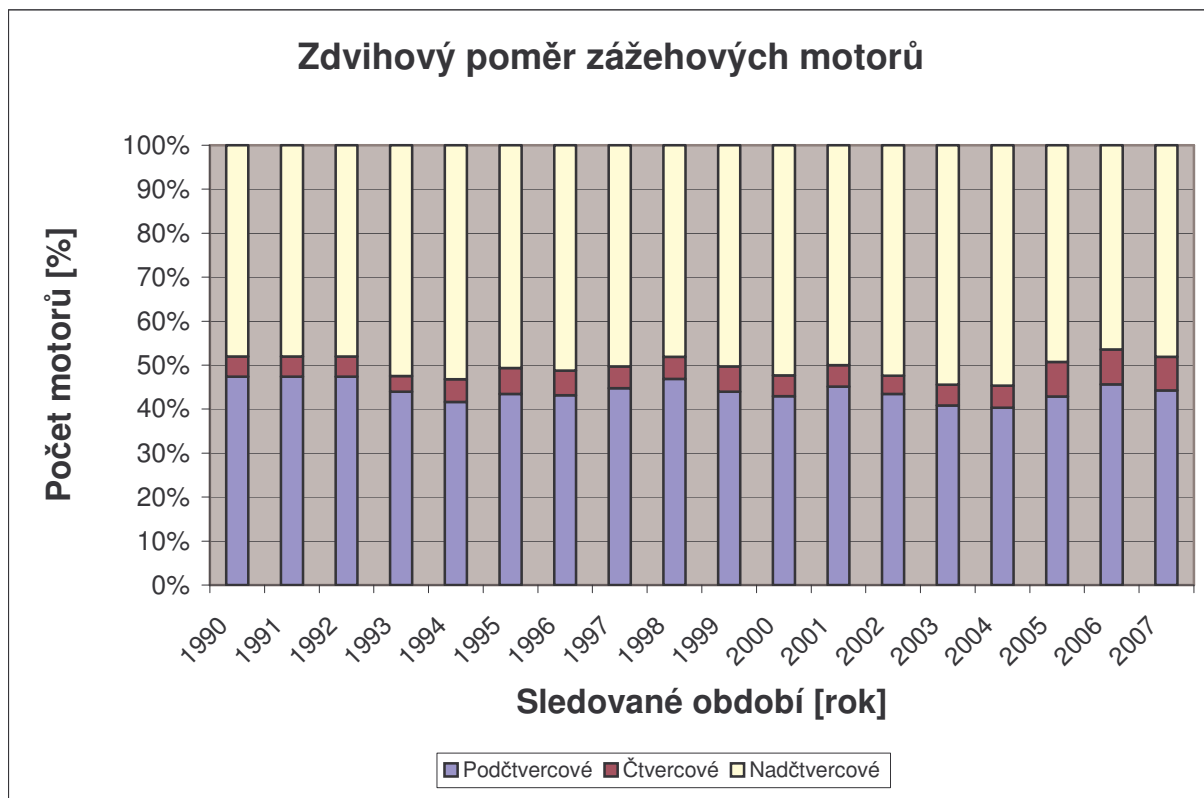
Zdvihový poměr byl sledován z pohledu časového vývoje a to ne přímo v číselné podobě, ale v poměru počtu motorů v jednotlivých skupinách (podčtvercové, čtvercové, nadčtvercové). Toto rozdělení bylo podrobno testováno. Výsledky analýzy jsou uvedeny v grafu č. 2.9. – zážehové motory, grafu č. 2.10. – vznětové motory, tabulce č. 2.16. – zážehové motory a tabulce č. 2.17. – vznětové motory. Obě tabulky jsou v příloze č. 3.

Ze zkoumání obou grafů je zřejmá nejednotnost přístupů k oběma motorům. U zážehových výrobci volili přibližně rovnoměrný přístup k oběma variantám, který je stálý i z časového hlediska. Při posuzování tohoto faktu je třeba si uvědomit, že největší procento podčtvercových motorů se vždy vyskytuje u sportovně laděných pohonných jednotek. U sportovních vozidel dominují zážehové motory², proto jejich zařazení do výběru zvyšuje podíl podčtvercových motorů. Z grafu a tabulek je možno vyslovit i závěr, že problémy charakterizující zážehové podčtvercové motory (viz výše) nejsou natolik výrazné, jako u vznětových podčtvercových motorů. U těchto jednotek je klesající tendence a výrobci

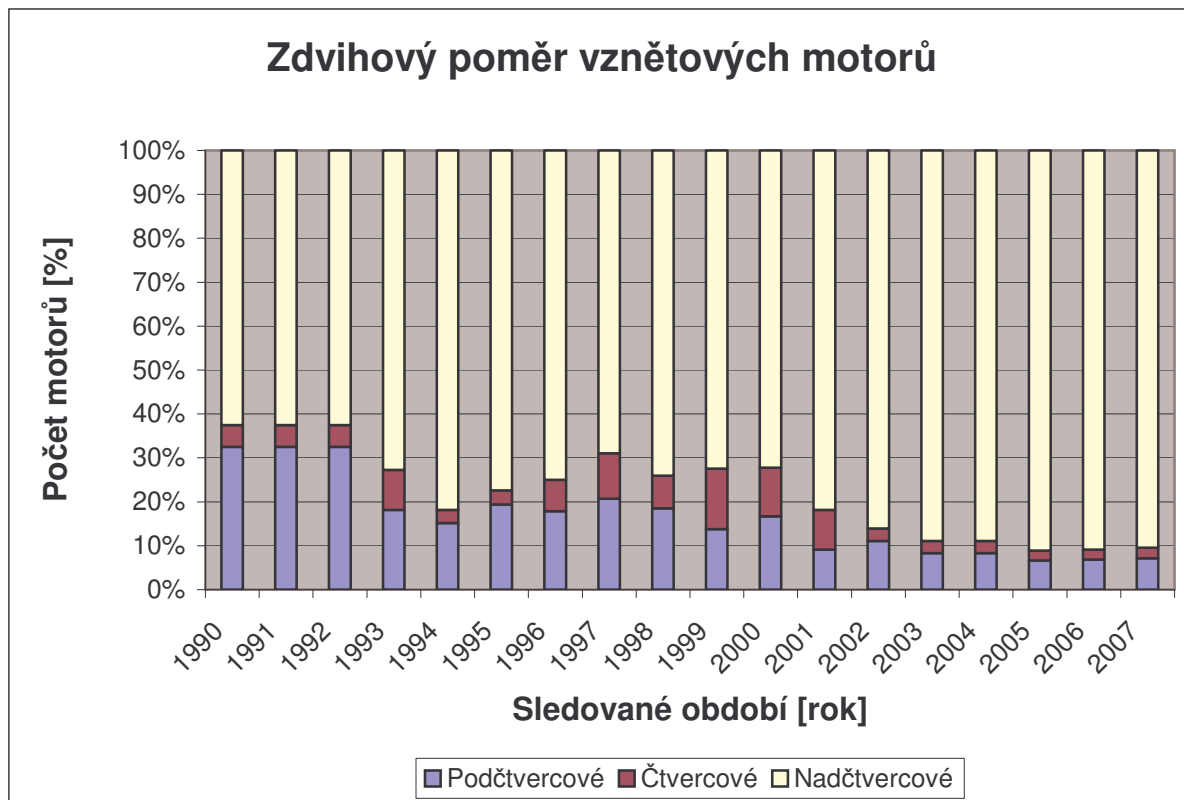
¹ Do této oblasti lze zařadit ještě litrový výkon, střední indikovaný tlak, kompresní poměr, střední pístovou rychlost, účinnost a případně i další základní kritéria. Zhodnocení některých z nich bude předmětem dalších analýz v této práci.

² I když v poslední době by se dalo o tomto trendu s úspěchem pochybovat.

systematicky zvyšují poměr nadčtvercových motorů. Vysvětlení tohoto trendu je možno hledat v oblasti přípravy směsi a zejména její tvorby u motorů s přímým vstřikem.



Graf č. 2.9. – časový vývoj zdvihového poměru u zážehových motorů



Graf č. 2.10. – časový vývoj zdvihového poměru u vznětových motorů

Tento závěr potvrzuje i nejvyšší pokles v letech výrazného zavádění motorů s přímým vstřikem nafty.

Testovány byly tyto hypotézy:

Nulová hypotéza:

H_0 : Zastoupení jednotlivých variant zdvihového poměru je na čase nezávislé.

Alternativní hypotéza:

H_1 : Zastoupení jednotlivých variant zdvihového poměru je na čase závislé.

Hladina významnosti $\alpha = 0,05$

Výsledky provedeného testu jsou v tabulce č. 2.18. – zážehové motory a tabulce č. 2.19. – vznětové motory.

Tabulka č. 2.18. – časový vývoj zdvihového poměru u zážehových motorů

| χ^2 - test (Pearsonův) - zdvihový poměr u zážehových motorů | | | | |
|--|-------------------------------------|----|-------|------|
| | T | f | p | N |
| Výsledky testu | 12,277 | 34 | 1,000 | 2667 |
| Výsledek | p>0,05 - nezamítám nulovou hypotézu | | | |

Tabulka č. 2.19. – časový vývoj zdvihového poměru u vznětových motorů

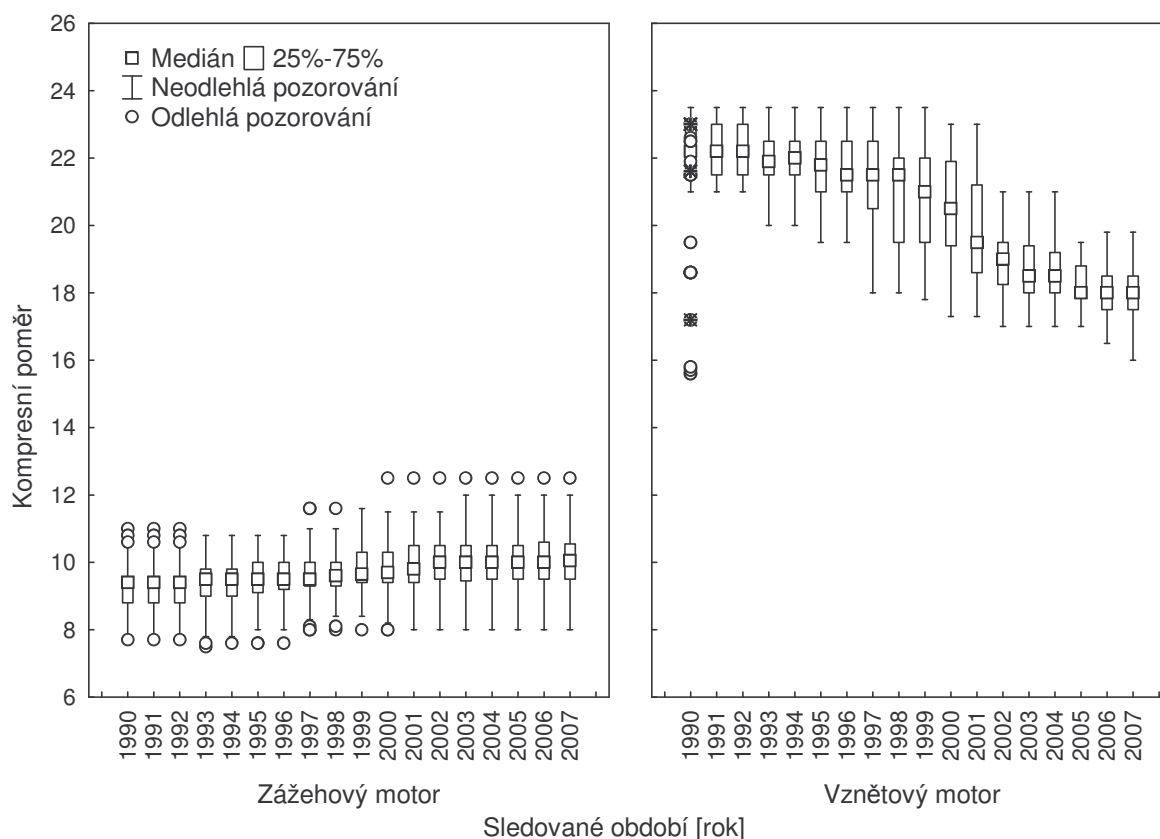
| χ^2 - test (Pearsonův) - zdvihový poměr u vznětových motorů | | | | |
|--|-----------------------------------|----|-------|-----|
| | T | f | p | N |
| Výsledky testu | 53,958 | 34 | 0,016 | 638 |
| Výsledek | p<0,05 - zamítám nulovou hypotézu | | | |

Z výsledků testů vyplývá, že u zážehových motorů se poměr zastoupení jednotlivých kategorií významně nemění. Přesně opačný výsledek vyplývá z výsledku testu u vznětových motorů.

4. Kompresní poměr

Při rozboru vývoje kompresního poměru motorů ve sledovaném období bylo nutno zvolit odlišný přístup, než v předchozích případech. Popis tohoto přístupu je uveden v příloze č. 2 této práce. Kompresní poměr byl sledován odděleně pro zážehové a vznětové motory. Z důvodu zjednodušení byly přeplňované i nepřeplňované varianty shrnuty do jednoho souboru. Přeplňované motory mají vždy nižší kompresní poměr, což u zážehových motorů mírně snižuje přesnost výsledků. U vznětových motorů není snížení přesnosti podstatné, neboť počet nepřeplňovaných variant je zejména v posledních letech sledovaného období velmi nízký. Výsledky rozboru jsou uvedeny v grafu č. 2.11. – časový vývoj kompresního poměru. Tabulky výchozích dat nejsou v práci uvedeny, neboť jejich rozsah by překonal celou velikost této práce (3543 zážehových a 878 vznětových motorů).

Kompresní poměr zážehových a vznětových motorů



Graf č. 2.11. – časový vývoj kompresního poměru zážehových a vznětových motorů

Graf zážehových motorů ukazuje mírný nárůst kompresního poměru, který je stálý a má v celém sledovaném období stejnou dynamiku. Variabilita dat je relativně nízká, stejně tak i nárůst mediánu. Tento výsledek lze s ohledem na vývoj spalovacích motorů očekávat, nárůst v posledních letech sledovaného intervalu odpovídá zvyšování počtu motorů s přímým vstřikem, které umožňují vyšší kompresní poměry. Graf odpovídá růstu díky soustavným inovacím, které umožňují zvyšování kompresního poměru a tím i účinnosti motoru. U vznětových motorů je trend opačný, dochází k poklesu kompresního poměru z hodnot kolem 22:1 k hodnotám blízkým 18,5:1. Tento trend rovněž plně odpovídá technickému vývoji, zejména masivnímu zavedení motorů s přímým vstřikem nafty. Na vývoji je pozoruhodný zejména fakt snižující se variability dat a jejich postupnému ustálení kolem hodnoty 18,5:1, což je teoreticky ideální kompresní poměr vznětových motorů s přímým vstřikem paliva¹. Výrobci motorů jsou v tomto ohledu ve velké shodě.

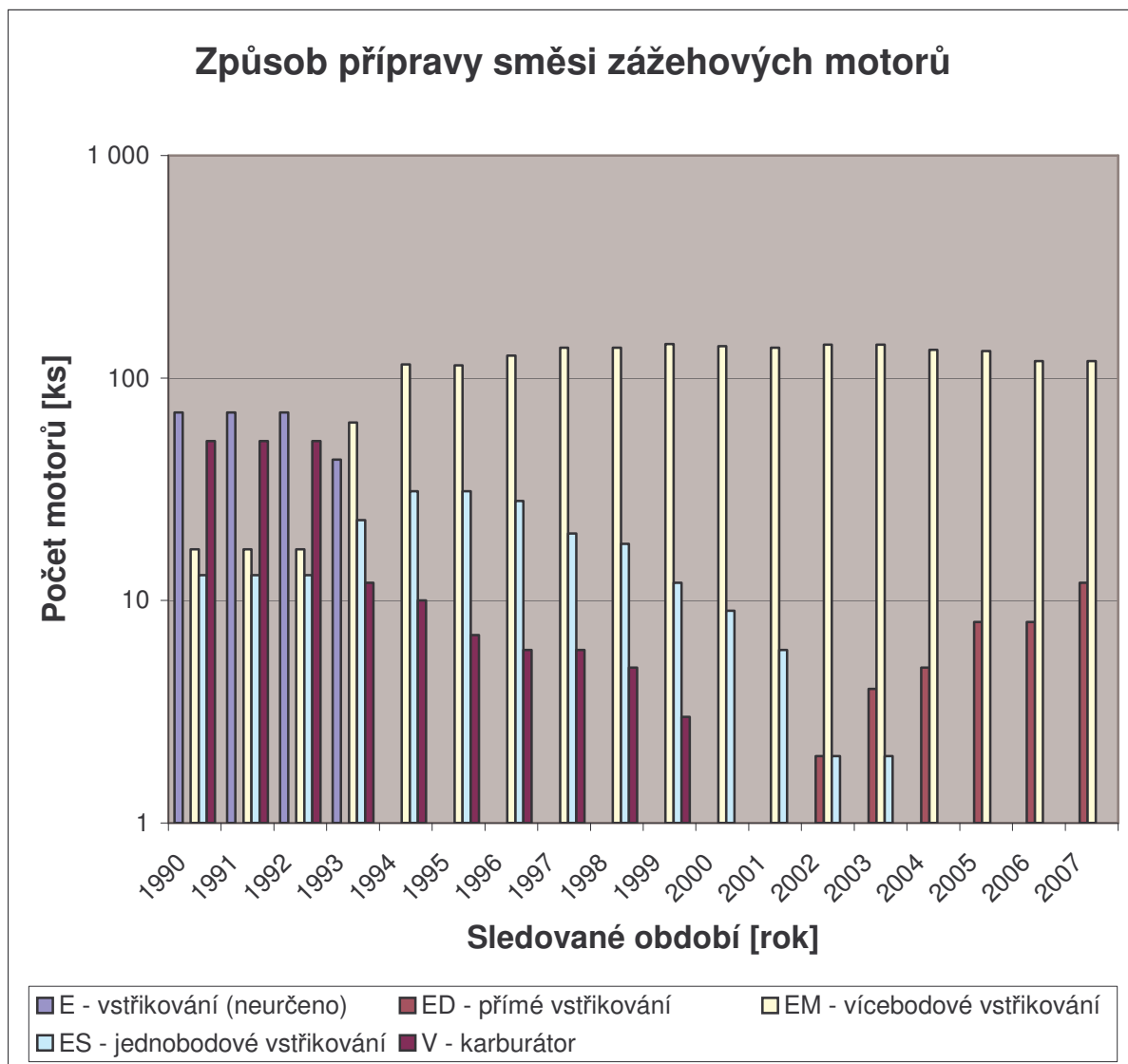
b) Výkonová oblast

V této části analýzy byla sledována výkonová kritéria spalovacích motorů. Pro tuto oblast byly zvoleny následující parametry:

¹ Zejména z hlediska optimálního vyvážení emisí, hluku a užitečného výkonu motoru.

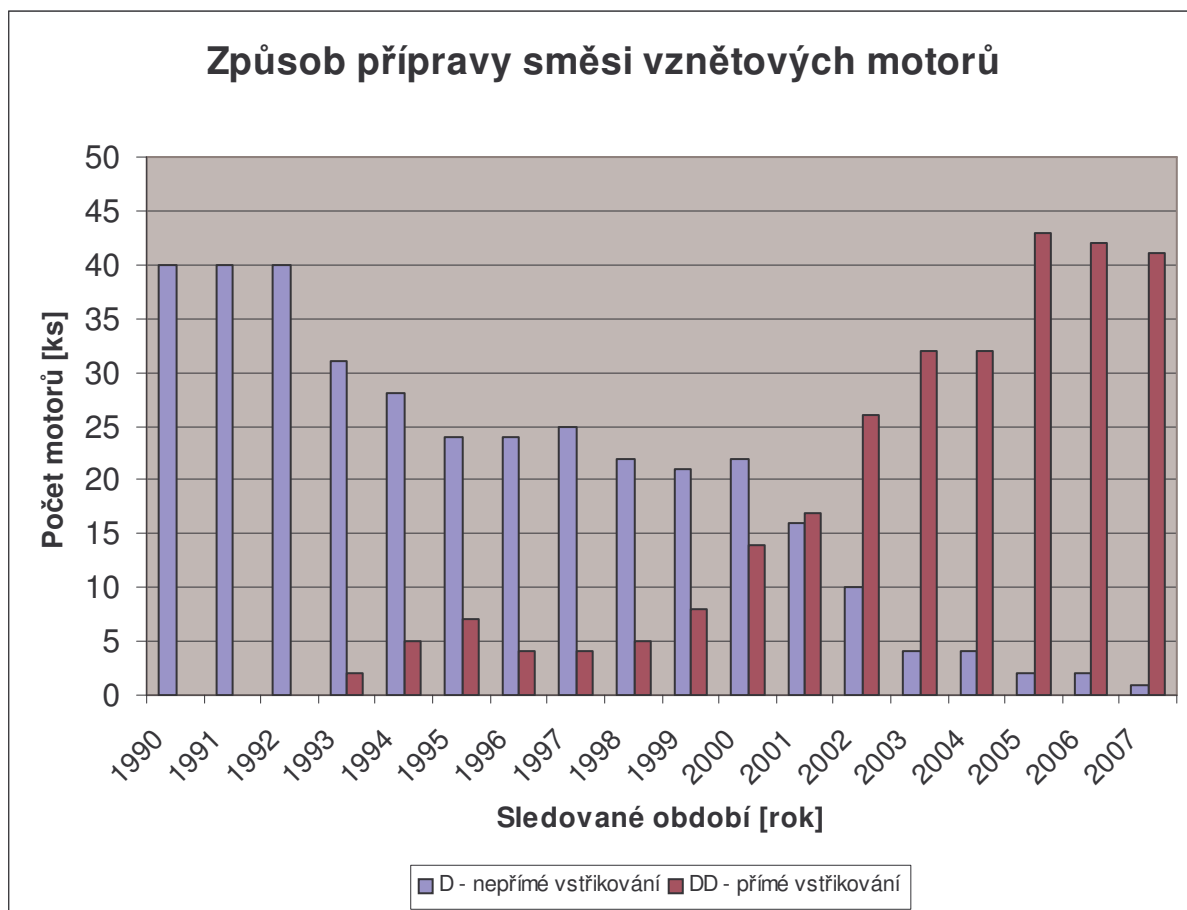
1. Způsob plnění motoru

V prvním výkonovém kritériu byla podrobena analýze oblast plnění motorů a to konkrétně časový vývoj způsobu přípravy směsi. Získaná data byla vyhodnocena podle systémů přípravy směsi a výsledek analýzy je uveden v grafu č. 2.12.¹ – zážehové motory, grafu č. 2.13. – vznětové motory, tabulce č. 2.20. – zážehové motory a tabulce č. 2.21. – vznětové motory. Obě tabulky jsou uvedeny v příloze č. 3.



Graf č. 2.12. – časový vývoj způsobu přípravy směsi u zážehových motorů

¹ V ose y je graf č. 2.12. v logaritmickém měřítku.



Graf č. 2.13. – časový vývoj způsobu přípravy směsi u vznětových motorů

Oba grafy potvrzují očekávaný výsledek. Jejich průběh nevyžaduje zvláštní rozbor, neboť se jedná o trend, který respektují všichni výrobci. Důvody trendu jsou uvedeny v dalších částech této práce. Získaná data byla podrobena testu na nezávislost s následujícími hypotézami:

Nulová hypotéza:

H_0 : Zastoupení jednotlivých variant způsobu přípravy směsi je na čase nezávislé.

Alternativní hypotéza:

H_1 : Zastoupení jednotlivých variant způsobu přípravy směsi je na čase závislé.

Hladina významnosti $\alpha = 0,05$

Výsledky provedeného testu jsou v tabulce č. 2.22. – zážehové motory a tabulce č. 2.23. – vznětové motory.

Tabulka č. 2.22. – časový vývoj způsobu přípravy směsi u zážehových motorů

| χ^2 - test (Pearsonův) - způsob přípravy směsi u zážehových motorů | | | | |
|---|-----------------------------------|----|-------|------|
| | T | f | p | N |
| Výsledky testu | 2032,918 | 68 | 0,000 | 2667 |
| Výsledek | p<0,05 - zamítám nulovou hypotézu | | | |

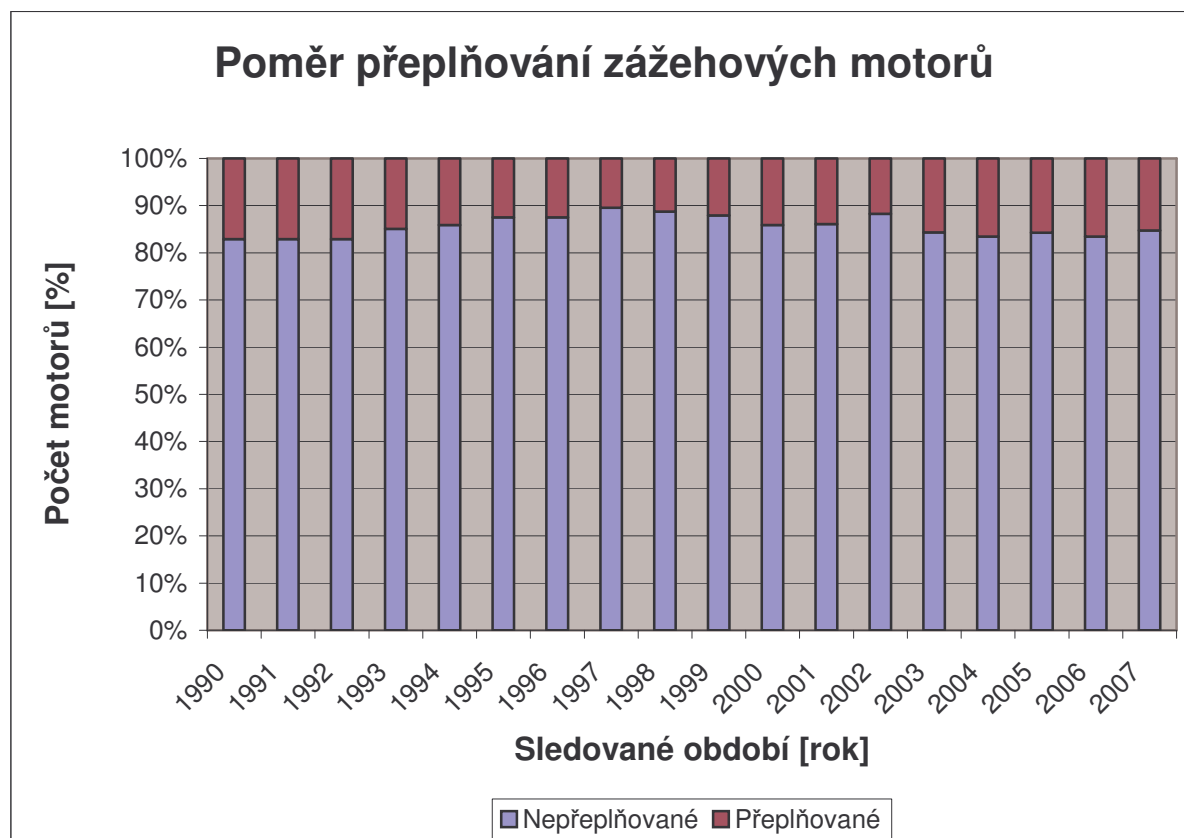
Tabulka č. 2.23. – časový vývoj způsobu přípravy směsi u vznětových motorů

| χ^2 - test (Pearsonův) - způsob přípravy směsi u vznětových motorů | | | | |
|---|-----------------------------------|----|-------|-----|
| | T | f | p | N |
| Výsledky testu | 377,648 | 17 | 0,000 | 638 |
| Výsledek | p<0,05 - zamítám nulovou hypotézu | | | |

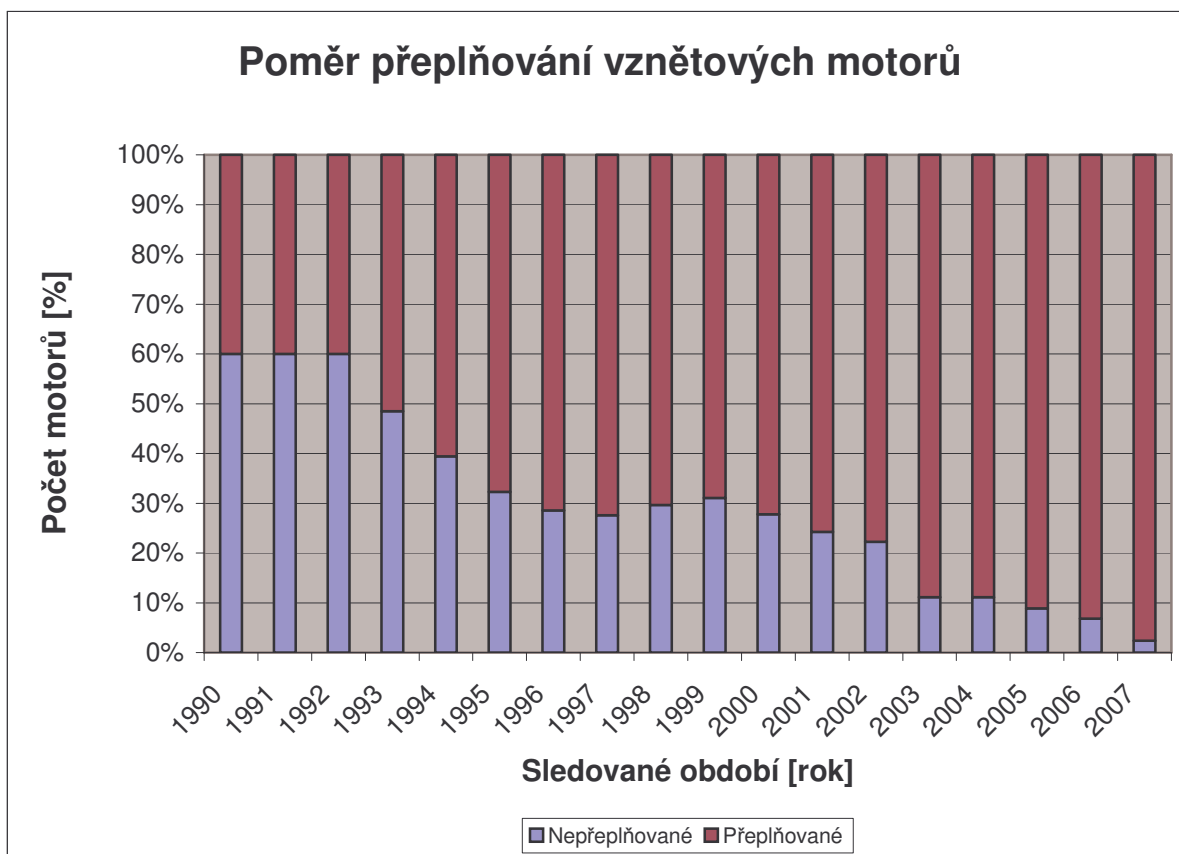
Výsledky testů rovněž odpovídají očekávanému trendu. Způsob přípravy směsi se v časovém hledisku statisticky významně mění.

2. Přepřehování

Vývoj v oblasti přepřehování není zdaleka tak jednoznačný, jako v předchozím případě. Za relativně snadný by se dal považovat odhad nárůstu přepřehovaných vznětových motorů, což souvisí zejména s masivním zavedením motorů s přímým vstřikem paliva. U zážehových motorů takto jednoznačně usuzovat nelze. Proto byl zpracován časový přehled vývoje poměru přepřehovaných a nepřepřehovaných motorů v daném časovém období. Výsledky této analýzy jsou uvedeny v grafu č. 2.14. – zážehové motory, grafu č. 2.15. – vznětové motory, tabulce č. 2.24. – zážehové motory a tabulce č. 2.25. – vznětové motory. Obě tabulky jsou uvedeny v příloze č. 3 této práce.



Graf č. 2.14. – časový vývoj přepřehování u zážehových motorů



Graf č. 2.15. – časový vývoj přeplňování u vznětových motorů

K rozboru grafů musíme rozdělit motory na zážehové a vznětové.

Vznětové motory jsou z tohoto hlediska jednoznačné. Jejich vývoj probíhá očekávaným trendem a v posledních letech sledovaného období prakticky vymizely nepřepřňované varianty. Zajímavá je i intenzita tohoto trendu, jedná se o pokles o 60 % v období 17 let. Tento výsledek plně potvrzuje intenzivní vývoj v oblasti přeplňování, kterému je v posledních letech věnována velká pozornost.

Zážehové motory zdaleka nerespektují tento trend. Poměr obou variant je dlouhodobě stálý a to i přes to, že přeplňování v posledních letech prodělalo skutečně intenzivní vývoj¹. Při posouzení tohoto hlediska by se tedy závěry mohly jevit jako nelogické. Korektní odpověď v této oblasti musí vycházet z více faktorů. První část odpovědi je možno nalézt v ekonomické rovině. Zážehové pohonné jednotky všech sledovaných výrobců tvoří nejlevnější alternativy jednotlivých typů, a to zejména u vozů malé a střední třídy. Automobily s přeplňovanými vznětovými motory jsou v tomto srovnání ve vyšších cenových skupinách. Dále je nutno uvést, že i přes veškerý vývoj je přeplňovaný motor stále nákladnější než zážehový a cena je u těchto vozů klíčovým prodejním aspektem. Při sběru dat byl již před jejich analýzou zřejmý jistý trend v oblasti konstrukce sportovních vozidel. Velká většina výrobců inklinovala k přístupu, kdy každou jednotlivou řadu doplňovala jedním sportovním modelem. Poměr byl nestabilní, pohyboval se kolem 1 sportovního modelu na 5-6 variant běžných modelů. Sportovní modely byly většinou vybaveny zážehovými motory větších zdvihových objemů, případně přeplňovanými zážehovými motory. Při hrubém přiblížení tedy poměr 1:5 v neprospěch přeplňovaných motorů částečně vystihuje i tuto možnost. Další

¹ Společně se systémy vstřikování a zapalování byla přeplňování motorů věnována skutečně mimořádná pozornost.

motivy lze hledat v oblasti konstrukce motorů, kdy např. firma Honda záměrně nepoužívá přeplňované zážehové motory a jejich výhody nahrazuje vývojem v jiných oblastech (systémy variabilního časování ventilů – VTEC)¹. Dále zde hraje roli i dosud ne zcela zvládnutý problém vyšší teploty výfukových plynů zážehových spalovacích motorů a jejich vliv na použití turbodmychadla. Z tohoto pohledu bude zajímavé sledovat další vývoj a inovační trendy.

