



Obor: 2341R Dopravní stroje a zařízení
Zaměření: Stroje a zařízení

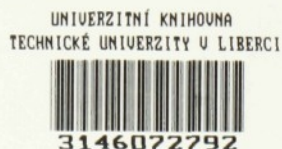
Rozbor změn výkonových parametrů motoru v průběhu záběhu

Jan Lacina
KSD – BP – 85

Vedoucí bakalářské práce: doc.Ing. Lubomír Moc,CSc.
Konzultant bakalářské práce: Milan Novotný – ŠKODA AUTO a.s.

Rozsah práce a příloh:

Počet stran : 36
Počet obrázků : 19
Počet tabulek : 1
Počet grafů : 20
Počet příloh : 1



V Liberci, 20. května 2003



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta strojní

Katedra strojů průmyslové dopravy

Studijní rok: 2001/2002

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jméno a příjmení	Jan L a c i n a
obor	Strojírenství
zaměření	dopravní stroje a zařízení

Ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách se Vám určuje bakalářská práce na téma:

ROZBOR ZMĚN VÝKONOVÝCH PARAMETRŮ MOTORU V PRŮBĚHU ZÁBĚHU

Zásady pro vypracování:

(uveďte hlavní cíle bakalářské práce a doporučené metody pro vypracování)

1. V rešeršní části analyzujte faktory ovlivňující účinnosti spalovacího motoru.
2. Proveďte rozbor časového vývoje odlišností vložených válců motoru včetně statistického posouzení plnění předepsaných tolerancí hlavních rozměrů válce.
3. Navrhněte metodiku experimentu k ověření vlivu doby záběhu motoru na výkonové parametry motoru a proveďte zkoušky na vybraném souboru vzorků motoru.
4. Z údajů experimentu stanovte závislost výkonu motoru na době záběhu motoru.

V 108/04 Sb

KSD/DSZ
40A [8]A
tab, obr. grafy

Forma zpracování bakalářské práce:

- průvodní zpráva: min. 30 stran textu, rešerše, popis zvolené metodiky měření a popis způsobu vyhodnocení naměřených veličin.
- Stanovení závislosti výkonu na době záběhu motoru.

Seznam literatury (uved'te doporučenou odbornou literaturu):

Podkladové materiály firmy Škoda Auto a. s.

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Lubomír Moc, CSc.

Konzultant bakalářské práce: M. Novotný, Škoda Auto a. s.



A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Beroun".

Prof. Ing. Stanislav Beroun, CSc.
vedoucí katedry

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Prášil".

Doc. Ing. Ludvík Prášil, CSc.
děkan

V Liberci dne 06.03.2002

Platnost zadání bakalářské práce je 15 měsíců od výše uvedeného data. Termíny odevzdání bakalářské práce jsou určeny pro každý studijní rok a jsou uvedeny v harmonogramu výuky.



Hálkova 6, 461 18 Liberec

Tel.: 485 353 130, fax: 485 353 139

ANOTACE

JMÉNO:	Jan Lacina
OBOR:	2341R Stroje a zařízení
ZAMĚŘENÍ:	Dopravní stroje a zařízení
ZADÁNÍ PRÁCE:	Rozbor změn výkonových parametrů motoru v průběhu záběhu
ČÍSLO PRÁCE:	KSD – BP – 85
VEDOUCÍ PROJEKTU:	doc.Ing.Lubomír Moc,CSc.
KONZULTANT:	Milan Novotný – ŠKODA AUTO a.s.

Bakalářská práce řeší otázku zabíhání pístových spalovacích motorů. První část práce popisuje teoretické poznatky o termodynamice oběhu a účinnostech pístových spalovacích motorů. V druhé části jsou vyhodnoceny jednotlivé experimenty a jejich výsledky vzájemně porovnány.



Hálkova 6, 461 18 Liberec

Tel.: 485 353 130, fax: 485 353 139

ANNOTATION

NAME:	Jan Lacina
SPECIALIZATION:	2341R Mechanical Engineering
FOCUSING:	Transport machines and devices
THEME OF BSC WORK:	Analysis power characteristics changes of engines during running-in
NUMBER OF BSC WORK:	KSD – BP – 85
LEADER OF BSC WORK:	doc.Ing.Lubomír Moc,CSc.
CONSULTER:	Milan Novotný – ŠKODA AUTO a.s.

The bachelor of science work solves the question of running-in of piston combustion engines. The first part of the work contains theoretical knowledge of thermodynamics of the cycles of piston combustion engines. The second part contains analysis of experiments and their results are compared.

Prohlášení

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

Datum: 20.05.2003

Podpis:

Jan Lein

Obsah

1. Úvod	9
2. Teorie pracovního oběhu	10
2.1. Teoretický pracovní oběh	11
2.1.1. Bod 1	11
2.1.2. Bod 2	11
2.1.3. Bod 3	12
2.1.4. Bod 4	12
2.1.5. Použité zkratky veličin a jejich jednotky	13
2.2. Skutečný pracovní oběh	14
2.3. Účinnost pístového spalovacího motoru	15
2.3.1. Chemická účinnost	15
2.3.1.1. Možnosti ovlivnění	15
2.3.2. Teoretická účinnost oběhu	16
2.3.3. Součinitel plnosti diagramu	16
2.3.4. Mechanická účinnost	16
2.3.4.1. Možnosti ovlivnění	17
2.3.5. Další možnosti zvýšení účinnosti motoru	17
3. Motor 1.2 HTP	18
3.1. Stručná charakteristika	18
3.2. Hlavní rozměry motoru	19
3.3. Výkonové a další parametry a jejich průběh	19
3.4. Použití motoru	19
4. Posouzení vývoje odlišností vložených válců	20
4.1. Vznik opotřebení	20
4.1.1. Vznik tvarových odlišností	20
4.1.2. Vznik odlišností mikrogeometrie	21
4.2. Měření drsnosti stěn válců	21
4.2.1. Dotykové měření drsnosti	21
4.2.2. Optické měření drsnosti	21

4.3. Změny tvaru povrchu vložky po simulovaných 50.000 km	22
4.3.1. 1.válec	22
4.3.2. 2.válec	23
4.3.3. 3.válec	24
4.4. Změny průměru vložky po 100.000 km ve voze	25
4.5. Změny drsnosti povrchu po simulovaných 50.000 km	25
5. Změny výkonostních parametrů v závislosti na čase	27
5.1. Měření vnějších charakteristik motoru	27
5.2. Použitá data	27
5.3. Průběh měření	28
5.3.1. Průběh měření zkoušky na brzdě po 5 hodinách	28
5.4. Vyhodnocení dat z jízdní zkoušky 100.000 km	28
5.4.1. Změna výkonu	29
5.4.2. Změna točivého momentu	30
5.4.3. Změna měrné spotřeby	31
5.5. Vyhodnocení zkoušky na brzdě po 20 a 40 hodinách	32
5.5.1. Změna výkonu	32
5.5.2. Změna točivého momentu	33
5.5.3. Změna měrné spotřeby	34
5.6. Vyhodnocení zkoušky na brzdě po 5 hodinách	35
5.6.1. Změna výkonu	35
5.6.2. Změna točivého momentu	36
5.6.3. Změna měrné spotřeby	37
5.7. Vyhodnocení a vzájemné porovnání zkoušek	38
6. Závěr	39
7. Použitá literatura	40

1. Úvod

Cílem této práce je seznámení s problematikou záběhu spalovacích motorů, s ohledem na jeho způsob a dobu trvání.

Význam záběhu spočívá zejména ve skutečnosti, že významně ovlivňuje budoucí provozní parametry motoru. Jedná se nejen o výkonové a ekonomické charakteristiky, ale také o životnost motoru a jeho částí. Tyto změny jsou zajímavé pro provozovatele vozidla, neboť mohou přispět k finančním úsporám, ale také pro výrobce, protože přispívají ke spokojenosti zákazníka.

Pro vypracování závěrů jsem použil data získaná od firmy Škoda Auto.

Zajištěný soubor dat je ovlivněn značnou finanční nákladností zkoumaných experimentů, zejména ve vztahu k délce jeho trvání a ceně zkoušeného motoru.

2. Teorie pracovního oběhu

Pístový spalovací motor je tepelný stroj přeměňující chemickou energii, obsaženou v dodávaném palivu, na energii pohybovou. Tato přeměna se uskutečňuje pomocí spalování dodávané směsi paliva se vzduchem ve spalovacím prostoru válce motoru.

Obecně lze tento pochod vyjádřit následujícími vztahy:

$$P_e = \dot{m}_v i_1 + \dot{m}_p H_u \eta_{CH} - \dot{m}_{vp} i_2 - Q_o$$

což je výkonová bilance tepelného motoru, kde:

P_e ... efektivní výkon motoru [W]

$\dot{m}_v$... hmotnostní tok vzduchu do motoru [kg s⁻¹]

i_1 ... entalpie vzduchu na vstupu do motoru [J kg⁻¹]

$\dot{m}_p$... hmotnostní tok paliva do motoru [kg s⁻¹]

H_u ... výhřevnost paliva (dolní) [J kg⁻¹]

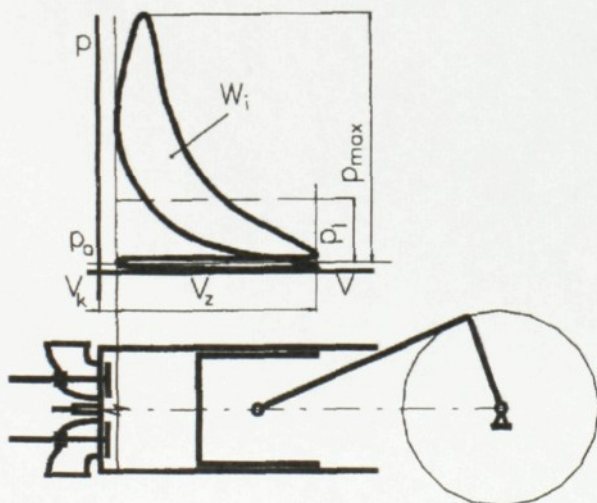
η_{CH} ... chemická účinnost spalování paliva [-]

$\dot{m}_{vp}$... hmotnostní tok výfukových plynů [kg s⁻¹]

i_2 ... entalpie výfukových plynů [J kg⁻¹]

Q_o ... celkový tepelný výkon chlazení [W]

Celkovou účinnost motoru lze pak vyjádřit vztahem $\eta_c = \frac{P_e}{\dot{m}_p H_u}$



2.1. Teoretický pracovní oběh

Pracovní oběh motoru se skládá z kombinace objemových změn náplně válce, přívodu tepla prostřednictvím hoření směsi a výměny náplně válce s odvodem tepla z oběhu.

Teoretický oběh zážehového motoru se skládá z adiabatické komprese, izochorického přívodu tepla, izobarického přívodu tepla, adiabatické expanze a izochorického odvodu tepla.

Adiabatická komprese nastává mezi body **1-2**,
 izochorický přívod tepla se uskutečňuje mezi body **2-3**,
 k adiabatické expanzi dochází mezi body **3-4**,
 a k izochorickému odvodu tepla dojde mezi body **4-1**.

V jednotlivých charakteristických bodech grafu dosahují zjišťované veličiny následujících hodnot.

2.1.1. Bod 1

$$p_1, V_1 (V_1 = V_z + V_k), M, T_1$$

2.1.2. Bod 2

$$V_2 = V_k$$

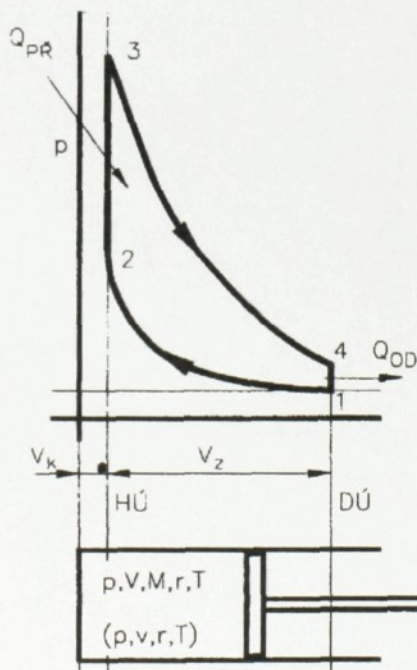
$$p_1 \cdot V_1^\kappa = p_2 \cdot V_2^\kappa \Rightarrow p_2 = p_1 \cdot \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^\kappa = p_1 \cdot \varepsilon^\kappa$$

$$p_2 \cdot V_2 = M \cdot r \cdot T_2$$

$$p_1 \cdot V_1 = M \cdot r \cdot T_1$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{p_2}{p_1} \cdot \frac{V_2}{V_1} = \frac{p_1 \cdot \varepsilon^\kappa}{p_1} \cdot \frac{V_2}{V_1} = \varepsilon^{\kappa-1}$$

$$T_2 = T_1 \cdot \varepsilon^{\kappa-1}$$



2.1.3. Bod 3

$$V_3 = V_2$$

$$Q_{PR} = M \cdot c_v \cdot (T_3 - T_2)$$

$$T_3 = \frac{Q_{PR}}{M \cdot c_v} + T_2 = \frac{Q_{PR}}{M \cdot c_v} + T_1 \cdot \varepsilon^{\kappa-1}$$

$$\frac{p_3}{p_2} = \frac{T_3}{T_2} \Rightarrow p_3 = p_2 \cdot \frac{T_3}{T_2} = p_1 \cdot \varepsilon^{\kappa} \cdot \frac{\frac{Q_{PR}}{M \cdot c_v} + T_1 \cdot \varepsilon^{\kappa-1}}{T_1 \cdot \varepsilon^{\kappa-1}}$$

$$p_3 = p_1 \cdot \varepsilon^{\kappa} \cdot \left(\frac{Q_{PR}}{M \cdot c_v \cdot T_1 \cdot \varepsilon^{\kappa-1}} + 1 \right)$$

2.1.4. Bod 4

$$V_4 = V_1$$

$$p_3 \cdot V_3^{\kappa} = p_4 \cdot V_4^{\kappa} \Rightarrow p_4 = p_3 \cdot \left(\frac{V_3}{V_4} \right)^{\kappa} = p_3 \cdot \frac{1}{\varepsilon^{\kappa}}$$

$$p_4 = p_1 \cdot \left(\frac{Q_{PR}}{M \cdot c_v \cdot T_1 \cdot \varepsilon^{\kappa-1}} + 1 \right)$$

$$T_4 = T_3 \cdot \frac{1}{\varepsilon^{\kappa-1}} = \frac{Q_{PR}}{M \cdot c_v \cdot \varepsilon^{\kappa-1}} + T_1$$

$$Q_{OD} = M \cdot c_v \cdot (T_4 - T_1) = \frac{Q_{PR}}{\varepsilon^{\kappa-1}}$$

Teoretická práce oběhu $W_t = Q_{PR} - Q_{OD} = Q_{PR} \cdot \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{\kappa-1}} \right)$

Teoretická účinnost oběhu $\eta_t = \frac{W_t}{Q_{PR}} = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{\kappa-1}}$

2.1.5. Použité zkratky veličin a jejich jednotky

p_1 – tlak v bodě 1 [Pa]

V_1 – objem v bodě 1 [m^3]

V_k – kompresní objem [m^3]

V_z – zdvihový objem [m^3]

T_1 – termodynamická teplota v bodě 1 [K]

M – hmotnost pracovní látky ve válci [kg]

κ – adiabatický exponent [-]

ε – kompresní poměr [-]

p_2 – tlak v bodě 2 [Pa]

V_2 – objem v bodě 2 [m^3]

T_2 – termodynamická teplota v bodě 2 [K]

p_3 – tlak v bodě 3 [Pa]

V_3 – objem v bodě 3 [m^3]

T_3 – termodynamická teplota v bodě 3 [K]

Q_{PR} – dodané teplo [J]

c_v – měrná tepelná kapacita při konstantním objemu [kJ/kg K]

p_4 – tlak v bodě 4 [Pa]

V_4 – objem v bodě 4 [m^3]

T_4 – termodynamická teplota v bodě 4 [K]

Q_{OD} – odvedené teplo [J]

W_t – technická práce oběhu [J]

η_t – teoretická účinnost oběhu [-]

2.2. Skutečný pracovní oběh

U skutečného motoru se pracovní motor odlišuje od teoretického z důvodu zjednodušení teoretického oběhu vůči skutečnosti:

- pracovní látkou je reálný plyn s proměnlivým složením
- objemové změny jsou nevratné a probíhají konečnou rychlostí
- dochází k přestupu tepla do stěn válce a pístu (cca 20% přivedeného tepla)
- počátek komprese a konec expanze jsou ovlivněny časováním ventilů
- průběh hoření směsi neodpovídá teoretickým modelům
- spaliny mohou zaujmout jiný objem než původní směs
- na vytlačení spalin je potřeba vynaložit část energie

Z těchto bodů můžeme přímo ovlivnit pouze časování ventilů a částečně, s přihlédnutím k vnějším podmínkám, složení směsi. Ovlivnění průběhu hoření lze dosáhnout vhodným řešením plnění válce směsí při současné optimalizaci zapalování.

Složení směsi je z velké části ovlivněno vnějšími podmínkami, konkrétně následujícími parametry nasávaného vzduchu – **tlakem, teplotou, vlhkostí a obsahem kyslíku.**

Optimální je co nejvyšší tlak, vlhkost a obsah kyslíku při co nejnižší teplotě.

Časování ventilů je ovlivněno jednak programově pomocí vačkového hřídele, ale také vůlemi v rozvodovém ústrojí, zejména ventilovou vůlí. Při poruše časování ventilů může při vyšších otáčkách dojít i k destrukci motoru, zapříčiněné střetem ventilů s pístem.

2.3. Účinnost pístového spalovacího motoru

Celková účinnost vyjadřuje efektivitu přeměny chemické energie, obsažené v palivu, na energii mechanickou na klikovém hřídeli.

U vozidlových motorů se blíží až k 50% (u přeplňovaných vznětových motorů).

Ztráty jsou zapříčiněny nedokonalostí spalování, přestupem tepla do stěn spalovacího prostoru a mechanickými vlivy.

$$\eta_C = \eta_{CH} \cdot \eta_t \cdot \eta_{PL} \cdot \eta_m$$

kde - η_c - celková účinnost

- η_{CH} - chemická účinnost (**0,97 – 0,99**)
- η_t - teoretická účinnost oběhu (**0,57 – 0,70**)
- η_{PL} - součinitel plnosti diagramu (**0,60 – 0,75**)
- η_m - mechanická účinnost motoru (**0,75 – 0,90**)

2.3.1. Chemická účinnost

Vyjadřuje využití chemické energie obsažené v palivu a účinnost spalovacího procesu, při kterém dochází k chemickým reakcím uhlíku a vodíku obsažených v palivu se vzdušným kyslíkem a dusíkem. Výsledkem těchto reakcí jsou vodní pára, oxidy uhlíku a oxidy dusíku. Tato účinnost závisí na složení směsi - především na vlastnostech paliva a parametrech nasávaného vzduchu, zejména jeho teplotě a vlhkosti.

2.3.1.1. Možnosti ovlivnění

U moderních motorů je tato účinnost ovlivňována elektronickou řídicí jednotkou - na základě údajů o teplotě a množství nasávaného vzduchu, údajů z lambda sondy a polohy škrtící klapky volí optimální množství vstřikovaného paliva pro dosažení ideálního spalování a tím splnění emisních, ekonomických a výkonnostních požadavků. Teplotu nasávaného vzduchu lze snížit použitím chladiče nasávaného vzduchu.

Významně lze tuto účinnost ovlivnit i volbou vhodného paliva, zejména s ohledem na jeho čistotu, antidekonační vlastnosti a další použítá aditiva.

2.3.2. Teoretická účinnost oběhu

Vyjadřuje účinnost příslušného teoretického oběhu

– viz. Kapitola 2.1. Teoretický pracovní oběh

2.3.3. Součinitel plnosti diagramu

Je poměr mezi indikovanou a teoretickou prací ideálního oběhu, mj. ovlivněno těsností spalovacího prostoru, která se v průběhu provozu motoru mění v závislosti na stavu ventilových sedel a ventilů.

Hlavní vliv má stav povrchu válce a pístních kroužků.

O této účinnosti nám podává obrázek tzv. **Blow-By test**, při kterém se měří množství spalin pronikajících do klikové skříně.

2.3.4. Mechanická účinnost

vyjadřuje mechanické ztráty motoru – tření mezi pístními kroužky a válcem, na pístních a ojnicích čepech, i v hlavních ložiskách klikového hřídele.

Do mechanické účinnosti se zahrnuje také účinnost naplnění válce směsí a práce potřebná na její výměnu. Tato účinnost se v průběhu životnosti motoru mění nejvýrazněji. Nejprve se významně zvýší v průběhu záběhu a později začne klesat se stoupajícím opotřebením jednotlivých kluzných ploch.

Opotřebením jednotlivých ploch je možno zjistit jejich měřením, rozbořem oleje po zkoušce – z obsahu kovových částic lze usoudit na jejich původ, nebo radiologicky – jednotlivé díly jsou opatřeny radioaktivním nátěrem a vyhodnocuje se radioaktivita oleje.

Nejvýznamněji se dle zkušeností projevuje tření mezi pístními kroužky a stěnou válce a pístem a stěnou válce (zejména v obou úvratích – vlivem naklápění pístu na čepu).

2.3.4.1. Možnosti ovlivnění

Tření mezi pístními kroužky a stěnou válce lze ovlivnit vhodným výběrem tvaru těsnících kroužků – při vhodném tvaru je možné snížit tečnou sílu na kroužky, a tím i jejich odpor, při stejném těsnícím účinku.

Tření mezi pístem a stěnou válce lze ovlivnit také vhodnou povrchovou úpravou pístu – kluzným lakem na zatížené a nezatížené straně pístu.

Použití moderních kluzných laků se projeví významným poklesem tření mezi pístem a stěnou válce, což má rovněž velice příznivý vliv na životnost těchto dílů.

Ztráty vzniklé pohybem pístu ve válci lze rovněž snížit volbou vhodného profilu povrchu stěn válce, čímž dojde k ovlivnění vlastností olejového filmu.

Tření v ložiscích klikové hřídele lze ovlivnit volbou ložisek, zejména použitím vhodných kompozic na výstelky pánviček ložisek.

Použitím moderních olejů lze celkově zlepšit vlastnosti kluzného styku všech součástí i bez závažnějších konstrukčních změn.

2.3.5. Další možnosti zvýšení účinnosti motoru

Celkovou účinnost motoru můžeme zvyšovat i dalšími úpravami.

Vyleštěním vnitřního povrchu sacího potrubí snížíme jeho hydraulický odpor, čímž dojde ke zvýšení dopravní účinnosti, tj. lepšímu naplnění válce směsí.

Další používanou variantou, je instalace systémů vstřikujících do spalovacího prostoru přídavnou látku. Nejčastěji se jedná o vstřikování vody, vody s metanolem nebo systémy NOS které pracují s tzv. Rajským plynem. Nevýhodou těchto systémů je jejich nepříznivý vliv na životnost motoru a pouze krátkodobý účinek.

3. Motor 1.2 HTP

Motor **1.2 / 40 kW - EA 111 . 03 D** s prodejním označením **1.2 HTP** (**H**igh **T**orque **P**erformance – vysoký točivý moment) je moderní tříválcová zážehová pohonná jednotka, vyznačující se vysokou hodnotou a příznivým průběhem točivého momentu, vyvinutá v koncernu Volkswagen v rámci řady motorů EA 111.

3.1. Stručná charakteristika

Motor **EA 111 . 03 D** je řadový 3 válec, s rozvodovým uspořádáním **OHC** a **2** ventily na válec. Vůle v rozvodovém ústrojí jsou vymezovány pomocí hydraulických prvků.

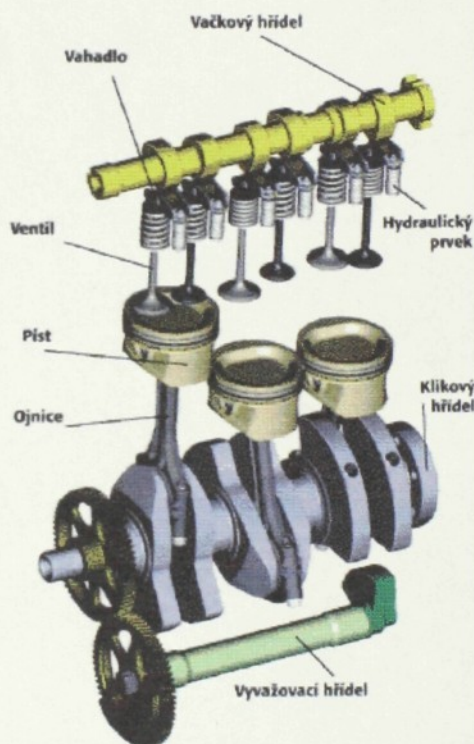
Pro zklidnění charakteristických vlastností 3 válcových motorů je použit **vyvažovací hřídel**.

Přípravu směsi zajišťuje **vícebodové vstřikování paliva**, řízené elektronickou řídicí jednotkou

Simos 3PD, která se rovněž stará o ovládání polohy škrtkové klapky – systém **Drive by wire**.

Pořadí zapalování jednotlivých válců je **1 – 2 – 3**.

Aby motor vyhověl přísným emisním limitům **Euro 4** je vybaven 3-cestným řízeným katalyzátorem s dvojicí lambda sond, umístěným přímo za sběrným potrubím výfuku, z důvodu rychlejšího ohřátí na provozní teplotu.