Získaná data byla opět podrobena testování hypotéz:

Nulová hypotéza:

H_0 : Zastoupení jednotlivých variant motorů je na čase nezávislé.

Alternativní hypotéza:

H_1 : Zastoupení jednotlivých variant motorů je na čase závislé.

Hladina významnosti $\alpha = 0,05$

Výsledky provedeného testu jsou v tabulce č. 2.26. – zážehové motory a tabulce č. 2.27. – vznětové motory.

Výsledky obou testů potvrzují výše uvedené závěry. U vznětových motorů se časový vývoj statisticky významně mění. U zážehových motorů tento trend nenastává.

Tabulka č. 2.26. – časový vývoj přeplňování u zážehových motorů

| χ^2 - test (Pearsonův) - poměr přeplňovaných a nepřeplňovaných zážehových motorů | | | | |
|---|-------------------------------------|----|-------|------|
| | T | f | p | N |
| Výsledky testu | 10,079 | 17 | 0,900 | 2667 |
| Výsledek | p>0,05 - nezamítám nulovou hypotézu | | | |

Tabulka č. 2.27. – časový vývoj přeplňování u vznětových motorů

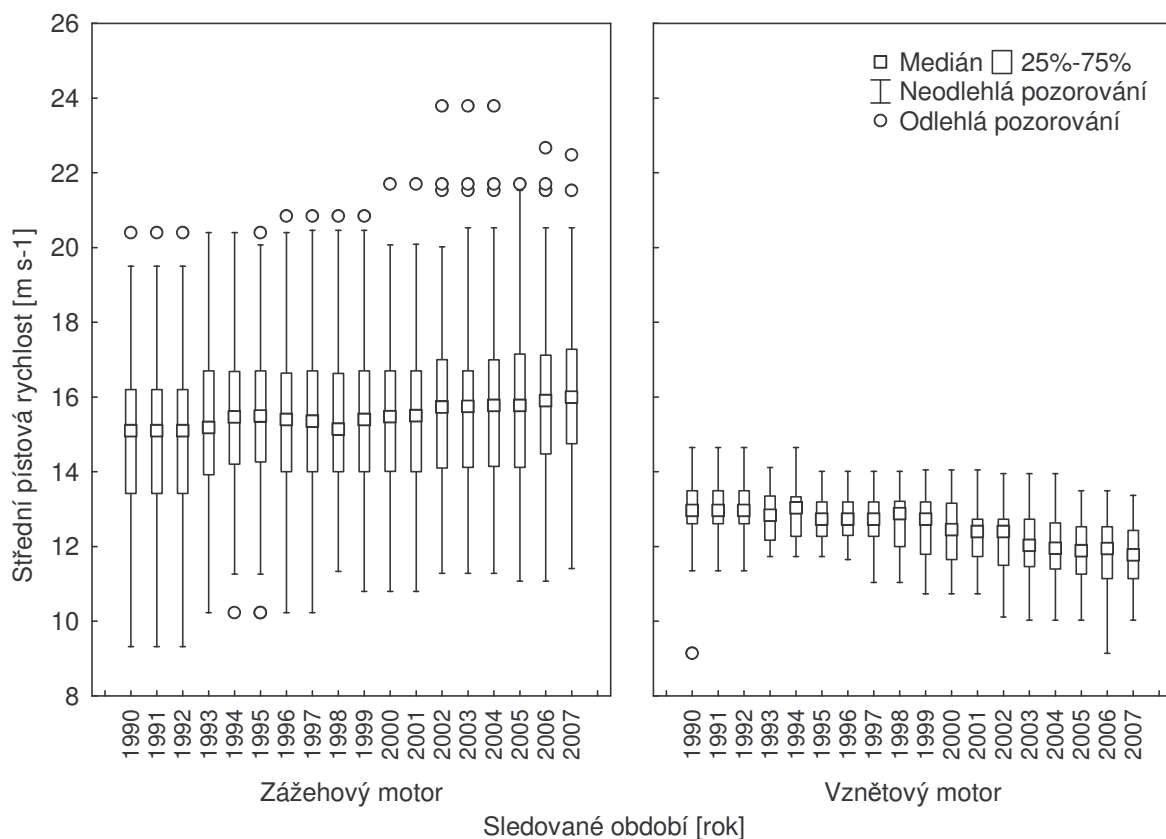
| χ^2 - test (Pearsonův) - poměr přeplňovaných a nepřeplňovaných vznětových motorů | | | | |
|---|-----------------------------------|----|-------|-----|
| | T | f | p | N |
| Výsledky testu | 109,918 | 17 | 0,000 | 638 |
| Výsledek | p<0,05 - zamítám nulovou hypotézu | | | |

3. Střední pístová rychlost

Střední pístová rychlost patří mezi základní kriteria motorů. Vzhledem k svému komplexnímu charakteru je tato veličina velmi vhodná pro porovnávání motorů. [3]. Střední pístová rychlost do značné míry určuje životnost motoru (opotřebení válců, teplotní namáhání), její rozbor je důležitý při určování hlučnosti motoru, průtočného odporu sání a celkového vyvážení. Při rozboru vývoje ve sledovaném období bylo nutno zvolit stejný přístup, jako při posuzování kompresního poměru. Získané hodnoty jsou uvedeny v grafu č. 2.16. – časový vývoj střední pístové rychlosti. Výchozí tabulkové hodnoty nejsou v této práci uvedeny a to ze stejných důvodů, jako v případě kompresního poměru.

¹ O tomto systému bude ještě dále hovořeno.

Střední pístová rychlost zážehových a vznětových motorů



Graf č. 2.16. – časový vývoj střední pístové rychlosti

Střední pístová rychlost bylo vypočtena dle vzorce¹ [3]:

$$c_s = \frac{z \cdot n}{30} \quad [m / s] \quad [1]$$

- z zdvih pístu [m]
- n otáčky motoru [ot./min]

Při rozboru obou grafů je nutno uvést, že samotná střední pístová rychlost je nejednoznačné kritérium s řadou výhod i nevýhod. Proto je velmi obtížné stanovit odhad tohoto vývoje. U zážehových motorů je zřetelný jistý nárůst, ovšem vzhledem k velmi vysoké variabilitě dat za konkrétní rok, je velmi obtížné tento nárůst blíže komentovat. Byly vypočteny směrodatné odchylky jednotlivých středních pístových rychlostí. Přehled jejich vývoje je uveden v grafu č. 2.17 doplněném tabulkou č. 2.28., které jsou v příloze č. 3. Z tohoto grafu také vyplývá důvod obtížnosti vyslovení korektního závěru o vývoji v oblasti střední pístové rychlosti. Celkový „nárůst“ v případě zážehových motorů i „pokles“ v případě vznětových v průběhu celého sledovaného období zhruba odpovídá velikosti směrodatné

¹ Jedná se o střední pístovou rychlost vypočtenou z otáček příslušejících jmenovitému efektivnímu výkonu motoru. Tento přístup bylo nutno zvolit, protože údaje o nejvyšších dovolených otáčkách svých motorů výrobci běžně neuvádí. Číselné hodnoty tedy neodpovídají běžně uváděným hodnotám v literatuře, kde se uvádí většinou střední pístová rychlost u maximálních otáček motoru, ale trend zůstává zachován.

odchylky libovolného roku tohoto období. Proto není možno vyslovit závěr, že tato veličina roste, případně klesá. Je nutno uvést, že u časového vývoje střední pístové rychlosti není patrná výrazná změna a výrobci zhruba setrvávají na stejných hodnotách. V případě zážehových motorů volí její velikost v průměru 15 m/s, u vznětových motorů kolem 13 m/s.

5. Litrový výkon

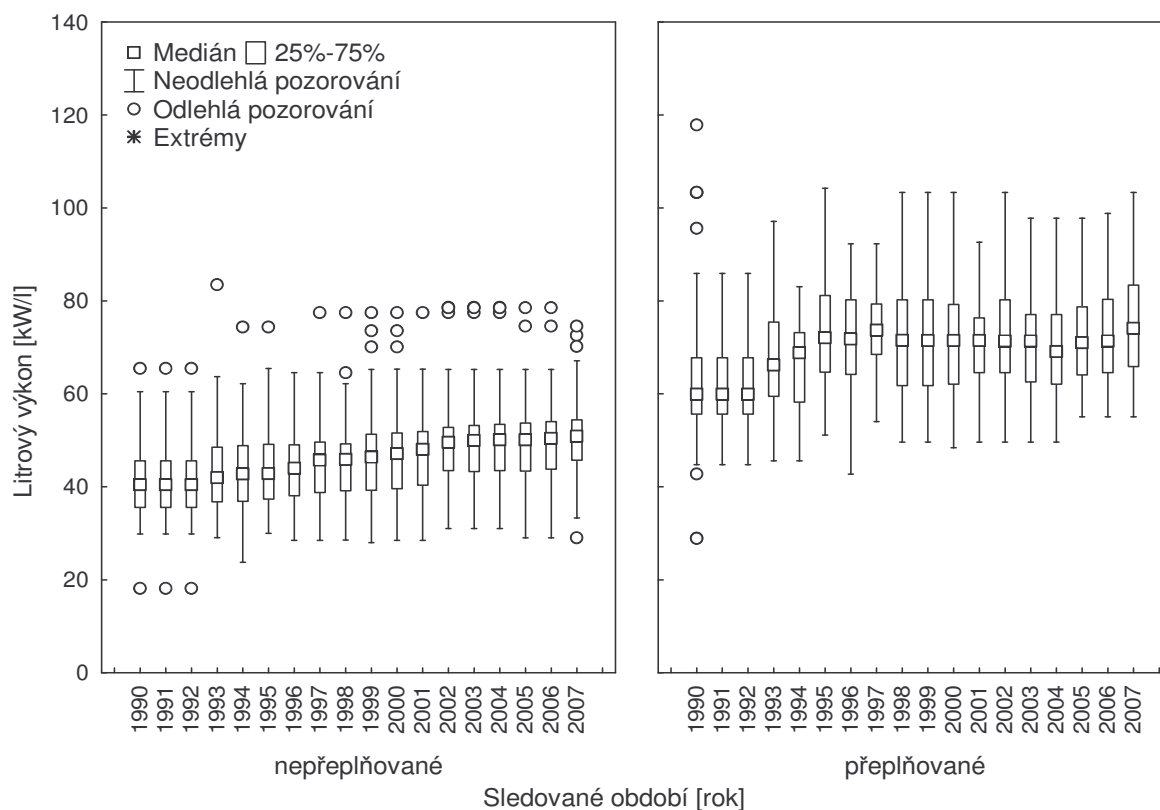
Litrový výkon je z důvodu své vypovídací hodnoty další ideální veličinou pro srovnání motorů a to i rozdílné koncepce. Výpočet litrového výkonu byl proveden dle vztahu [3]:

$$P_i = \frac{P_e}{V_z} \quad [kW/l] \quad [2]$$

- P_e efektivní výkon motoru [kW]
- V_z zdvihový objem [l]

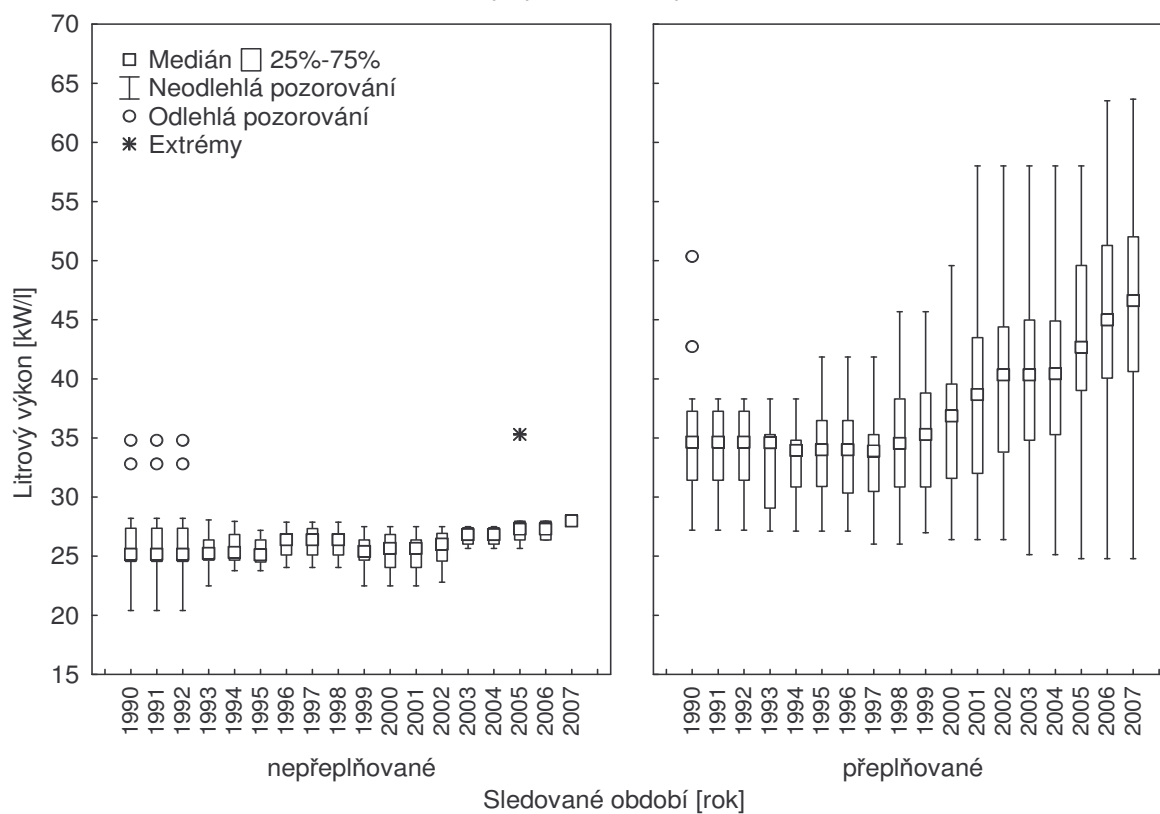
Výpočty jednotlivých litrových výkonů byly provedeny ze souboru „Vše bez rozdílu na uložení“ před jeho další filtrací. Výpočet tedy zahrnuje všechny výkonové varianty motorů, které byly rozděleny na přeplňované a nepřeplňované varianty. Litrový výkon byl ve všech případech vypočítán z maximálního efektivního výkonu motoru daného motoru. Výsledky rozboru jsou uvedeny v grafu č. 2.18. – zážehové motory a grafu č. 2.19. – vznětové motory. Příslušné tabulky nejsou v textu uvedeny a to ze stejných důvodů, jako v předchozích případech.

Litrový výkon zážehových motorů



Graf č. 2.18. – časový vývoj litrového výkonu u zážehových motorů

Litrový výkon vznětových motorů



Graf č. 2.19. – časový vývoj litrového výkonu u vznětových motorů

Při rozboru obou grafů je nutno postupovat samostatně. U nepřepřehovaných zážehových motorů je možno vidět trvalý časový růst mediánu, i když tento růst není velký a v průběhu sledovaného období pouze mírně převyšuje roční variabilitu dat, která je opět poměrně vysoká. U odlehlých pozorování je obtížné stanovit, za se jedná o chybně zadaná data, nebo skutečné výkonové extrémy. Z literatury [3] vyplývá, že maximální litrové výkony nepřepřehovaných zážehových motorů osobních automobilů lze hledat v hodnotách kolem 70 kW/l, což některá odlehlá pozorování splňují. U hodnot nad 80 kW/l se nepochybně jedná o chyby. Mediány mírně rostou od počátečních hodnot kolem 40 kW/l na koncové, které jsou mírně pod 50 kW/l. U přepřehovaných zážehových motorů je tento nárůst obdobný, i přes mírně odlišný trend. Zde se jedná o nárůst mediánu z 60 kW/l na hodnotu kolem 70 kW/l. Nárůst litrového výkonu obou variant je tedy přibližně stejný a vzhledem k faktu, že se jedná o 17 let vývoje, není nikterak výrazný. Je tedy nutné uvést, že litrový výkon nebyl v uplynulém období prioritou vývoje zážehových spalovacích motorů¹. U nepřepřehovaných vznětových motorů není trend nárůstu žádný. Zde je nutno uvést, že tyto data na konci sledovaného období ztrácí vypovídací hodnotu, neboť vzorek se snížil na velmi malé množství motorů (výrobci po roce 2001 prakticky přestaly vyrábět nepřepřehované vznětové motory). U přepřehovaných variant je v průběhu 90. let vidět stagnace a následný nárůst zhruba o 10 kW/l. Tento nárůst je ovšem rozložen do mnohem kratšího časového intervalu, než u zážehových motorů a kryje se s masivním příchodem přepřehovaných vznětových motorů s přímým vstřikem paliva. Zde je opět nutno upozornit na poměrně vysokou variabilitu dat.

6. Charakteristiky pružnosti

Charakteristiky pružnosti byly zpracovány z důvodu možnosti posouzení vývoje spalovacích motorů z hlediska jejich vnější otáčkové charakteristiky. Vstupní data v souboru obsahují jmenovitý efektivní výkon v příslušných otáčkách a maximální točivý moment v příslušných otáčkách. Z tohoto důvodu bylo před výpočtem jednotlivých pružností nutno nejprve vypočítat točivý moment motoru, který přísluší otáčkám (n_m) jmenovitého efektivního výkonu (P_m). Výpočet byl proveden podle vztahu [9]:

$$M_m = \frac{1000 P_m}{2\pi n_m} \quad [Nm] \quad [3]$$

Poté byly vypočteny jednotlivé pružnosti [9]:

- momentová pružnost (součinitel přizpůsobivosti):
$$e_m = \frac{M_{mmax}}{M_{mP}} \quad [4]$$

- otáčková pružnost:
$$e_n = \frac{n_p}{n_m} \quad [5]$$

¹ Což při hlubším zamyšlení nemusí být nelogické, neboť běžný řidič mnohem více než maximální litrový výkon motoru svého automobilu, ocení jeho pružnost, klidných chod, nízkou spotřebu apod.

- celková pružnost:

$$e_{celk} = e_m \cdot e_n \quad [6]$$

Všechny charakteristiky pružnosti jsou bez jednotek. Pružnosti jsou obecně vlastnosti motoru, které umožňují posuzovat schopnost motoru pracovat co možná nejdéle na stabilní větvi momentové charakteristiky motoru. V literatuře [3] je možné nalézt obecné meze jednotlivých pružností:

| | | |
|-----------------------|-------------------|-------------------------|
| - momentová pružnost: | - zážehové motory | $e_m = 1,07 - 1,50$ |
| | - vznětové motory | $e_m = 1,03 - 1,35$ |
| - otáčková pružnost | - zážehové motory | $e_n = 1,5 - 3,5$ |
| | - vznětové motory | $e_n = 1,3 - 2,0$ |
| - celková pružnost | - zážehové motory | $e_{celk} = 1,6 - 5,25$ |
| | - vznětové motory | $e_{celk} = 1,34 - 2,7$ |

Vypočtené pružnosti byly poté vyneseny do grafů, které jsou z důvodu své velikosti v příloze č. 3 této práce jako grafy č. 2.20. až 2.25. Pro možnost optimálního posouzení těchto grafů bylo nutno opět posoudit variabilitu dat a to ze stejných důvodů, jako v případě střední pístové rychlosti. Analýza variability pomocí směrodatné odchylky je uvedena v příloze č. 3 jako grafy č. 2.26 až 2.35., doplněné tabulkami č. 2.29 až 2.32. U pružností je nutno vyslovit obdobný závěr jako v případě střední pístové rychlosti. Z grafů jsou patrné tendence vývoje, ale vzhledem k variabilitě dat není možno vyslovit jednoznačné závěry.

2.2. Technická analýza vybraných inovačních trendů

V této části práce bude v návaznosti na předchozí kapitolu proveden rozbor hlavních směrů zdokonalování pístových spalovacích motorů. Po úvaze byla tato kapitola práce rozdělena do dvou samostatných celků. V prvním celku jsou zpracovány hlavní trendy v oblasti zážehových spalovacích motorů, v druhém celku je analýza vznětových spalovacích motorů. Celky jsou dále rozděleny do menších částí, které ilustrují vývoj v relativně samostatných činnostech motoru. Schéma rozdělení celků je následující:

a) Zážehové spalovací motory:

1. Regulace a řízení spalovacího motoru
2. Plnění motoru, tvorba směsi
3. Zapalování
4. Přeplňování
5. Úprava výfukových plynů

b) Vznětové motory:

1. Plnění motoru, tvorba směsi
2. Úprava výfukových plynů vznětových motorů

Při stanovování těchto okruhů byl respektován požadavek na určité množství ryze teoretických informací, které musí tato práce obsahovat. Tyto teoretické předpoklady byly soustředěny v prvních podkapitolách týkajících se regulace a řízení motoru z obecného hlediska. V dalších kapitolách je zpracován průřez inovacemi z hlediska jejich skutečného praktického použití¹.

a) Zážehové motory

1. Regulace a řízení spalovacího motoru

Regulace spalovacího motoru je obecný pojem, který v sobě zahrnuje ovládání chodu motoru pomocí mechanických, hydraulických, termických, pneumatických a dalších technických prostředků. Pro cíl této práce je možno právě výrazné změny ve způsobu regulace označit za obecnou příčinu výrazného zdokonalení spalovacích motorů. Výrobci motorů dospěli přibližně koncem 80. let 20. století ve velké shodě k názoru, že regulace pouze pomocí mechanických komponent, doplněných hydraulickými, pneumatickými, případně i dalšími, dosáhla meze svých možností. Pro další výrazné zdokonalování bylo nutno většinu mechanických prostředků nahradit jinými. Jako optimální řešení se nabízelo ovládání motoru pomocí elektronických metod regulace. Tyto metody ve srovnání s mechanickými poskytují několik neocenitelných výhod. Jedná se zejména o mnohem nižší setrvačnost regulace a hystereze jejího průběhu a možnost dosáhnouti vyšších přesností. Dané nastavení je poté mnohem méně ovlivněno dalším průběhem vozidla, což značně snižuje požadavky na další seřízení a údržbu. Navíc tento způsob regulace umožňuje lepší průběžnou kontrolu správnosti funkce.

Při použití elektronické regulace, která od počátku sledovaného období postupně zcela vytlačila dříve používané způsoby, provádí výpočty hodnot regulačních funkcí soustavy řídicí jednotka motoru. Řídicí program obsahu jednak funkce předpokládaného průběhu regulace, tak i tabulky hodnot pro vybrané body provozních podmínek motoru. Úkolem řídicí jednotky je vypočítat příslušnou hodnotu funkce vzhledem k požadavkům řidiče a provoznímu stavu motoru. K provedení tohoto výpočtu sleduje informace na vstupech, které mají formu elektronických signálů, přičemž převážná většina těchto signálů je původně neelektrického charakteru. Tento fakt vyžaduje použití snímačů neelektrických veličin, jejichž kvalita a dostatečný počet má na konečný výsledek regulace značný vliv. Jako výstupy pro další regulaci motoru jsou v soustavě zařazeny ovladače, jejichž úkolem je provedení následného regulačního zákroku. Ovladače jsou v obecné podstatě stejného charakteru, jako snímače.

Klíčovým prvkem současného spalovacího motoru je řídicí jednotka. Její postupné zavádění bylo nezbytným prvkem elektronických metod regulace. Vývoj v oblasti elektronických řídicích jednotek se postupně ustálil na v současné době všeobecně uznávaném systému datových sběrnic typu CAN. K jejich zavedení se přistoupilo zejména z důvodu stále většího počtu elektronicky řízených soustav v automobilu a celkové hospodárnosti této koncepce. Datová sběrnice CAN je protokol optimalizovaný pro ovládání automobilové řídicí soustavy. Jednotlivé řídicí jednotky, případně snímače a ovladače jsou prostřednictvím standardizovaných sériových rozhraní připojeny do této sběrnice. CAN obsahuje adresování ve vztahu k obsahu zpráv a každý komponent připojený do této sběrnice obdrží výhradně ta data, jejichž je adresátem. Dále obsahuje stanovování priorit pro jednotlivé zprávy. Konstruktivně jsou tyto datové sběrnice optimalizovány pro rychlost přenosu mezi 125 Kbit/s až 1 Mbit/s, datový rámec zpráv je mezi 44 až 108 bity. V tomto rámci jsou obsaženy: bit spouštěcího signálu, identifikační kód, řídicí bity, rezidentní kontrola a koncové bity. Příklad

¹ Ovšem s přihlédnutím k faktu, že v této rozsahově omezené práci prostě není možné shrnout vývoj 17 let intenzivní práce mnoha vývojových týmů.

zapojení CAN sběrnice je v obrázku č. 2.1. – sběrnice CAN. Obrázek je v příloze č. 1 této práce.

2. Plnění motoru, tvorba směsi

Z laického hlediska je tato část vývoje nejzajímavější prvek. Tuto skutečnost do určité míry podporují i sami výrobci automobilů, což dokazuje i časté používání zkratk jako např. TDI, JTD, MPI apod., které část výrobců připojuje přímo k názvům jednotlivých vozidel. Z hlediska inovací a vývoje spalovacího motoru představuje tato část přechod od karburátorů k systémům vstřikování benzínu¹. V druhé polovině 80. let 20. století začalo být stále zřejmější, že tvorba směsi pomocí karburace již dosáhla hranice svých technických možností. Další výrazné zlepšování v této oblasti již nebylo možné, což dokazuje zejména skoro jednotný přechod k vstřikovacím systémům, který je patrný u všech významných světových výrobců automobilů. Následující rozdělení přibližně odpovídá tomuto časovému přechodu.

a) Jednobodové systémy

Jednobodový (centrální) systém vstřikování je založen na vstřikovací trysce umístěné tak, že palivo je vstřikováno mezi plochu škrťící klapky a stěny sacího potrubí. Množství paliva je regulováno dobou otevření vstřikovací trysky za předpokladu konstantního tlaku paliva v ní. Konstantní tlak je nutno zajistit, což vyžaduje zejména použití odpovídajícího palivového čerpadla, palivového filtru a regulátoru. V praxi se vyvinuly tři hlavní jednobodové systémy.

- jednobodové vstřikování (regulace α/n)

Tento systém vstřikování paliva patří z časového hlediska k nejstarším. Byl značně rozšířen zejména díky výrobku firmy Bosch, systému Mono-Jetronic, který je typickým zástupcem tohoto systému a byl používán zejména u starších typů vozů koncernu VW.² Doba výpočtu otevření vstřikovací trysky je počítána nepřímou na základě údajů ze snímačů úhlu natočení škrťící klapky a otáček motoru. Pomocné údaje, které jsou také zahrnuty ve výpočtu doby otevření vstřikovací trysky, jsou zejména teplota nasávaného vzduchu, teplota chladící kapaliny a údaje snímače volnoběžné polohy škrťící klapky. Pomocné údaje slouží zejména k rozpoznání okamžitého režimu motoru. Tato soustava má také možnost λ regulace. Podstatnou nevýhodou systému je omezená přesnost regulace a z inovačního hlediska i skutečnost, že regulace alfa/n není vhodná pro vícebodové systémy vstřikování.³ Příklad celkové koncepce soustavy Mono-Jetronic firmy Bosch je na obrázku č. 2.2. – soustava Mono-Jetronic a tabulce č. 2.33. Obrázek i tabulka jsou v příloze č. 1.

- jednobodové vstřikování (regulace p/n)

Tento systém vstřikování používá jako hlavní řídicí prvek tlak v sacím potrubí a otáčky motoru. K vlastním veličinám je ovšem nutno připojit další doplňkové, neboť zejména tlakový snímač před a za škrťící klapku není schopen dostatečně rychle reagovat při přechodových stavech. Proto se do systému vkládá i snímač polohy škrťící klapky. Tento

¹ Problematice karburátorů zde z kapacitních důvodů nebude věnována pozornost a to z důvodu, že v námi sledovaném období již vývoj v této oblasti skoro ustal.

² Mimo jiné byl použit také u vozidel Škoda Favorit a prvních typů Škoda Felicia.

³ Zde je ovšem nutné zdůraznit, že systém Mono-Jetronic se v praxi stal zejména u menších vozidel zdaleka nejrozšířenějším jednobodovým systémem.

způsob regulace je použit např. u vstřikovací soustavy Multec, použité u vozidel Opel, Fiat a Lancia. Vlastní těleso škrtkové klapky je řešeno podobně jako u systému Mono-Jetronic s tím rozdílem, že není snímána teplota nasávaného vzduchu. K snímání tlaku v sacím potrubí se obvykle používá snímač s piezorezistivními odpory. Použití snímání tlaku, jako hlavní veličiny, má nevýhody z hlediska regulace volnoběžného chodu. Tlakové vlny v sacím potrubí, vyvolané změnou polohy škrtkové klapky, znemožňují regulaci volnoběžného chodu pomocí změny polohy této klapky. U p/n regulace se proto rozšířilo použití obtokového kanálu, jehož průřez se mění vysouváním kužele ovládaného z řídicí jednotky.

- jednobodové vstřikování (s měření množství vzduchu)

Tento systém vstřikování je nejméně rozšířen. Hlavní snímaná veličina je hmotnostní průtok vzduchu. Ostatní snímače veličin jsou používány pouze pro určení okamžitých provozních podmínek. Regulace volnoběžných otáček je prováděna obtokem s proměnlivým průřezem. Systém byl použit např. u vozidel značky Mazda (typ. EGI-S), Nissan nebo Subaru.

b) Dvoutryskové jednobodového systémy

Tyto systémy byly vyvinuty pro spalovací motory s širším rozmezím otáček a zejména větších objemů. U těchto motorů nepostačuje jedna tryska zejména z důvodu potřebné přesnosti dávkování paliva.

- jednobodové vstřikování s tryskami vedle sebe

V systému jsou použity dvě trysky, které jsou vystředěné vůči ose škrtkové klapky a za kterými je vložen regulátor tlaku paliva. Systém je nastaven tak, že preferuje otevření jedné z dvojice trysek. Otevření druhé trysky nastává pouze v případě, kdy doba otevření první trysky není dostatečně dlouhá, aby byla zajištěna potřebná přesnost a množství paliva. Tento stav nastává obvykle u nedostatečně zahřátého motoru, nebo v přechodových stavech. Tehdy dochází k otevírání obou trysek v nesynchronizovaném režimu bez ohledu na polohu klikového hřídele a trysky jsou otevírány v pevně daných časových intervalech. Ty jsou stanoveny buď na každých 12,5 ms nebo 6,5 ms, podle potřeby motoru. Regulace je obecného systému $\alpha/p/n$. Tento způsob řízení vstřikování je využit např. v některých systémech Multec u vozů Opel nebo systému CFI firmy Ford.

- jednobodové vstřikování s tryskami za sebou

Tento systém byl rozšířen zejména díky jeho použití v motorech firmy Honda. Vstřikovací soustava s názvem PGM-DPI se skládala ze dvojice vstřikovacích trysek, kdy první je hlavní a druhá doplňující. Trysky jsou rozdílné jak podle množství dodávaného paliva, tak i podle jejich umístění. Hlavní tryska je před škrtkovou klapkou a dodává více než dvojnásobek paliva než doplňující, která je umístěna za škrtkovou klapkou. Z hlediska provozních režimů motoru doplňující tryska dodává palivo při volnoběžném chodu a při částečném zatížení. Při požadavku plného zatížení se k doplňující trysce přidává i hlavní tryska. Z hlediska regulace je činnost řídicí jednotky obdobná jako v předchozím případě s tím rozdílem, že regulační činnost je doplněna o snímač teploty nasávaného vzduchu a v některých případech také o snímač atmosférického tlaku.

Při zhodnocení jednobodových systémů vstřikování tento způsob plnění motoru představuje kvalitativní skok ve srovnání s karburátory, ovšem i systémy jednobodového

vstřikování mají několik podstatných nevýhod. Mezi nejdůležitější patří zejména skutečnost, že místo vstřikování je relativně vzdáleno od sacího ventilu. Z tohoto důvodu vzniká nerovnoměrné rozdělení směsi do jednotlivých válců motoru. Rovnoměrnost plnění je značně závislá na tvaru sacího potrubí. Z pohledu sání vystupuje do popředí druhý velký nedostatek - palivový film, který vzniká usazováním vstřiknutého paliva na chladných stěnách sacího potrubí. Třetí nevýhodou je vzdálenost mezi místem vstřiku a místem hlavního snímače regulace a zejména λ sondou. Větší vzdálenost v tomto případě znamená zpoždění při požadavku na regulaci složení, zejména během přechodových stavů motoru. U jednobodových systémů s více tryskami dochází k částečné redukci výše uvedených nedostatků, ale v obecném pohledu jsou jejich hlavní nevýhody totožné. Zejména tyto nedostatky vedly výrobce motorů k postupnému odklonu od jednobodových systému vstřikování k vícebodovým s vstřikovacími tryskami u sacího ventilu. O těchto systémech pojednává další kapitola¹.

b) Vícebodové systémy

Systémy představují od svého nástupu do současné doby nejčastěji používané způsoby plnění motoru. Jednotlivé varianty vícebodových systému vstřikování mají některé shodné rysy:

- umístění jednotlivých vstřikovacích trysek co možná nejblíže u sacích ventilů
- relativní geometrická shodnost sacího potrubí

Tyto změny byly reakcí na nevýhody jednobodových systémů a umožňují odstranění hlavních nevýhod (vzdálenost místa vstřiku a nerovnoměrné plnění válců). Nejobecněji je možné vícebodové systémy vstřikování rozdělit do dvou oblastí:

1. Spojité vstřikovací systémy

Systém spojitěho vstřikování byl v minulosti velmi rozšířen zejména díky jeho použití ve vstřikovací soustavě K-Jetronic firmy Bosch². V ní jsou všechny trysky otevírány současně v okamžiku, kdy tlak přiváděného paliva překročí hodnotu 0,33 MPa. Regulace množství paliva se provádí změnou průřezu palivového potrubí, potřebný tlak je vyvozován válečkovým čerpadlem poháněným elektromotorem. Regulace tlaku paliva je zajištěna pomocí zásobníku a regulátoru. Pro přesnost dávkování paliva podle množství nasávaného vzduchu je tento vstřikovací systém vybaven měřičem množství nasávaného vzduchu, který se skládá ze vzduchového trychtýře a měřicí klapky, která přenáší svoji polohu pomocí páky na řídicí píst rozdělovače množství paliva. Píst rozdělovače paliva poté uvolňuje odpovídající průřez pro průtok paliva k ventilu diferenčního tlaku a následně konkrétní vstřikovací trysce daného válce. Ventil diferenčního tlaku se používá zejména z důvodu dosažení lineární závislosti množství paliva na velikosti zdvihu ventilu. Pro obohacování směsi při přechodových stavech motoru a při studeném motoru je systém vybaven teplotním regulátorem řídicího tlaku a systémem překmitu měřicí klapky množství vzduchu. Překmitnutí následně způsobí vyšší přítok paliva a tím i dobrou odezvu motoru při akceleraci. Volnoběh je řešen formou okruhu stabilizace volnoběhu, který bere ohled na okamžitou teplotu motoru.

¹ Zde je vhodné poznamenat, že s výše uvedenými problémy korespondují i výsledky rozboru v první kapitole této práce, zejména při opouštění těchto variant systému vstřikování. Při bližším pohledu na zpracovaná data hlavního vzorku je patrná i skutečnost, že jednobodové systémy se nejdéle udržely u motorů malých objemů a to zejména u evropských výrobců.

² První vstřikovací soustavy této konstrukce byly uvedeny počátkem 70. let minulého století, ovšem s jistými odchylkami od popisované a to zejména v oblasti λ regulace.

Soustava má dva volnoběžné obtoky, kdy jeden je v činnosti při jakékoliv teplotě motoru a množství vzduchu, druhý je aktivován pomocí šoupátka v závislosti na teplotě motoru. Příklad celkové koncepce soustavy K-Jetronic firmy Bosch je na obrázku č. 2.3. – soustava K-Jetronic a tabulce č. 2.34. Obrázek i tabulka jsou v příloze č. 1.

2. Časové vstřikovací systémy

U časových systémů vstřikování vstřikují trysky palivo vždy v přesně určených okamžicích a to často přímo přes otevřený sací ventil do spalovacího prostoru válce. Proto se tento systém někdy nazývá polopřímé vstřikování. Při tomto způsobu plnění motoru prakticky nedochází ke smáčení stěn sacího potrubí a vlastní příprava směsi probíhá ve velké míře až přímo ve spalovacím prostoru. To umožňuje do určité míry řídit pohyb a tvorbu směsi ve válci. Ve srovnání se spojitými vstřikovacími systémy jsou patrné určité odchylky, zejména v palivovém okruhu. Jedná se o absenci zásobníku, jehož funkci přebírá přímo rozdělovací potrubí jednotlivých trysek, které má objem konstruován tak, aby množství paliva v něm obsažené vždy dostačovalo na potřebu případného maximálního množství vstřiku. Tímto způsobem je redukováno kolísání tlaku paliva. Velikost tlaku je nastavována regulátorem tlaku umístěným na konci palivového potrubí. Regulátor je rozdělený do dvou prostor oddělených membránou a vybavených ventilem a pružinou. Při překročení nastaveného tlaku paliva se membránou ovládaný ventil otevírá a přepouští nadbytečné množství paliva vratným potrubím zpět do palivové nádrže. Dřívější modely těchto vstřikovacích systémů byly vybaveny různými doplňky regulátoru tlaku paliva, např. tlumící tryskou se snímačem teploty paliva v rozdělovacím potrubí, elektropneumatickým ventilem pro přívod recirkulovaných výfukových plynů do pružinové komory regulátoru nebo elektropneumatickým ventilem mezi regulátorem tlaku a vývodem sacího potrubí¹.

Vstřikovací trysky vstřikují přesně dávkované množství paliva vždy v určeném okamžiku. Každému válci odpovídá jedna elektromagneticky ovládaná tryska řízená impulsem z řídicí jednotky motoru. Každá z nich je tvořena elektromagnetem, jehlou a tělesem. Ovládání trysek je tvořeno napětím přivedeným na elektromagnet a následným nadzvednutím trysky ze sedla. Tím dojde k uvolnění přesně kruhové štěrbin v tělese trysky a následnému průchodu paliva touto štěrbinou. V případě, kdy není na elektromagnetu napětí, je jehla tlačena shora pružinou do sedla trysky. Mimo tento způsob konstrukce trysky, který je nejrozšířenější, se zejména pro vysokootáčkové motory rozšířila i tryska s uzávěrou ve tvaru disku. Tento typ konstrukce umožňuje dosáhnout nižších dob náběhu otevření trysky, která u jehlových dosahuje hodnot 1 až 1,5 ms. Diskové trysky umožňují tuto dobu zkrátit na hodnotu kolem 0,75 ms. Jejich konstrukce se liší zejména v použití uzávěry ve tvaru disku, která má obdobnou funkci jako jehla, ale s nižší dobou reakce. Umístění vstřikovacích trysek bezprostředně u sacích ventilů válců klade požadavky na velikost kapek vstřikovaného paliva, které musí být nižší než v předchozích případech. To vyžaduje dostatečně vysoký tlak paliva, s nutností zabránit jeho předčasnému odpaření. S tím souvisí i vysoká teplota v místě vstřiku. Proto neustále rostly požadavky na tlak paliva, které byly největší zejména u motorů malých objemů. Reakcí výrobců bylo, že pro tyto motory vyvinuli vstřikovací trysky se stranovým přívodem paliva. Jejich podstatnou výhodou je způsob průchodu paliva tryskou, které ji proplachuje a přebytečné palivo se vrací do palivové nádrže. Jedná se o určitý způsob chlazení vstřikovací trysky, který umožňuje snížit teplotu elektromagnetu. Z tohoto důvodu dochází k výrazně nižšímu nárůstu odporu vinutí elektromagnetu v závislosti na teplotě a s tím souvisí pokles rychlosti trysky².

¹ Např. systémy MEMS firmy Rover, EGI firmy Mazda nebo MPI firmy Mitsubishi.

² Zde je nutno poznamenat, že nepotřebné palivo odvedené zpět do nádrže má samozřejmě vyšší teplotu a s tím souvisí i jeho zvýšené vypařování v palivové nádrži. Proto se postupně prosadili vylepšené varianty.

Pro optimální tvorbu směsi je důležitým faktorem tvar kuželu vstřikovaného paliva a velikost paliček paliva v něm obsažených. Přesný tvar kužele i velikosti kapiček nelze z obecného hlediska stanovit, protože jsou velmi závislé na konkrétní geometrii sacího potrubí daného motoru a také na konstrukci jeho hlavy. V praxi se prosadily dva hlavní způsoby tvaru kuželového svazku a to jednopaprskový a dvoupaprskový svazek, který je optimálnější pro víceventilové hlavy válců. Z důvodu optimálnějšího rozprášení vstřikovaného paliva se prosadily také vstřikovací trysky s přisáváním vzduchu, který je odebírán ze sacího potrubí před škrťací klapkou a umožňuje velmi jemné rozprášení vstřikovaného paliva. U starších typů těchto vstřikovacích systémů se používala také doplňující tryska studeného startu. Ta byla umístěna v sacím potrubí tak, aby byly jednotlivé válce zásobovány stejnoměrně. Byla ovládána nezávisle na ostatních vstřikovacích tryskách a umožňovala obohacování při studeném startu.

Podle okamžiku vstřiku paliva se časové vstřikovací systémy rozdělují do tří kategorií:

- Simultální vstřikování

Při použití simultálního vstřikování dochází k otevření vstřikovacích trysek všech válců ve stejném okamžiku, tedy ke vstřiku paliva pro všechny válce současně. Vstřikování proběhne během každé otáčky klikového hřídele, vždy dva vstřiky za jeden pracovní cyklus čtyřdobého motoru. Při každém vstřiku se vstřikuje vždy polovina potřebného množství paliva, a to z důvodu rovnoměrnější směsi. Z hlediska okamžiku je prioritní informace o poloze klikového nebo vačkového hřídele motoru a jejich následné zpracování řídicí jednotkou¹. Délka vstřiku tedy závisí na otáčkách motoru a jeho zatížení, a to bez ohledu na okamžitou polohu sacích ventilů.

- Skupinové vstřikování

V systémech skupinového vstřikování jsou trysky spojeny po dvou do skupin, jejichž počet je závislý na počtu válců motoru. Každá skupina vstřikuje palivo vždy plnou dávkou jednou za dvě otáčky klikového hřídele, tedy jednou za jeden pracovní cyklus motoru. Jednotlivé skupiny trysek jsou vzájemně fázově posunuty o 360° a doba otevření je v každém pracovním cyklu stejná. Potřebné informace o otáčkách klikového hřídele jsou získávány obdobným způsobem, jako u simultálního vstřikování².

- Sekvenční vstřikování

Vícebodové sekvenční systémy vstřikování představují vrcholnou verzi vícebodových systémů a v současné době patří k nejrozšířenějším způsobům přípravy směsi. K určení okamžiku doby vstřiku využívají jak údaje snímače otáček klikového hřídele, tak i údaje otáček vačkového hřídele. Tento způsob umožňuje provést vstřik vždy pouze u válce, u něhož proběhne při vstřiku sací zdvih. Údaje ze snímače vačkového hřídele i klikového hřídele umožňují řídicí jednotce určit, který z válců motoru bude v sacím zdvihu a tedy i která vstřikovací tryska má být aktivována. Většina těchto systémů z důvodu obohacení směsi přechází v okamžiku startu motoru do režimu simultálního vstřikování. Následně, po proběhu cca 20 až 30 otáček, se soustava vrací do sekvenčního režimu.

¹ K snímání se obvykle používá tzv. Hallův prvek, méně častější je použití induktivních snímačů se změnou magnetického toku ve vinutí nebo snímačů na bázi LED diod. Údaje ze snímačů otáček motoru se obvykle používají i pro zapalovací soustavu.

² Příkladem tohoto systému je soustava D-Jetronic firmy Bosch.

c) Přímé vstřikování

Přímé vstřikování představuje další vývojový krok k optimalizaci tvorby směsi. Přímé vstřikování benzínu umožňuje zejména v oblasti smáčení stěn sacích kanálů zcela redukovat výše popsané nevýhody jak jednobodového, tak i vícebodového vstřikování do sacích kanálů. Tento typ plnění motoru však klade další požadavky na dokonalé zvládnutí řízení pohybu nasávaného vzduchu ve válci motoru a optimální rozprášení paliva. Požadavky jsou dány skutečností, že k tvorbě směsi dochází až přímo ve válci motoru a tím, že nesmí dojít k předčasnému samozápalu. U systémů přímého vstřikování benzínu se výkon motoru ovlivňuje pouze množstvím vstřikovaného paliva. Nevyhnutelně to vede k závěru, že složení spalované směsi se bude měnit v závislosti na skutečném provozním stavu motoru. Z tohoto důvodu systémy přímého vstřikování respektují několik režimů provozu, které umožňují co možná nejlepší přizpůsobení skutečnému provoznímu stavu.

- Provoz s vrstveným plněním

Tento režim plnění válce používá vstřikovací soustava v nižších otáčkách a při nižším zatížení motoru. Hranice přechodu mezi vrstveným plněním a homogenním plněním se pohybuje kolem 3000 ot./min. Při vrstveném plnění je směs velmi chudá, s lokálním obohacením u zapalovací svíčky. K vstřiku dochází při kompresním zdvihu. Proto nedochází k rozdělení směsi v celém objemu spalovacího prostoru. Velký přebytek vzduchu způsobuje vysoké emise oxidů dusíku. Při provozu s tímto plněním ve vysokých otáčkách vznikají ve válci silné turbulence, v jejichž důsledku dochází k narušení vrstvení náplně a výpadkům v zapalování. Proto vrstvené plnění nelze ve vyšších otáčkách použít.

- Provoz s homogenním plněním

Tento režim provozu se používá při vyšších otáčkách motoru. Počátek vstřiku paliva je při sacím zdvihu pístu, proto je možno dosáhnout vytvoření stechiometrické směsi, případně mírně obohacené směsi. Při tomto režimu není třeba recirkulace výfukových plynů. K úpravě výfukových plynů dochází až v třícestném katalyzátoru.

- Homogenní provoz s chudou směsí

Tento způsob odpovídá provozu s homogenním plněním s tím rozdílem, že dochází k tvorbě chudé směsi. Z tohoto důvodu není možná redukce výfukových plynů v katalyzátoru a provoz vyžaduje recirkulaci výfukových plynů doplněnou řízením pohybu směsi ve válci.

- Homogenní provoz s vrstveným plněním

Jedná se o variantu, která kombinuje provoz s homogenním plněním a provoz s vrstveným plněním. Tvorba směsi je rozdělena do dvou částí. Při sacím zdvihu dochází k vstřiku části paliva a k tvorbě chudé homogenní směsi. Při kompresním zdvihu probíhá druhý vstřik ve vrstveném režimu. Následný zážeh vrstvené směsi způsobí zapálení chudé směsi ve zbytku spalovacího prostoru. Tato tvorba snižuje sklon k detonačnímu hoření a umožňuje použití vyššího kompresního poměru.

- Provoz s vrstveným plněním a zahříváním katalyzátoru

Při tomto provozu se využívá dvojího vstřikování, ale s odlišným okamžikem vstřiku. K prvním vstřiku dochází na začátku kompresního zdvihu a pomocí vrstveného plnění se vytváří zapalitelná směs. K druhému vstřiku dochází až během expanzního zdvihu a při využití přebytku vzduchu ve výfukových plynech dochází k dodatečnému spalování. Tím se zvyšuje teplota výfukových plynů a zkracuje doba zahřívání katalyzátoru.

Při provozu motoru s přímým vstřikem benzínu přechází řídicí soustava motoru mezi výše popsanými režimy plynule, bez ovlivnění chodu motoru. V poslední době se při konstrukci spalovacích motorů s přímým vstřikem stále častěji používá varianta vstřikování emulze paliva se vzduchem. Ta se tvoří mimo spalovací prostor. Při vstřikování se využívají obě hlavní varianty tvorby směsi, tedy vstřikování emulze s vrstvením a vstřikování při stechiometrické výsledné směsi. Výzkum v oblasti možností přímého vstřikování benzínu dosud nebyl ukončen a skrývá v sobě ještě značný vývojový potenciál.

3. Zapalování

Zážehový spalovací motor vyžaduje vnější zapalování. Proto byla vyvinuta zapalovací svíčka, u které vzniká jiskra přeskokem mezi elektrodami umístěnými ve spalovacím prostoru. Tvorbu jiskry je nutno synchronizovat jak z hlediska její velikosti, tak z hlediska správného okamžiku. Z tohoto důvodu jsou nejdůležitějšími parametry zapalovacích soustav předstih a zapalovací energie. Optimalizace těchto dvou veličin je klíčovým úkolem každé zapalovací soustavy. V námi sledovaném období jsou používány následující zapalovací soustavy.

a) Tranzistorové zapalování

Soustava neobsahuje mechanický přerušovací kontakt. Ten je nahrazen výkonovým tranzistorem. Tím byl odstraněn negativní vliv opotřebení mechanické vazby kontaktů přerušovače. Poslední soustavy tohoto typu se vyskytly začátkem 90. let a poté byly nahrazeny dokonalejšími typy. Proto jim nebude věnována další pozornost.

b) Elektronické zapalování

V této zapalovací soustavě je rozdělování vysokého napětí provedeno mechanicky, ale nastavení předstihu je již plně elektronické. Vstupními veličinami pro charakteristiku předstihu jsou otáčky a zatížení. Toto zapalování vyžaduje použití řídicí jednotky. Ve sledovaném období byl tento způsob používán asi 8 let.

Nejdůležitější výhodou elektronického zapalování je, že díky elektronickému nastavení předstihu je možno upravit jeho hodnotu na dané konkrétní optimalizační kritérium a tím optimalizovat celkovou činnost motoru. Tato optimalizační kritéria jsou často protichůdná a řídicí jednotka elektronického zapalování proto musí respektovat váhu požadavku v daném okamžiku. Proto je pole charakteristik předstihu elektronického zapalování nevyrovnané, zejména ve srovnání s polem mechanicky odstředivě a podtlakově řízeného systému. Jako vstup pro výsledné pole charakteristik předstihu se používá signál snímače podtlaku, který charakterizuje zatížení motoru. Z tohoto signálu a údaje snímače otáček se následně vytváří třírozměrné pole charakteristik předstihu, které umožňuje pro daný bod zatížení a konkrétní otáčky nastavit neoptimálnější předstih. Pro režim volnoběhu a brždění motorem se poté vytváří specifická pole předstihů. V praxi se tento způsob používá jednak v integrované formě

se systémy vstřikování, např. systém Motronic, nebo v samostatné formě jako doplněk k tranzistorovému zapalování. Vstupní snímače jsou jednotné se snímači vstřikovacích systémů s výjimkou sledování napětí akumulátoru, které slouží jako korekční veličina měřená řídicí jednotkou. Zapalovací svíčky jsou jako koncový stupeň umístěny většinou samostatně. Mezi nejdůležitější výhody tohoto systému patří kromě optimalizace předstihu i možnost zahrnutí dalších optimalizačních parametrů, např. sledování teploty motoru a snazší realizace dalších rozšíření¹.

c) Plně elektronické zapalování

Plně elektronické zapalování je dalším vývojovým stupněm elektronického zapalování. Došlo zde k odbourání mechanického rozdělování vysokého napětí pomocí rozdělovače. Tato změna nemá bezprostřední vliv na kvalitu zapalovací soustavy, ale přináší výhody v oblasti konstrukce. Jedná se zejména o snížení počtu vysokonapěťových spojů a snížení hlučnosti. Tento způsob zapalování představuje v současné době nejrozšířenější systém a u nových vozidel od roku 1998 vytlačil elektronické zapalování.

4. Přepřňování

Přepřňování motorů je jednou z důležitých částí jejich vývoje. Tuto skutečnost dokládá i výsledek statistického rozboru v první kapitole této práce. Při sledování aplikace způsobů přepřňování je nutno si uvědomit, že tato část vývoje je značně starší, než elektronicky optimalizované způsoby vstřikování a zapalování. Počátky přepřňování tedy časově značně předstihují sledované období, ale z důvodu jejich důležitosti pro pochopení inovačních trendů je nutno jim věnovat určitou pozornost.

Počátky přepřňování motorů spadají hluboko do první poloviny 20. století. Konstrukteři využívali přepřňování zejména jako jeden z nejjednodušších způsobů zvýšení výkonu motoru. Proto byly přepřňované motory doménou zejména závodních a sportovních motorů. Tento stav v oblasti vozidlových spalovacích motorů trval dlouhou dobu, prakticky až do poloviny 80. let 20. století. Během této doby vývoj přepřňování do jisté míry ztratil prioritu a v 80. letech dochází k opětovnému zájmu konstruktérů o přepřňování a jeho vývojový potenciál². Opětovné využití způsobů přepřňování se nejprve prosadilo u vznětových motorů. Po rozšíření vznětových motorů s přímým vstřikem došlo k obrovskému nárůstu počtu vznětových přepřňovaných motorů³.

Z obecného pohledu je přepřňování spalovacích motorů přídavné zařízení, které s přetlakem přivádí čerstvou směs do válce. Z hlediska teorie činnosti motoru tedy píst přepřňovaného spalovacího motoru vykonává užitečnou práci i při plnění válce. Přivedení většího množství čerstvé směsi do válce má za následek, že užitečný výkon tohoto motoru je vyšší, než v atmosférickém případě. Při konstrukci se používají tyto metody přepřňování:

a) Dynamické přepřňování

Dynamické přepřňování vychází z teorie sání atmosféricky plněného motoru. Nejedná se o zvyšování plnicího tlaku motoru pomocí dodatečného zařízení, ale o systém vhodné optimalizace sacího potrubí. Ten je založen na existenci tlakové vlny, která vzniká při otevření sacího ventilu v okamžiku sacího zdvihu pístu. Tlaková vlna se otevřeným ventilem

¹ Zde zejména v praxi značně rozšířená regulace klepání.

² Zde nelze opomenout éru „Turbo“ v mistrovství světa vozů formule 1. Po konci této éry, koncem 80. let 20. století, byly četné zkušenosti z těchto konstrukcí využity i u spalovacích motorů běžných automobilů.

³ Viz obecná analýza.

šíří sacím potrubím. V okamžiku, kdy dospěje ke klidnému okolnímu vzduchu, dochází k jejímu odrazu a postupu zpět do sacího potrubí. Vzniká tak silná pulsace, kterou je možno využít k zvětšení náplně čerstvé směsi¹. Dynamické procesy jsou značně závislé na tvaru a geometrii sacího potrubí a otáčkách motoru. U motorů s karburátorem a jednobodovým systémem vstřikování se nevyužívají, neboť tyto způsoby přípravy směsi, z důvodu optimálního plnění každého válce, vyžadují u každého z nich pokud možno co nejkratší a stejně dlouhé sací potrubí. U systémů vícebodového vstřikování do sacího potrubí a systémů přímého vstřikování je možno tento způsob přeplňování využít, neboť sací potrubí nevede směs, ale pouze vzduch. Umožňují tedy optimální tvarování sacího potrubí. V praxi se rozšířily tři způsoby dynamického přeplňování:

1. Rezonanční přeplňování jednotlivě pro každý válec

Tento způsob využívá konstrukci sacího potrubí se samostatnými větvemi pro každý válec. Větve se spojují ve sběrné komoře. V jednotlivých větvích sacího potrubí vznikají samostatné tlakové vlny, které se šíří nezávisle na sobě. Délka a průměr každé větve je optimalizován a sladěn s časováním ventilů tak, aby v požadovaném rozsahu otáček dorazila tlaková vlna odražená od konce větve do válce ještě v okamžiku otevřeného sacího ventilu. Toto přeplňování je možné optimalizovat pro konkrétní účel. Při použití dlouhých tenkých větví potrubí se dosahuje přeplňování při nízkých otáčkách. Krátké široké větve umožňují zlepšení plnění motoru ve vyšších otáčkách.

2. Rezonanční přeplňování soustavou pro více válců

Tato soustava využívá rezonance kmitů plynů v sacím potrubí. Rezonance pak vede k vyššímu nárůstu tlaku a vyšší účinnosti přeplňování. V této soustavě je sací potrubí válců se stejnými intervaly zapalování velmi krátké a je spojeno do jedné rezonanční komory. Komory jsou poté spojeny dlouhými rezonančními větvemi do hlavní sběrné komory. Tím se eliminuje překrývání proudění ze dvou válců sousedících v pořadí zapalování.

3. Variabilní geometrie sacího potrubí

Tento způsob dynamického přeplňování motoru částečně redukuje nevýhody obou předchozích systémů. Jak jednotlivá rezonanční soustava pro každý válec, tak i systém pro více válců mají nestejnou míru plnění z hlediska otáček motoru. Oba vykazují vyšší dosažitelnou míru plnění při nižších otáčkách. Hlavně z tohoto důvodu se rozšířil systém variabilní geometrie sacího potrubí, který umožňuje odstranění tohoto nedostatku. K tomuto účelu se využívají možnosti různých nastavení sacího potrubí. Systémy se dělí:

3.1. Systém se změnou délky sacího potrubí

V těchto soustavách je možno pomocí klapky spínat dva různé stavy v závislosti na délce větvi. Změna těchto stavů je závislá na otáčkách motoru a tvoří ji dlouhá větev pro nízké otáčky a krátká větev pro vyšší. Rozdělení umožňuje přepínací klapka, která je pro nízké otáčky uzavřena a pro vyšší otevřena. Její ovládání je elektrické nebo elektropneumatické.

¹ Tato pulsace má samozřejmě také negativa, viz předchozí kapitola o vstřikování benzínu.

3.2. Systém přepínatelného rezonančního sacího potrubí

Tato varianta představuje vyšší stupeň rezonančního přeplňování pro více válců. Rezonanční komory nejsou oddělené, ale propojené pomocí přepínací klapky. Pomocí této klapky se mohou spojit obě komory do jednoho celku. Vznikne tak jeden sběrač vzduchu pro krátké větve k válcům s vysokou vlastní frekvencí. Tento způsob se používá při vyšších otáčkách. Uzavřením klapky vzniknou dvě oddělené komory a systém pracuje na principu rezonančního přeplňování pro více válců, který je optimální pro nižší otáčky.

b) Mechanické přeplňování

Tento způsob přeplňování je časově nejstarší a byl použit u prvních takto konstruovaných motorů. Většího plnění válců je dosahováno pomocí mechanického dmyhadla (kompresoru), pevně vzájemně svázaného s motorem. Konstrukce dmyhadla je velmi různorodá. V minulosti byla pro tento účel použita různá provedení dmyhadel, např. Rootsovo, lopátkové, šroubové a další. Pevná vazba mezi dmyhadlem a obvykle klikovou hřídelí motoru, která je realizována mechanickým převodem, má podstatný vliv na způsob přeplňování. Velmi důležitou výhodou mechanického dmyhadla je okamžité zrychlování při zvyšování otáček a s tím související nárůst tlaku. Proto nedochází k prodlevám a mechanické dmyhadlo vykazuje lepší odezvu v dynamickém provozu. Přesná velikost plnicího tlaku je řízena pomocí obtokové soustavy, kde potřebná část stlačeného vzduchu je vedena do válců a přebytek zpět k sací straně. Obtokový ventil řídí systém řízení motoru. Mechanická vazba a „odebírání výkonu“ od klikového hřídele motoru tvoří jak výhodu, tak i nevýhodu tohoto systému. Výkon potřebný k pohonu dmyhadla představuje ztrátový výkon, o který je snížen efektivní výkon motoru. Tento způsob přeplňování v současné době patří mezi nejméně používané¹.

c) Přeplňování s využitím energie výfukových plynů

Tento způsob využívá energii výfukových plynů motoru k pohonu lopatek turbíny, která je ve výfukovém systému motoru. Opačný konec hřídele turbíny tvoří dmyhadlo, umístěné v sacím potrubí motoru. Horké výfukové plyny proudí na lopatky turbíny radiálně s následným svedením do středu a axiálním výstupem. V dmyhadle jsou poměry proudění opačné. Tento způsob má ve srovnání s předchozím výhodu v tom, že využívá k pohonu turbíny ztrátovou energii, která by jinak bez užitku odešla výfukovou soustavou. V minulosti se turbodmyhadlo používalo zejména k zvýšení výkonu a točivého momentu motoru. V současné době je používáno také pro optimalizaci průběhu těchto veličin, zejména k výhodnějšímu průběhu točivého momentu. Z hlediska konstrukce se v praxi prosadily tři systémy turbodmyhadel:

1. Turbodmyhadlo s obtokovým ventilem (častěji Wastegate)

Toto dmyhadlo využívá obtokový ventil k regulaci tlaku plynů, zejména ve vysokých otáčkách motoru. Ventil je obvykle integrován ve formě klapky v tělese turbíny a ovládán pomocí ventilu regulace plnicího tlaku. Řídícím potrubím je spojen s taktovacím ventilem, který je řízen v závislosti na plnicím tlaku řídicí jednotkou. Při příliš nízkém tlaku je taktovací ventil aktivován tak, aby byl v řídicím vedení nízký tlak. Ventil regulace plnicího tlaku uzavře

¹ Důvody tohoto faktu jsou složitější lze je hledat v kombinaci výhod a nevýhod mechanického dmyhadla a turbodmyhadla, zejména v oblasti nákladů na drahá turbodmyhadla, složité systémy, ovšem využití ztrátové energie výfukových plynů apod. Velká většina výrobců preferuje turbodmyhadla.

obtokový ventil a výfukové plyny mají možnost průchodu pouze turbodmychadlem. Při příliš vysokém plnicím tlaku nastává opačný proces a při zjištění vyššího tlaku v řídicím potrubí ventil regulace otevírá obtokový ventil a podíl výfukových plynů protékajících turbodmychadlem se sníží o část, kterou přepouští obtokový ventil mimo těleso turbodmychadla.

2. Turbodmychadlo s variabilní geometrií turbíny

Systém využívá k snížení plnicího tlaku při vysokých otáčkách seřiditelné vodící lopatky, které změnou geometrie přizpůsobují průtočný průřez turbíny tak, aby bylo dosaženo požadovaného plnicího tlaku. Při nižších otáčkách dochází k nastavení vodících lopatek tak, aby měla turbína malý průtočný průřez. Tím dochází k zvýšení rychlosti proudu spalin i zvýšení otáček turbodmychadla. Při vysokých otáčkách nastavují vodící lopatky turbíny velký průtočný průřez a dochází k snížení otáček turbodmychadla. Nastavování průtočného průřezu se realizuje nastavováním úhlu lopatek turbíny. Nastavování lopatek se uskutečňuje pomocí nastavovacích pák nebo přestavovací vačky, ovládaných pneumaticky podtlakem nebo přetlakem. Ovládání přestavovacího mechanismu provádí řídicí jednotka motoru v závislosti na provozním režimu motoru.

3. Turbodmychadlo s regulačním šoupátkem

V tomto systému je pomocí regulačního šoupátka nastavována „velikost“ turbíny. Řídicí jednotka motoru pomocí pneumatického šoupátka nastavuje v závislosti na provozním stavu motoru optimální průtočný průřez přívodu výfukových plynů. Menší průtočný průřez vede k vysoké rychlosti výfukových plynů a tím i k vyšším otáčkám turbodmychadla. Po dosažení optimálního plnicího tlaku regulační šoupátko otevírá druhý průtokový kanál, který způsobuje snížení rychlosti proudu spalin. Systém je většinou doplněn i o obtokový kanál integrovaný v tělese turbodmychadla, který v případě potřeby odvádí část výfukových plynů kolem turbodmychadla. Regulační šoupátko je obvykle ovládáno pomocí pneumatického přestavovače.

Se systémy přeplňování pomocí výfukových spalin a částečně i mechanického přeplňování úzce souvisí i chlazení přeplňovaného vzduchu. Chladicí systém je v současné době běžným doplňkem přeplňovaných motorů. Jedná se o dodatečný chladicí systém motoru, jehož úkolem je snížit teplotu zahřátého stlačeného vzduchu. Plnicí stlačený vzduch vlivem zahřátí při stlačení snižuje svoji hustotu, což se negativně projevuje na velikosti plnění válců. Chladicí systém pomocí tepelného výměníku snižuje teplotu stlačeného vzduchu před jeho vstupem do sání motoru. Snížení má pozitivní vliv zejména na nižší teplotu náplně válce motoru a s tím související menší náchylnosti ke klepání, lepší účinnosti motoru, menšího tepelného zatížení pístů a nižších emisí NO_x .

5. Úprava výfukových plynů

Úprava výfukových plynů představuje další část vývoje spalovacích motorů, která měla vliv na jejich současný stav. Jejich technický vývoj byl nejintenzivnější od druhé poloviny 80. let. 20. století. Jeho větší část tedy zahrnuje námi sledované období. Postupný vývoj do současné doby byl silně ovlivněn nutností dodržet zákonem stanovených mezní hodnoty v současné době soustředěné v normách EURO. Splnění těchto podmínek vyžaduje použití dodatečného zařízení, které upravuje výfukové plyny – katalyzátoru. Ve sledovaném

období se vývoj katalyzátorů sjednotil na formě třícestného katalyzátoru, který je u nejnovejších motorů doplněn zásobníkovým katalyzátorem NO_x .

a) Třícestný katalyzátor

Tento typ je v současné době používán jak u motorů se vstřikováním do sacího potrubí, tak i u motorů s přímým vstřikem benzínu. Jeho úkolem je konvertovat tři hlavní složky látek obsažené ve výfukových plynech zážehového motoru. Jedná se o konverzi HC (nespálených uhlovodíků) na H_2O (vodní páru), CO (oxidu uhelnatého) na CO_2 (oxid uhličitý) a NO_x (oxidy dusíku) na N_2 (dusík). Z hlediska způsobu konvertování se v případě HC a CO jedná o dodatečnou oxidaci za využití kyslíku obsaženého ve výfukových plynech, v případě NO_x o redukci kyslíku. Pro správnou činnost katalyzátoru je klíčovým prvkem množství kyslíku obsaženého ve výfukových plynech před vstupem do katalyzátoru. Proto byl vyvinut systém regulace motoru v závislosti na součiniteli přebytku kyslíku ve výfukových plynech, běžně nazývaný λ regulace.

Regulační obvod λ regulace vychází z λ sondy, která je umístěna ve výfukovém potrubí před katalyzátorem a je vystavena proudu výfukových plynů. Prostřednictvím elektrického signálu hlásí řídicí jednotce informace o okamžitém složení výfukových plynů. Informace jsou založeny na vlastnosti λ sondy, u které dochází při přesně stechiometrickém složení směsi k výraznému napěťovému skoku. Signály poté umožňují udržovat řídicí jednotce nastavení složení spalované směsi přesně ve stechiometrickém poměru, což je nezbytné pro správnou činnost třícestného katalyzátoru. Podle způsobu činnosti se v současné době používají tři druhy λ regulace:

1. Dvoubodová regulace

Tento způsob regulace patří z hlediska vývoje ke staršímu typu. λ sonda na bohatou směs ($\lambda < 1$) reaguje vysokým výsledným napětím, na chudou směs nízkým. V oblasti $\lambda = 1$ dochází ke prudkému napěťovému skoku. Výsledné napětí sondy se v řídicí jednotce motoru převádí na dvouúrovňový signál. Signál poté slouží jako vstup pro softwarovou λ regulaci, která v systému vstřikování upravuje poměr vzduchu a paliva. Poměr se mění vždy v závislosti na výsledku měření v opačném směru, tedy při vysokém napětí dochází k úpravě vstřikované směsi „do chuda“, při nízkém napětí „do bohata“. Tak je možno udržet směs paliva blízkou stechiometrickému poměru ($\lambda = 1$).