3.2. Hlavní rozměry motoru

Objem 1198 ccm

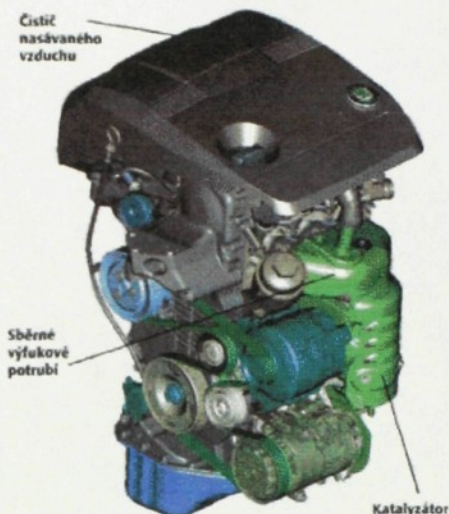
Vrtání 76,5 mm

Zdvih 86,9 mm

Kompresní poměr 10,3

Rozteč válců 82 mm

Hmotnost 76 kg



3.3. Výkonové a další parametry a jejich průběh

Výkon 40 kW / 4750 1/min

Točivý moment 106 Nm / 3000 1/min

Měrný výkon 33,33 kW/l

Měrný točivý moment 88,5 Nm/l

Střední efektivní tlak 10,9 bar

Volnoběžné otáčky 700 ± 50 /min

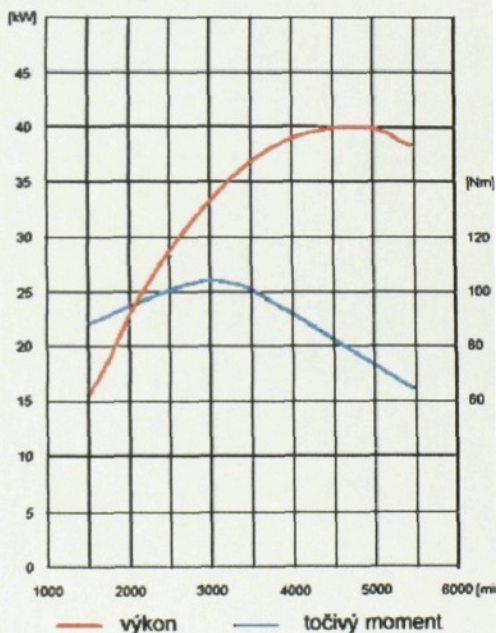
Maximální otáčky 6000 ± 50 /min

Měrná spotřeba paliva 395 g/kW h

Optimální měrná spotřeba 250 g/kW h

Spotřeba paliva na volnoběh 0,6 l / h

Spotřeba oleje 0,1 g / 1000 km



3.4. Použití motoru

Motory řady EA 111 jsou v současné době montovány do široké škály vozidel, využívajících společné platformy koncernu VW.

Motor 1,2 / 40 kW se v současné době montuje do malých vozů Škoda Fabia, VW Polo a Seat Ibiza.

4. Posouzení vývoje odlišností vložených válců

Na vložené válce jsou kladeny vysoké požadavky na přesnost výroby. Průměr v rozpětí 0,01 mm, úchylka kruhovitosti 0,006 mm a válcovitosti 0,008 mm. Z tohoto důvodu se stejně jako písty dělí do několika (obvykle 3) rozměrových tříd, za účelem snížení zmetkovitosti (zvýšení výtěžnosti) a tím i snížení výrobních nákladů.

4.1. Vznik opotřebení

Opotřebení vložených válců vzniká vlivem vzájemného tření mezi stěnou válce a pístními kroužky a pístem.

4.1.1. Vznik tvarových odlišností

Vložené válce u víceválcových motorů nejsou opotřebovávány stejně. Je rozdíl mezi opotřebením krajních a vnitřních válců.

K rozdílnému opotřebení dochází v důsledku různého tepelného a mechanického namáhání.

Rozdílné tepelné namáhání je dáno horším chlazením sousedících stěn válců z důvodu jejich malé vzdálenosti a z toho vyplývajícího menšího průřezu chladících kanálů.

Rozdílné mechanické namáhání způsobují rozdíly v působení sil od šroubů, kterými je utažena hlava válců k bloku motoru.

Ovšem ani opotřebení jednoho válce není rovnoměrné – opotřebení v úvratích a před nimi je znatelně větší než v jiných místech, mj. vlivem naklápění pístu ve válci.

Dále je nutno vzít v úvahu i rozdílnost opotřebení zatížené a nezatížené strany válce, které je způsobeno působením boční síly na píst.

Nesmíme zapomenout ani na fakt, že veškeré hodnoty jsou naměřeny za studena, avšak hodnoty, které bychom naměřili za provozu, by byly odlišné.

4.1.2. Vznik odlišností mikrogeometrie

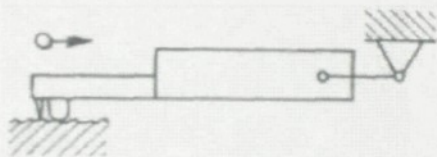
Během provozu dochází nejenom ke změnám tvaru vložek válců, ale také ke změnám povrchové struktury, vytvořené během honování. Tato struktura je důležitá pro udržení olejového filmu na stěnách válce. Změny této struktury se dají vyhodnotit na základě změny drsnosti povrchu válce. Tyto změny se liší na zatížené a nezatížené straně válce.

4.2. Měření drsnosti stěn válce

Drsnost stěn válce se měří dotykovým nebo optickým drsnoměrem.

4.2.1. Dotykové měření drsnosti

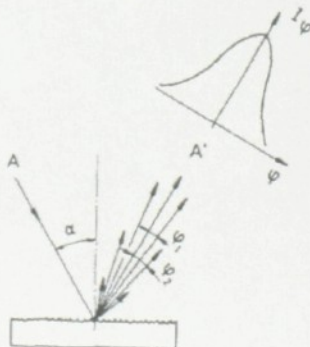
Po měřeném profilu se posouvá rovnoměrnou rychlostí měřící dotek s velmi malým poloměrem zaoblení kuželového



hrotu. Změny polohy měřícího hrotu převádí snímač na elektrické veličiny, které jsou dále zpracovávány v elektronických obvodech a dále předávány do počítače k vyhodnocení.

4.2.2. Optické měření drsnosti

Optický analyzátor povrchu určuje měřenou charakteristiku z rozdělení záření, odraženého od zkoumaného povrchu. Dopadem na drsný povrch se paprsky rozptýlí pod různými úhly a detektor analyzátoru snímá intenzitu rozptylu světla. Analyzátor předává zjištěná data do počítače, který je prostřednictvím příslušného softwaru vyhodnotí a přehledně uspořádá.

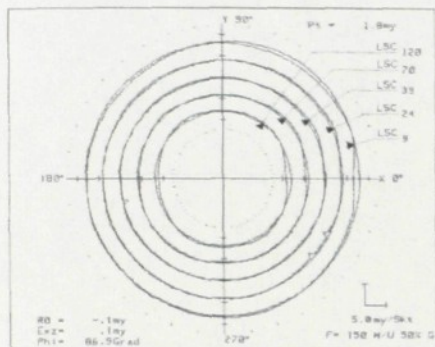


4.3. Změny tvaru povrchu vložky po simulovaných 50.000 km

4.3.1. 1.válec

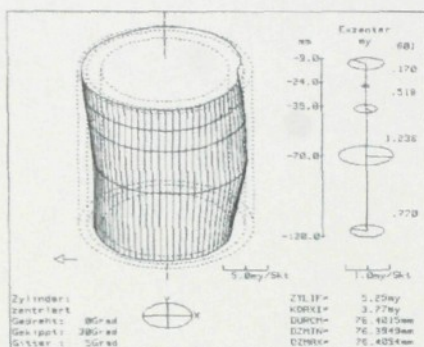
Kruhovitost

Nový



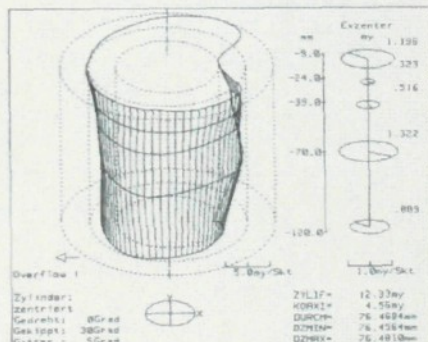
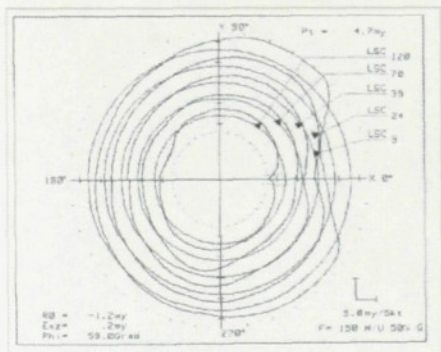
Válcovitost

Nový



50.000 km

50.000 km



Na diagramech je zřetelně vidět změny u kruhovitosti, způsobené silami působícími na píst v průběhu spalovacího cyklu. Avšak i po 50.000 km jsou tyto změny relativně malé – pouze v řádu jednotek mikrometrů.

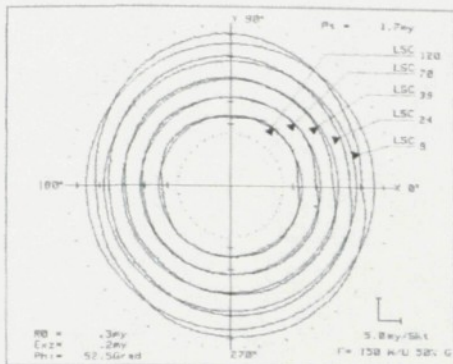
Hlavní změny jsou soustředěny v jednom směru, což je pravděpodobně způsobeno uspořádáním motoru a následnými tepelnými poměry v bloku. Směr hlavního opotřebení je k druhému válci.

U diagramu zachycujícího změny válcovitosti jsou zachyceny obdobné změny jako u kruhovitosti.

4.3.2. 2.válec

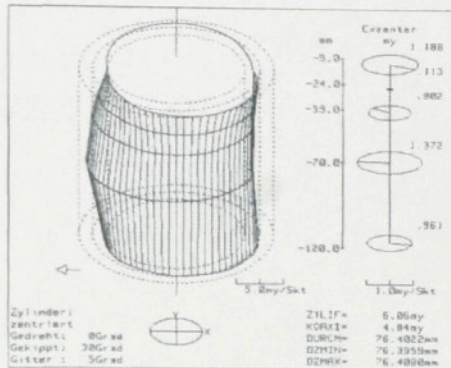
Kruhovitost

Nový

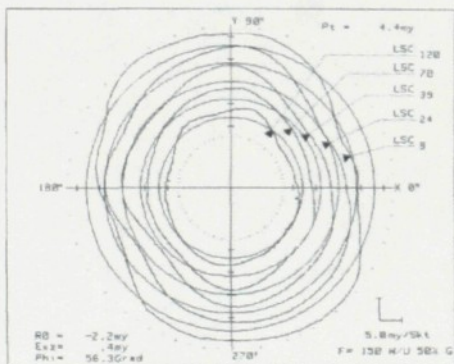


Válcovitost

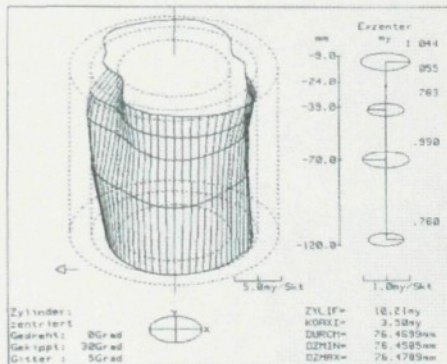
Nový



50.000 km



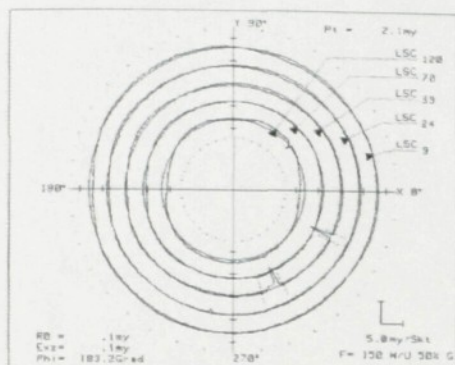
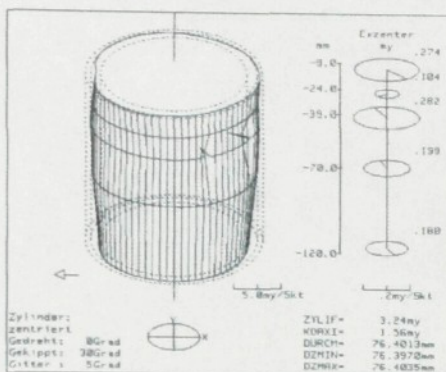
50.000 km



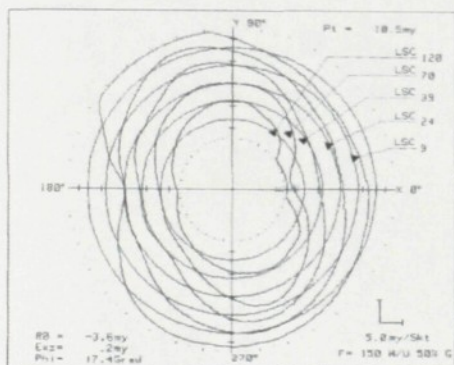
Na diagramech je zřetelně vidět změny u kruhovitosti, způsobené silami působícími na píst v průběhu spalovacího cyklu. Avšak i po 50.000 km jsou tyto změny relativně malé – pouze v řádu jednotek mikrometrů.

Hlavní změny jsou soustředěny v jedné ose, což je pravděpodobně zapříčiněno uspořádáním motoru a následnými tepelnými poměry v bloku. Směr hlavního opotřebení je napříč blokem válců, což je charakteristické pro střední válce.

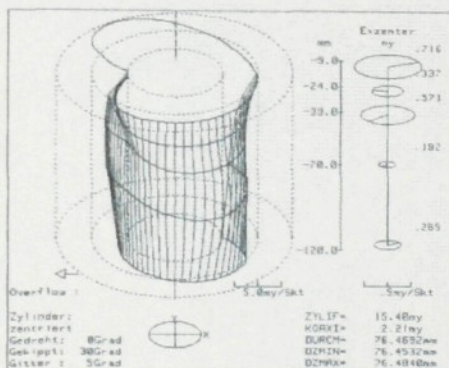
U diagramu zachycujícího změny válcovitosti jsou zachyceny obdobné změny jako u kruhovitosti.

4.3.3. 3.válec**Kruhovitost****Nový****Válcovitost****Nový**

50.000 km



50.000 km



Na diagramech je zřetelně vidět změny u kruhovitosti, způsobené silami působícími na píst v průběhu spalovacího cyklu. Avšak i po 50.000 km jsou tyto změny relativně malé – pouze v řádu jednotek mikrometrů.

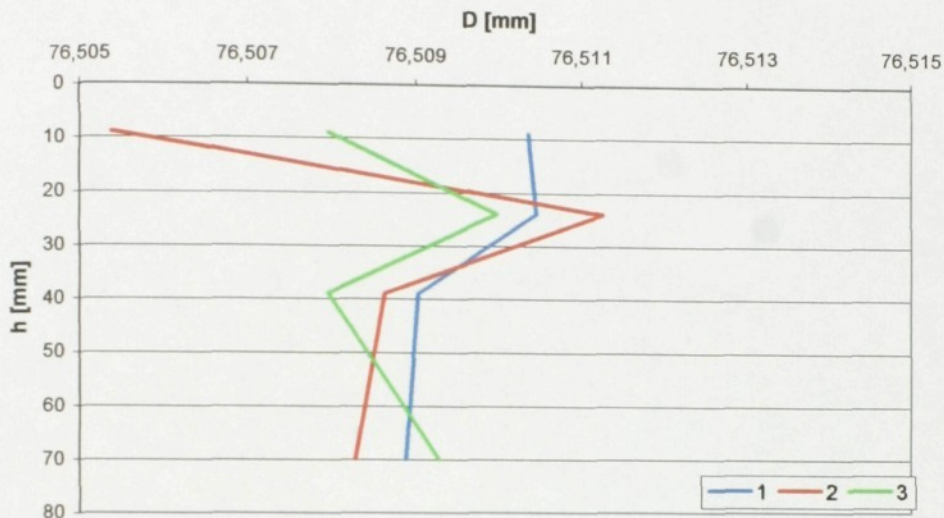
Hlavní změny jsou soustředěny v jednom směru, což je pravděpodobně způsobeno uspořádáním motoru a následnými tepelnými poměry v bloku. Směr hlavního opotřebení je k druhému válci.

U diagramu zachycujícího změny válcovitosti jsou zachyceny obdobné změny jako u kruhovitosti.

Změny na 3.válci jsou obdobné změnám na 1. válci.

4.4. Změny průměru vložky po 100.000 km ve voze

Data byla získána po provedení 100.000 km jízdní zkoušky.



Graf zachycuje průměrnou hodnotu charakteristického rozměru vložek válců v závislosti na hloubce místa měření.

Z grafu vyplývá, že k největším změnám dochází u 2. válce, což potvrzuje měření z předchozích kapitol.

4.5. Změny drsnosti povrchu po simulovaných 50.000 km

Povrch vložky válce na zatížené i nezatížené straně lze před zkouškou považovat za shodný. Proto pro porovnání stavu před a po zkoušce bude použit pouze vzorek před zkouškou ze zatížené strany.

Toto zjednodušení je možné z důvodu nemožnosti určení přesného místa měření, tudíž by přesné porovnání nebylo možné.

Měřeny byly následující 3 druhy drsnosti:

Ra – Střední aritmetická drsnost

Rq – Střední kvadratická drsnost

Rz – Největší výška nerovností profilu

definované následujícími vztahy

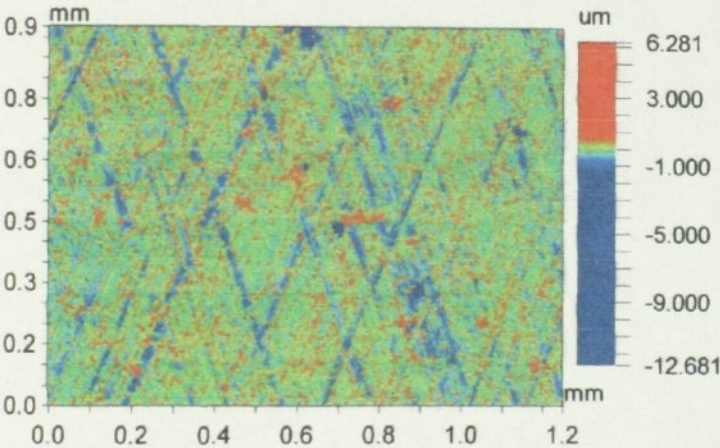
$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx$$

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{l} \int_0^l y^2(x) dx}$$

$$R_z = \frac{\sum_{i=1}^5 |y_{pmi}| + \sum_{i=1}^5 |y_{vmi}|}{5} \quad \text{Kde } y_{pmi} - \text{výška } i\text{-tého nejvyššího výstupku}$$

$y_{vmi} - \text{výška } i\text{-tého nejnižší prohlubně}$

Výstupem měření je následující popis profilu plochy, ze kterého jsou následně vypočítány jednotlivé drsnosti.



V tabulce jsou zaneseny hodnoty jednotlivých drsností, pro určená místa měření a jejich změny v %.

Ra [nm]	1. Válec	2. Válec	3. Válec
před zkouškou	306,12	325,23	292,86
zatížená strana	274,86	268,41	245,15
nezatížená strana	244,27	243,99	272,40

1. Válec	2. Válec	3. Válec
Změna Ra [%]		
10,21	17,47	16,29
20,20	24,98	6,99

Rq [nm]	1. Válec	2. Válec	3. Válec
před zkouškou	488,51	463,97	489,62
zatížená strana	422,61	414,58	384,60
nezatížená strana	358,35	369,87	435,25

1. Válec	2. Válec	3. Válec
Změna Rq [%]		
13,49	10,65	21,45
26,64	20,28	11,10

Rz [um]	1. Válec	2. Válec	3. Válec
před zkouškou	12,84	8,76	12,54
zatížená strana	8,34	7,38	9,26
nezatížená strana	6,24	6,62	9,18

1. Válec	2. Válec	3. Válec
Změna Rz [%]		
35,05	15,75	26,16
51,40	24,43	26,79

5. Změny výkonostních parametrů v závislosti na čase

5.1. Měření vnějších charakteristik motoru

Měřením vnějších charakteristik motoru získáme informace o jeho provozních vlastnostech a výkonech v celém spektru provozních otáček. Základní zjišťované veličiny jsou točivý moment, respektive výkon a měrná spotřeba paliva v předem stanovených bodech provozní obálky, tj. při maximálním zatížení při příslušných otáčkách.

Moderní měřicí aparatury snímají i další provozní veličiny. Například míru otevření škrtící klapky, teploty a tlaky nasávaného vzduchu, výfukových plynů, oleje, chladicí kapaliny a paliva, podtlak v klikové skříni a další. V průběhu snímání vnějších charakteristik motoru se provádí i měření emisí. Může probíhat i sledování výpisu dat z řídicí jednotky motoru. Tato data umožňují objektivní porovnání technického stavu jednotlivých motorů.

5.2. Použitá data

Data použitá v této práci byla získána z několika zdrojů, za účelem dosažení pokud možno co nejširšího souboru dat. Byly získány informace z auditových zkoušek z výroby, z jízdních zkoušek, i ze zkoušek ve vývoji. Jednotlivé motory jsou z různých výrobních sérií a byly zatěžovány různým způsobem. Toto nám dává sice široký vzorek, avšak přímé porovnání jednotlivých skupin motorů je poněkud obtížnější.

Nové motory a motory z jízdních zkoušek byly měřeny na stejném zařízení ve výrobě.

Jedná se o dynamometr Schenck s příslušenstvím od firmy MEZ Vsetín. Data z těchto měření byla zaznamenávána pomocí software Schenck X-One.

5.3. Průběh měření

Měření probíhá v plně automatickém režimu. Zkoušený motor je zatěžován podle naplánovaného průběhu zkoušky. Ve všech zkoušených režimech dojde na několik desítek sekund k ustálení, aby bylo možno odečíst průměrnou hodnotu v tomto režimu. Toto je nutné z důvodu ne zcela rovnoměrného chodu motoru a neustálení měřených veličin. Některé z veličin – např. měrná spotřeba paliva, nejsou měřeny kontinuálně, ale měří se kolik paliva je spotřebováno za dobu jednoho měřicího cyklu v daném režimu.

V případě zkoušek motorů s proběhem na brzdě je motor po stanovenou dobu zatěžován plným zatížením při otáčkách maximálního výkonu.

Je-li zkouška na brzdě převáděna na kilometrový proběh, používá se pro tento přepočít rychlost, jakou by vozidlo dosáhlo při daných otáčkách při zařazení nejvyššího převodového stupně.

5.3.1. Průběh měření zkoušky na brzdě po 5 hodinách

Zkouška probíhala ve výrobě, za účelem zjištění změny výkonnostních parametrů v prvních hodinách provozu. Měření motoru bylo započato ihned po ohřátí na provozní teplotu, tj. přibližně po 20 minutách provozu. Druhé měření proběhlo po 5 hodinách provozu v režimu plné zátěže v oblasti maximálního výkonu.

5.4. Vyhodnocení dat z jízdní zkoušky 100.000 km

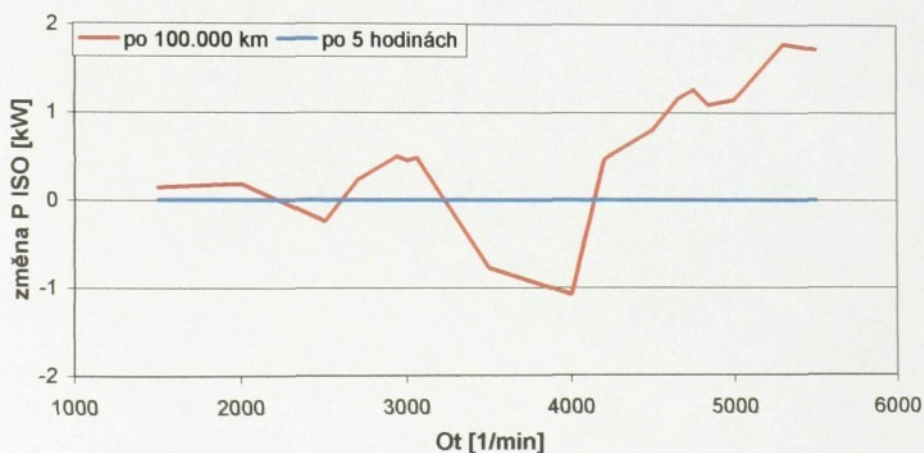
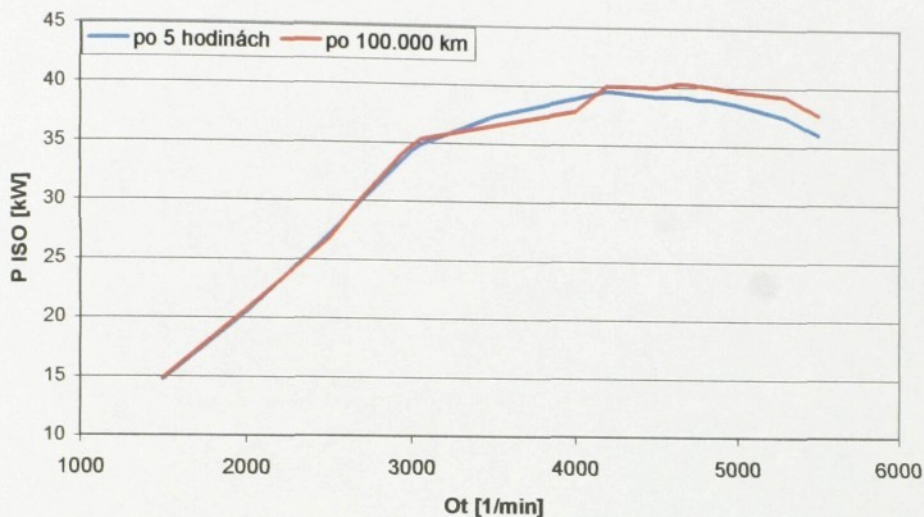
Pro jízdní zkoušky byly použity motory z prvních výrobních sérií.