2. Spojitá regulace

Využívá širokopásmové λ sondy, která dodává spojitý napěťový signál. Tento typ sondy umožňuje měřit nejen chudou nebo bohatou směs, ale také velikost odchylky od $\lambda = 1$. Tato skutečnost ovlivňuje nejen rychlejší dynamiku reakce řídicí jednotky na směs výfukových plynů, ale také snímání podstatně širší regulační oblasti λ . Šířka této oblasti následně umožňuje provoz motorů s velmi chudou nebo velmi bohatou směsí a jejich regulaci. Proto se spjitá regulace využívá u motorů s přímým vstřikováním benzínu.

3. Regulace se dvěma sondami

Byla vyvinuta jako zlepšená varianta dvoubodové regulace zejména k zvýšení přesnosti měření sondy. Obsahuje dvě λ sondy (před a za katalyzátorem) a dvě regulační smyčky. První je ze sondy před katalyzátorem a obvykle se nazývá jako rychlá. Jedná se o

regulaci ve své původní podobě. Druhá smyčka ze sondy za katalyzátorem, nazývaná jako pomalá, slouží pro korekci a zpřesnění rychlé smyčky.

Třícestné katalyzátory se v současné podobě vyskytují ve dvou typech a to podle konstrukce tělesa nosiče aktivní katalytické vrstvy:

a) Konstrukce založená na keramických monolitech

Tento katalyzátor je založen na nosiči z keramického monolitu, který obsahuje tisíce malých kanálek, kterými prochází spaliny. Keramický monolit je složen ze silikátu magnézia a alumina a je teplotně odolný a stálý. K upevnění monolitu do plechového pouzdra se používají minerální rohože, které svým roztáhnutím po zahřátí zajišťují také plynotěsnost. Tento typ konstrukce patří v současné době k nejrozšířenějším.

b) Konstrukce založená na kovových monolitech

Nosič v tomto typu je tvořen kovovou, jemně válcovanou fólií, spájenou ve vysokoteplotním procesu. Díky jejím tenkým stěnám je na stejné ploše možno umístit více kanálek, což má pozitivní vliv pro nižší odpor proti průchodu výfukových plynů. Tento typ se používá zejména u sportovních motorů, neboť je vhodnější z hlediska optimalizace výkonu motoru.

Jako aktivní vrstva se v obou typech používá oxid alumina, na kterém je nanášena katalyticky účinná vrstva z ušlechtilých kovů (platina, palladium a rhodium). Pro správnou činnost je mimo lambda regulaci důležité také správná teplota katalyzátoru. Pro nejlepší účinnost je optimální teplotní rozmezí 400° C až 800° C. Spodní mez účinnosti katalyzátoru je obvykle udávána na 300° C. Při teplotě nad 800° C dochází k spékání nosné vrstvy a ušlechtilých kovů a také výraznému stárnutí. Při teplotách nad 1400° C může dojít k zničení katalyzátoru z důvodu roztavení nosného materiálu.¹ Z hlediska optimální funkce je také důležité co možná nejrychlejší zahřátí katalyzátoru na spodní mez účinnosti. K urychlení zahřátí byly vyvinuty různé systémy, z nichž v praxi se osvědčily zejména tyto:

a) Představení předstihu směrem „na později“

Slouží k zvýšení teploty výfukových plynů, které následně způsobují zvýšení rychlosti zahřívání katalyzátoru.

b) Vhánění sekundárního vzduchu

Metoda je založena na vhánění dodatečného vzduchu do výfukového systému motoru. Dodatečný vzduch způsobuje redukci uhlovodíků v bohaté směsi, která je nutná pro chod studeného motoru a zároveň dodatečné spalování rychleji zahřívá katalyzátor.

¹ K tomuto jevu obvykle dochází při vynechávání zapalování a následném shoření nespálené směsi ve výfukovém potrubí. Z tohoto důvodu moderní systémy řízení motoru obsahují různé metody rozpoznávání výpadků zapalování a v jejich důsledku přerušují vstřikování do příslušného válce.

c) Dodatečné spalování

Využívá metody provozu motoru s přímým vstřikem v režimu s vrstveným plněním a zahříváním katalyzátoru. Popis této činnosti je uveden v kapitole o systémech přímém vstřiku benzínu.

Zásobníkový katalyzátor NO_x

Tento typ katalyzátoru byl vyvinut jako nezbytný doplněk třícestných katalyzátorů u motorů s přímým vstřikem benzínu. Konstrukce tohoto typu katalyzátoru je obdobná, jako u třícestného katalyzátoru s tím rozdílem, že vrstva vzácných kovů obsahuje další přísady, které mohou ukládat oxidy dusíku. Z hlediska činnosti pracuje tento typ katalyzátoru obdobně jako třícestný, ovšem umožňuje provést redukci NO_x i ve výfukových plynech s přebytkem kyslíku. Tato konverze není kontinuální, ale třístupňová. V prvním stupni dochází k absorpci, v druhém k uvolnění nahromaděného NO_x a ve třetím ke konverzi. Konverze probíhá přepnutím režimu motoru na krátkodobý provoz s bohatou směsí.

b) Vznětové motory

Tato část práce zahrnuje pouze nejdůležitější odchylky, které se vyskytují u vznětových motorů v jejich srovnání se zážehovými.

1. Plnění motoru, tvorba směsi

Vznětové motory v průběhu sledovaného období prodělaly v oblasti tvorby směsi intenzivní vývoj. Na počátku byla tvorba směsi ve válci výhradně otázkou nepřímého vstřikování nafty do komůrky a následného výšlehu do válce motoru. Přes intenzivní vývoj v oblasti přímého vstřiku nafty se tento způsob stále používá, proto mu bude věnována pozornost.¹

a) Nepřímé vstřikování do vírové komůrky

K vstřiku nafty nedochází do hlavního spalovacího prostoru, ale do jeho oddělené části, která se nazývá vírová komůrka. Její objem se pohybuje v rozmezí 25 % až 40 % objemu spalovacího prostoru a vstřikovací tryska, tzv. čepová, je umístěna v této komůrce. Její otevírací tlak se pohybuje obvykle v rozmezích 10 až 14 MPa. V komůrce válce vzniká při kompresním zdvihu intenzivní proudění vzduchu a s tím související vysoká teplota. Při následném vstřiku nafty dochází k jejímu vznícení a výšlehu tangenciálním spojovacím kanálem do hlavního spalovacího prostoru a dokončení spalování. Hlavní nevýhodou je krakování paliva v komůrce, které vzniká v důsledku nedostatečného množství vzduchu a vysoké teploty.

b) Přímé vstřikování nafty do spalovacího prostoru

Přímé vstřikování nafty je jedním z hlavních důvodů současné obliby vznětových motorů. Intenzivní vývoj hlavních světových výrobců spalovacích motorů byl ve sledovaném období do značné míry zaměřen právě tímto směrem. Proto bylo nashromážděno mnoho

¹ Viz obecnou analýzu.

teoretických i praktických poznatků o tomto způsobu tvoření směsi vznětových motorů. Tento fakt prakticky vylučuje možnost komplexního popisu přímého vstřikování, vzhledem k omezenému množství stran, které je možné mu v této práci věnovat. Svým rozsahem by zcela zaplnil a pravděpodobně i překročil celý kapacitní rozsah této práce. Byl tedy zvolen přístup obecného seznámení s přímým vstřikováním nafty.

U vznětových motorů s přímým vstřikováním nafty je spalovací prostor většinou vytvořen jako souvislé prohloubení v pístu válce. Vstřikovací tryska je v hlavě válce a k vstřiku naftu dochází do tohoto prohloubení. Otevírací tlak trysek se pohybuje v rozmezí 15 až 25 MPa, vstřikovací tlak čerpadla může dosáhnout až 100 MPa. Při tomto způsobu tvorby směsi je nezbytné vhodné tvarování proudu nasávaného vzduchu, které se provádí tvarovaným sacím potrubím, clonami na sacích ventilech, nebo přímo úpravami spalovacího prostoru. Množství nasávaného vzduchu není regulováno a otáčky motoru jsou upravovány pouze množstvím vstřikovaného paliva. V praxi se prosadily dvě hlavní soustavy přímého vstřikování nafty:

1. Soustavy se stálým maximálním tlakem vstřikovaného paliva¹

Hlavním rysem těchto soustav je nezávislost tlaku paliva na průběhu vstřikování. V palivovém okruhu je řazeno nejprve nízkotlaké čerpadlo, palivový filtr a následně vysokotlaké čerpadlo, na které navazuje ventil tohoto čerpadla. Po otevření ventilu dochází během sacího zdvihu přes přívodní ventily k plnění válce. Pokud tlak paliva ve válci čerpadla přesáhne velikost jeho tlaku v přívodu, dochází k otevření výtokového ventilu, uzavření přívodního ventilu a vytlačení paliva do zásobníku, tzv. railu. Zásobník paliva mimo tuto funkci slouží také jako rozdělovač paliva k tryskám a je tlumícím prvkem, zejména s ohledem na tlakové vlny vznikající během vstřikování. Tlak v zásobníku je ovládán elektronickým regulátorem na základě charakteristik uložených v řídicí jednotce. Tlak se v závislosti na parametrech motoru značně liší a pohybuje se ve velmi širokém rozsahu 15 až 135 MPa. Tyto výkyvy kladou značné požadavky na kvalitu zásobníku. V praxi se osvědčil tvar ve formě trubice, případně krátkého válce. Zásobník je společný pro všechny válce motoru. Trysky jsou otevírány elektronicky signálem z řídicí jednotky motoru. Dnes se používají dva druhy vstřikovacích trysek a to elektromagneticky a piezoelektricky ovládané trysky. Počet vstřiků paliva může být rozdělen až do 7 dávek s kombinací předvstřiků, hlavních vstřiků a dodatečných vstřiků.

2. Vstřikování paliva s otáčkově závislým průběhem tlaku²

Tyto systémy představují druhou variantu přímého vstřikování. K vytvoření tlaku je využíváno vaček uložených na hřídeli poháněném od vačkového hřídele motoru. Amplituda tlaku paliva i rychlosti vstřiku se mění s otáčkami motoru, což způsobuje horší rozprašování v nízkých otáčkách. Průběh vstřiku paliva je dán tvarem vačky a jeho počátek i konec je řízen elektromagnetickým ventilem. K tvorbě tohoto procesu je v systému umístěna sdružená vstřikovací jednotka nazývaná čerpadlo-tryska, která představuje jeden konstrukční celek a je umístěna v hlavě u každého z válců motoru. Z důvodu absence vstřikovacího potrubí je možno dosáhnout vyšších vstřikovacích tlaků.

¹ Mnohem častěji označované jako systémy Common rail.

² Častěji nazývané jako systémy čerpadlo-tryska.

2. Úprava výfukových plynů vznětových motorů

U naftového motoru je užitečný výkon řízen kvalitativně, tedy pomocí obsahu paliva ve směsi. Stechiometrický poměr je 14,5 kg vzduchu na 1 kg paliva ($\lambda=1$). Mez kouření vznětových motorů je však přibližně na hodnotě $\lambda=1,4$. Důvody této meze jsou dány spalováním nehomogenní směsi ve válci. Moderní vznětové motory pracují v rozsahu $\lambda=3,4$ (velmi chudá směs při chodu naprázdno) až k mezi kouřivosti $\lambda=1,4$ (plně zatížení). Pro kvalitu emisí vznětových motorů je klíčovým prvkem okamžik začátku vstřikování paliva. Nejvyšší teploty směsi je dosaženo v okamžiku, když je píst přesně v horní úvratí. V případě vznícení směsi daleko před horní úvratí, narůstá prudce spalovací tlak, který působí jako brzdící síla proti pohybu pístu a má rovněž velký vliv na hluk vznětového motoru. Dalším nedostatkem je vysoká teplota ve spalovacím prostoru a s tím související vysoké emise NO_x a sazí. Opožděný vstřík má za následek neúplné spalování a vyšší tvorbu nespálených uhlovodíků.

Pro dosažení nízkých emisí je u vznětového motoru důležité, aby proběhlo co možná nejúplnější spalování s přesným sladěním směsi, jejím rozvířením a optimálním počátkem vstříku. Složky výfukových plynů vznětových motorů tvoří zejména nespálené uhlovodíky (HC), oxid uhelnatý (CO), oxidy dusíky (NO_x), oxid siřičitý (SO_2), kyselina sírová (H_2SO_4) a částice. Vznětové motory používají dvoucestné katalyzátory, které dokáží téměř zcela přeměnit HC a CO na H_2O a CO_2 . Oxidy dusíku je také možno výrazně redukovat např. použitím speciálních katalyzátorů. Obsah SO_2 a H_2SO_4 lze snížit pouze snížením jejich koncentrací v palivu. Problémem vznětových motorů zůstávají hlavně částice. Ty jsou tvořeny z částecek uhlovodíků (saze), sloučenin uhlovodíků a zbytků paliva, mazacího oleje a sulfátů. Emise těchto částic lze redukovat zejména velikostí vstřikovacích tlaků, optimálním tvarem spalovacího prostoru a v poslední době značně rozšířeným použitím filtrů částic.

3. Vybrané studie realizací u vybraných výrobců motorů

K bližšímu posouzení realizací jednotlivých inovací spalovacích motorů byly z palety světově významných výrobců motorů vybrány příklady konstrukce. Vzhledem k velkému množství variant byl zvolen způsob, kdy jednotlivý příklad koresponduje s výše uvedeným rozdělením a týká se konkrétní inovace a její realizace daným výrobcem.

a) Vývoj karburátor-jednobodové vstřikování-vícebodové vstřikování na příkladu motoru 1,3 l firmy Škoda

Jako první studie byl zvolen motor firmy Škoda, který je v České republice všeobecně známý. Byly sledovány jeho inovace od konce 80. let. 20. století po jeho vrcholnou verzi, za kterou lze označit variantu 1,3 MPI ve vozidle Škoda Felicia. V tabulce jsou shrnuty základní údaje motoru (tabulka č. 3.1.).

Tabulka č. 3.1. – zážehový motor Škoda 1,3 l OHV [1]

| Zážehový motor Škoda 1,3 l OHV | |
|--------------------------------|--------------------------|
| Zdvihový objem válců | 1289 cm |
| Uspořádání válců | 4 v řadě |
| Vrtání, zdvih | 75,5x72 mm |
| Stupeň komprese | 9,7 |
| Výkon | 43,0 kW při 5000 ot./min |
| Točivý moment | 97,0 Nm při 2850 ot./min |

Původní varianta motoru Škoda byla na konci 80 let instalována do vozidel Škoda 130 a následně Škoda Favorit. Z hlediska konstrukce se jedná o čtyřdobý, benzínový, karburátorový motor s ventilovým rozvodem OHV, chlazený kapalinou s bateriovým zapalováním. Karburátor zn. Jikov 32 SEDR byl spádový, dvojitý, dvoustupňový. Palivové čerpadlo bylo zn. Jikov MF 3407. Blok motoru byl tenkostěnný odlitek z hliníkové slitiny, hlava válců ze šedé litiny, společná pro všechny válce. Jeden sací a jeden výfukový ventil byl uzavíraný dvěma šroubovitými pružinami. Válce byly vloženy, samostatné z šedé litiny. Vačkový hřídel ocelový, kovaný, uložený v bloku na pravé straně a poháněn od klikového hřídele.

Při konstrukci motoru nedošlo v průběhu jeho dalšího vývoje k podstatným změnám. Výrobce zaměřil další vývoj zejména do oblasti přípravy směsi. Nejprve došlo v průběhu roku 1989 u automobilů Škoda Favorit k náhradě karburátoru typem Pierburg 2E-3 a souběžně vyráběným typem Jikov 28-30 LEKR. V roce 1991 došlo k zavedení neřízeného katalyzátoru a od počátku roku 1992 měl motor upravený výkon na 42 kW a točivý moment 94 Nm. V této době vznikla také varianta motoru s elektronicky řízeným karburátorem 2EE Ecotronic a třicestným katalyzátorem. V roce 1993 byl motor vybaven jednobodovým systémem vstřikování Bosch Mono Motronic s λ regulací. Společně s instalací tohoto systému byl zvýšen kompresní poměr na 9,7:1, výkon na 50 kW při 5000 otáčkách a točivý moment na 100 Nm při 3750 otáčkách. Předepsán byl bezolovnatý benzin N 91. V roce 1997 byl zaveden vícebodový systém vstřikování zn. Siemens Simos 2P, který lze označit za poslední variantu tohoto motoru.

Z výše uvedeného popisu je zřejmé, že mimo dílčích drobných změn v oblasti konstrukce motoru, byl veškerý vývoj zaměřen na oblast plnění motoru.

Zvolený jednobodový systém vstřikování do sacího potrubí je variantou systému vstřikování Mono-Motronic firmy Bosch s třicestným katalyzátorem a začal se dodávat od října 1993. Systém firmy Bosch obsahuje centrální vstřikovací jednotku namontovanou na sacím potrubí. V horní části této jednotky je umístěn vstřikovací ventil se snímačem teploty nasávaného vzduchu a přepouštěcí ventil k udržení konstantního tlaku paliva. Ve spodní části jednotky je nastavovač škrťací klapky pro volnoběžné otáčky a snímač úhlu nastavení škrťací klapky. Úhel vstřiku je namířen mezi škrťací klapku a stěnu sacího potrubí. Tlak ve vstřikovací jednotce je řízen membránovým redukčním ventilem, který zajišťuje také trvalý oběh paliva.

Řídící jednotka motoru zabezpečuje řízení vstřikování, zapalování, λ regulaci a vlastní diagnostiku. Systém Mono-Motronic je uveden na obrázku č. 2.2. v příloze č. 1 této práce.

Systém vstřikování a řídicí jednotka motoru umožňuje následující funkce:

- a) stabilizace volnoběhu
- b) obohacení směsi při plném výkonu
- c) omezení maximálních otáček (zamezení přívodu paliva)
- d) odstavení přívodu paliva při brždění motorem
- e) nastavení úhlu zážehu
- f) λ regulace
- g) řízení bohatosti směsi
- h) odvětrávání nádrže
- ch) diagnostika

Zapalovací soustava tohoto systému je elektronická, integrovaná. Nastavení úhlu zážehu je řízeno řídicí jednotkou podle datových polí. Při výpočtu jsou snímány otáčky, úhel nastavení škrtkovací klapky, teplota chladicí kapaliny a koncové snímače řízení volnoběžných otáček.

Pro další zlepšení svého motoru zvolil výrobce přechod z jednobodového systému vstřikování na vícebodový systém zn. Simons 2P. Z hlediska konstrukce se jedná o systém integrující vstřikovací i zapalovací soustavu. Řídicí jednotka vyhodnocuje signály z těchto akčních členů:

Tabulka č. 3.2. – seznam akčních členů systému Simons 2P [1]

| Simons 2P – akční členy | |
|--------------------------|---|
| Relé palivového čerpadla | Snímač teploty chladicí kapaliny |
| Snímač klepání | Snímač teploty a tlaku vzduchu v sacím traktu |
| Snímač otáček motoru | Snímač polohy škrtkovací klapky |
| λ sonda | Regulátor tlaku paliva |

Pro výpočet optimálního nastavení předstihu řídicí jednotka vyhodnocuje otáčky klikového hřídele, teplotu chladicí kapaliny, teplotu nasávaného vzduchu, polohu škrtkovací klapky, signály lambda sondy a čidla klepání. Vstřikovače, které jsou umístěny u jednotlivých sacích ventilů, pracují v duálním režimu. Integrovaná zapalovací soustava je plně elektronická s dvojicí cívek.

b) Vývoj vícebodové vstřikování-přímé vstřikování na příkladu motoru 2,0 l koncernu VW

Motor koncernu VW představuje pohonnou jednotku, kterou používá od roku 1994. Cílem tohoto příkladu je demonstrovat způsob inovace vícebodového systému vstřikování na přímé vstřikování. Základní údaje obou variant motorů jsou v tabulce č. 3.3 (vícebodové vstřikování) a tabulce č. 3.4. (přímé vstřikování). Motory nejsou z konstrukčního hlediska zcela totožné, nejpodstatnější rozdíl je odlišný ventilový rozvod. Předmětem tohoto příkladu je ovšem zejména způsob přípravy směsi, proto lze tento rozdíl připustit.

Tabulka č. 3.3. – zážehový motor VW 2,0 l OHC [6]

| Zážehový motor VW 2,0 l OHC | |
|-----------------------------|---------------------------|
| Zdvihový objem válců | 1984 cm |
| Uspořádání válců | 4 v řadě |
| Vrtání, zdvih | 82,5x92,8 mm |
| Stupeň komprese | 10,5 |
| Výkon | 85,0 kW při 5200 ot./min |
| Točivý moment | 170,0 Nm při 2400 ot./min |

Tabulka č. 3.4. – zážehový motor VW 2,0 l DOHC FSI [7]

| Zážehový motor VW 2,0 l DOHC FSI | |
|----------------------------------|---------------------------|
| Zdvihový objem válců | 1984 cm |
| Uspořádání válců | 4 v řadě |
| Vrtání, zdvih | 82,5x92,8 mm |
| Stupeň komprese | 11,5 |
| Výkon | 110,0 kW při 6000 ot./min |
| Točivý moment | 200,0 Nm při 3500 ot./min |

- Motor 2,0 I OHC

Tento motor je vybaven integrovaným systémem řízení motoru a zapalování Motronic 5.9.2. firmy Bosch. Systém obsahuje elektronicky řízené sekvenční vícebodové vstřikování a datovým polem řízené zapalování se selektivní regulací klepání. Použité akční členy jsou uvedeny v tabulce č. 3.5. – seznam akčních členů systému Motronic 5.9.2.

Tabulka č. 3.5. – seznam akčních členů systému Motronic 5.9.2. [6]

| Motronic 5.9.2. - akční členy | |
|--|---|
| Snímač otáček motoru | Vstřikovací ventily |
| Snímač polohy vačkového hřídele | Zapalování s koncovým výk. stupněm |
| Snímač teploty a množství nas. vzduchu | Elektromag. ventil nádobky s akt. uhlím |
| Jednotka ovládní škrtící klapky | Vpouštěcí ventil sekundárního vzduchu |
| λ sonda | Čerpadlo sekundárního vzduchu |
| λ sonda za katalyzátorem | Jednotka palivového čerpadla |
| Čidlo teploty chladící kapaliny | Snímač klepání |

Řídící jednotka umožňuje následující funkce:

- a) sekvenční vstřikování
- b) regulace volnoběhu
- c) λ regulaci
- d) odvětrávání palivové nádrže
- e) zpětné vedení výfukových plynů
- f) regulace klepání
- g) vlastní diagnostika

Systém rozpoznávání otáček klikového a vačkového hřídele je tvořen Halloovým snímačem. Vstřikovací trysky jsou vybaveny přísávaním vzduchu, který je odebírán ze sacího potrubí. Soustava sekundárního vzduchu je tvořena přívodem za výfukové ventily. Jeho použití stanovuje řídící jednotka na základě výpočtu, jehož vstupními veličinami je teplota motoru a λ regulace. Systém je uváděn v činnost pouze na časově omezenou dobu, v provozním režimu studeného startu a volnoběhu po teplém startu. Lambda regulace má dvě sondy, hlavní před katalyzátorem a korekční za katalyzátorem. Ze signálů λ sond vypočítává řídící jednotka motoru případný korekční činitel k času vstřikování. Regulace je provedena pomocí korekčního činitele a datových polí jednotlivých provozních stavů motoru, které jsou uloženy v řídící jednotce. Regulace z λ sondy za katalyzátorem je nadřazená regulaci ze sondy před katalyzátorem. Srovnání těchto regulací je provedeno porovnáváním napětí z obou sond.

- Motor 2,0 I DOHC FSI

V roce 2002 došlo k dalšímu inovačnímu kroku, při kterém výrobce zavedl u tohoto motoru systém přímého vstřikování benzínu. Jako vstřikování systém byl použit systém Motronic Med 9.5.10. firmy Bosch. V něm řídící jednotka motoru vyhodnocuje údaje z členů uvedených v tabulce č. 3.6.

Tabulka č. 3.6. – seznam akčních členů systému Motronic Med 9.5.10. [7]

| Motronic Med 9.5.10. - akční členy | |
|--|---|
| Snímač tlaku a teploty v sacím potrubí | Snímač teploty chladící kapaliny |
| Snímač otáček motoru | Potenciometr zpětného vedení výfukových plynů |
| Snímač polohy vačkového hřídele | λ sonda |
| Jednotka ovládání škrtící klapky | λ sonda za katalyzátorem |
| Snímač polohy pedálu akcelerace | Snímač teploty výfukových plynů |
| Snímač brzdového pedálu | Snímač NOx |
| Dvojice snímačů tlaku paliva (vysoký a nízký tlak) | Snímač tlaku posilovače brzd |
| Snímač klepání | Snímač polohy spojkového pedálu |
| Jednotka palivového čerpadla | Jednotka ventilátoru dochlazování |
| Zapalovací cívka s výkonovým koncovým stupněm | Vstřikovací ventily |
| Elektromag. ventil nádoby s akt. uhlím | Regulační ventil tlaku paliva |
| Elektromag. ventil přestavování vačkového hřídele | Ventil pro zpětné vedení výf. plynů |
| Motor škrtících klapek sacího potrubí | |

Změny se dotkly také oblasti úpravy výfukových plynů. Motor disponuje dvojicí třícetných katalyzátorů a zásobníkovým katalyzátorem NO_x . V oblasti sání došlo k úpravám sacího potrubí. V jejich důsledku motor může při částečných zatíženích spalovat chudou směs. Princip tvorby směsi v homogenním a vrstveném režimu je na obrázcích č. 3.1. a 3.2., které jsou v příloze č. 1 této práce. Oba znázorňují princip tvorby směsi v průběhu sacího zdvihu. Přechod do vrstveného režimu umožní řídicí jednotka pouze při splnění těchto podmínek:

- a) motor pracuje v odpovídajícím rozsahu zátěže a momentu
- b) žádný z dílů, který má vliv na kvalitu výfukových plynů nesignalizuje závadu
- c) teplota chladící kapaliny je vyšší než $50^\circ C$
- d) teplota zásobníkového katalyzátoru je mezi 250 až $500^\circ C$
- e) škrtící klapka sacího potrubí je uzavřena

Z hlediska počtu vstřikování umožňuje řídicí jednotka dvojí vstřikování v režimu zahřívání katalyzátoru a požadavku plného výkonu. Režim zahřívání katalyzátoru odpovídá obecnému popisu uvedenému v předchozí kapitole práce. Dvojí vstřikování při požadavku plného výkonu se realizuje při plné zátěži a otáčkách nižších než 3000 ot./min. První vstřik proběhne během sání asi 300° před horní úvratí. Obsahuje asi $2/3$ potřebného množství paliva. Druhý vstřik proběhne na počátku kompresního zdvihu a obsahuje zbylou $1/3$ množství paliva.

c) Vývoj systému VTEC firmy Honda

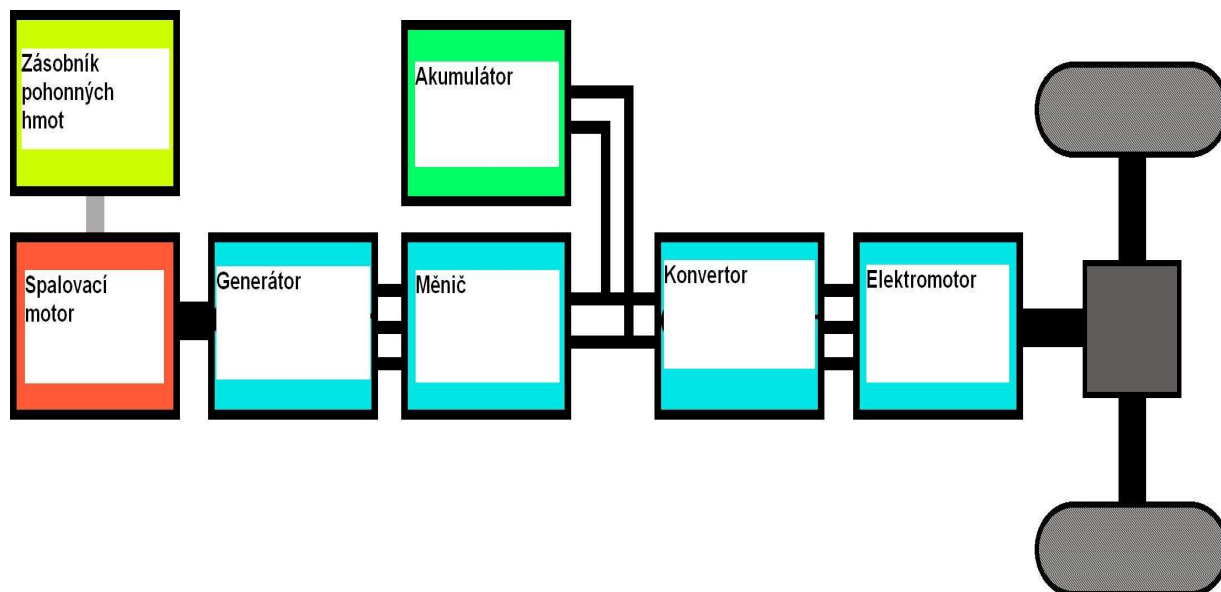
Na tomto příkladu je možno demonstrovat vývoj systému variabilního časování ventilu. Na rozdíl od předchozích příkladů vývoj tohoto systému nezahrnuje pouze jeden motor, ale paletu motorů různých zdvihových objemů japonského výrobce. Proto bude pozornost soustředěna na systém jako celek. Vývoj tohoto systému časově zcela zapadá do námi stanoveného rámce, neboť první model označený jako DOHC VTEC začala firma Honda nabízet ve svém automobilu Honda CRX v roce 1989. Z technického hlediska se jedná o čtyřventilový motor systému DOHC, u něhož je mezi oběma vačkovými hřídelemi vložena třetí vačka s vlastním vahadlem. Při nižších a středních otáčkách jsou sací i oba výfukové ventily ovládány pouze svými příslušnými vačkovými hřídelemi. Při přechodu do vysokých otáček dochází vlivem posuvu čepu k mechanickému propojení krajních vahadel

s prostředním. Prostřední vačka následně ovládá jak výfukové, tak i sací ventily a vzhledem k svému odlišnému profilu umožňuje motoru dosahovat příznivějšího průběhu výkonu a točivého momentu ve vysokých otáčkách. Jako další variantu vyvinula firma Honda SOHC VTEC. V tomto systému se jedná o čtyřventilový rozvod v jedním vačkovým hřídelem, na kterém jsou vždy tři vačky pro jeden válec. Krajiní vačky mají nízký profil a jsou určeny pro nízké a střední otáčky. Prostřední vačka o vyšším profilu určuje výkon o motoru při požadavku maximálního výkonu a ve vysokých otáčkách. Princip přepojování vaček je shodný jako u DOHC VTEC. Nevýhodou systému SOHC VTEC je jeho omezení pouze na sací ventily. Další vyvinutou variantou je SOHC VTEC-E. Ta byla vyvinuta ze systému SOHC VTEC. Zde slouží k ovládání ventilů pouze dvojice vaček. Jeden ventil z každého páru sacích ventilů dosahuje z důvodu tvaru vačky pouze minimálního zdvihu kolem 0,65 mm. Druhý ventil naopak plného zdvihu. Tento způsob ovládání způsobuje zvláštní plnění motoru, kdy nedostatečně otevřený ventil vytváří ve spalovacím prostoru intenzivní víření, které dovoluje spalovat i s velmi chudou směsí. Systém SOHC VTEC-E umožňuje přechod do běžného režimu systému SOHC VTEC a to propojením vahadel, které způsobí standardní zdvih druhého ventilu. Dalším vývojovým stupněm je třífázový systém VTEC, který je kombinací předchozích a disponuje třemi různými stupni nastavení ventilů. Motor má čtyři ventily, tři vačky různého profilu a vahadla. Je konstruován tak, aby do otáček 2500 ot./min pracoval s 12 ventily, kdy zbývající jsou vyřazeny nulovým zdvihem. Tento režim se nazývá první fáze. V rozmezí 2500 až 6000 ot./min vstupuje motor do druhé fáze, kdy jsou v činnosti všechny čtyři ventily, podle obou krajních vaček. Při 6000 ot./min vstupuje motor do třetí fáze, kdy ovládání ventilů určuje prostřední tzv. „ostrá“ vačka. Výfukové ventily mají pevný rozvod. Zatím poslední inovací systému je i-VTEC. Od předchozích variant se odlišuje zejména v tom, že cílem konstruktérů není dosažení maximálního výkonu, ale ideálního průběhu točivého momentu a nízké spotřeby. Systém i-VTEC je kombinace předchozího systému DOHC-VTEC a systému plynulé změny časování sacích ventilů. Časování ventilů umožňuje plynulou změnu jejich nastavení a systém DOHC VTEC změnu zdvihu ventilů. Činnost je rozdělena do čtyř fází. První otáčková fáze je obdobou varianty VTEC-E. Při částečném vyřazení jednoho ventilu velmi nízkým zdvihem dochází k intenzivnímu víření ve válci, které umožňuje spalovat chudou směs. Při této fázi systém časování ventilů nastavuje minimální překrytí. Režim umožňuje velmi úsporný provoz. V druhé otáčkové fázi je překrytí nastavováno na vysokou hodnotu a je maximalizována recirkulace výfukových plynů. Ve třetí otáčkové fázi dochází k modifikaci překrytí ventilů a úpravě jejich zdvihu v závislosti na zatížení motoru. Ve čtvrté otáčkové fázi využívá systém všech ventilů a prostřední vačky se sportovním (ostrým) charakterem. Míra překrytí je dána požadavkem maximálního výkonu. Obrázek systému VTEC je na obrázku č. 3.3. v příloze č. 1.