Jedná se o běžné sériové motory, na kterých bylo před začátkem zkoušky provedeno měření vnějších výkonových charakteristik.

Zkouška proběhla v běžném provozu, ve vozech Škoda Fabia.

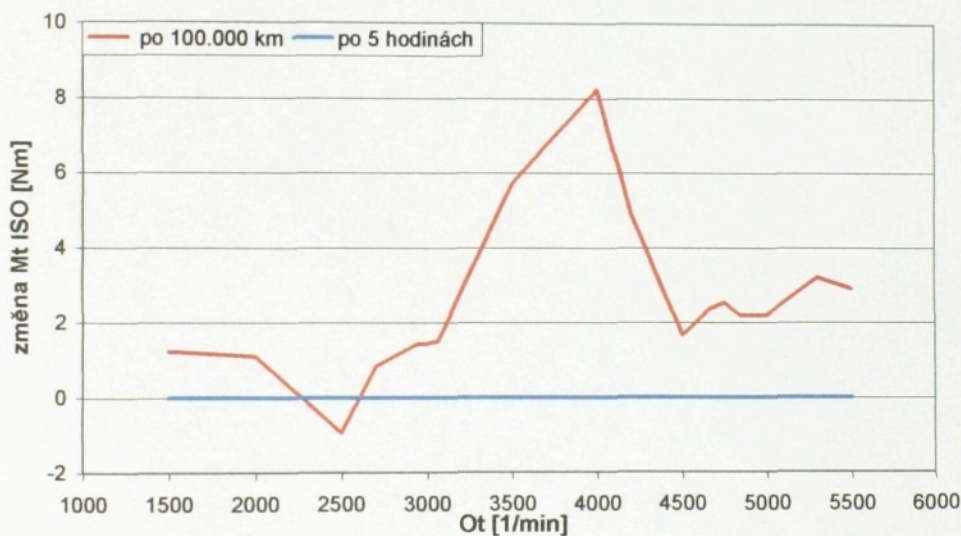
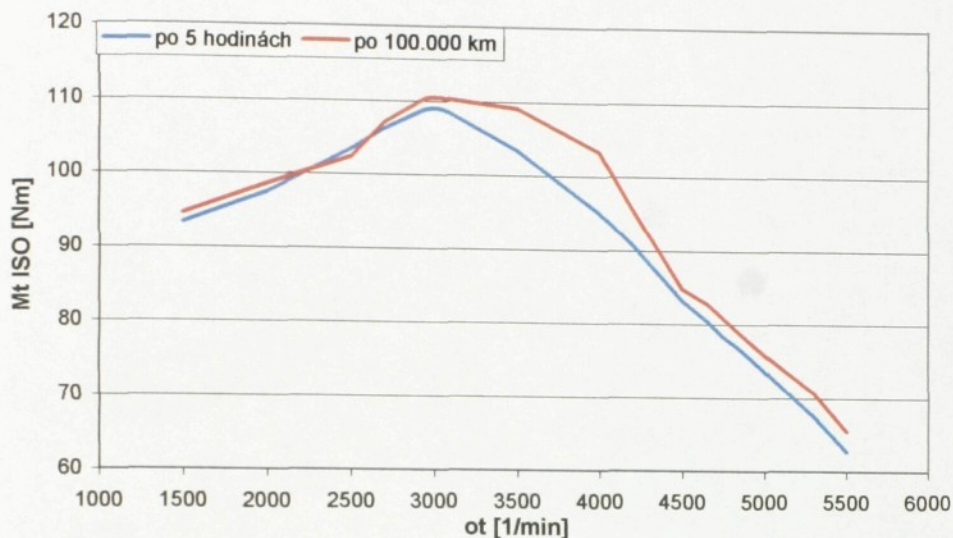
Všechny motory před jízdní zkouškou splňovaly předepsané hodnoty nejvyššího výkonu ($40\text{kW} \pm 6\%$) a točivého momentu ($106\text{ Nm} \pm 6\%$).

5.4.1. Změna výkonu

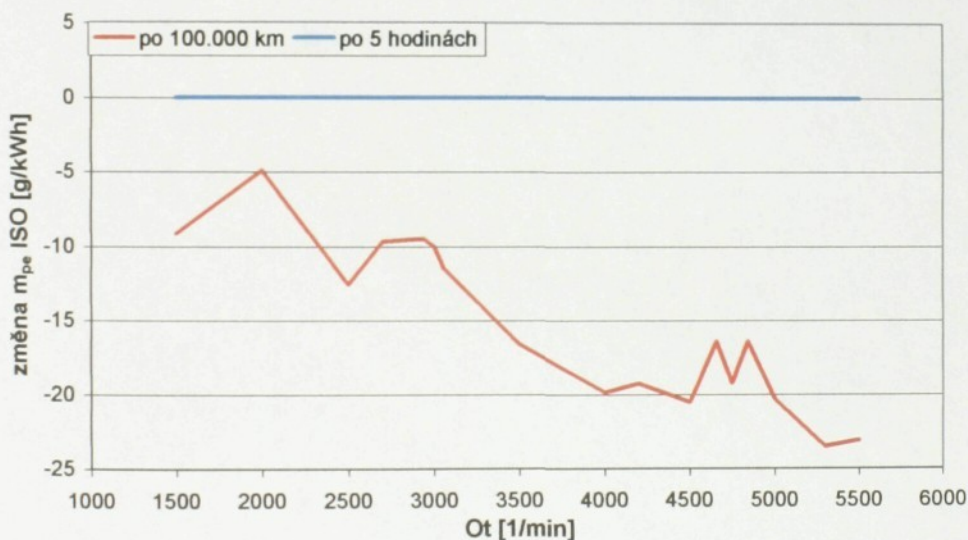
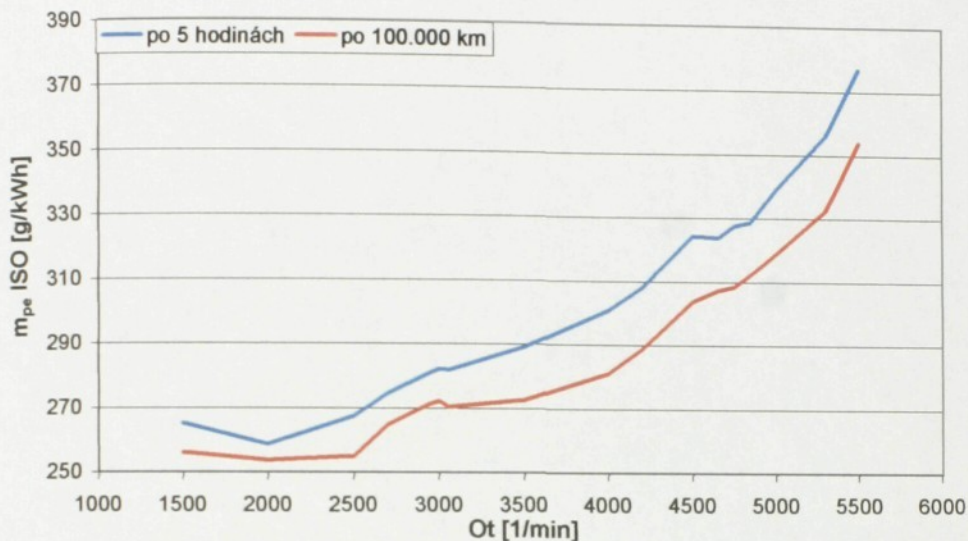


U výkonu došlo ke zvýšení v oblasti nad 4000 ot/min, což se příznivě projevilo v hodnotě a průběhu maximálního výkonu. Toto zvýšení je významné zejména proto, že k němu došlo v oblasti, kde bude tento zvýšený výkon využit pro dosažení nejvyšší rychlosti – např. při předjíždění.

5.4.2. Změna točivého momentu



U křivky točivého momentu je změna hodnot rovněž velice příznivá. K významným změnám došlo hlavně v oblasti nad 3000 ot/min. Došlo ke zvýšení maximální hodnoty, ale zejména ke zpomalení poklesu. Hodnota 100 Nm je po zkoušce k dispozici až do 4400 ot/min, což se příznivě projeví na dynamických vlastnostech vozidla, tj. na jeho maximálním zrychlení.

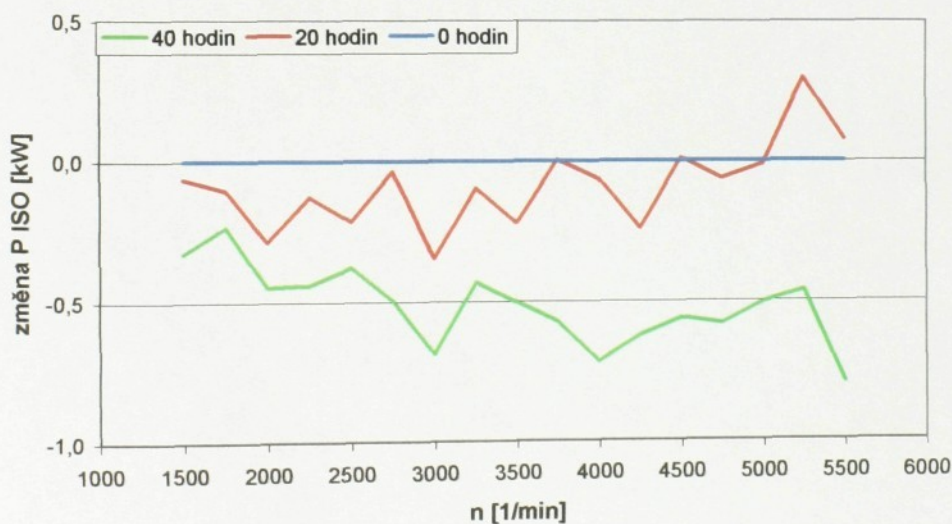
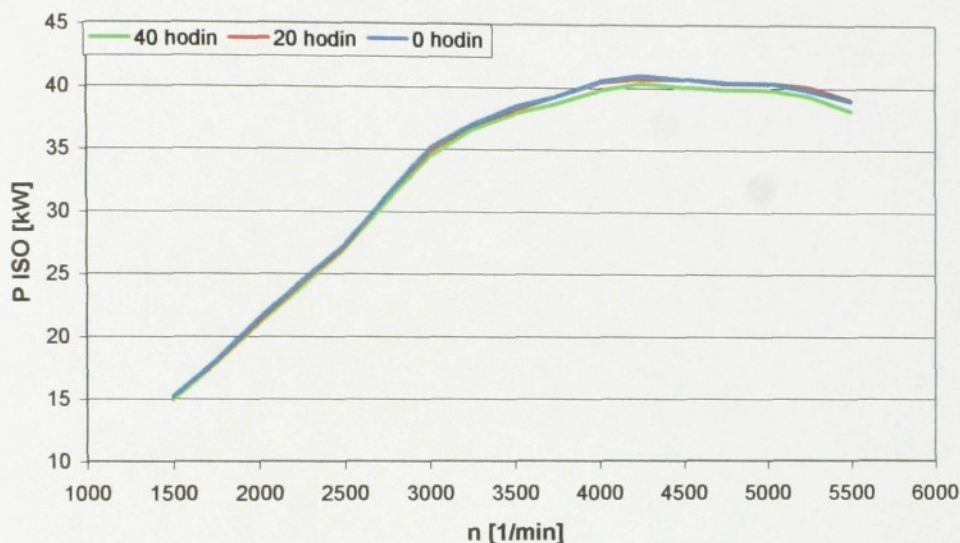
5.4.3. Změna měrné spotřeby

Také křivka měrné spotřeby paliva prošla velice zajímavou proměnou. Snížení měrné spotřeby paliva v průměru o 10 g/kWh, ale v některých bodech křivky i o více než 20 g/kWh, je velice příznivé z hlediska ekonomiky provozu. Významný je i fakt že ke snížení měrné spotřeby paliva došlo v celém rozsahu otáček, k největšímu však v častěji používaných bodech křivky v rozmezí 2200 – 5500 ot/min.

5.5. Vyhodnocení zkoušky na brzdě po 20 a 40 hodinách

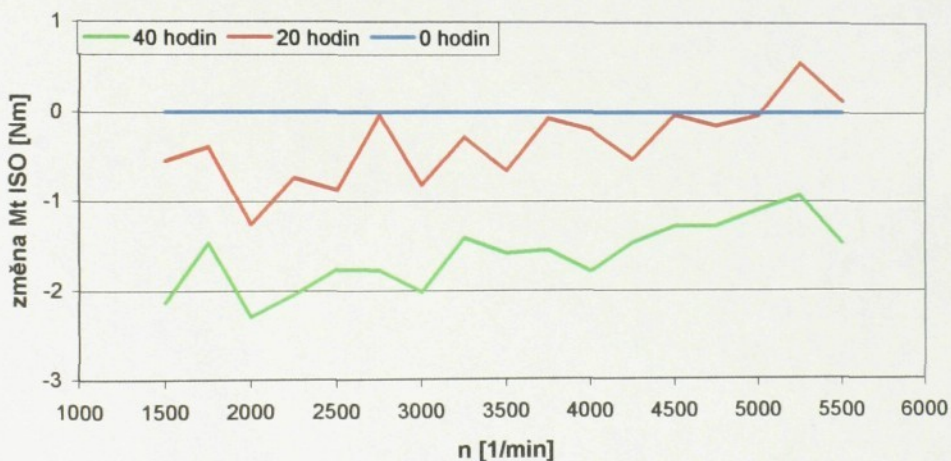
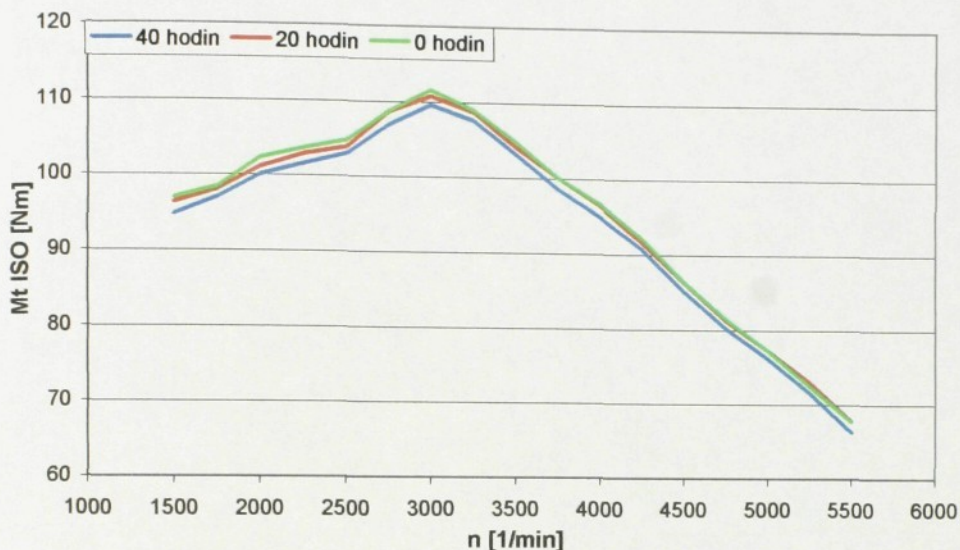
Měření probíhala ve vývojovém oddělení.

5.5.1. Změna výkonu



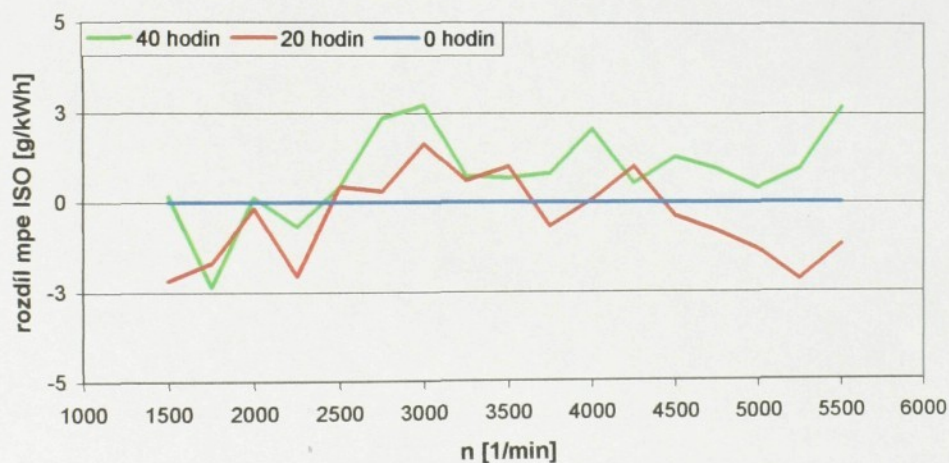
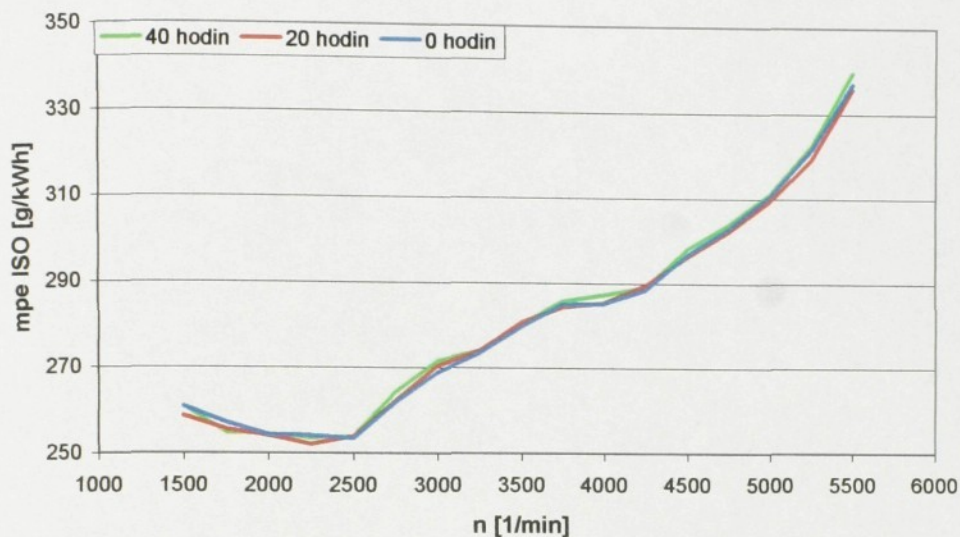
V průběhu testu došlo k celkovému poklesu výkonu o více než 0,5 kW, zejména v oblasti jeho maximální hodnoty.

5.5.2. Změna točivého momentu



V průběhu testu došlo k celkovému poklesu točivého momentu o více než 1,5 Nm, zejména v oblasti jeho maximální hodnoty, kde je pokles nejvýraznější.

5.5.3. Změna měrné spotřeby

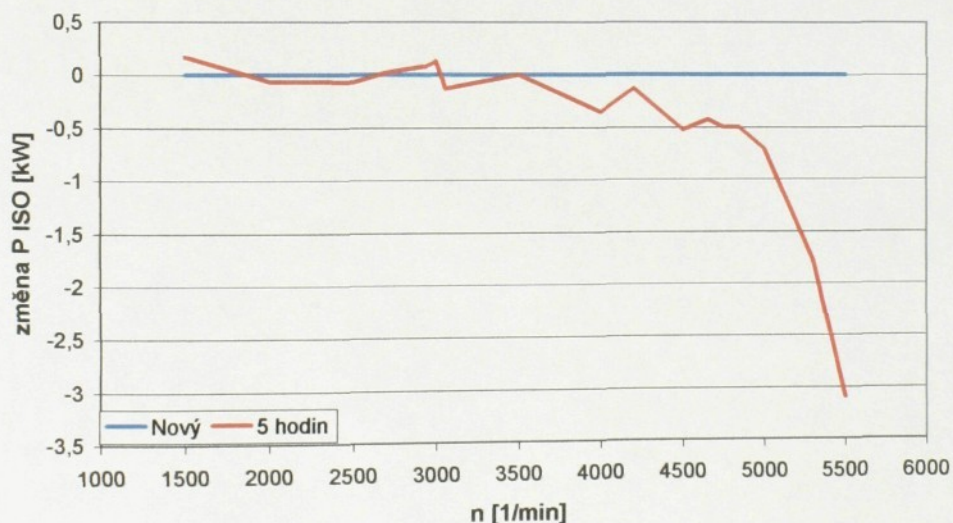
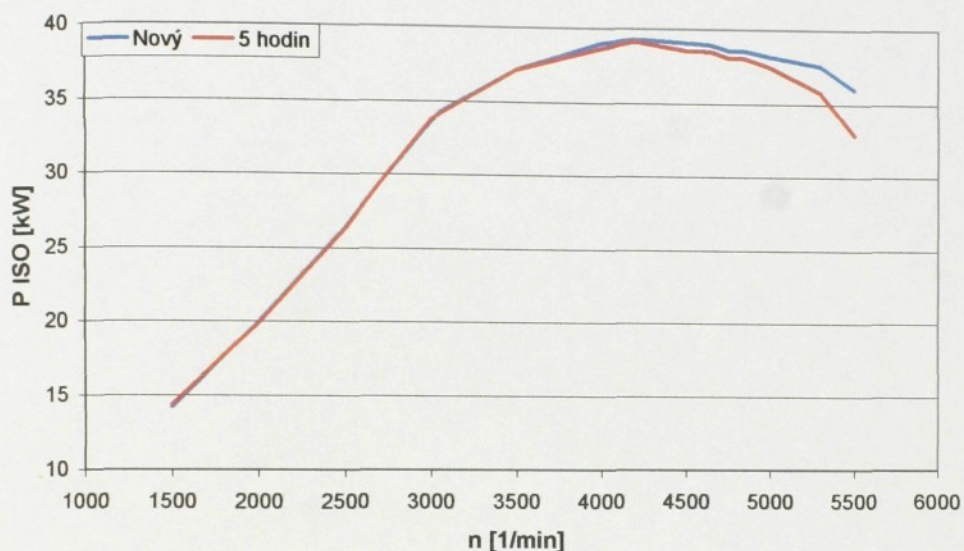


V průběhu testu došlo ke zvýšení měrné spotřeby. Toto zvýšení je v oblasti nejčastějších provozních otáček, avšak je relativně málo významné.

5.6. Vyhodnocení zkoušky na brzdě po 5 hodinách

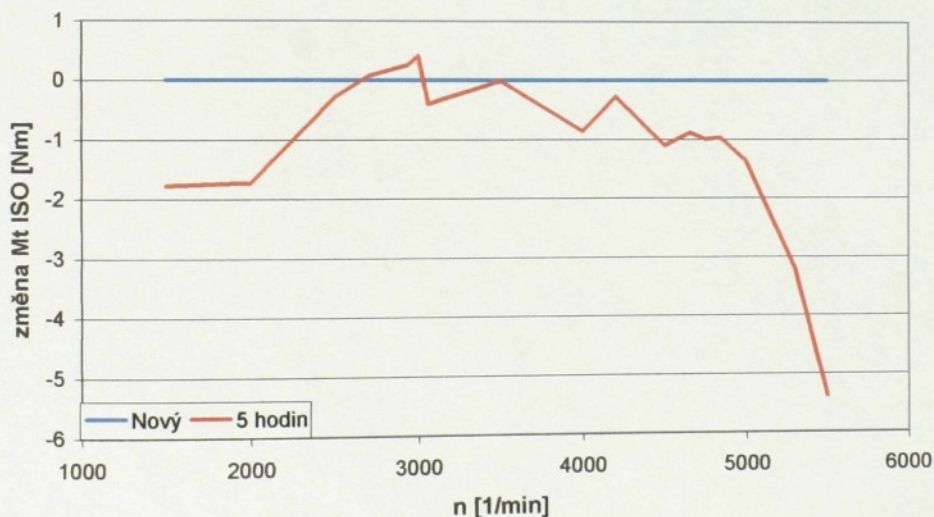
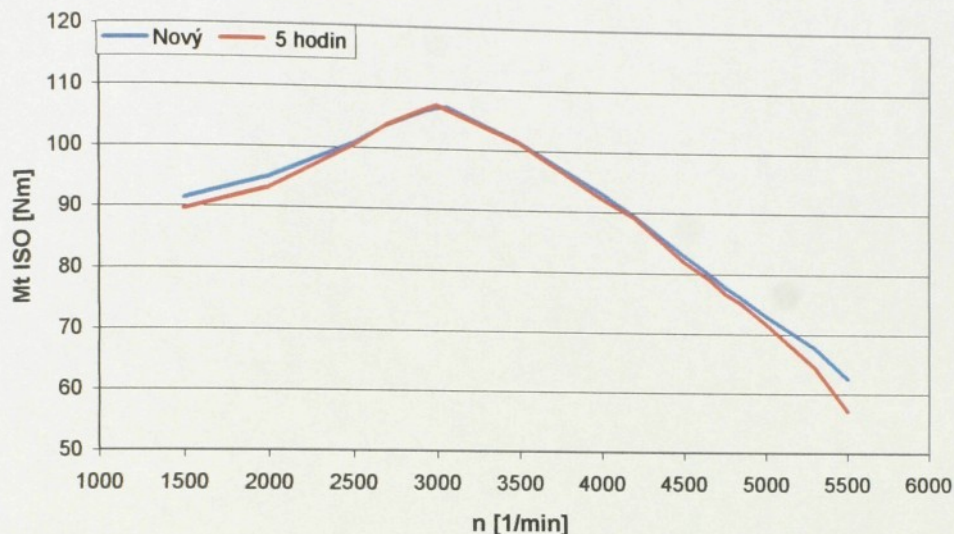
Popis zkoušky viz. Kapitola 5.3.1.