4. Ideový návrh spalovacího motoru

Sériový hybridní koncept

Na tomto návrhu bude demonstrován příklad návrhu na optimální spalovací motor v kombinaci se sériově řazeným elektromotorem. V této části již není možno tuto práci omezit pouze na spalovací motor, je nutno uvažovat z pohledu celé koncepce. Blokové schéma konceptu je uvedeno na obrázku č. 4.1.



Obrázek č. 4.1. Blokové schéma sériového hybridního konceptu [10]

Takto použitý spalovací motor je možno optimalizovat pouze s ohledem na požadavek generátoru. Z obecného hlediska je nutno mít na zřeteli tyto aspekty:

- Spalovací motor je provozován pouze v úzkém rozsahu otáček, případně pouze při konstantních otáčkách. Při tomto způsobu provozu odpadají nevhodné body výkonové charakteristiky, zejména volnoběh a spodní rozsah částečných zatížení motoru. Spalovací motor může být provozován pouze v optimu své výkonové a momentové charakteristiky a tedy s nejvyšší účinností.

- V sériovém hybridu je možnost tzv. modulové zástavby. V koncepci sériového hybridu neexistuje žádné mechanické spojení mezi spalovacím motorem a koly vozidla. Z tohoto důvodu odpadají veškeré komponenty k silovému a momentovému přenosu výkonu z klikové hřídele motoru ke kolům. Tento fakt má velký vliv jak na celkovou hmotnost vozidla, tak zejména na prostorovou skladbu. Z důvodu odpadnutí problému s mechanickým přenosem na kola se nabízí možnost modulové koncepce s teoreticky libovolným umístěním jednotlivých komponent.

- Hybridní sériový pohon využívá vícenásobné přeměny energie. Tento fakt má velký vliv na celkovou účinnost vozidla, která je značně nižší ve srovnání s klasickou koncepcí pohonu spalovacím motorem. Mechanická účinnost mezi spalovacím motorem a koly vozidla nepřesahuje 55 %.

- Z koncepce sériového hybridu, ve srovnání s paralelním, jednoznačně vyplývá velká nevýhoda spočívající v tom, že nelze omezit stálou dvojitou přeměnu elektrické energie na úseku generátor – baterie a následně baterie – elektromotor. Tento proces způsobuje ztráty představující zvýšení energetické spotřeby asi o 25 % (ve srovnání s konvenčním pohonem).

- Celková technická složitost soustavy. Relativní složitost, tvořená zejména nutností použití nejméně dvou rozličných měničů energie, klade vysoké požadavky na pečlivost sladění jednotlivých komponentů. Zde je nutno také uvést, že z hlediska výkonových a dynamických vlastností vozidla je z ekonomických i bezpečnostních důvodů nutno zajistit, aby hybridní pohon v těchto vlastnostech nezaostával za klasickými vozidly. Při tom je nutné, aby byly v co možná největší míře zachovány všechny výhody hybridní koncepce, neboť v opačném případě ztrácí vývoj hybridních pohonů své opodstatnění.

Při respektování těchto faktů je možno začít uvažovat o spalovacím motoru tohoto konceptu v těchto intencích:

a) Spalovací motor nebude použit k přímému pohonu vozidla. Z tohoto důvodu je možno použít malý spalovací motor. Jako optimální se s ohledem na zachování výhody prostorové zástavby sériového hybridu jeví např. použití dvouválcového motoru typu boxer. Tento motor je prostorově velice nenáročný a je možno ho umístit prakticky libovolně.

b) Velice důležitou výhodou tohoto konceptu je možnost návrhu motoru pouze s ohledem na jeho celkové emise. Při použití spalovacího motoru ve formě motor/generátoru může tento celek pracovat v ustálených otáčkách bez nutnosti tyto otáčky měnit. Proto odpadá většina přechodových stavů a je nutno brát mnohem menší ohledy na měnící se požadavky na složení směsi.¹

c) Samostatně by bylo nutno řešit problematiku intervalů aktivace spalovacího motoru s přihlédnutím k emisní oblasti jeho chodu „za studena“. Z teorie vyplývá, že studené motory potřebují pro rovnoměrný běh bohatší směs, katalyzátor určitou teplotu. V této oblasti by tedy bylo nutno hledat ideální kompromis.

Výše uvedený ideový návrh sériového hybridního konceptu představuje autorův názor na jednu z možných alternativ dalšího vývoje spalovacích motorů, která je velmi perspektivní.

5. Závěr

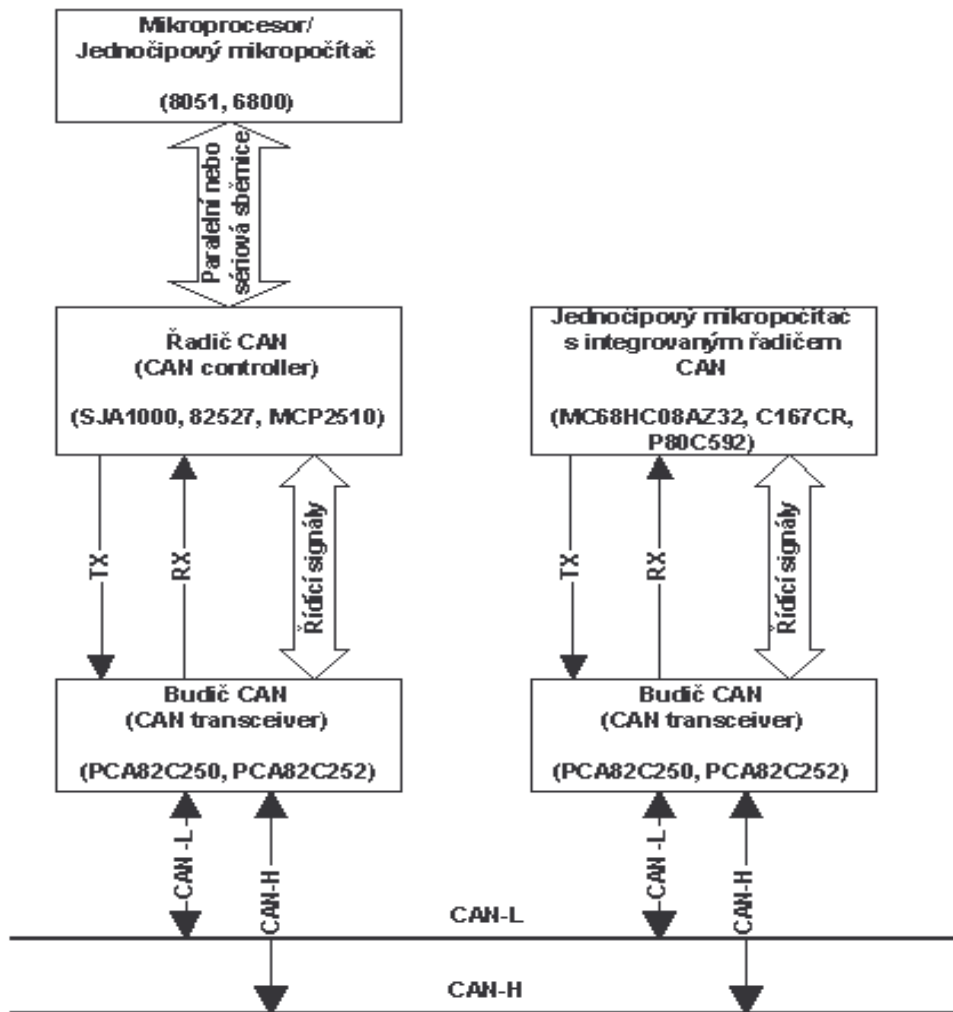
Úkolem této práce bylo provést analýzu vývoje spalovacích motorů v období od konce 80. let 20. století do dnešních dnů. Byly zvoleny dva přístupy. První analýza za pomoci matematické statistiky i druhá, vytvořená studií inovačních trendů z technického hlediska, vedou k přibližně shodným závěrům. Je nutno uvést, že potenciál této práce se nepodařilo zcela vyčerpat a to zejména v první části, kde by rozbořením trendů bylo možno vyslovit ještě řadu dalších závěrů. Zde byl autor práce limitován zejména dosažitelností potřebných údajů, např. korektní údaje o spotřebě, emisních hodnotách a některé další se i přes veškerou snahu nepodařilo získat. Dalším limitujícím faktorem byla extrémní časová náročnost ruční přípravy základního vzorku, která si vyžádala 3 měsíce každodenní práce. Rozšíření statistického souboru na kompletní světovou produkci ve sledovaném období, případně i na širší časový úsek, je možné. V tomto případě ovšem není možno data zpracovávat tímto způsobem. Získaná data, text této práce a její prezentace budou přiloženy k finálním výtiskům práce na elektronickém nosiči. Technické rozborů a řešené analýzy příkladů je možno získat i z běžně dostupných kvalitních knih nebo skript. Obecná analýza je dílem autora této práce. Jejímu případnému dalšímu korektnímu využití se autor nebrání, z tohoto důvodu byla data také uveřejněna. Z tohoto ohledu je tuto část práce možno brát jako jistou formu osobního „příspěvku“ autora k složitému vývoji automobilového spalovacího motoru, kterému by se chtěl i v budoucnu věnovat.

¹ Ve své podstatě je veškerý vývoj v oblasti vstříkovacích systémů a zapalování řešením problému nestacionárního provozu spalovacího motoru. Je nutno uvést, že ve sledovaném období došlo v tomto ohledu k velkému pokroku.

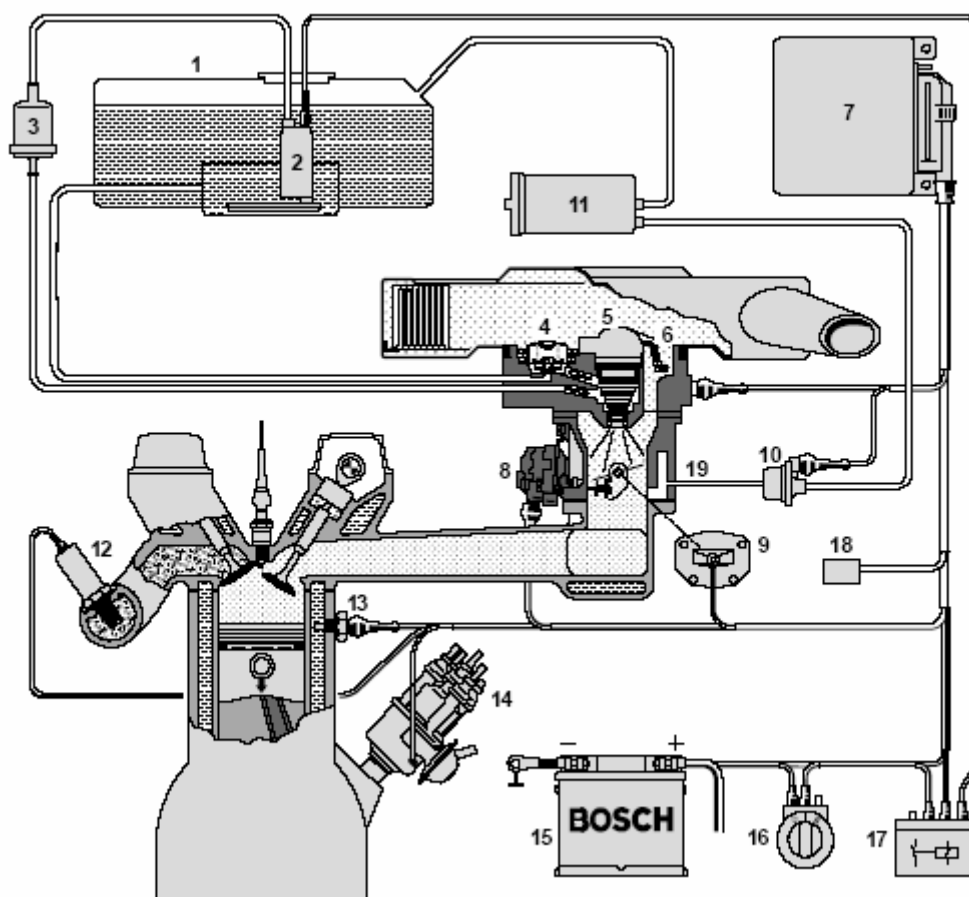
Přílohy

- 1) Příloha č. 1 – Obrazové přílohy**
- 2) Příloha č. 2 – Popis statistických metod**
- 3) Příloha č. 3 – Tabulky a grafy**

Příloha č. 1



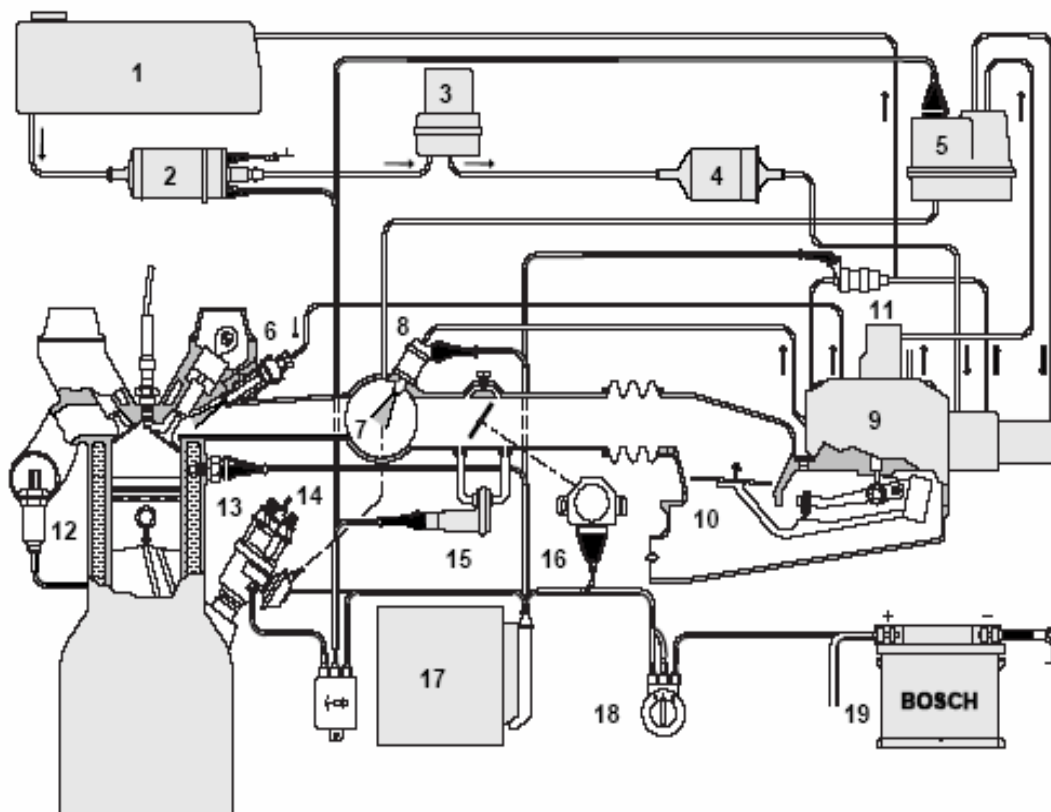
Obrázek č. 2.1. – sběrnice CAN [5]



Obrázek č. 2.2. – soustava Mono-Jetronic [6]

Tabulka č. 2.33. – soustava Mono-Jetronic [6]

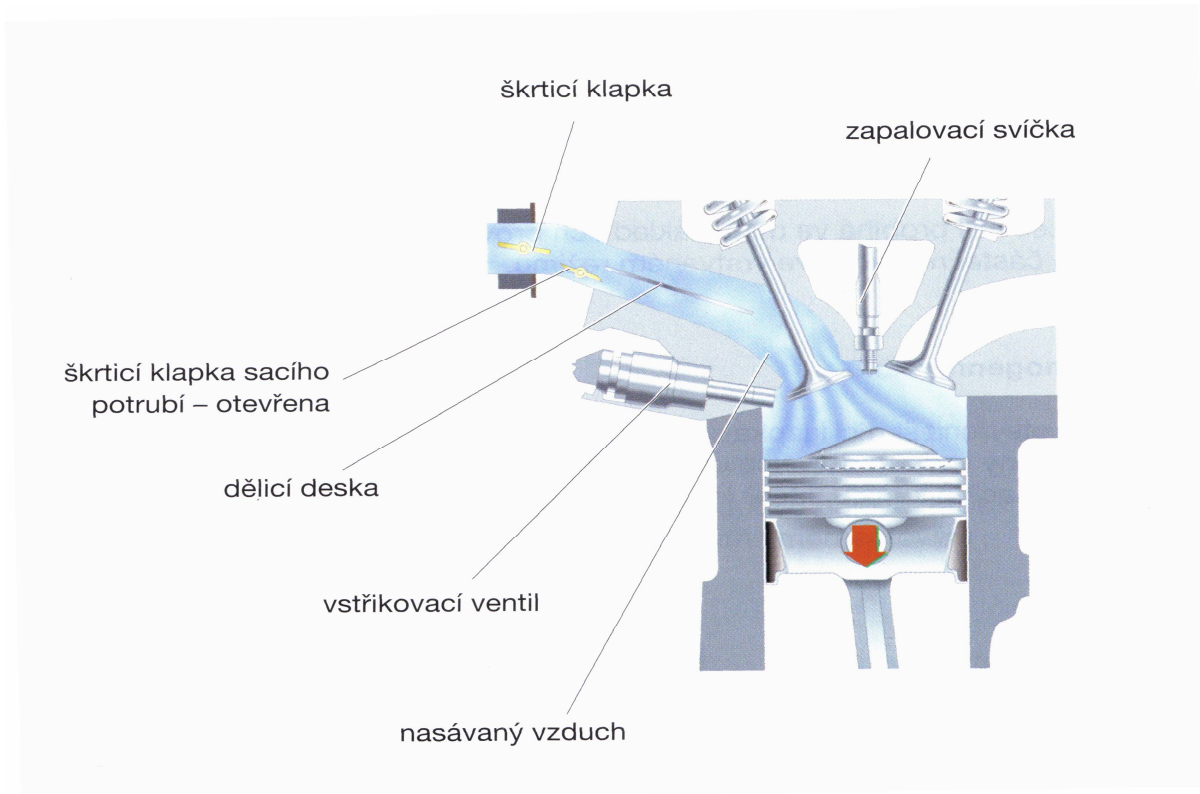
| Označení | Popis |
|----------|----------------------------------|
| 1 | nádrž |
| 2 | elektrické čerpadlo |
| 3 | palivový filtr |
| 4 | palivový tlakový regulátor |
| 5 | vstřikovač |
| 6 | čidlo teploty vzduchu |
| 7 | řídící jednotka |
| 8 | ovladač škrťící klapky |
| 9 | potenciometr škrťící klapky |
| 10 | ventil filtru |
| 11 | filtr s aktivním uhlím |
| 12 | lambda sonda |
| 13 | senzor teploty chladící kapaliny |
| 14 | rozdělovač |
| 15 | akumulátor |
| 16 | spínací skříňka |
| 17 | relé |
| 18 | diagnostická zásuvka |
| 19 | centrální vstřikovací jednotka |



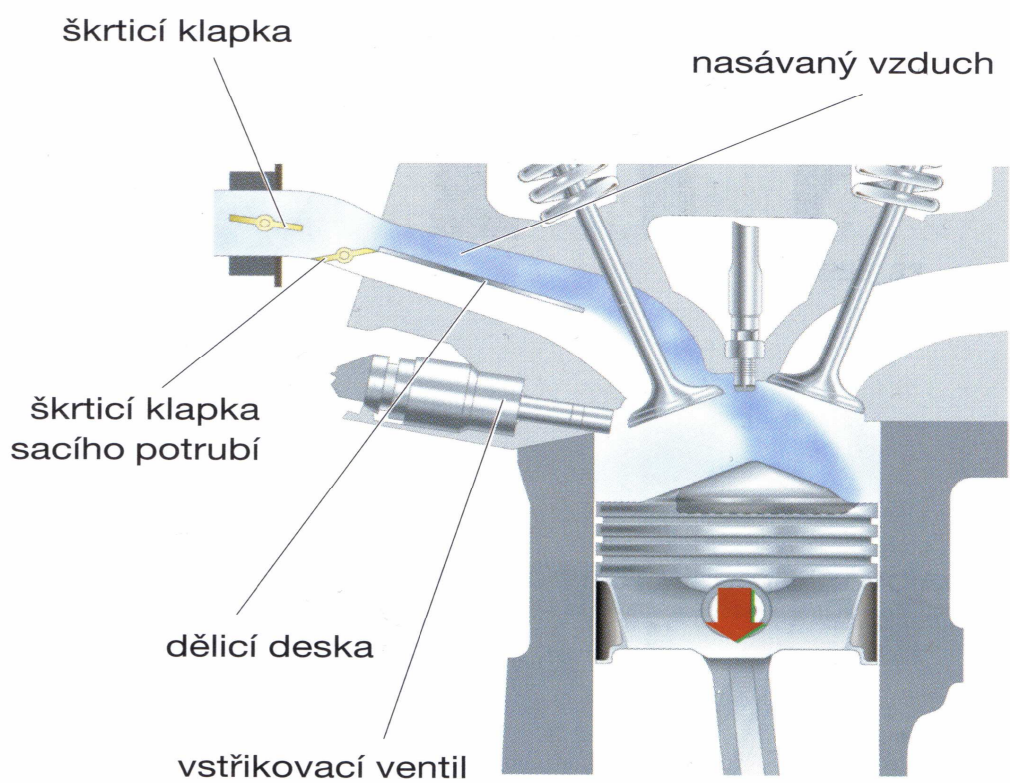
Obrázek č. 2.3. – soustava K-Jetronic [6]

Tabulka č. 2.34. – soustava K-Jetronic [6]

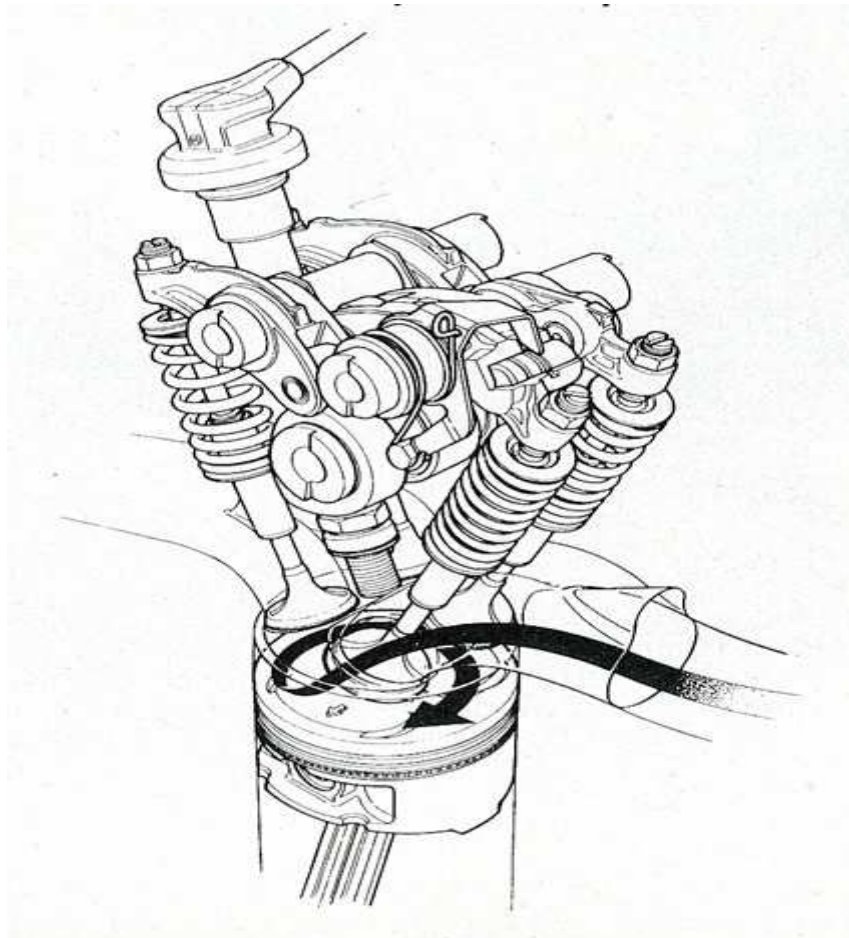
| Označení | Popis |
|----------|-------------------------------------|
| 1 | palivová nádrž |
| 2 | elektrické palivové čerpadlo |
| 3 | palivový zásobník |
| 4 | palivový filtr |
| 5 | regulátor |
| 6 | vstřikovací tryska |
| 7 | sací potrubí |
| 8 | vstřikovací tryska studeného startu |
| 9 | palivový rozdělovač |
| 10 | čidlo teploty vzduchu |
| 11 | regulační ventil |
| 12 | lambda sonda |
| 13 | čidlo teploty chladící kapaliny |
| 14 | rozdělovač |
| 15 | volnoběžný obtok |
| 16 | překmit |
| 17 | řídící jednotka |
| 18 | zapalování |
| 19 | akumulátor |



Obrázek č. 3.1. – motor 2,0 FSI – tvorba homogenní směsi [7]



Obrázek č. 3.2. – motor 2,0 FSI – tvorba vrstvené směsi [7]



Obrázek č. 3.3. – systém SOHC VTEC-E – tvorba směsi [8]

Příloha č. 2

Statistické zpracování

Při prvotních úvahách autora práce nad přístupem k první kapitole této práce se jevil jako nejvhodnější, přístup pomocí statistického zpracování. Ten byl zvolen zejména z tohoto důvodu, že množství variant jednotlivých spalovacích motorů zdaleka přesahuje možnosti slovního popisu a to i případě, kdy bude výběr omezen pouze na významné výrobce. Proto bylo přistoupeno k zpracování vývoje a inovací v této oblasti pomocí statistiky. Postup zpracování byl rozdělen do tří částí:

1. První část – sběr dat

V této části byl proveden výběr a zápis dat do statistického souboru. Jako prvotní zdroj informací se jako nejvhodnější jevil časopis Auto-moto-sport. Vydavatelství tohoto časopisu vždy jednou ročně vydává přílohu k měsíčním číslům s názvem Auto-moto-sport Speciál. V časopise jsou v jeho závěrečné části uvedeny všechny automobily všech světových výrobců za konkrétní modelový rok. Společně s variantami automobilů jsou zde uvedeny relativně obsáhlé údaje o motorech. Z těchto bylo vycházeno při zpracování statistického souboru. Při zpracování bylo postupováno v souladu s časovou osou postupně od roku 1990 do roku 2007. Od možnosti zpracování kompletního vzorku všech významných světových výrobců bylo nutno ustoupit, protože jeho časová náročnost by byla mimořádně vysoká. Odhadem by tento přístup vyžadoval několik měsíců každodenní několikahodinové práce. Z tohoto důvodu byl zvolen přístup, který sníží časové nároky na zpracování základního souboru dat, ovšem při zachování vypovídací hodnoty. Při konstrukci automobilů i spalovacích motorů je možné sledovat typické „konstrukční školy“ jednotlivých firem. Zdaleka nejmarkantnější je tento fakt u amerických výrobců. Proto byl zvolen přístup zachování poměru automobilek dle zemí. Autor práce při zpracování základního souboru přihlížel k tomu, aby byl relativně co možná nejpresněji zachován poměr mezi evropskými, americkými a japonskými výrobci. Při respektování tohoto přístupu byly jako výrobci světového formátu do základního souboru zařazeny tyto automobilky:

- a) Rover
- b) PSA
- c) Renault
- d) Daihatsu
- e) Subaru
- f) Suzuki
- g) Toyota
- h) Ford – divize Německo
- ch) Volkswagen
- i) Saab
- j) Volvo
- k) Chrysler

U koncernů byly zařazeny vždy všechny automobilky, které se v něm nachází, neboť z hlediska produkce motorů je tento fakt nutno respektovat. U majetkově vzdálenějších vazeb bez zjevného vlivu na vývoj spalovacích motorů bylo odstranění případných duplicit ponecháno na další část zpracování dat.

Konkrétně byl zvolen ten přístup, že z časopisů byly vybrány pouze motory bez ohledu na automobil, ve kterém je konkrétní motor instalován a to v časovém postupu. Vždy první motor byl poznamenán do souboru v programu Microsoft Excel. Poté byly sledovány ostatní motory, zda se zde nevyskytuje shodný motor. V kladném případě byl označen a do výběru již nebyl zařazen. U koncernů byli kontrolováni všichni výrobci v něm zařazení. Vzhledem k časté podobnosti a existenci výkonových variant konstrukčně shodného motoru a možnosti dalšího zpracování dat s ohledem na co možná nejkompaktnější zápis byl již při zápisu dat stanoven filtr.

Za odlišný motor byl označen motor, který se od sledovaného lišil v některém z těchto ukazatelů:

1. Uložení motoru – bylo rozlišováno, zda je motor uložen podél nebo napříč s vozem.
2. Jakákoliv změna v hodnotě zdvihového objemu, vrtání, zdvihu, způsobu plnění, počtu válců nebo přeplňování.
3. Do roku 1995 včetně byly sledovány rozdíly mezi palivem. V případě odlišného paliva byl motor označen jako nový. Po roce 1995 již nebyl motor označován jako nový, ale tato skutečnost byla poznamenána.
4. Do roku 1993 včetně bylo sledováno použití katalyzátoru, v případě variant téhož motoru s katalyzátorem nebo bez katalyzátoru byl tento motor označen jako jiný.
5. Do roku 1995 včetně byl maximální výkon motorů omezen na 200 kW, od roku 1995 na 250 kW a to z důvodu vyloučení vysoce výkonných sportovních automobilů.
6. Pokud se výkon motoru lišil o více než 6 kW včetně.

Výše uvedené kritéria byla stanovena z důvodu pozdějšího statistického zpracování. Při sběru dat bylo zjištěno, že údaje v prvních dvou letech období jsou nespolehlivé. Proto nebyly roky 1990 až 1992 rozlišovány a údaje ve všech těchto letech pochází z roku 1990.

Po zpracování všech zvolených výrobců byl tímto způsobem získán vzorek čítající 959 zážehových motorů a 276 vznětových motorů.

2. Druhá část – filtrace dat

Z důvodu statistického zpracování bylo nutno stanovit kritéria filtrace získaného vzorku. Vzhledem k velikosti vzorku byl zvolen přístup pomocí programu, který byl vytvořen programovacím jazykem Python. První filtr byl nastaven na odlišení duplicity motorů s ohledem na uložení v automobilu. Ten byl zvolen z tohoto důvodu, že výrobci v jednotlivých typech automobilů používají uložení téhož motoru podél nebo napříč s vozem. Uložení bylo sledováno pro jeho dalšího vyhodnocení přímo ze základního souboru. Pro další stanovená kritéria ovšem není vhodné uložení již dále sledovat, neboť by docházelo k zkreslování výsledků směrem k motorům, které výrobci častěji ukládají oběma způsoby. Po filtraci byl získán vzorek, ve kterém program v případě výskytu obou variant uložení motoru, jednu z těchto variant odstranil. Duplicita byla poznamenána mimo vzorek a již s tímto motorem nebylo dále pracováno. Z hlediska dalšího vyhodnocování není podstatné, který vzorek byl odstraněn (zda motor uložen podélně nebo napříč). Tento vzorek dat byl poté označen „Všechno bez ohledu na uložení“. Další filtrace byla provedena na tomto vzorku s ohledem na případné přeplňování. Motory byly rozděleny na vzorek nepřepřňovaných motorů a vzorek přeplňovaných motorů. Dále byl filtrací ze vzorku „Všechno bez ohledu na uložení“ získán vzorek označený „Všechno s ohledem na konstrukci“. Tento vzorek respektuje pouze zvolená konstrukční kritéria. Aby byl motor propuštěn do vzorku, musí se jeho druhý výskyt odlišovat od prvního v některém z kritérií z hlediska konstrukce. Konkrétně musí být rozdíl ve

zdvihovém objemu, vrtání, zdvihu, přeplňování, nebo způsobu plnění. Tento vzorek již tedy nerozlišuje rozdíly ve výkonech konstrukčně shodného motoru. Motor, který se neliší v některém z těchto kritérií, je označen jako duplicitní a se vzorku odstraněn.

Jednotlivé soubory označené „Všechno“, „Všechno s ohledem na uložení“, Všechno s ohledem na konstrukci, „Přeplňované“ a „Nepřeplňované“, byly poté uloženy v textovém souboru a následně upraveny do tabulek programu Microsoft Excel. Vzorky po filtraci poté vstupují do vlastního statistického zkoumání.

3. Třetí část – statistické vyhodnocování

Na začátku této části byly stanoveny hodnotící ukazatele. Jejich popis a zdůvodnění jejich použití jsou uvedeny v hlavním textu této práce. Ze statistického pohledu byly použity tyto metody:

a) Roztřídění vzorku

Toto třídění bylo provedeno pomocí statistického programu Statistika 7 firmy StatSoft a to podle předem stanovených značek a zkratk, které byly zahrnuty při zadávání dat.

b) χ^2 - test nezávislosti (Pearsonův test)

Tento způsob testování dat byl použit u části analýz v hlavním textu práce. U konkrétního rozboru daného kritéria je vždy popsán způsob testu. Z obecného hlediska se jedná o neparametrický statistický test [2].

Jako testové kritérium je použita statistika [2]:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \frac{\left(N_{ij} - \frac{N_i N_j}{n} \right)^2}{N_i \frac{N_j}{n}} \quad [1]$$

Kritický obor je vymezen nerovností [2]:

$$\chi^2 > \chi_{1-\alpha}^2 \quad [2]$$

Pro účely této práce a z důvodu výsledků počítačového zpracování došlo k označení:

T – testová statistika

f - počet stupňů volnosti, kde $f = (r-1)(c-1)$

p – p-hodnota testu

N – počet testovaných vzorků

Kritická hodnota není zobrazována. Hladina významnosti α je vždy uvedena u konkrétního příkladu, stejně tak i jednotlivé hypotézy.

c) Další analýzy

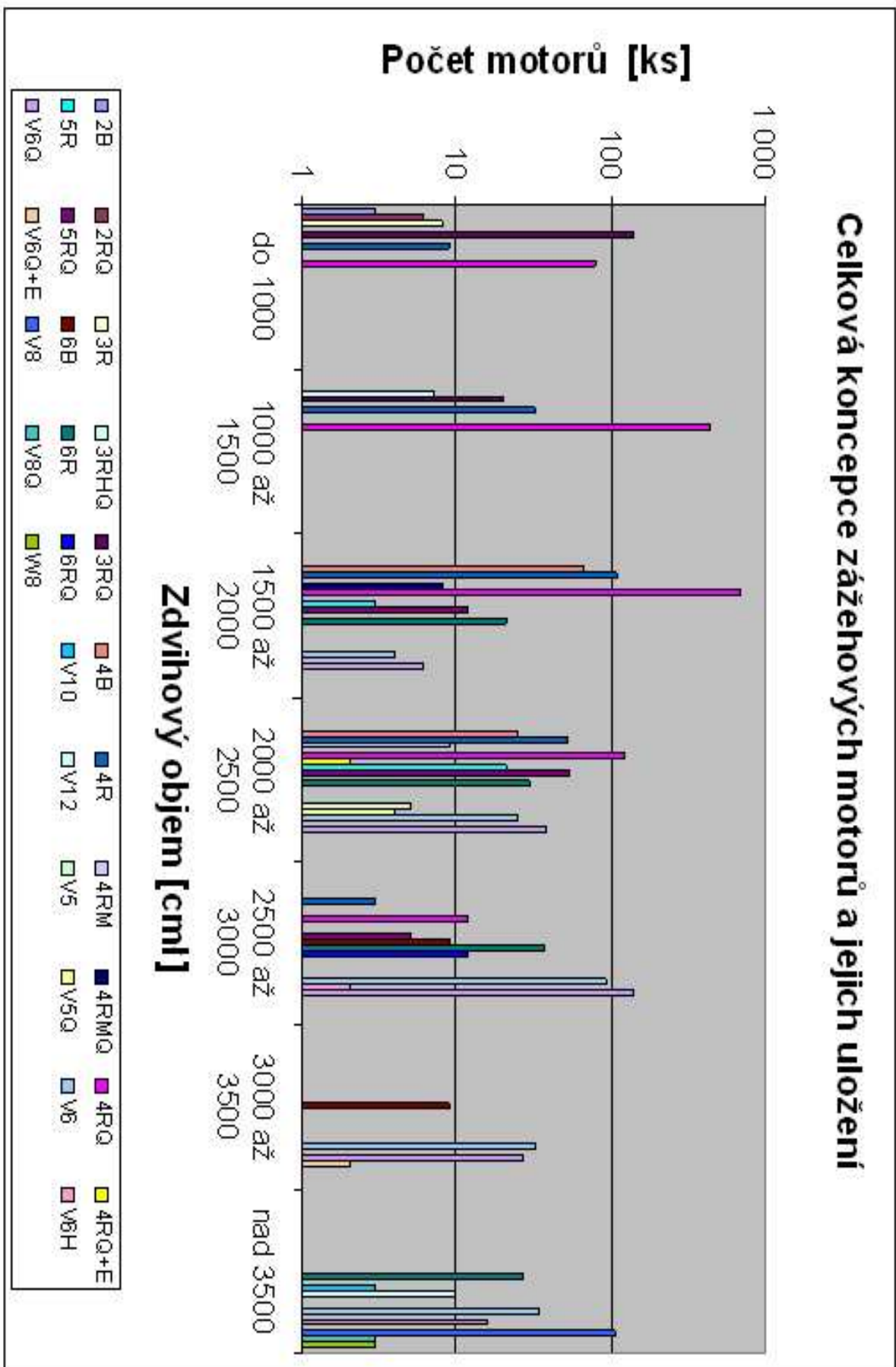
Analýzu dat v oblasti střední pístové rychlosti, pružností motorů a litrového výkonu bylo nutno zpracovat odlišně od předchozích případů. Hlavním důvodem byla skutečnost, že v tomto případě nebyl zkoumán „komplexní“ veličiny rozdělené např. jako procenta nebo počty motorů, ale konkrétní údaje o sledovaných veličinách. Při pokusech o shodný přístup byly získané grafy zcela nepřehledné a nepoužitelné. Důvod je v příliš velkém množství konkrétních hodnot sledovaných údajů, neboť jednotlivé motory přispívají do více roků sledovaného období a proto je celkový počet motorů příliš velký. Proto byl zvolen přístup k zjišťování trendu pomocí analýzy vývoje středních hodnot dané veličiny, spočítané vždy za jeden modelový rok. Při posuzování optimální střední hodnoty byl zahrnut aritmetický průměr, neboť sledované vzorky obsahují odlehlé hodnoty, které by jeho přesnost snižovaly. Proto byl zvolen medián. Z dalších kvantilů byl programem vypočten a v grafu vyznačen horní a dolní kvartil, pro znázornění variability dat. Pro zvýšení názornosti grafů a možnosti lepšího posouzení maximálních hodnot byl do grafu zahrnut také 1,5 násobek horního a dolního kvartilu, nebo minimum a maximum (v případě, že 1,5 násobek by přesahoval hodnoty minima a maxima), které jsou vyznačeny ukončenou přímkou v ose y. V případech výskytu jsou znázorněna i odlehlá pozorování. Při posuzování variability byla programem vypočtená směrodatná odchylka dle vztahu [2]:

$$s_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad [3]$$

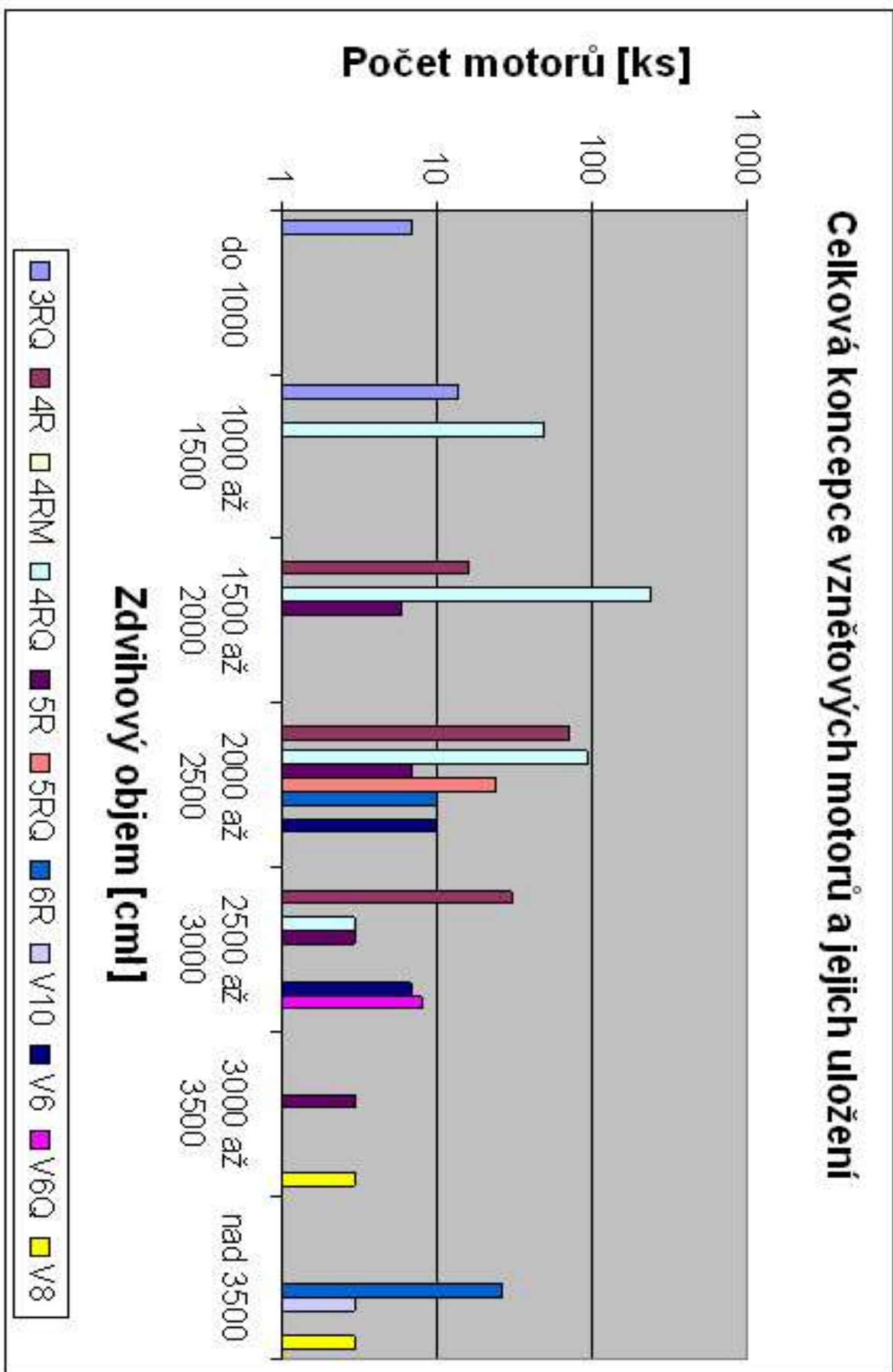
Příloha č. 3

Tabulka č. 2.1. – celková koncepce motorů a jejich uložení – význam zkratk

| Význam zkratk | Popis |
|---------------|--|
| 2RQ | dvouválcový motor typu boxer uložený vepředu napříč |
| 2B | dvouválcový motor typu boxer uložený vepředu podél |
| 3RQ | tříválcový řadový motor uložený vepředu napříč |
| 3R | tříválcový řadový motor uložený vepředu podél |
| 3RHQ | tříválcový řadový motor uložený vzadu napříč |
| 4RQ | čtyřválcový řadový motor uložený vepředu napříč |
| 4R | čtyřválcový řadový motor uložený vepředu podél |
| 4RM | čtyřválcový řadový motor uložený uprostřed podél |
| 4B | čtyřválcový motor typu boxer uložený vepředu podél |
| 4RMQ | čtyřválcový řadový motor uložený uprostřed napříč |
| 4RQ+E | hybridní koncepce - čtyřválcový motor vepředu napříč + elektromotor |
| 5RQ | pětiválcový řadový motor uložený vepředu napříč |
| 5R | pětiválcový řadový motor uložený vepředu podél |
| V5Q | pětiválcový vidlicový motor uložený vepředu napříč |
| V5 | pětiválcový vidlicový motor uložený vepředu podél |
| 6R | šestiválcový motor uložený vepředu podél |
| 6RQ | šestiválcový řadový motor uložený vepředu napříč |
| V6 | šestiválcový vidlicový motor uložený vepředu podél |
| V6Q | šestiválcový vidlicový motor uložený vepředu napříč |
| 6B | šestiválcový motor typu boxer uložený vepředu podél |
| V6H | šestiválcový vidlicový motor uložený vzadu podél |
| V6Q+E | hybridní koncepce - šestiválcový motor vepředu napříč + elektromotor |
| V8Q | vidlicový osmiválcový motor uložený vepředu napříč |
| V8 | vidlicový osmiválcový motor uložený vepředu podél |
| W8 | osmiválcový motor s uspořádáním válců do W uložený vepředu podél |
| V10 | desetiválcový vidlicový motor uložený vepředu podél |
| V12 | dvanáctiválcový vidlicový motor uložený vepředu podél |



Graf č. 2.1. – Celková koncepce zážehových motorů a jejich uložení



Graf č. 2.2. – Celková koncepce vznětových motorů a jejich uložení

Tabulka č. 2.2. – celková koncepce zážehových motorů a jejich uložení

| Celková koncepce zážehových motorů a jejich uložení | | Zdvihový objem [cm ³] | | | | | | | Celkový počet | |
|---|-------|-----------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|---------------|---------------|-------|
| | | Do objemu 1000 | Od objemu 1000 do 1500 | Od objemu 1500 do 2000 | Od objemu 2000 do 2500 | Od objemu 2500 do 3000 | Od objemu 3000 do 3500 | Více než 3500 | | |
| Typ uložení | 2B | Počet | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| | | % | 1,2% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,1% |
| | 2RQ | Počet | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 |
| | | % | 2,4% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,2% |
| | 3R | Počet | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 |
| | | % | 3,2% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,3% |
| | 3RHQ | Počet | 0 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 |
| | | % | 0,0% | 1,4% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,3% |
| | 3RQ | Počet | 143 | 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 163 |
| | | % | 57,4% | 4,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 6,1% |
| | 4B | Počet | 0 | 1 | 67 | 25 | 0 | 0 | 0 | 93 |
| | | % | 0,0% | 0,2% | 7,2% | 6,4% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 3,5% |
| | 4R | Počet | 9 | 32 | 110 | 53 | 3 | 0 | 0 | 207 |
| | | % | 3,6% | 6,4% | 11,8% | 13,6% | 1,0% | 0,0% | 0,0% | 7,8% |
| | 4RM | Počet | 0 | 0 | 0 | 9 | 0 | 0 | 0 | 9 |
| | | % | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 2,3% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,3% |
| | 4RMQ | Počet | 0 | 0 | 8 | 1 | 0 | 0 | 0 | 9 |
| | | % | 0,0% | 0,0% | 0,9% | 0,3% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,3% |
| | 4RQ | Počet | 80 | 443 | 703 | 124 | 12 | 0 | 0 | 1 362 |
| | | % | 32,1% | 88,1% | 75,3% | 31,7% | 3,8% | 0,0% | 0,0% | 51,1% |
| | 4RQ+E | Počet | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| | | % | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,5% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,1% |
| | 5R | Počet | 0 | 0 | 3 | 21 | 0 | 0 | 0 | 24 |
| | | % | 0,0% | 0,0% | 0,3% | 5,4% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,9% |
| | 5RQ | Počet | 0 | 0 | 12 | 54 | 5 | 0 | 0 | 71 |
| | | % | 0,0% | 0,0% | 1,3% | 13,8% | 1,6% | 0,0% | 0,0% | 2,7% |
| | 6B | Počet | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 | 9 | 0 | 18 |
| | | % | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 2,9% | 12,5% | 0,0% | 0,7% |
| | 6R | Počet | 0 | 0 | 21 | 30 | 37 | 0 | 27 | 115 |
| | | % | 0,0% | 0,0% | 2,2% | 7,7% | 11,7% | 0,0% | 13,3% | 4,3% |
| | 6RQ | Počet | 0 | 0 | 0 | 0 | 12 | 1 | 0 | 13 |
| | | % | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 3,8% | 1,4% | 0,0% | 0,5% |
| | V10 | Počet | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 |
| | | % | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 1,5% | 0,1% |
| | V12 | Počet | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 10 |
| | | % | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 4,9% | 0,4% |
| | V5 | Počet | 0 | 0 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 5 |
| | | % | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 1,3% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,2% |
| | V5Q | Počet | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 4 |
| | | % | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 1,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,1% |
| V6 | Počet | 0 | 0 | 4 | 25 | 93 | 33 | 35 | 190 | |
| | % | 0,0% | 0,0% | 0,4% | 6,4% | 29,5% | 45,8% | 17,2% | 7,1% | |
| V6H | Počet | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 2 | |
| | % | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,6% | 0,0% | 0,0% | 0,1% | |
| V6Q | Počet | 0 | 0 | 6 | 38 | 142 | 27 | 16 | 229 | |
| | % | 0,0% | 0,0% | 0,6% | 9,7% | 45,1% | 37,5% | 7,9% | 8,6% | |
| V6Q+E | Počet | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 2 | |
| | % | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 2,8% | 0,0% | 0,1% | |
| V8 | Počet | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 106 | 106 | |
| | % | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 52,2% | 4,0% | |
| V8Q | Počet | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | |
| | % | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 1,5% | 0,1% | |
| W8 | Počet | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | |
| | % | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 1,5% | 0,1% | |

| | | | | | | | | | | |
|---------------|-------|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | % | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 1,5% | 0,1% |
| Celkový počet | Počet | | 249 | 503 | 934 | 391 | 315 | 72 | 203 | 2 667 |
| | % | | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% |

Tabulka č. 2.3. – celková koncepce vznětových motorů a jejich uložení

| Celková koncepce vznětových motorů a jejich uložení | | | Zdvihový objem [cm ³] | | | | | | | Celkový počet |
|---|-------|--------|-----------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------|------------------|
| | | | Do objemu 1000 | Od objemu 1000 do 1500 | Od objemu 1500 do 2000 | Od objemu 2000 do 2500 | Od objemu 2500 do 3000 | Od objemu 3000 do 3500 | Více než 3500 | |
| Typ uložení | 3RQ | Počet | 7 | 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 21 |
| | | % | 100,0% | 21,9% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 3,3% |
| | 4R | Počet | 0 | 0 | 16 | 71 | 31 | 0 | 1 | 119 |
| | | % | 0,0% | 0,0% | 6,2% | 32,9% | 59,6% | 0,0% | 3,0% | 18,7% |
| | 4RM | Počet | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| | | % | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,5% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,2% |
| | 4RQ | Počet | 0 | 50 | 238 | 93 | 3 | 0 | 0 | 384 |
| | | % | 0,0% | 78,1% | 91,5% | 43,1% | 5,8% | 0,0% | 0,0% | 60,2% |
| | 5R | Počet | 0 | 0 | 6 | 7 | 3 | 3 | 0 | 19 |
| | | % | 0,0% | 0,0% | 2,3% | 3,2% | 5,8% | 50,0% | 0,0% | 3,0% |
| | 5RQ | Počet | 0 | 0 | 0 | 24 | 0 | 0 | 0 | 24 |
| | | % | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 11,1% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 3,8% |
| | 6R | Počet | 0 | 0 | 0 | 10 | 0 | 0 | 26 | 36 |
| | | % | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 4,6% | 0,0% | 0,0% | 78,8% | 5,6% |
| | V10 | Počet | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 |
| | | % | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 9,1% | 0,5% |
| | V6 | Počet | 0 | 0 | 0 | 10 | 7 | 0 | 0 | 17 |
| | | % | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 4,6% | 13,5% | 0,0% | 0,0% | 2,7% |
| | V6Q | Počet | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 0 | 0 | 8 |
| | | % | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 15,4% | 0,0% | 0,0% | 1,3% |
| V8 | Počet | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 6 | |
| | % | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 50,0% | 9,1% | 0,9% | |
| Celkový počet | Počet | 7 | 64 | 260 | 216 | 52 | 6 | 33 | 638 | |
| | % | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% | |

Tabulka 2.4. – časový vývoj uložení zážehových motorů podél a napříč

| Uložení motoru - zážehové | | | Uložení motoru | | Celkem |
|---------------------------|-------|-------|----------------|-------|--------|
| | | | Napříč | Podél | |
| Sledované období | 1990 | Počet | 120 | 66 | 186 |
| | | % | 64,5% | 35,5% | 100,0% |
| | 1991 | Počet | 120 | 66 | 186 |
| | | % | 64,5% | 35,5% | 100,0% |
| | 1992 | Počet | 120 | 66 | 186 |
| | | % | 64,5% | 35,5% | 100,0% |
| | 1993 | Počet | 132 | 49 | 181 |
| | | % | 72,9% | 27,1% | 100,0% |
| | 1994 | Počet | 153 | 62 | 215 |
| | | % | 71,2% | 28,8% | 100,0% |
| | 1995 | Počet | 154 | 57 | 211 |
| | | % | 73,0% | 27,0% | 100,0% |
| | 1996 | Počet | 155 | 58 | 213 |
| | | % | 72,8% | 27,2% | 100,0% |
| | 1997 | Počet | 158 | 65 | 223 |
| | | % | 70,9% | 29,1% | 100,0% |
| | 1998 | Počet | 152 | 60 | 212 |
| | | % | 71,7% | 28,3% | 100,0% |
| | 1999 | Počet | 157 | 58 | 215 |
| | | % | 73,0% | 27,0% | 100,0% |
| 2000 | Počet | 148 | 52 | 200 | |

| | | | | | |
|--|--------|-------|-------|-------|--------|
| | | % | 74,0% | 26,0% | 100,0% |
| | 2001 | Počet | 141 | 49 | 190 |
| | | % | 74,2% | 25,8% | 100,0% |
| | 2002 | Počet | 144 | 58 | 202 |
| | | % | 71,3% | 28,7% | 100,0% |
| | 2003 | Počet | 146 | 62 | 208 |
| | | % | 70,2% | 29,8% | 100,0% |
| | 2004 | Počet | 134 | 60 | 194 |
| | | % | 69,1% | 30,9% | 100,0% |
| | 2005 | Počet | 141 | 69 | 210 |
| | | % | 67,1% | 32,9% | 100,0% |
| | 2006 | Počet | 136 | 58 | 194 |
| | | % | 70,1% | 29,9% | 100,0% |
| | 2007 | Počet | 147 | 69 | 216 |
| | | % | 68,1% | 31,9% | 100,0% |
| | Celkem | Počet | 2 558 | 1 084 | 3 642 |
| | | % | 70,2% | 29,8% | 100,0% |

Tabulka 2.5. – časový vývoj uložení vznětových motorů podél a napříč

| Uložení motoru - vznětové | | Uložení | | Celkem | |
|---------------------------|-------|---------|-------|--------|--------|
| | | Napříč | Podél | | |
| Sledované období | 1990 | Počet | 27 | 16 | 43 |
| | | % | 62,8% | 37,2% | 100,0% |
| | 1991 | Počet | 27 | 16 | 43 |
| | | % | 62,8% | 37,2% | 100,0% |
| | 1992 | Počet | 27 | 16 | 43 |
| | | % | 62,8% | 37,2% | 100,0% |
| | 1993 | Počet | 26 | 17 | 43 |
| | | % | 60,5% | 39,5% | 100,0% |
| | 1994 | Počet | 21 | 18 | 39 |
| | | % | 53,8% | 46,2% | 100,0% |
| | 1995 | Počet | 23 | 15 | 38 |
| | | % | 60,5% | 39,5% | 100,0% |
| | 1996 | Počet | 23 | 14 | 37 |
| | | % | 62,2% | 37,8% | 100,0% |
| | 1997 | Počet | 30 | 16 | 46 |
| | | % | 65,2% | 34,8% | 100,0% |
| | 1998 | Počet | 28 | 11 | 39 |
| | | % | 71,8% | 28,2% | 100,0% |
| | 1999 | Počet | 31 | 15 | 46 |
| | | % | 67,4% | 32,6% | 100,0% |
| | 2000 | Počet | 40 | 16 | 56 |
| | | % | 71,4% | 28,6% | 100,0% |
| | 2001 | Počet | 41 | 15 | 56 |
| | | % | 73,2% | 26,8% | 100,0% |
| | 2002 | Počet | 48 | 13 | 61 |
| | | % | 78,7% | 21,3% | 100,0% |
| | 2003 | Počet | 49 | 17 | 66 |
| | | % | 74,2% | 25,8% | 100,0% |
| | 2004 | Počet | 49 | 16 | 65 |
| | | % | 75,4% | 24,6% | 100,0% |
| | 2005 | Počet | 58 | 22 | 80 |
| | | % | 72,5% | 27,5% | 100,0% |
| | 2006 | Počet | 65 | 21 | 86 |
| | | % | 75,6% | 24,4% | 100,0% |
| 2007 | Počet | 63 | 21 | 84 | |
| | % | 75,0% | 25,0% | 100,0% | |
| Celkem | | Počet | 676 | 295 | 971 |
| | | % | 69,6% | 30,4% | 100,0% |

Tabulka č. 2.8. – časový vývoj počtu ventilů na válec u zážehových motorů

| Počet ventilů - zážehové | | | Počet ventilů | | | | Celkem |
|--------------------------|-------|-------|---------------|-------|-------|--------|--------|
| | | | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| Sledované období | 1990 | Počet | 100 | 8 | 43 | 0 | 151 |
| | | % | 66,2% | 5,3% | 28,5% | 0,0% | 100,0% |
| | 1991 | Počet | 100 | 8 | 43 | 0 | 151 |
| | | % | 66,2% | 5,3% | 28,5% | 0,0% | 100,0% |
| | 1992 | Počet | 100 | 8 | 43 | 0 | 151 |
| | | % | 66,2% | 5,3% | 28,5% | 0,0% | 100,0% |
| | 1993 | Počet | 82 | 5 | 54 | 0 | 141 |
| | | % | 58,2% | 3,5% | 38,3% | 0,0% | 100,0% |
| | 1994 | Počet | 82 | 6 | 67 | 1 | 156 |
| | | % | 52,6% | 3,8% | 42,9% | 0,6% | 100,0% |
| | 1995 | Počet | 73 | 6 | 72 | 1 | 152 |
| | | % | 48,0% | 3,9% | 47,4% | 0,7% | 100,0% |
| | 1996 | Počet | 71 | 4 | 83 | 2 | 160 |
| | | % | 44,4% | 2,5% | 51,9% | 1,3% | 100,0% |
| | 1997 | Počet | 66 | 3 | 90 | 4 | 163 |
| | | % | 40,5% | 1,8% | 55,2% | 2,5% | 100,0% |
| | 1998 | Počet | 64 | 1 | 89 | 6 | 160 |
| | | % | 40,0% | 0,6% | 55,6% | 3,8% | 100,0% |
| | 1999 | Počet | 56 | 0 | 94 | 7 | 157 |
| | | % | 35,7% | 0,0% | 59,9% | 4,5% | 100,0% |
| | 2000 | Počet | 45 | 0 | 95 | 9 | 149 |
| | | % | 30,2% | 0,0% | 63,8% | 6,0% | 100,0% |
| | 2001 | Počet | 40 | 0 | 95 | 9 | 144 |
| | | % | 27,8% | 0,0% | 66,0% | 6,3% | 100,0% |
| | 2002 | Počet | 28 | 0 | 107 | 10 | 145 |
| | | % | 19,3% | 0,0% | 73,8% | 6,9% | 100,0% |
| | 2003 | Počet | 28 | 0 | 108 | 11 | 147 |
| | | % | 19,0% | 0,0% | 73,5% | 7,5% | 100,0% |
| 2004 | Počet | 24 | 0 | 104 | 11 | 139 | |
| | % | 17,3% | 0,0% | 74,8% | 7,9% | 100,0% | |
| 2005 | Počet | 20 | 1 | 110 | 9 | 140 | |
| | % | 14,3% | 0,7% | 78,6% | 6,4% | 100,0% | |
| 2006 | Počet | 17 | 2 | 100 | 8 | 127 | |
| | % | 13,4% | 1,6% | 78,7% | 6,3% | 100,0% | |
| 2007 | Počet | 16 | 2 | 108 | 5 | 131 | |
| | % | 12,2% | 1,5% | 82,4% | 3,8% | 100,0% | |
| Celkem | | Počet | 1 012 | 54 | 1 505 | 93 | 2 664 |
| | | % | 38,0% | 2,0% | 56,5% | 3,5% | 100,0% |

Tabulka č. 2.9. – časový vývoj počtu ventilů na válec u vznětových motorů

| Počet ventilů - vznětové | | | Počet ventilů | | | Celkem |
|--------------------------|------|-------|---------------|------|------|--------|
| | | | 2 | 3 | 4 | |
| Sledované období | 1990 | Počet | 38 | 1 | 1 | 40 |
| | | % | 95,0% | 2,5% | 2,5% | 100,0% |
| | 1991 | Počet | 38 | 1 | 1 | 40 |
| | | % | 95,0% | 2,5% | 2,5% | 100,0% |
| | 1992 | Počet | 38 | 1 | 1 | 40 |
| | | % | 95,0% | 2,5% | 2,5% | 100,0% |
| | 1993 | Počet | 32 | 1 | 0 | 33 |
| | | % | 97,0% | 3,0% | 0,0% | 100,0% |
| | 1994 | Počet | 32 | 1 | 0 | 33 |
| | | % | 97,0% | 3,0% | 0,0% | 100,0% |
| | 1995 | Počet | 29 | 2 | 0 | 31 |
| | | % | 93,5% | 6,5% | 0,0% | 100,0% |
| | 1996 | Počet | 24 | 3 | 1 | 28 |

| | | | | | | |
|--|--------|-------|-------|-------|-------|--------|
| | | % | 85,7% | 10,7% | 3,6% | 100,0% |
| | 1997 | Počet | 23 | 4 | 2 | 29 |
| | | % | 79,3% | 13,8% | 6,9% | 100,0% |
| | 1998 | Počet | 20 | 4 | 3 | 27 |
| | | % | 74,1% | 14,8% | 11,1% | 100,0% |
| | 1999 | Počet | 22 | 3 | 4 | 29 |
| | | % | 75,9% | 10,3% | 13,8% | 100,0% |
| | 2000 | Počet | 25 | 5 | 6 | 36 |
| | | % | 69,4% | 13,9% | 16,7% | 100,0% |
| | 2001 | Počet | 22 | 2 | 9 | 33 |
| | | % | 66,7% | 6,1% | 27,3% | 100,0% |
| | 2002 | Počet | 20 | 2 | 14 | 36 |
| | | % | 55,6% | 5,6% | 38,9% | 100,0% |
| | 2003 | Počet | 18 | 1 | 17 | 36 |
| | | % | 50,0% | 2,8% | 47,2% | 100,0% |
| | 2004 | Počet | 18 | 1 | 17 | 36 |
| | | % | 50,0% | 2,8% | 47,2% | 100,0% |
| | 2005 | Počet | 19 | 1 | 25 | 45 |
| | | % | 42,2% | 2,2% | 55,6% | 100,0% |
| | 2006 | Počet | 16 | 1 | 27 | 44 |
| | | % | 36,4% | 2,3% | 61,4% | 100,0% |
| | 2007 | Počet | 14 | 1 | 27 | 42 |
| | | % | 33,3% | 2,4% | 64,3% | 100,0% |
| | Celkem | Počet | 448 | 35 | 155 | 638 |
| | | % | 70,2% | 5,5% | 24,3% | 100,0% |

Tabulka č. 2.12. – časový vývoj variant rozvodu u zážehových motorů

| Rozvod - zážehové motory | | Rozvod | | | Celkem | |
|--------------------------|-------|--------|-------|-------|--------|--------|
| | | DOHC | OHC | OHV | | |
| Sledované období | 1990 | Počet | 6 | 125 | 21 | 152 |
| | | % | 3,9% | 82,2% | 13,8% | 100,0% |
| | 1991 | Počet | 6 | 125 | 21 | 152 |
| | | % | 3,9% | 82,2% | 13,8% | 100,0% |
| | 1992 | Počet | 6 | 125 | 21 | 152 |
| | | % | 3,9% | 82,2% | 13,8% | 100,0% |
| | 1993 | Počet | 31 | 90 | 20 | 141 |
| | | % | 22,0% | 63,8% | 14,2% | 100,0% |
| | 1994 | Počet | 50 | 87 | 19 | 156 |
| | | % | 32,1% | 55,8% | 12,2% | 100,0% |
| | 1995 | Počet | 55 | 82 | 15 | 152 |
| | | % | 36,2% | 53,9% | 9,9% | 100,0% |
| | 1996 | Počet | 65 | 81 | 14 | 160 |
| | | % | 40,6% | 50,6% | 8,8% | 100,0% |
| | 1997 | Počet | 74 | 75 | 14 | 163 |
| | | % | 45,4% | 46,0% | 8,6% | 100,0% |
| | 1998 | Počet | 77 | 66 | 17 | 160 |
| | | % | 48,1% | 41,3% | 10,6% | 100,0% |
| | 1999 | Počet | 86 | 56 | 15 | 157 |
| | | % | 54,8% | 35,7% | 9,6% | 100,0% |
| | 2000 | Počet | 90 | 46 | 13 | 149 |
| | | % | 60,4% | 30,9% | 8,7% | 100,0% |
| | 2001 | Počet | 92 | 39 | 13 | 144 |
| | | % | 63,9% | 27,1% | 9,0% | 100,0% |
| | 2002 | Počet | 103 | 30 | 12 | 145 |
| | | % | 71,0% | 20,7% | 8,3% | 100,0% |
| | 2003 | Počet | 108 | 27 | 12 | 147 |
| | | % | 73,5% | 18,4% | 8,2% | 100,0% |
| 2004 | Počet | 104 | 26 | 9 | 139 | |
| | % | 74,8% | 18,7% | 6,5% | 100,0% | |

| | | | | | | |
|--------|------|-------|-------|-------|------|--------|
| | 2005 | % | 74,8% | 18,7% | 6,5% | 100,0% |
| | | Počet | 109 | 25 | 6 | 140 |
| | 2006 | % | 77,9% | 17,9% | 4,3% | 100,0% |
| | | Počet | 101 | 20 | 6 | 127 |
| | 2007 | % | 79,5% | 15,7% | 4,7% | 100,0% |
| | | Počet | 107 | 18 | 6 | 131 |
| Celkem | | Počet | 1 270 | 1 143 | 254 | 2 667 |
| | | % | 47,6% | 42,9% | 9,5% | 100,0% |