5.6.1. Změna výkonu



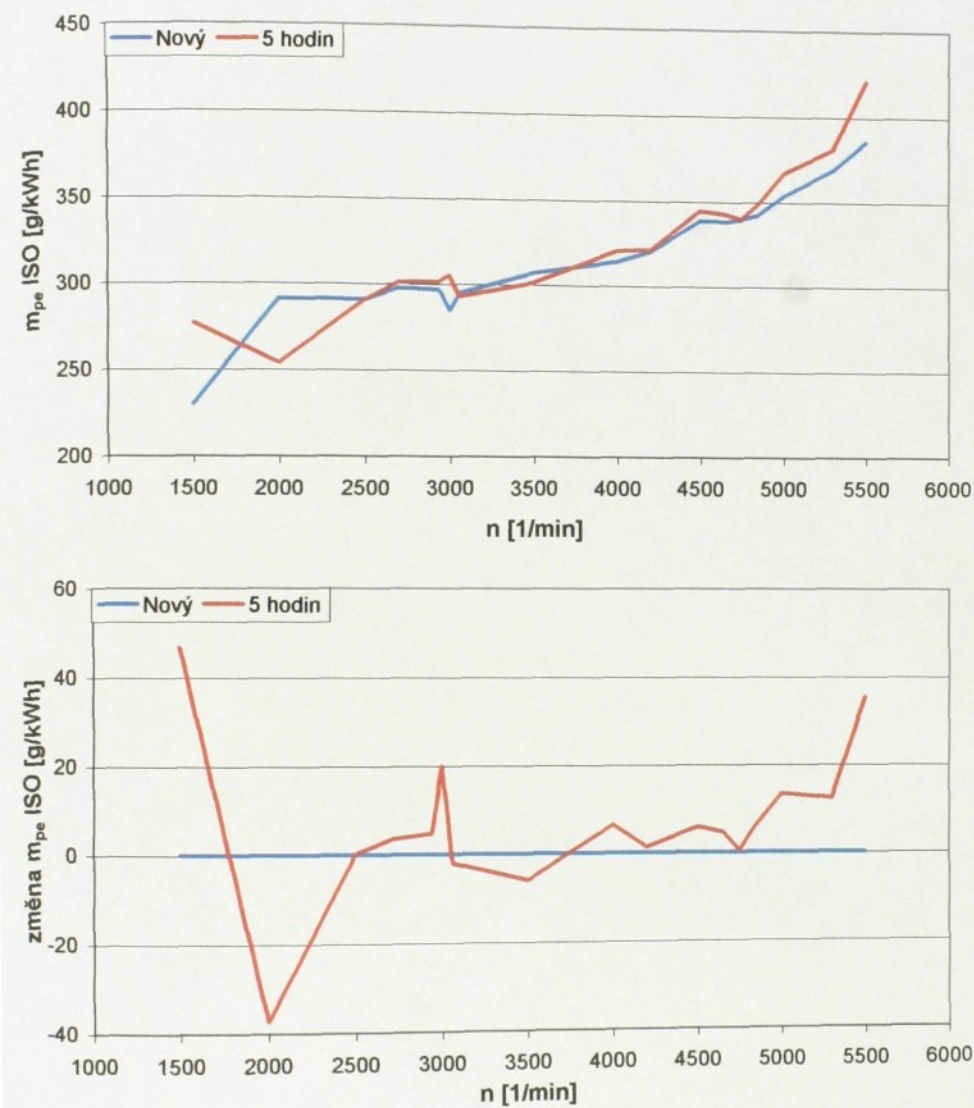
K významnějším změnám došlo v oblasti nad 4000 ot/min, tj. v oblasti maximálního výkonu.

5.6.2. Změna točivého momentu



V oblasti maximálního točivého momentu došlo k nevýraznému zvýšení. Naopak v oblasti nad 5000 ot/min došlo k výraznému zhoršení, avšak tyto otáčky jsou mimo běžně používanou oblast a tudíž není toto zhoršení závažné.

5.6.3. Změna měrné spotřeby



Měrná spotřeba se ukázala jako velice rozkolísaná, avšak v zásadě došlo k jejímu zvýšení.

5.7. Vyhodnocení a vzájemné porovnání zkoušek

Jízdní zkouška 100.000 km nám ukazuje příznivé ovlivnění všech zkoumaných parametrů motoru. Plně se projevil příznivý vliv proběhu na snížení mechanických ztrát. Vliv snížení těsnosti pístní skupiny ve válci nedosahuje významu snížení mechanického odporu.

Během simulované zkoušky 20 a 40 hodin na brzdě – což odpovídá cca 3.500 km a 7000 km, došlo ke zhoršení všech zkoumaných parametrů. Zde se projevují dva vlivy. Jednak je to vliv relativně nízkého proběhu, kdy se ještě významněji neprojevilo snížení mechanických ztrát, ale došlo již ke snížení těsnosti pístní skupiny ve válci. Dále se zde projevuje velice nepříznivý druh trvalého zkušebního namáhání motoru, které se v běžném provozu vyskytuje pouze v méně významných časových úsecích využití maximálních provozních výkonů.

U 5 hodinové zkoušky, která odpovídá přibližně 1000 km, došlo ke zhoršení zkoumaných parametrů zejména v oblasti vyšších otáček. Zde se pravděpodobně projevily stejné vlivy jako u simulované zkoušky 20 a 40 hodin.

Motor po 5 hodinové zkoušce je v zásadě podobný novému motoru po namontování do vozidla ve výrobním závodě a absolvování zkušebních jízd. Proto z porovnání zkoušky po 5 hodinách a 100.000 km jízdní zkoušky můžeme vyvodit předpokládaný vývoj provozních charakteristik u vozidla provozovaného zákazníkem.

6. Závěr

Ze zjištěných faktů lze usuzovat na nevhodnost zkušebního provozu na brzdě při dlouhodobém plném zatížení pro vývoj zkoumaných parametrů motoru. Naopak provozní podmínky v běžném provozu, které jsou k motoru daleko šetrnější, dovolují příznivý rozvoj sledovaných parametrů motoru.

Na základě těchto zjištění se zabíhání motorů v režimu dlouhodobého plného zatížení při vysokých otáčkách nejeví jako optimální. Pokles sledovaných parametrů se sice nezdá závažný, avšak každé zhoršení parametrů znamená ekonomické ztráty.

Proto by motor měl být na zkušebním stanovišti pouze v nejkratším možném čase přezkoušen. Vlastní záběh by měl proběhnout až v provozních podmínkách, které jsou pro vývoj charakteristik motoru výhodnější.

7. Použitá literatura

- Beroun, St., Scholz, C. : Základy teorie vozidel a pístových spalovacích motorů, TU Liberec, 1999
- Slanec, K. : Základy konstruování – Geometrická přesnost ČVUT, 1997
- Materiály poskytnuté firmou Škoda Auto

Poděkování

Touto cestou bych chtěl také poděkovat všem, kteří mi svou pomocí umožnili tuto práci napsat.

Panu Doc. Lubomíru Mocovi za konzultace a odborné vedení při zpracování této práce.

Dále pracovníkům Škoda Auto, pánům Novotnému, Homolkovi, Matějkovi a Ing. Kozelkovi, za jejich pomoc při zajišťování podkladů pro tuto práci, a odborné rady.

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou (bakalářskou, doktorskou) práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo) a § 35 (o nevýdělečném užití díla k vnitřní potřebě školy).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé práce a prohlašuji, že **souhlasím** s případným užitím mé práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědom toho, že užití své diplomové (bakalářské, doktorské) práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

Datum: 20. 05. 2003

Podpis:



Přílohy

1. Tabulky dat získaných v průběhu měření

8 stran

Rozměry vložek válců po jízdní zkoušce 100.000 km

AWY 000 413	1. Valec	2. Valec	3. Valec
V/9	76.5090	76.5063	76.5052
V/24	76.5113	76.5110	76.5094
V/39	76.5093	76.5084	76.5072
V/70	76.5085	76.5088	76.5085

AWY 000 436	1. Valec	2. Valec	3. Valec
V/9	76.5129	76.5137	76.5115
V/24	76.5110	76.5111	76.5094
V/39	76.5093	76.5092	76.5077
V/70	76.5085	76.5092	76.5097

AWY 000 964	1. Valec	2. Valec	3. Valec
V/9	76.5075	76.4960	76.5084
V/24	76.5086	76.5110	76.5098
V/39	76.5072	76.5078	76.5077
V/70	76.5082	76.5076	76.5100

AWY 000 965	1. Valec	2. Valec	3. Valec
V/9	76.5120	76.5055	76.5067
V/24	76.5109	76.5119	76.5113
V/39	76.5103	76.5091	76.5092
V/70	76.5103	76.5075	76.5089

Hodnoty motorů po 100.000 km jízdní zkoušky

ot	AWY 000436 - 100.000 km					AWY 000413 - 100.000 km					AWY 000023 - 100.000 km				
	Mt ISO	P ISO	mpe ISO	Mt ISO	P ISO	Mt ISO	P ISO	mpe ISO	Mt ISO	P ISO	Mt ISO	P ISO	mpe ISO	Mt ISO	mpe ISO
1500	93,90	14,75	260,8	95,50	14,99	254,3	14,99	254,3	94,10	14,78	253,0	14,78	253,0	94,10	14,78
2000	98,50	20,64	253,1	98,60	20,65	254,2	20,65	254,2	98,60	20,65	253,7	20,65	253,7	98,60	20,65
2500	102,70	26,90	257,0	103,60	27,12	253,9	27,12	253,9	100,70	26,37	253,6	26,37	253,6	100,70	26,37
2700	107,00	30,24	267,1	107,60	30,42	270,1	30,42	270,1	106,50	30,12	256,8	30,12	256,8	106,50	30,12
2940	108,70	33,48	275,8	110,20	33,92	273,8	33,92	273,8	111,70	34,37	263,7	34,37	263,7	111,70	34,37
3000	109,60	34,43	278,1	109,60	34,42	274,1	34,42	274,1	112,10	35,22	263,8	35,22	263,8	112,10	35,22
3060	108,50	34,77	275,0	109,70	35,15	274,2	35,15	274,2	112,50	36,04	261,5	36,04	261,5	112,50	36,04
3500	107,50	36,02	279,2	108,50	36,35	275,4	36,35	275,4	111,30	37,22	262,9	37,22	262,9	111,30	37,22
4000	101,70	37,26	288,5	102,50	37,57	286,8	37,57	286,8	105,50	38,68	267,2	38,68	267,2	105,50	38,68
4200	93,10	38,98	296,9	94,10	39,40	293,8	39,40	293,8	99,60	41,71	275,1	41,71	275,1	99,60	41,71
4500	82,60	38,93	314,8	83,00	39,11	311,0	39,11	311,0	88,70	41,81	285,1	41,81	285,1	88,70	41,81
4655	79,80	38,92	318,9	80,30	39,15	316,6	39,15	316,6	88,00	42,90	286,1	42,90	286,1	88,00	42,90
4750	77,40	38,48	321,2	78,00	38,82	316,3	38,82	316,3	87,00	43,28	287,1	43,28	287,1	87,00	43,28
4845	74,90	38,00	327,2	76,40	38,74	317,8	38,74	317,8	85,30	43,26	291,1	43,26	291,1	85,30	43,26
5000	70,80	37,09	341,9	73,10	38,26	325,2	38,26	325,2	83,50	43,71	289,1	43,71	289,1	83,50	43,71
5300	66,10	36,70	353,4	68,20	37,85	340,8	37,85	340,8	77,70	43,15	302,9	43,15	302,9	77,70	43,15
5500	60,30	34,71	382,8	63,60	36,81	361,4	36,81	361,4	72,70	41,87	317,3	41,87	317,3	72,70	41,87