Tabulka č. 2.13. – časový vývoj variant rozvodu u vznětových motorů

| Rozvod - vznětové | | Rozvod | | | Celkem | |
|-------------------|-------|--------|-------|-------|--------|--------|
| | | DOHC | OHC | OHV | | |
| Sledované období | 1990 | Počet | 0 | 32 | 8 | 40 |
| | | % | 0,0% | 80,0% | 20,0% | 100,0% |
| | 1991 | Počet | 0 | 32 | 8 | 40 |
| | | % | 0,0% | 80,0% | 20,0% | 100,0% |
| | 1992 | Počet | 0 | 32 | 8 | 40 |
| | | % | 0,0% | 80,0% | 20,0% | 100,0% |
| | 1993 | Počet | 0 | 29 | 4 | 33 |
| | | % | 0,0% | 87,9% | 12,1% | 100,0% |
| | 1994 | Počet | 0 | 27 | 6 | 33 |
| | | % | 0,0% | 81,8% | 18,2% | 100,0% |
| | 1995 | Počet | 0 | 25 | 6 | 31 |
| | | % | 0,0% | 80,6% | 19,4% | 100,0% |
| | 1996 | Počet | 0 | 25 | 3 | 28 |
| | | % | 0,0% | 89,3% | 10,7% | 100,0% |
| | 1997 | Počet | 0 | 26 | 3 | 29 |
| | | % | 0,0% | 89,7% | 10,3% | 100,0% |
| | 1998 | Počet | 1 | 23 | 3 | 27 |
| | | % | 3,7% | 85,2% | 11,1% | 100,0% |
| | 1999 | Počet | 2 | 25 | 2 | 29 |
| | | % | 6,9% | 86,2% | 6,9% | 100,0% |
| | 2000 | Počet | 5 | 29 | 2 | 36 |
| | | % | 13,9% | 80,6% | 5,6% | 100,0% |
| | 2001 | Počet | 8 | 23 | 2 | 33 |
| | | % | 24,2% | 69,7% | 6,1% | 100,0% |
| | 2002 | Počet | 13 | 22 | 1 | 36 |
| | | % | 36,1% | 61,1% | 2,8% | 100,0% |
| | 2003 | Počet | 16 | 19 | 1 | 36 |
| | | % | 44,4% | 52,8% | 2,8% | 100,0% |
| | 2004 | Počet | 16 | 19 | 1 | 36 |
| | | % | 44,4% | 52,8% | 2,8% | 100,0% |
| 2005 | Počet | 24 | 20 | 1 | 45 | |
| | % | 53,3% | 44,4% | 2,2% | 100,0% | |
| 2006 | Počet | 26 | 17 | 1 | 44 | |
| | % | 59,1% | 38,6% | 2,3% | 100,0% | |
| 2007 | Počet | 27 | 14 | 1 | 42 | |
| | % | 64,3% | 33,3% | 2,4% | 100,0% | |
| Celkem | | Počet | 138 | 439 | 61 | 638 |
| | | % | 21,6% | 68,8% | 9,6% | 100,0% |

Tabulka č. 2.16. – časový vývoj zdvihového poměru u zážehových motorů

| Zdihový poměr zážehových motorů | | Poměr vrtání a zdvihu | | | Celkem | |
|------------------------------------|-------|-----------------------|-----------|--------------|--------|--------|
| | | Podčtvercové | Čtvercové | Nadčtvercové | | |
| Sledované období | 1990 | Počet | 72 | 7 | 73 | 152 |
| | | % | 47,4% | 4,6% | 48,0% | 100,0% |
| | 1991 | Počet | 72 | 7 | 73 | 152 |
| | | % | 47,4% | 4,6% | 48,0% | 100,0% |
| | 1992 | Počet | 72 | 7 | 73 | 152 |
| | | % | 47,4% | 4,6% | 48,0% | 100,0% |
| | 1993 | Počet | 62 | 5 | 74 | 141 |
| | | % | 44,0% | 3,5% | 52,5% | 100,0% |
| | 1994 | Počet | 65 | 8 | 83 | 156 |
| | | % | 41,7% | 5,1% | 53,2% | 100,0% |
| | 1995 | Počet | 66 | 9 | 77 | 152 |
| | | % | 43,4% | 5,9% | 50,7% | 100,0% |
| | 1996 | Počet | 69 | 9 | 82 | 160 |
| | | % | 43,1% | 5,6% | 51,3% | 100,0% |
| | 1997 | Počet | 73 | 8 | 82 | 163 |
| | | % | 44,8% | 4,9% | 50,3% | 100,0% |
| | 1998 | Počet | 75 | 8 | 77 | 160 |
| | | % | 46,9% | 5,0% | 48,1% | 100,0% |
| | 1999 | Počet | 69 | 9 | 79 | 157 |
| | | % | 43,9% | 5,7% | 50,3% | 100,0% |
| | 2000 | Počet | 64 | 7 | 78 | 149 |
| | | % | 43,0% | 4,7% | 52,3% | 100,0% |
| | 2001 | Počet | 65 | 7 | 72 | 144 |
| | | % | 45,1% | 4,9% | 50,0% | 100,0% |
| | 2002 | Počet | 63 | 6 | 76 | 145 |
| | | % | 43,4% | 4,1% | 52,4% | 100,0% |
| | 2003 | Počet | 60 | 7 | 80 | 147 |
| | | % | 40,8% | 4,8% | 54,4% | 100,0% |
| | 2004 | Počet | 56 | 7 | 76 | 139 |
| | | % | 40,3% | 5,0% | 54,7% | 100,0% |
| 2005 | Počet | 60 | 11 | 69 | 140 | |
| | % | 42,9% | 7,9% | 49,3% | 100,0% | |
| 2006 | Počet | 58 | 10 | 59 | 127 | |
| | % | 45,7% | 7,9% | 46,5% | 100,0% | |
| 2007 | Počet | 58 | 10 | 63 | 131 | |
| | % | 44,3% | 7,6% | 48,1% | 100,0% | |
| Celkem | | Počet | 1 179 | 142 | 1 346 | 2 667 |
| | | % | 44,2% | 5,3% | 50,5% | 100,0% |

Tabulka č. 2.17. – časový vývoj zdvihového poměru u vznětových motorů

| Zdihový poměr vznětových motorů | | Poměr vrtání a zdvihu | | | Celkem | |
|------------------------------------|------|-----------------------|-----------|--------------|--------|--------|
| | | Podčtvercové | Čtvercové | Nadčtvercové | | |
| Sledované období | 1990 | Počet | 13 | 2 | 25 | 40 |
| | | % | 32,5% | 5,0% | 62,5% | 100,0% |
| | 1991 | Počet | 13 | 2 | 25 | 40 |
| | | % | 32,5% | 5,0% | 62,5% | 100,0% |
| | 1992 | Počet | 13 | 2 | 25 | 40 |
| | | % | 32,5% | 5,0% | 62,5% | 100,0% |
| | 1993 | Počet | 6 | 3 | 24 | 33 |
| | | % | 18,2% | 9,1% | 72,7% | 100,0% |
| | 1994 | Počet | 5 | 1 | 27 | 33 |
| | | % | 15,2% | 3,0% | 81,8% | 100,0% |
| | 1995 | Počet | 6 | 1 | 24 | 31 |

| | | | | | | |
|--------|-------|---|-------|-------|-------|--------|
| | | % | 19,4% | 3,2% | 77,4% | 100,0% |
| 1996 | Počet | | 5 | 2 | 21 | 28 |
| | % | | 17,9% | 7,1% | 75,0% | 100,0% |
| 1997 | Počet | | 6 | 3 | 20 | 29 |
| | % | | 20,7% | 10,3% | 69,0% | 100,0% |
| 1998 | Počet | | 5 | 2 | 20 | 27 |
| | % | | 18,5% | 7,4% | 74,1% | 100,0% |
| 1999 | Počet | | 4 | 4 | 21 | 29 |
| | % | | 13,8% | 13,8% | 72,4% | 100,0% |
| 2000 | Počet | | 6 | 4 | 26 | 36 |
| | % | | 16,7% | 11,1% | 72,2% | 100,0% |
| 2001 | Počet | | 3 | 3 | 27 | 33 |
| | % | | 9,1% | 9,1% | 81,8% | 100,0% |
| 2002 | Počet | | 4 | 1 | 31 | 36 |
| | % | | 11,1% | 2,8% | 86,1% | 100,0% |
| 2003 | Počet | | 3 | 1 | 32 | 36 |
| | % | | 8,3% | 2,8% | 88,9% | 100,0% |
| 2004 | Počet | | 3 | 1 | 32 | 36 |
| | % | | 8,3% | 2,8% | 88,9% | 100,0% |
| 2005 | Počet | | 3 | 1 | 41 | 45 |
| | % | | 6,7% | 2,2% | 91,1% | 100,0% |
| 2006 | Počet | | 3 | 1 | 40 | 44 |
| | % | | 6,8% | 2,3% | 90,9% | 100,0% |
| 2007 | Počet | | 3 | 1 | 38 | 42 |
| | % | | 7,1% | 2,4% | 90,5% | 100,0% |
| Celkem | Počet | | 104 | 35 | 499 | 638 |
| | % | | 16,3% | 5,5% | 78,2% | 100,0% |

Tabulka č. 2.20. – časový vývoj tvorby směsi u zážehových motorů

| Způsob tvorby směsi zážehových motorů | | Plnění | | | | | Celkem | |
|---------------------------------------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
| | | E | ED | EM | ES | V | | |
| Sledované období | 1990 | Počet | 70 | 0 | 17 | 13 | 52 | 152 |
| | | % | 46,1% | 0,0% | 11,2% | 8,6% | 34,2% | 100,0% |
| | 1991 | Počet | 70 | 0 | 17 | 13 | 52 | 152 |
| | | % | 46,1% | 0,0% | 11,2% | 8,6% | 34,2% | 100,0% |
| | 1992 | Počet | 70 | 0 | 17 | 13 | 52 | 152 |
| | | % | 46,1% | 0,0% | 11,2% | 8,6% | 34,2% | 100,0% |
| | 1993 | Počet | 43 | 0 | 63 | 23 | 12 | 141 |
| | | % | 30,5% | 0,0% | 44,7% | 16,3% | 8,5% | 100,0% |
| | 1994 | Počet | 0 | 0 | 115 | 31 | 10 | 156 |
| | | % | 0,0% | 0,0% | 73,7% | 19,9% | 6,4% | 100,0% |
| | 1995 | Počet | 0 | 0 | 114 | 31 | 7 | 152 |
| | | % | 0,0% | 0,0% | 75,0% | 20,4% | 4,6% | 100,0% |
| | 1996 | Počet | 0 | 0 | 126 | 28 | 6 | 160 |
| | | % | 0,0% | 0,0% | 78,8% | 17,5% | 3,8% | 100,0% |
| | 1997 | Počet | 0 | 0 | 137 | 20 | 6 | 163 |
| | | % | 0,0% | 0,0% | 84,0% | 12,3% | 3,7% | 100,0% |
| | 1998 | Počet | 0 | 0 | 137 | 18 | 5 | 160 |
| | | % | 0,0% | 0,0% | 85,6% | 11,3% | 3,1% | 100,0% |
| | 1999 | Počet | 0 | 0 | 142 | 12 | 3 | 157 |
| | | % | 0,0% | 0,0% | 90,4% | 7,6% | 1,9% | 100,0% |
| | 2000 | Počet | 0 | 1 | 139 | 9 | 0 | 149 |
| | | % | 0,0% | 0,7% | 93,3% | 6,0% | 0,0% | 100,0% |
| | 2001 | Počet | 0 | 1 | 137 | 6 | 0 | 144 |
| | | % | 0,0% | 0,7% | 95,1% | 4,2% | 0,0% | 100,0% |
| 2002 | Počet | 0 | 2 | 141 | 2 | 0 | 145 | |
| | % | 0,0% | 1,4% | 97,2% | 1,4% | 0,0% | 100,0% | |
| 2003 | Počet | 0 | 4 | 141 | 2 | 0 | 147 | |

| | | | | | | | | |
|--|--------|-------|------|------|-------|------|------|--------|
| | 2004 | % | 0,0% | 2,7% | 95,9% | 1,4% | 0,0% | 100,0% |
| | | Počet | 0 | 5 | 134 | 0 | 0 | 139 |
| | 2005 | % | 0,0% | 3,6% | 96,4% | 0,0% | 0,0% | 100,0% |
| | | Počet | 0 | 8 | 132 | 0 | 0 | 140 |
| | 2006 | % | 0,0% | 5,7% | 94,3% | 0,0% | 0,0% | 100,0% |
| | | Počet | 0 | 8 | 119 | 0 | 0 | 127 |
| | 2007 | % | 0,0% | 6,3% | 93,7% | 0,0% | 0,0% | 100,0% |
| | | Počet | 0 | 12 | 119 | 0 | 0 | 131 |
| | Celkem | Počet | 253 | 41 | 1 947 | 221 | 205 | 2 667 |
| | | % | 9,5% | 1,5% | 73,0% | 8,3% | 7,7% | 100,0% |

Tabulka č. 2.21. – časový vývoj tvorby u vznětových motorů

| Způsob tvorby směsi vznětových motorů | | | Plnění | | Celkem |
|---------------------------------------|-------|-------|--------|--------|--------|
| | | | D | DD | |
| Sledované období | 1990 | Počet | 40 | 0 | 40 |
| | | % | 100,0% | 0,0% | 100,0% |
| | 1991 | Počet | 40 | 0 | 40 |
| | | % | 100,0% | 0,0% | 100,0% |
| | 1992 | Počet | 40 | 0 | 40 |
| | | % | 100,0% | 0,0% | 100,0% |
| | 1993 | Počet | 31 | 2 | 33 |
| | | % | 93,9% | 6,1% | 100,0% |
| | 1994 | Počet | 28 | 5 | 33 |
| | | % | 84,8% | 15,2% | 100,0% |
| | 1995 | Počet | 24 | 7 | 31 |
| | | % | 77,4% | 22,6% | 100,0% |
| | 1996 | Počet | 24 | 4 | 28 |
| | | % | 85,7% | 14,3% | 100,0% |
| | 1997 | Počet | 25 | 4 | 29 |
| | | % | 86,2% | 13,8% | 100,0% |
| | 1998 | Počet | 22 | 5 | 27 |
| | | % | 81,5% | 18,5% | 100,0% |
| | 1999 | Počet | 21 | 8 | 29 |
| | | % | 72,4% | 27,6% | 100,0% |
| | 2000 | Počet | 22 | 14 | 36 |
| | | % | 61,1% | 38,9% | 100,0% |
| | 2001 | Počet | 16 | 17 | 33 |
| | | % | 48,5% | 51,5% | 100,0% |
| | 2002 | Počet | 10 | 26 | 36 |
| | | % | 27,8% | 72,2% | 100,0% |
| | 2003 | Počet | 4 | 32 | 36 |
| | | % | 11,1% | 88,9% | 100,0% |
| | 2004 | Počet | 4 | 32 | 36 |
| | | % | 11,1% | 88,9% | 100,0% |
| | 2005 | Počet | 2 | 43 | 45 |
| | | % | 4,4% | 95,6% | 100,0% |
| | 2006 | Počet | 2 | 42 | 44 |
| | | % | 4,5% | 95,5% | 100,0% |
| 2007 | Počet | 1 | 41 | 42 | |
| | % | 2,4% | 97,6% | 100,0% | |
| Celkem | | Počet | 356 | 282 | 638 |
| | | % | 55,8% | 44,2% | 100,0% |

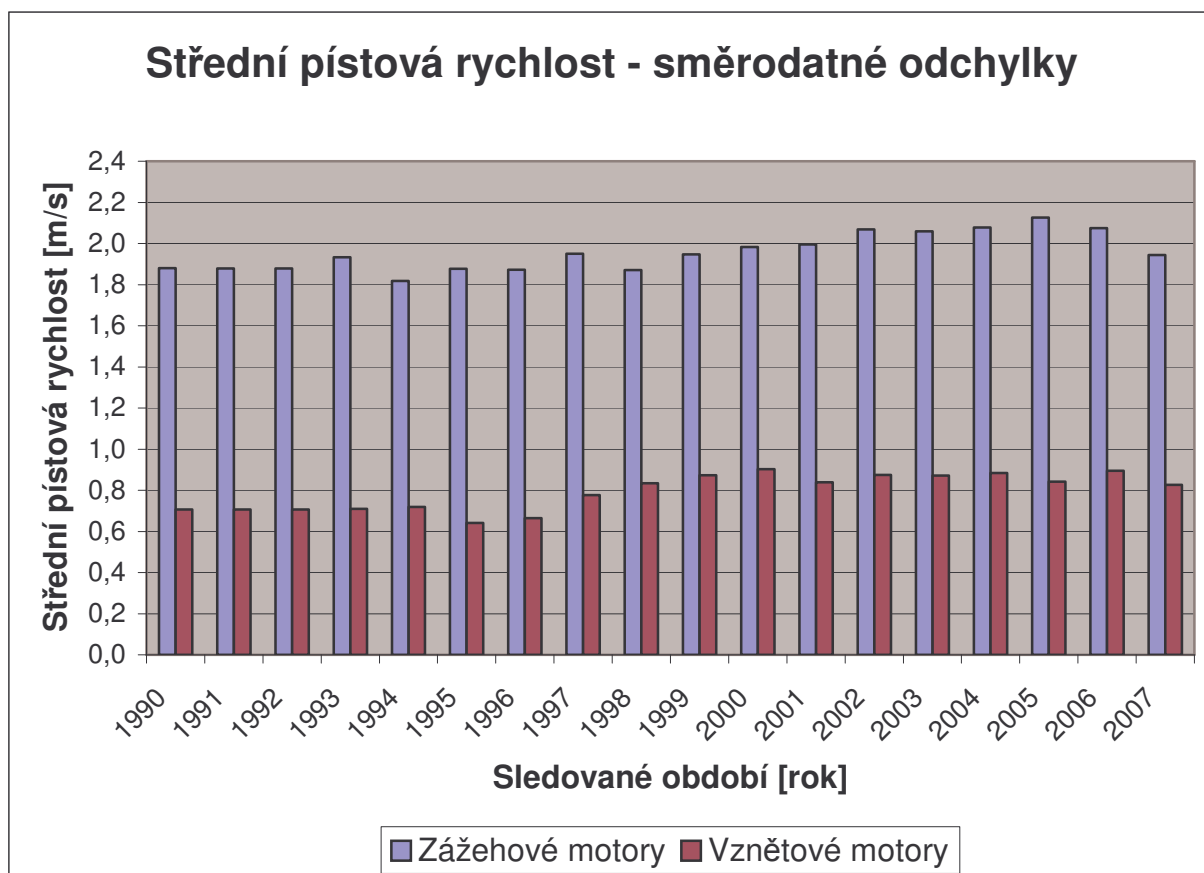
Tabulka č. 2.24. – časový vývoj přeplňování u zážehových motorů

| Poměr přeplňování zážehových motorů | | | Přeplňování | | Celkem |
|-------------------------------------|-------|-------|---------------|-------------|--------|
| | | | Nepřeplňované | Přeplňované | |
| Sledované období | 1990 | Počet | 126 | 26 | 152 |
| | | % | 82,9% | 17,1% | 100,0% |
| | 1991 | Počet | 126 | 26 | 152 |
| | | % | 82,9% | 17,1% | 100,0% |
| | 1992 | Počet | 126 | 26 | 152 |
| | | % | 82,9% | 17,1% | 100,0% |
| | 1993 | Počet | 120 | 21 | 141 |
| | | % | 85,1% | 14,9% | 100,0% |
| | 1994 | Počet | 134 | 22 | 156 |
| | | % | 85,9% | 14,1% | 100,0% |
| | 1995 | Počet | 133 | 19 | 152 |
| | | % | 87,5% | 12,5% | 100,0% |
| | 1996 | Počet | 140 | 20 | 160 |
| | | % | 87,5% | 12,5% | 100,0% |
| | 1997 | Počet | 146 | 17 | 163 |
| | | % | 89,6% | 10,4% | 100,0% |
| | 1998 | Počet | 142 | 18 | 160 |
| | | % | 88,8% | 11,3% | 100,0% |
| | 1999 | Počet | 138 | 19 | 157 |
| | | % | 87,9% | 12,1% | 100,0% |
| | 2000 | Počet | 128 | 21 | 149 |
| | | % | 85,9% | 14,1% | 100,0% |
| | 2001 | Počet | 124 | 20 | 144 |
| | | % | 86,1% | 13,9% | 100,0% |
| | 2002 | Počet | 128 | 17 | 145 |
| | | % | 88,3% | 11,7% | 100,0% |
| | 2003 | Počet | 124 | 23 | 147 |
| | | % | 84,4% | 15,6% | 100,0% |
| 2004 | Počet | 116 | 23 | 139 | |
| | % | 83,5% | 16,5% | 100,0% | |
| 2005 | Počet | 118 | 22 | 140 | |
| | % | 84,3% | 15,7% | 100,0% | |
| 2006 | Počet | 106 | 21 | 127 | |
| | % | 83,5% | 16,5% | 100,0% | |
| 2007 | Počet | 111 | 20 | 131 | |
| | % | 84,7% | 15,3% | 100,0% | |
| Celkem | | Počet | 2 286 | 381 | 2 667 |
| | | % | 85,7% | 14,3% | 100,0% |

Tabulka č. 2.25. – časový vývoj přeplňování u vznětových motorů

| Poměr přeplňování vznětových motorů | | | Přeplňování | | Celkem |
|-------------------------------------|------|-------|---------------|-------------|--------|
| | | | Nepřeplňované | Přeplňované | |
| Sledované období | 1990 | Počet | 24 | 16 | 40 |
| | | % | 60,0% | 40,0% | 100,0% |
| | 1991 | Počet | 24 | 16 | 40 |
| | | % | 60,0% | 40,0% | 100,0% |
| | 1992 | Počet | 24 | 16 | 40 |
| | | % | 60,0% | 40,0% | 100,0% |
| | 1993 | Počet | 16 | 17 | 33 |
| | | % | 48,5% | 51,5% | 100,0% |
| | 1994 | Počet | 13 | 20 | 33 |
| | | % | 39,4% | 60,6% | 100,0% |
| | 1995 | Počet | 10 | 21 | 31 |
| | | % | 32,3% | 67,7% | 100,0% |

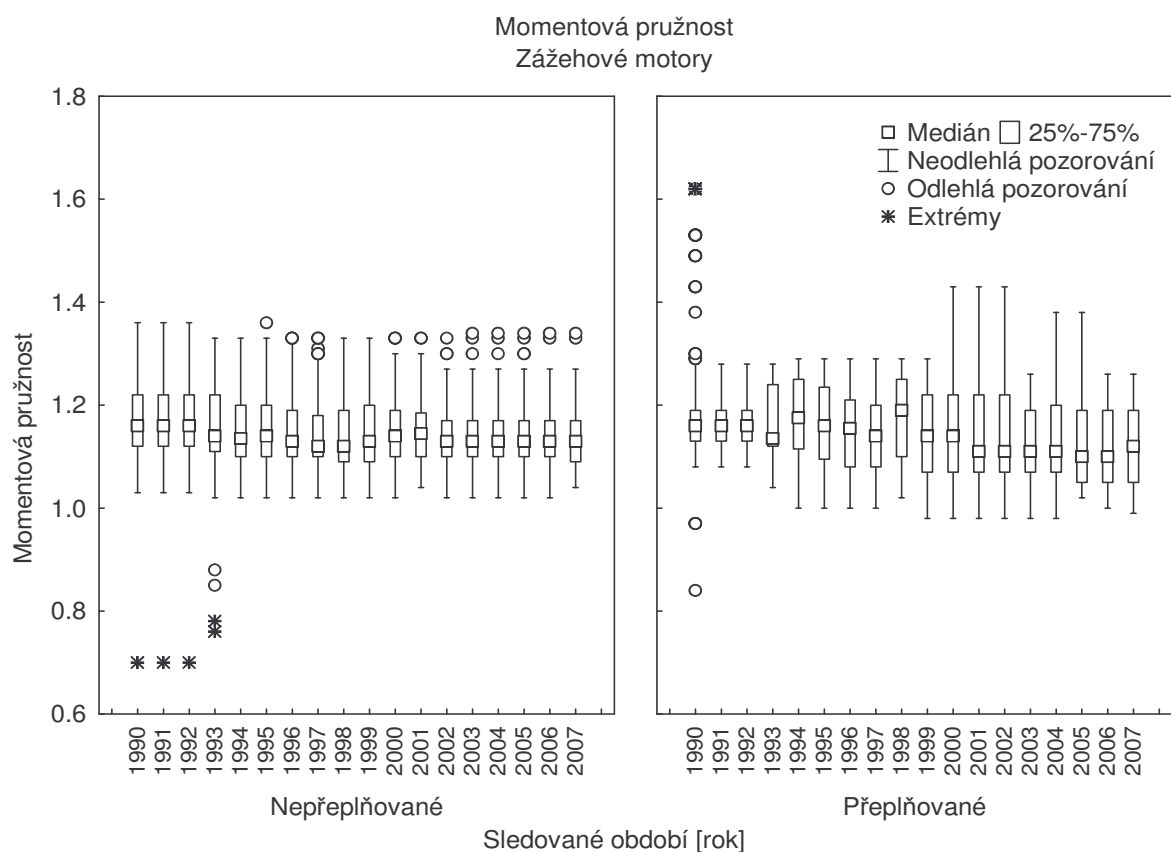
| | | | | |
|--------|-------|-------|-------|--------|
| 1996 | Počet | 8 | 20 | 28 |
| | % | 28,6% | 71,4% | 100,0% |
| 1997 | Počet | 8 | 21 | 29 |
| | % | 27,6% | 72,4% | 100,0% |
| 1998 | Počet | 8 | 19 | 27 |
| | % | 29,6% | 70,4% | 100,0% |
| 1999 | Počet | 9 | 20 | 29 |
| | % | 31,0% | 69,0% | 100,0% |
| 2000 | Počet | 10 | 26 | 36 |
| | % | 27,8% | 72,2% | 100,0% |
| 2001 | Počet | 8 | 25 | 33 |
| | % | 24,2% | 75,8% | 100,0% |
| 2002 | Počet | 8 | 28 | 36 |
| | % | 22,2% | 77,8% | 100,0% |
| 2003 | Počet | 4 | 32 | 36 |
| | % | 11,1% | 88,9% | 100,0% |
| 2004 | Počet | 4 | 32 | 36 |
| | % | 11,1% | 88,9% | 100,0% |
| 2005 | Počet | 4 | 41 | 45 |
| | % | 8,9% | 91,1% | 100,0% |
| 2006 | Počet | 3 | 41 | 44 |
| | % | 6,8% | 93,2% | 100,0% |
| 2007 | Počet | 1 | 41 | 42 |
| | % | 2,4% | 97,6% | 100,0% |
| Celkem | Počet | 186 | 452 | 638 |
| | % | 29,2% | 70,8% | 100,0% |



Graf č. 2.17. – směrodatné odchylky stř. pístové rychlosti

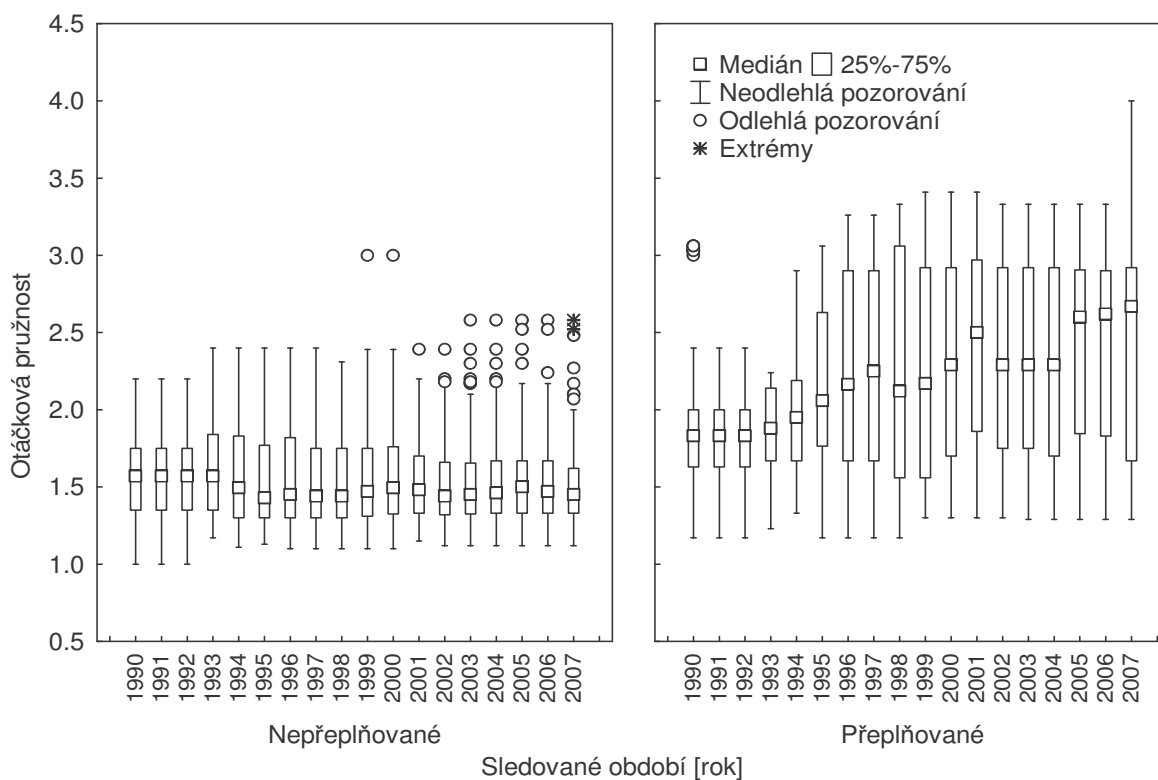
Tabulka č. 2.28. – směrodatné odchyly stř. pístové rychlosti

| Charakteristiky variability střední pístové rychlosti | | |
|---|---------------------------------------|--|
| Rok | Směrodatná odchylnka- zážehové motory | Směrodatná odchylnka - vznětové motory |
| 1990 | 1,880 | 0,707 |
| 1991 | 1,879 | 0,707 |
| 1992 | 1,879 | 0,707 |
| 1993 | 1,933 | 0,710 |
| 1994 | 1,819 | 0,719 |
| 1995 | 1,878 | 0,642 |
| 1996 | 1,872 | 0,665 |
| 1997 | 1,950 | 0,777 |
| 1998 | 1,871 | 0,834 |
| 1999 | 1,948 | 0,873 |
| 2000 | 1,983 | 0,903 |
| 2001 | 1,995 | 0,839 |
| 2002 | 2,068 | 0,874 |
| 2003 | 2,059 | 0,871 |
| 2004 | 2,078 | 0,884 |
| 2005 | 2,127 | 0,843 |
| 2006 | 2,075 | 0,895 |
| 2007 | 1,944 | 0,826 |



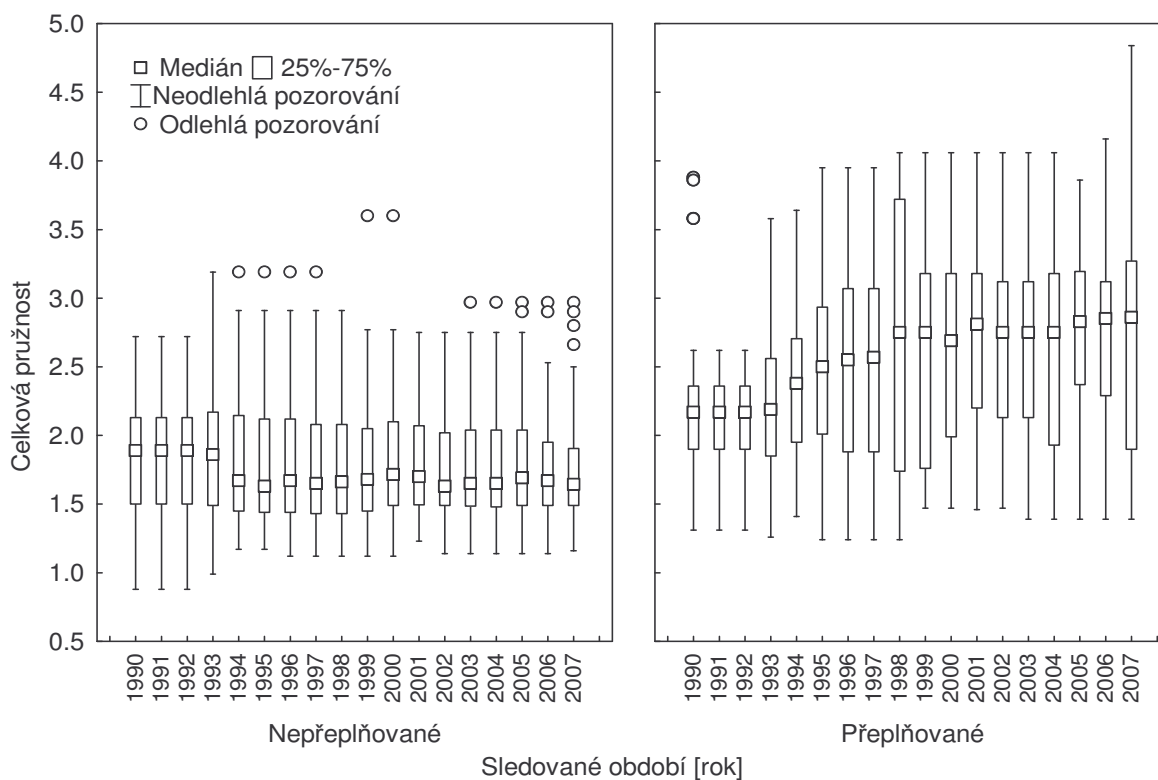
Graf č. 2.26. – vývoj momentové pružnosti u zážehových motorů