Hodnoty nových motorů

ot	AWY 128624				AWY 088066				AWY 121676				AWY 100730			
	Mt ISO	P ISO	mpe ISO	Mt ISO	Mt ISO	P ISO	mpe ISO	mpe ISO	Mt ISO	P ISO	mpe ISO	Mt ISO	Mt ISO	P ISO	mpe ISO	mpe ISO
1500	91,28	14,20	230,2	95,91	15,06	268,9	268,9	94,09	14,78	262,6	262,6	95,29	95,29	14,97	258,6	258,6
2000	94,93	19,88	291,2	100,00	20,94	268,3	268,3	97,57	20,43	241,7	241,7	99,76	99,76	20,89	273,8	273,8
2500	100,63	26,34	290,8	106,50	27,88	270,5	270,5	102,90	26,94	249,8	249,8	104,75	104,75	27,42	271,7	271,7
2700	103,80	29,35	297,5	109,20	30,87	276,6	276,6	105,21	29,75	262,6	262,6	108,72	108,72	30,74	272,3	272,3
2940	106,35	32,74	296,9	111,97	34,47	283,7	283,7	107,53	33,10	282,4	282,4	112,11	112,11	34,15	266,9	266,9
3000	106,75	33,53	285,1	112,05	35,20	283,5	283,5	108,50	34,08	276,1	276,1	111,87	111,87	35,14	270,1	270,1
3060	106,94	34,27	294,7	111,77	35,81	276,7	276,7	107,75	34,52	276,9	276,9	111,93	111,93	35,86	287,8	287,8
3500	101,35	37,14	307,2	105,07	38,51	283,0	283,0	101,49	37,20	296,3	296,3	105,69	105,69	38,73	286,3	286,3
4000	93,14	39,01	314,3	96,08	40,25	292,7	292,7	92,43	38,72	306,8	306,8	96,91	96,91	40,59	300,5	300,5
4200	89,39	39,32	320,2	91,67	40,32	305,1	305,1	88,92	39,11	317,8	317,8	93,72	93,72	41,22	308,8	308,8
4500	82,99	39,11	338,8	84,75	39,94	315,5	315,5	81,74	38,52	330,5	330,5	87,52	87,52	41,12	316,4	316,4
4655	79,91	38,95	338,1	82,00	39,97	318,2	318,2	78,64	38,33	323,2	323,2	84,26	84,26	41,07	315,1	315,1
4750	77,64	38,62	339,7	79,56	39,58	316,3	316,3	76,39	38,00	335,3	335,3	81,76	81,76	40,67	320,6	320,6
4845	76,04	38,58	342,2	77,95	39,55	321,4	321,4	74,61	37,96	324,9	324,9	80,03	80,03	40,60	320,9	320,9
5000	72,96	38,20	353,4	74,78	39,15	332,5	332,5	71,61	37,50	249,6	249,6	77,18	77,18	40,41	323,2	323,2
5300	67,54	37,54	368,9	69,10	38,35	343,4	343,4	65,98	36,52	366,5	366,5	72,14	72,14	40,04	341,4	341,4
5500	62,51	36,00	385,5	64,89	36,92	366,5	366,5	61,48	35,41	371,3	371,3	66,46	66,46	38,28	362,3	362,3

Hodnoty nových motorů

ot	AWY 000413				AWY 000436			
	Mt ISO	P ISO	mpe ISO		Mt ISO	P ISO	mpe ISO	
1500	91,80	14,42	264,1		93,00	14,61	259,8	
2000	97,40	20,40	255,8		96,90	20,30	256,0	
2500	102,60	26,85	261,6		102,60	26,86	260,0	
2700	104,80	29,62	266,6		105,40	29,81	267,2	
2940	107,20	33,00	278,2		107,20	33,02	270,7	
3000	107,70	33,85	280,6		106,70	33,52	276,9	
3060	107,10	34,31	278,0		107,40	34,41	278,3	
3500	100,40	36,80	289,2		105,90	35,48	278,5	
4000	92,10	38,59	296,7		100,20	36,72	286,7	
4200	87,80	38,63	303,6		93,00	38,94	290,6	
4500	80,90	38,14	320,1		81,90	38,60	317,8	
4655	78,90	38,44	323,5		79,30	38,67	319,0	
4750	77,60	38,58	327,7		77,70	38,67	324,4	
4845	75,80	38,48	329,4		76,70	38,92	325,6	
5000	72,60	38,04	332,5		73,90	38,69	329,8	
5300	66,20	36,76	352,6		67,00	37,20	350,4	
5500	62,20	35,85	374,3		63,70	36,70	366,2	

Motor po 5.hodinách na brzde

ot	AWY 129624		
	Mt ISO	P ISO	mpe ISO
1500	89,50	14,37	277,0
2000	93,20	19,82	253,8
2500	100,34	26,27	290,9
2700	103,87	29,37	301,0
2940	106,61	32,82	301,6
3000	107,16	33,66	305,1
3060	106,54	34,14	292,7
3500	101,33	37,14	301,3
4000	92,28	38,65	320,8
4200	89,11	39,19	321,5
4500	81,88	38,58	344,7
4655	79,02	38,52	342,7
4750	76,64	38,12	340,2
4845	75,06	38,08	348,5
5000	71,59	37,49	366,8
5300	64,43	35,76	381,2
5500	57,12	32,90	421,0

Data z motoru v průběhu zkoušky na brzde po 0, 20 a 40 hodinách

ot	AWY000520 / 40					AWY000520 / 20					AWY000520 / 00				
	Mt ISO	P ISO	mpe ISO	Mt ISO	P ISO	mpe ISO	Mt ISO	P ISO	mpe ISO	Mt ISO	P ISO	mpe ISO	Mt ISO	P ISO	mpe ISO
1500	14,72	94,03	254,8	15,18	96,50	256,2	15,22	97,09	256,9	15,22	97,09	256,9	15,22	97,09	256,9
1750	17,68	96,51	247,8	17,96	98,70	252,9	18,11	98,79	251,1	18,11	98,79	251,1	18,11	98,79	251,1
2000	20,91	99,84	246,2	21,26	101,85	251,9	21,51	102,78	249,0	21,51	102,78	249,0	21,51	102,78	249,0
2250	23,72	100,89	246,2	24,62	104,29	247,8	24,39	104,19	251,5	24,39	104,19	251,5	24,39	104,19	251,5
2500	26,88	102,65	245,9	27,26	104,24	249,0	27,20	104,43	250,9	27,20	104,43	250,9	27,20	104,43	250,9
2750	30,58	106,47	260,1	30,82	107,26	258,5	30,78	107,08	258,5	30,78	107,08	258,5	30,78	107,08	258,5
3000	34,20	109,33	267,3	34,80	111,17	263,6	34,72	110,84	263,3	34,72	110,84	263,3	34,72	110,84	263,3
3250	36,49	107,75	269,2	36,62	108,09	268,5	36,93	108,74	266,2	36,93	108,74	266,2	36,93	108,74	266,2
3500	37,85	103,51	274,3	38,22	104,49	272,3	38,31	104,83	272,0	38,31	104,83	272,0	38,31	104,83	272,0
3750	38,76	99,15	280,4	39,36	100,47	276,2	39,36	100,48	276,1	39,36	100,48	276,1	39,36	100,48	276,1
4000	39,63	94,91	282,5	40,42	96,69	277,0	40,21	96,23	279,1	40,21	96,23	279,1	40,21	96,23	279,1
4250	40,44	91,15	284,2	40,81	91,88	282,3	40,95	92,19	281,2	40,95	92,19	281,2	40,95	92,19	281,2
4500	40,56	86,39	289,7	40,81	86,82	287,8	40,68	86,61	288,8	40,68	86,61	288,8	40,68	86,61	288,8
4750	40,21	81,14	296,7	40,45	81,51	293,3	40,64	81,95	292,7	40,64	81,95	292,7	40,64	81,95	292,7
5000	40,49	77,59	302,2	40,88	78,29	299,7	40,69	77,93	301,2	40,69	77,93	301,2	40,69	77,93	301,2
5250	40,20	73,31	310,8	40,51	73,99	308,9	40,39	73,68	309,0	40,39	73,68	309,0	40,39	73,68	309,0
5500	39,00	67,94	326,9	39,71	69,14	324,8	39,01	67,94	327,8	39,01	67,94	327,8	39,01	67,94	327,8

Data z motoru v průběhu zkoušky na brzdě po 0, 20 a 40 hodinách

ot	AWY000807 / 40					AWY000807 / 20					AWY000807 / 00				
	Mt ISO	P ISO	mpe ISO	Mt ISO	P ISO	mpe ISO	Mt ISO	P ISO	mpe ISO	Mt ISO	P ISO	mpe ISO	Mt ISO	P ISO	mpe ISO
1500	15,08	95,98	261,5	15,06	95,90	263,4	15,04	95,74	265,4	15,04	95,74	265,4	15,04	95,74	265,4
1750	17,86	97,43	257,3	17,84	97,34	259,5	17,83	97,36	261,5	17,83	97,36	261,5	17,83	97,36	261,5
2000	20,95	99,99	256,4	20,90	99,77	260,1	21,03	100,43	261,1	21,03	100,43	261,1	21,03	100,43	261,1
2250	23,78	100,93	256,2	23,74	100,74	258,8	23,95	101,70	259,2	23,95	101,70	259,2	23,95	101,70	259,2
2500	26,84	102,53	257,9	26,88	102,66	258,2	27,09	103,49	259,3	27,09	103,49	259,3	27,09	103,49	259,3
2750	30,80	106,96	264,6	31,14	108,13	269,6	31,35	108,85	269,8	31,35	108,85	269,8	31,35	108,85	269,8
3000	34,50	109,81	272,4	34,58	110,06	276,9	34,90	111,14	279,2	34,90	111,14	279,2	34,90	111,14	279,2
3250	36,57	107,46	277,0	36,63	107,62	281,9	36,79	108,11	282,7	36,79	108,11	282,7	36,79	108,11	282,7
3500	37,87	103,31	283,0	37,69	102,83	289,8	37,98	103,65	289,9	37,98	103,65	289,9	37,98	103,65	289,9
3750	38,76	98,71	288,4	38,59	98,26	294,6	38,93	99,15	295,1	38,93	99,15	295,1	38,93	99,15	295,1
4000	40,16	95,87	286,6	39,78	94,99	296,1	40,11	95,75	295,5	40,11	95,75	295,5	40,11	95,75	295,5
4250	40,87	91,85	288,8	40,38	90,74	297,7	40,55	91,13	299,6	40,55	91,13	299,6	40,55	91,13	299,6
4500	40,66	86,31	297,7	40,12	85,16	307,4	40,18	85,29	309,7	40,18	85,29	309,7	40,18	85,29	309,7
4750	40,03	80,47	306,5	39,76	79,93	314,1	39,74	79,92	317,6	39,74	79,92	317,6	39,74	79,92	317,6
5000	39,81	76,04	314,7	39,52	75,48	322,9	39,51	75,48	326,5	39,51	75,48	326,5	39,51	75,48	326,5
5250	39,64	72,11	323,5	39,29	71,47	333,3	38,85	70,69	339,4	38,85	70,69	339,4	38,85	70,69	339,4
5500	38,70	67,21	339,0	38,50	66,84	348,6	37,98	65,95	355,9	37,98	65,95	355,9	37,98	65,95	355,9

Data z motoru v průběhu zkoušky na brzdě po 0, 20 a 40 hodinách

ot	AWY000521 / 40					AWY000521 / 20					AWY000521 / 00				
	Mt ISO	P ISO	mpe ISO	Mt ISO	P ISO	mpe ISO	Mt ISO	P ISO	mpe ISO	Mt ISO	P ISO	mpe ISO	Mt ISO	P ISO	mpe ISO
1500	14,87	94,28	266,7	15,22	96,64	256,3	15,39	97,87	260,2	15,39	97,87	260,2	15,39	97,87	260,2
1750	17,80	96,98	259,4	17,93	98,08	254,1	18,10	99,16	259,0	18,10	99,16	259,0	18,10	99,16	259,0
2000	21,09	100,25	260,7	21,27	101,57	250,4	21,75	103,76	252,8	21,75	103,76	252,8	21,75	103,76	252,8
2250	24,32	102,90	257,9	24,40	103,61	249,5	24,80	104,97	251,6	24,80	104,97	251,6	24,80	104,97	251,6
2500	27,15	103,58	257,6	27,22	104,52	254,2	27,71	106,14	249,9	27,71	106,14	249,9	27,71	106,14	249,9
2750	30,96	107,17	268,3	31,76	110,42	258,8	31,70	110,00	257,7	31,70	110,00	257,7	31,70	110,00	257,7
3000	34,43	109,63	274,8	34,77	111,13	270,8	35,57	112,85	263,9	35,57	112,85	263,9	35,57	112,85	263,9
3250	36,68	107,44	276,1	37,50	110,32	271,5	37,32	110,04	271,2	37,32	110,04	271,2	37,32	110,04	271,2
3500	37,87	102,87	283,7	38,53	105,15	279,9	38,81	105,97	277,1	38,81	105,97	277,1	38,81	105,97	277,1
3750	38,57	97,93	288,2	39,87	101,48	281,8	39,52	100,81	283,4	39,52	100,81	283,4	39,52	100,81	283,4
4000	39,47	93,95	292,5	41,02	97,81	282,6	41,09	98,11	280,9	41,09	98,11	280,9	41,09	98,11	280,9
4250	39,81	89,15	293,9	41,08	92,34	288,3	41,49	93,24	284,5	41,49	93,24	284,5	41,49	93,24	284,5
4500	39,10	82,73	306,6	41,11	87,21	293,8	41,15	87,38	291,7	41,15	87,38	291,7	41,15	87,38	291,7
4750	39,33	78,77	308,5	40,92	82,31	299,1	40,94	82,35	298,6	40,94	82,35	298,6	40,94	82,35	298,6
5000	39,36	74,83	316,9	40,74	77,86	306,0	40,98	78,34	304,9	40,98	78,34	304,9	40,98	78,34	304,9
5250	38,17	69,21	332,9	40,49	73,65	315,7	40,16	73,08	316,0	40,16	73,08	316,0	40,16	73,08	316,0
5500	36,82	63,68	353,0	38,92	67,62	333,9	39,91	69,35	327,2	39,91	69,35	327,2	39,91	69,35	327,2