Otáčková pružnost
Zážehové motory

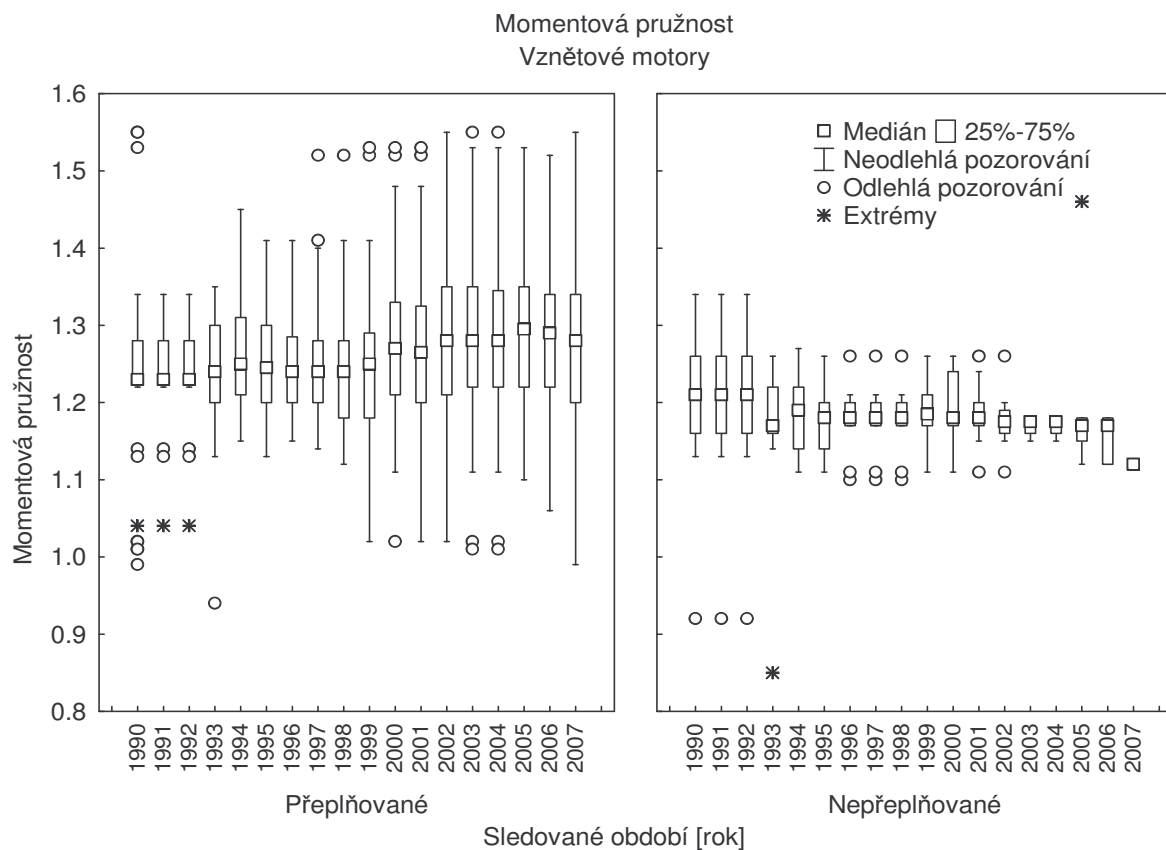


Graf č. 2.27. – vývoj otáčkové pružnosti u zážehových motorů

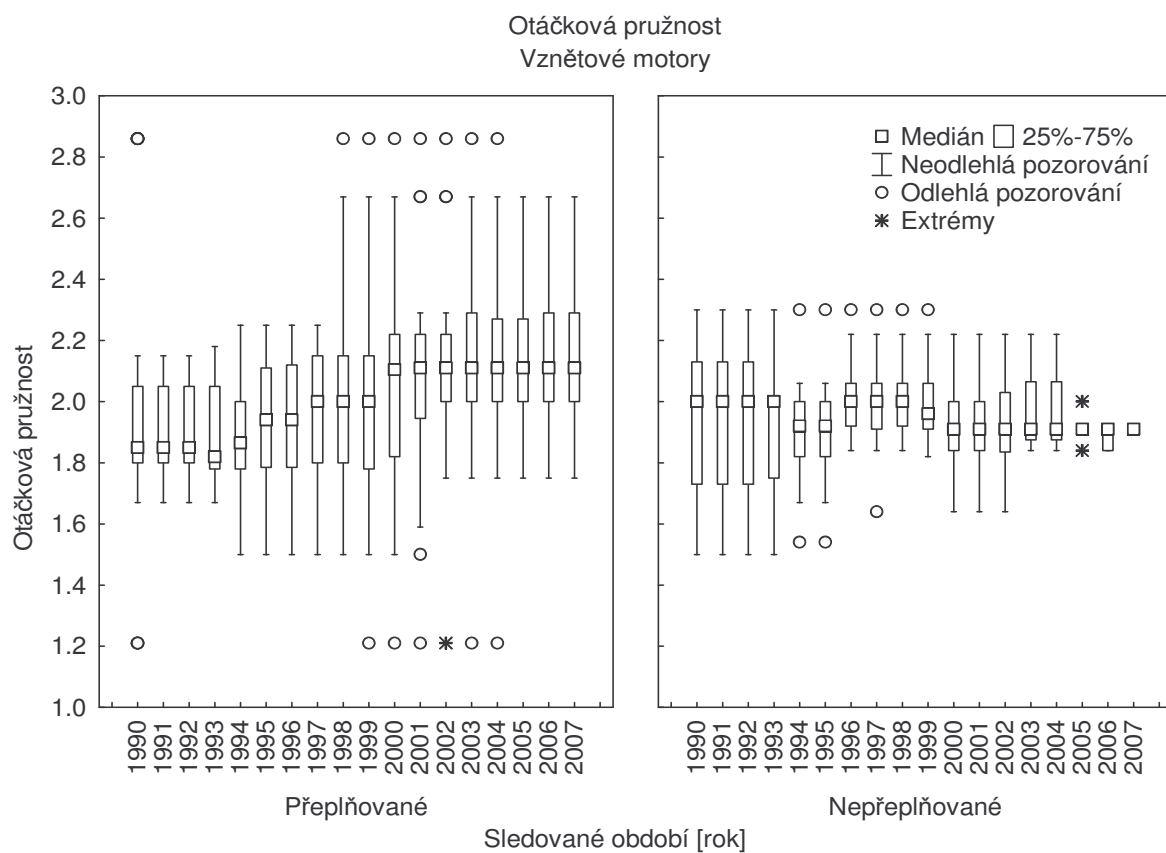
Celková pružnost
Zážehové motory



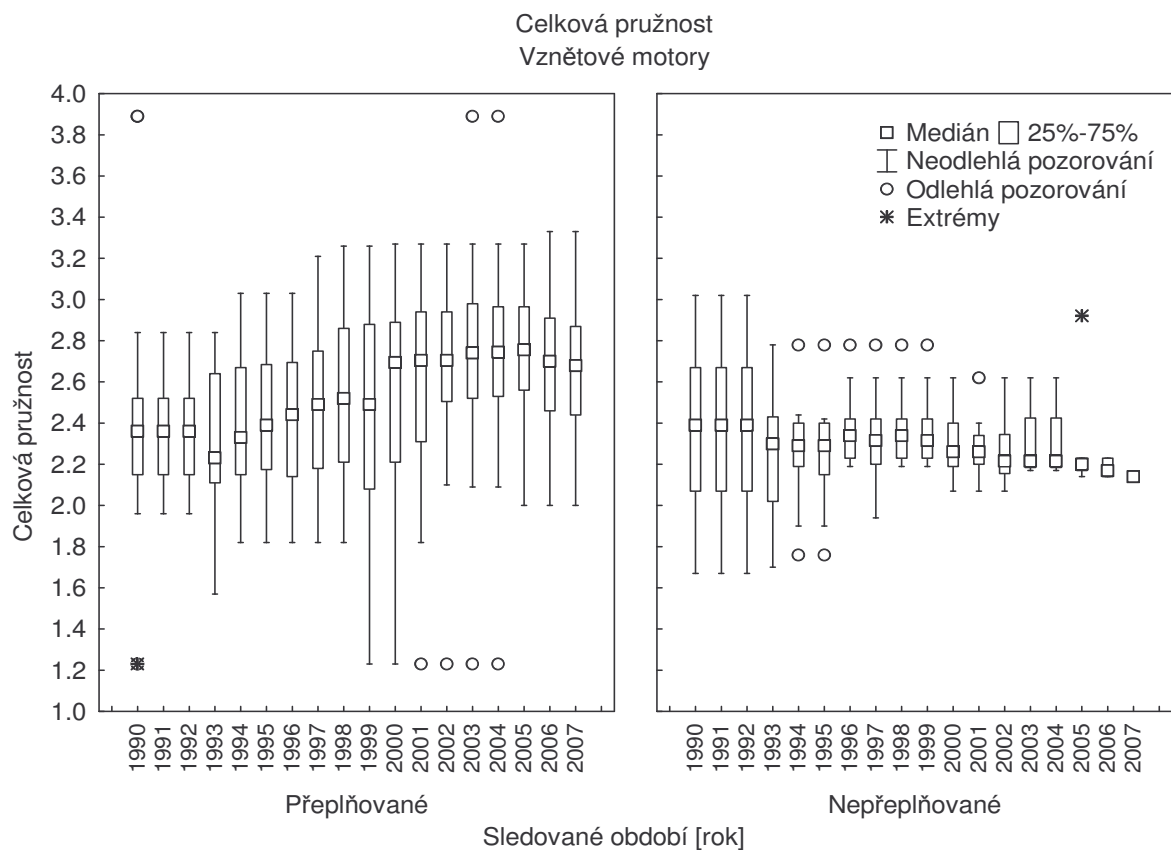
Graf č. 2.28. – vývoj celkové pružnosti u zážehových motorů



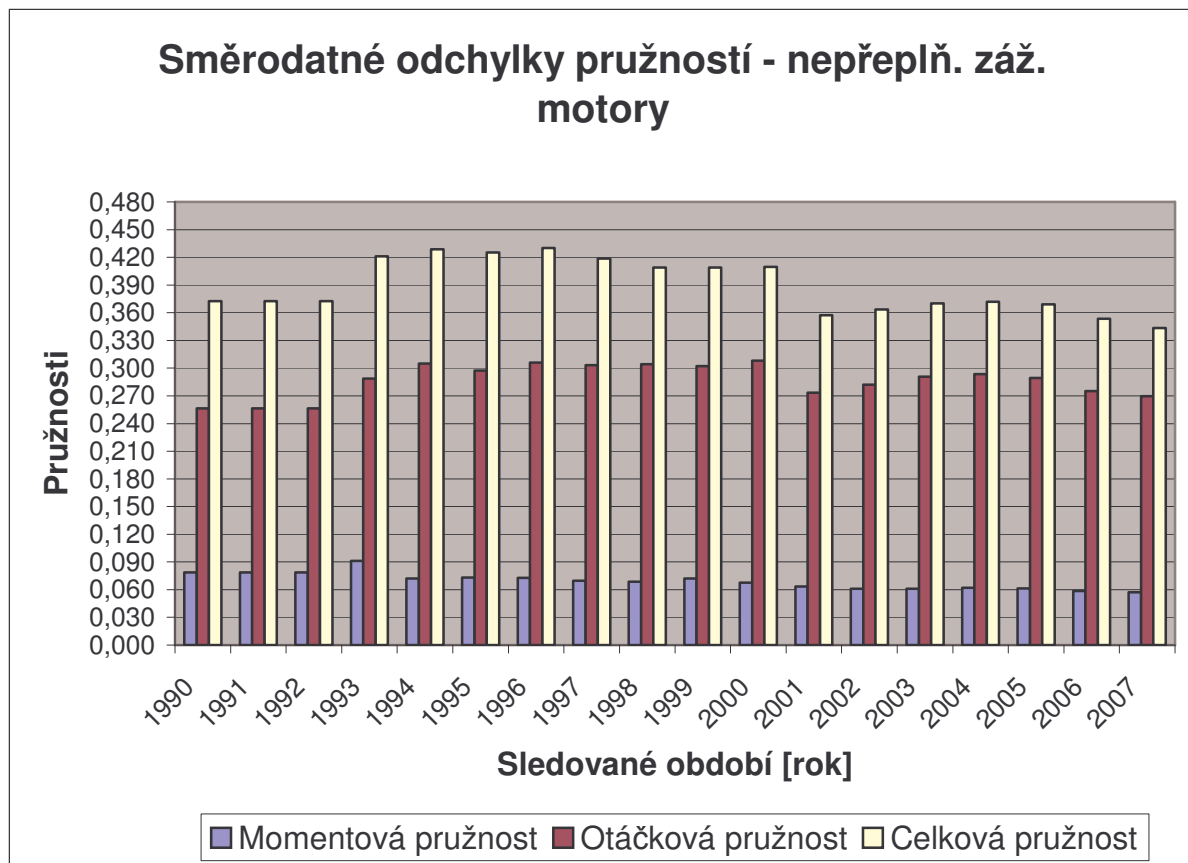
Graf č. 2.29. – vývoj momentové pružnosti u vznětových motorů



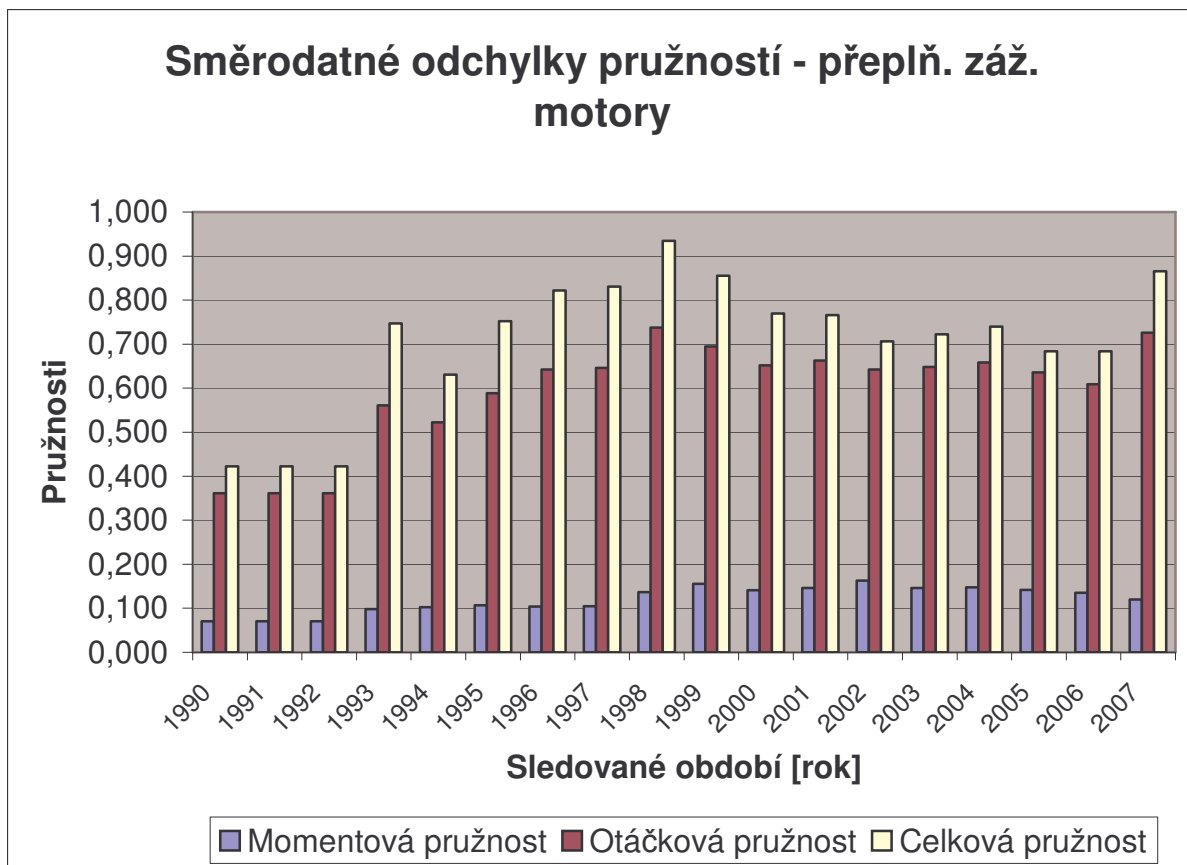
Graf č. 2.30. – vývoj otáčkové pružnosti u vznětových motorů



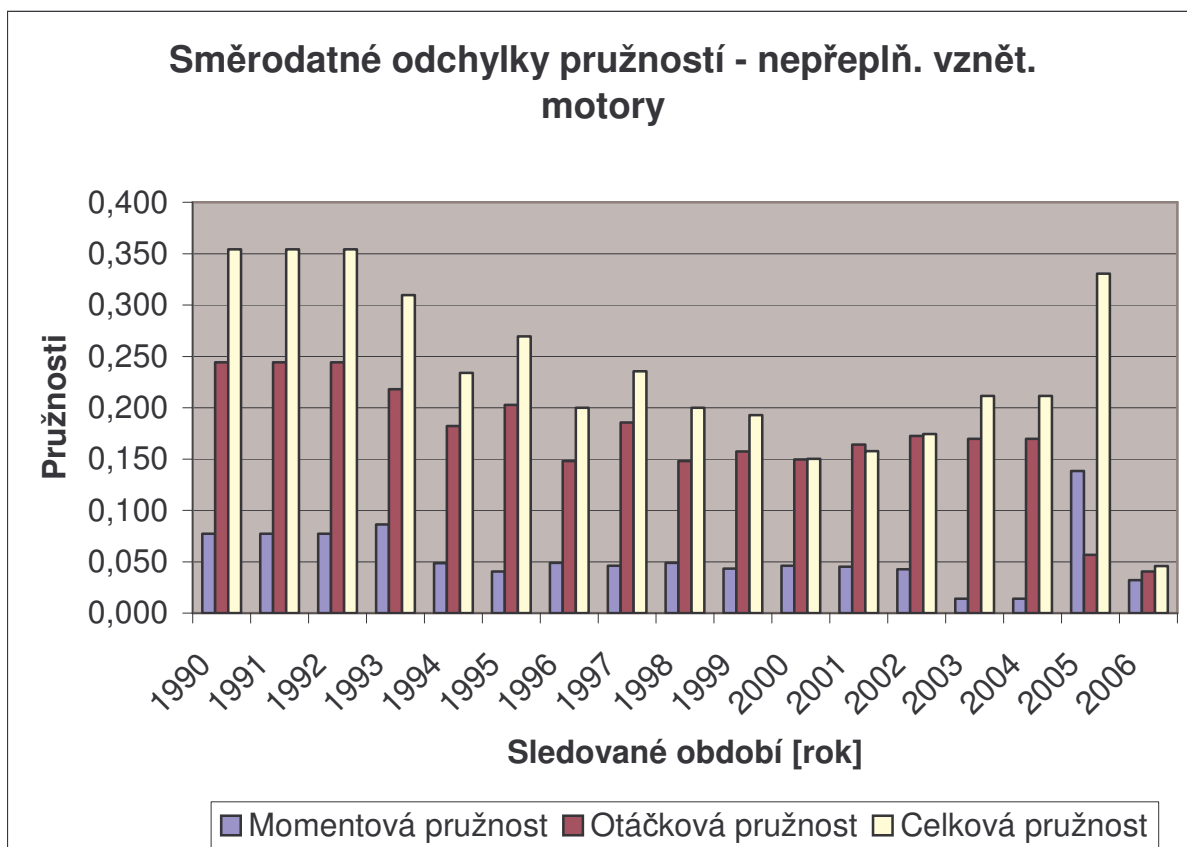
Graf č. 2.31. – vývoj celkové pružnosti u vznětových motorů



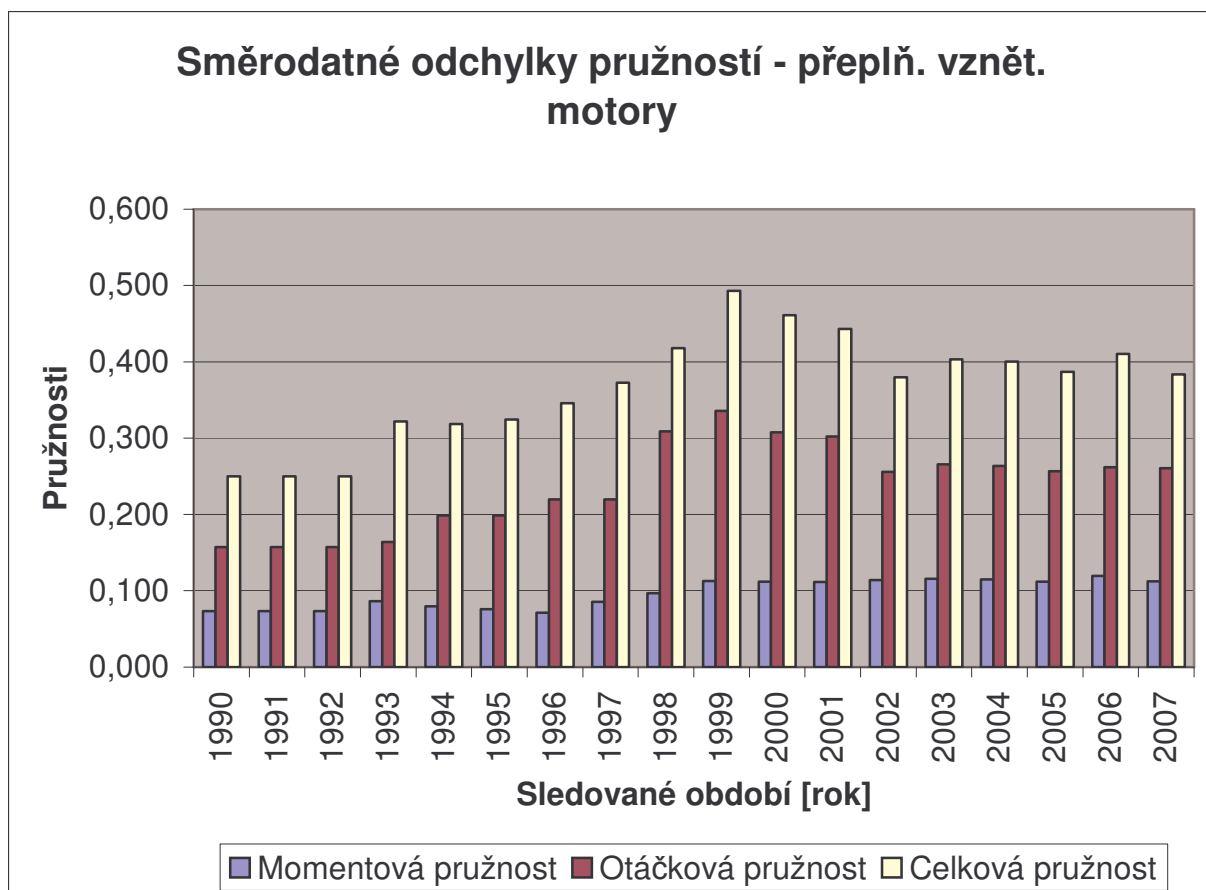
Graf č. 2.32. – směrodatné odchylky pružností u nepřepř. záž. motorů



Graf č. 2.33. – směrodatné odchytky pružností u přeplň. záž. motorů



Graf č. 2.34. – směrodatné odchytky pružností u nepřepř. vznět. motorů



Graf č. 2.35. – směrodatné odchylny pružností u přeplň. vznět. motorů

Tabulka č. 2.29. – směrodatné odchylny pružností nepřeplň. záž. motorů

| Charakteristiky variability pružností - zážehové nepřeplňované motory | | | |
|---|------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|
| Rok | Směr. odchylna- momentová pružnost | Směr. odchylna - otáčková pružnost | Směr. odchylna- celková pružnost |
| 1990 | 0,079 | 0,256 | 0,373 |
| 1991 | 0,079 | 0,256 | 0,373 |
| 1992 | 0,079 | 0,256 | 0,373 |
| 1993 | 0,091 | 0,289 | 0,421 |
| 1994 | 0,072 | 0,305 | 0,429 |
| 1995 | 0,073 | 0,297 | 0,425 |
| 1996 | 0,073 | 0,306 | 0,430 |
| 1997 | 0,070 | 0,303 | 0,419 |
| 1998 | 0,068 | 0,304 | 0,409 |
| 1999 | 0,072 | 0,302 | 0,409 |
| 2000 | 0,068 | 0,308 | 0,410 |
| 2001 | 0,063 | 0,274 | 0,357 |
| 2002 | 0,061 | 0,282 | 0,364 |
| 2003 | 0,061 | 0,291 | 0,370 |
| 2004 | 0,062 | 0,294 | 0,372 |
| 2005 | 0,061 | 0,289 | 0,369 |
| 2006 | 0,058 | 0,275 | 0,353 |
| 2007 | 0,057 | 0,270 | 0,343 |

Tabulka č. 2.30. – směrodatné odchytky pružností přeplň. záž. motorů

| Charakteristiky variability pružností - zážehové přeplňované motory | | | |
|--|------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|
| Rok | Směr. odchytky- momentová pružnost | Směr. odchytky - otáčková pružnost | Směr. odchytky- celková pružnost |
| 1990 | 0,070 | 0,361 | 0,422 |
| 1991 | 0,070 | 0,361 | 0,422 |
| 1992 | 0,070 | 0,361 | 0,422 |
| 1993 | 0,098 | 0,561 | 0,747 |
| 1994 | 0,102 | 0,522 | 0,631 |
| 1995 | 0,107 | 0,589 | 0,752 |
| 1996 | 0,104 | 0,643 | 0,822 |
| 1997 | 0,105 | 0,646 | 0,830 |
| 1998 | 0,137 | 0,738 | 0,935 |
| 1999 | 0,155 | 0,695 | 0,855 |
| 2000 | 0,141 | 0,652 | 0,770 |
| 2001 | 0,146 | 0,663 | 0,766 |
| 2002 | 0,163 | 0,642 | 0,707 |
| 2003 | 0,146 | 0,649 | 0,723 |
| 2004 | 0,148 | 0,658 | 0,740 |
| 2005 | 0,142 | 0,636 | 0,684 |
| 2006 | 0,135 | 0,609 | 0,684 |
| 2007 | 0,120 | 0,726 | 0,866 |

Tabulka č. 2.31. – směrodatné odchytky pružností nepřepř. vznět. motorů

| Charakteristiky variability pružností - vznětové nepřepř. motory | | | |
|---|------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|
| Rok | Směr. odchytky- momentová pružnost | Směr. odchytky - otáčková pružnost | Směr. odchytky- celková pružnost |
| 1990 | 0,077 | 0,244 | 0,354 |
| 1991 | 0,077 | 0,244 | 0,354 |
| 1992 | 0,077 | 0,244 | 0,354 |
| 1993 | 0,086 | 0,218 | 0,310 |
| 1994 | 0,048 | 0,182 | 0,234 |
| 1995 | 0,041 | 0,203 | 0,270 |
| 1996 | 0,049 | 0,148 | 0,200 |
| 1997 | 0,046 | 0,186 | 0,235 |
| 1998 | 0,049 | 0,148 | 0,200 |
| 1999 | 0,043 | 0,157 | 0,193 |
| 2000 | 0,046 | 0,150 | 0,150 |
| 2001 | 0,045 | 0,164 | 0,158 |
| 2002 | 0,043 | 0,173 | 0,174 |
| 2003 | 0,014 | 0,170 | 0,211 |
| 2004 | 0,014 | 0,170 | 0,211 |
| 2005 | 0,138 | 0,057 | 0,330 |
| 2006 | 0,032 | 0,040 | 0,046 |

Tabulka č. 2.32. – směrodatné odchytky pružností přeplň. vznět. motorů

| Charakteristiky variability pružností - vznětové přeplňované motory | | | |
|--|------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|
| Rok | Směr. odchytky- momentová pružnost | Směr. odchytky - otáčková pružnost | Směr. odchytky- celková pružnost |
| 1990 | 0,07322 | 0,1571 | 0,25004 |
| 1991 | 0,07322 | 0,1571 | 0,25004 |
| 1992 | 0,07322 | 0,1571 | 0,25004 |
| 1993 | 0,08633 | 0,164 | 0,32207 |
| 1994 | 0,0798 | 0,1986 | 0,31884 |
| 1995 | 0,07594 | 0,1987 | 0,32449 |
| 1996 | 0,07111 | 0,2196 | 0,34612 |
| 1997 | 0,08559 | 0,2198 | 0,37259 |
| 1998 | 0,09693 | 0,3089 | 0,41798 |
| 1999 | 0,11286 | 0,3359 | 0,4931 |
| 2000 | 0,11183 | 0,3076 | 0,46107 |

| | | | |
|------|---------|--------|---------|
| 2001 | 0,11139 | 0,3024 | 0,44327 |
| 2002 | 0,11391 | 0,2559 | 0,37988 |
| 2003 | 0,1159 | 0,266 | 0,40336 |
| 2004 | 0,11491 | 0,2638 | 0,40021 |
| 2005 | 0,11197 | 0,2564 | 0,387 |
| 2006 | 0,11961 | 0,2622 | 0,41058 |
| 2007 | 0,11238 | 0,2606 | 0,38366 |

Použité zdroje:

- [1] BOHUMIL FERENC. Spalovací motory, Computer Press a.s. Brno, 2004. 388 s. ISBN 80-251-0207-6
- [2] EDUARD SOUČEK. Základy pravděpodobnosti a statistiky, Univerzita Pardubice. Pardubice, 2005. 170 s. ISBN 80-7194-611-7
- [3] FRANTIŠEK VLK. Vozidlové spalovací motory, Prof. Ing. František Vlk, DrSc., nakladatelství a vydavatelství. Brno, 2003. 580 s. ISBN 80-238-8756-4
- [4] MIROSLAV TESAŘ, IVO ŠEFČÍK. Konstrukce vozidlových spalovacích motorů, Univerzita Pardubice. Pardubice, 2003. 172 s. ISBN 80-7194-550-1
- [5] EHL.cz. [online]. [cit. 2007-11-01]. Dostupné z WWW:
<<http://www.ehl.cz/>>
- [6] Bosch.de [online]. [cit. 2007-11-01]. Dostupné z WWW:
<<http://rb-k.bosch.de/>>
- [7] Dílenská učební pomůcka Škoda č. 55. Zážehové motory FSI, Škoda auto a.s. Mladá Boleslav, 2004. 60 s. bez ISBN
- [8] Honda club.cz [online]. [cit. 2007-11-01]. Dostupné z WWW:
<<http://www.hondaclub.cz/>>
- [9] MIROSLAV VALA, MIROSLAV TESAŘ. Teorie a konstrukce silničních vozidel I, Univerzita Pardubice. Pardubice, 2002. 230 s. ISBN 80-7194-503-X
- [10] JOSEF KAMEŠ. Alternativní pohony automobilů, Ben-technická literatura. Praha, 2004. 232 s. ISBN 80-7300-127-6

ÚDAJE PRO KNIHOVNICKOU DATABÁZI

| | |
|---------------|--|
| Název práce | Analýza vývoje v oblasti zdokonalování pístových spalovacích motorů |
| Autor práce | Lukáš Kala |
| Obor | Silniční dopravní prostředky |
| Rok obhajoby | 2008 |
| Vedoucí práce | doc. Ing. Milan Graja, CSc. |
| Anotace | <p>Tato bakalářská práce je zaměřena na analýzu vývoje pístových spalovacích motorů osobních automobilů v uplynulých 20 letech. Její součástí je obecná analýza za využití statistických metod a technická analýza vybraných inovačních trendů. V další části práce jsou vybrané typické příklady konstrukcí a jejich zhodnocení. Závěr obsahuje zpracování vlastního ideového návrhu spalovacího motoru a shrnutí získaných poznatků.</p> |
| Klíčová slova | <ul style="list-style-type: none">- spalovací motor- obecná analýza vývoje spalovacích motorů- technické analýza vývoje spalovacích motorů- ideový návrh spalovacího motoru- příklady konstrukce spalovacích motorů |

FORMULÁŘ PRO ZPŘÍSTUPNĚNÍ PRÁCE V ELEKTRONICKÉ FORMĚ – ČESKY

| | | | |
|-------------------------------|--|-------------------|----------------|
| Typ dokumentu | <i>bakalářská práce</i> | | |
| Autor | Kala, Lukáš | | |
| E-mail adresa autora | lkala@post.cz | | |
| URN | <i>doplní knihovna</i> | | |
| Název závěrečné práce | Analýza vývoje v oblasti zdokonalování pístových spalovacích motorů | | |
| Stupeň studia | <i>bakalářské</i> | | |
| Katedra | Katedra dopravních prostředků | | |
| Vedoucí práce, školitelé | doc. Ing. Milan Graja, CSc., vedoucí práce | | |
| Klíčová slova | <ul style="list-style-type: none"> - spalovací motor - obecná analýza - technické analýza - návrh spalovacího motoru - příklady konstrukce | | |
| Datum obhajoby | 2008-1- | | |
| Označení rozsahu zpřístupnění | <i>1/ souhlasím se zveřejněním celé práce</i> | Datum: 20.11.2007 | Podpis autora: |
| Abstrakt | <p>Tato bakalářská práce je zaměřena na analýzu vývoje pístových spalovacích motorů osobních automobilů v uplynulých 20 letech. Její součástí je obecná analýza za využití statistických metod a technická analýza vybraných inovačních trendů. V další části práce jsou vybrané typické příklady konstrukcí a jejich zhodnocení. Závěr obsahuje zpracování vlastního ideového návrhu spalovacího motoru a shrnutí získaných poznatků.</p> | | |
| Název souboru | <i>Kala_bakalarprace.pdf</i> | Velikost souboru | 2027 Kb |

FORMULÁŘ PRO ZPŘÍSTUPNĚNÍ PRÁCE V ELEKTRONICKÉ FORMĚ – ANGLICKY

| | | | |
|-------------------------|---|------|---------|
| Type of Document | <i>Thesis</i> | | |
| Author | Kala, Lukáš | | |
| Author's E-mail Address | lkala@post.cz | | |
| URN | <i>doplň knihovna</i> | | |
| Title | An analysis of the progress of piston combustion-engines | | |
| Degree | <i>Master</i> | | |
| Department | Department of transport means | | |
| Advisory Committee | doc. Ing. Milan Graja, CSc., supervisor | | |
| Keywords | <ul style="list-style-type: none"> - combustion engine - general analysis - technical analysis - engine design - examples of construction | | |
| Date of Defense | 2008-1- | | |
| Availability | <i>1/ Unrestricted</i> | | |
| Abstract | <p>This bachelor thesis is focused on analysing of progress of piston combustion-engines in the last 20 years. It contains general statistical analyses and technical analyses of selected innovative approaches. In the next section, there are examples of typical engine-constructions and their evaluations. Conclusions include a design of my own combustion-engine and summary of important pieces of knowledge.</p> | | |
| <i>Filename</i> | <i>Kala_bakalarprace.pdf</i> | Size | 2027 Kb |