

**SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA V
NITRE
TECHNICKÁ FAKULTA**

2118071

DIPLOMOVÁ PRÁCA

2010

Bc. AdriánViktóriusz

**SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA
V NITRE
TECHNICKÁ FAKULTA**

**MERANIE TLAKU NA KONCI KOMPRESIE
DYNAMICKOU METÓDOU MOTORA Z-8401**

Diplomová práca

Študijný program:	Kvalita produkcie
Študijný odbor:	5. 2. 57 Kvalita produkcie
Školiace pracovisko:	Katedra kvality a strojárskych technológií
Školiteľ:	doc. Ing. Michal Horka, CSc.

Nitra 2010

Bc. Adrián Viktóriusz

SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA V NITRE

Technická fakulta
Katedra kvality a strojárskych technológií

Akademický rok: 2008/09

ZADÁVACÍ PROTOKOL DIPLOMOVEJ PRÁCE

Študent: **Bc. Adrián V i k t ó r i u s z**

Študijný odbor: **Kvalita produkcie**
Študijný program: **Kvalita produkcie**

V zmysle 3. časti, čl. 21 Študijného poriadku SPU v Nitre z roku 2008 Vám zadávam tému diplomovej práce:

Meranie tlaku na konci kompresie dynamickou metódou motora Z-8401

Cieľ práce:

Vybrať vhodnú meraciu súpravu pre dynamické meranie tlaku na konci kompresie motora Z-8401. Uskutočniť praktické merania v celom rozsahu otáčok motora.

Rámcová metodika práce:

1. Štúdium literatúry a zhodnotenie súčasného stavu riešenia.
2. Vybrať vhodnú meraciu súpravu a prakticky ju overiť.
3. Uskutočniť prevádzkové merania na motore Z-8401.
4. Namerané výsledky spracovať do prehľadnej podoby.

Rozsah grafických prác: Podľa potreby a určenia vedúceho diplomovej práce

Rozsah textovej časti: 50 – 55 strán

Literatúra:

1. VLK, F. : Vozidlové spalovací motory. Vyd. František Vlk, Brno, 2003.
2. VLK, F. : Skoušení a diagnostika motorových vozidel. Vyd. František Vlk, Brno, 2003.
3. Firemná literatúra : Meracia a vyhodnocovacia elektronická jednotka KISTLER 2705A. Vintertúr, 2001.

Vedúci diplomovej práce: **Doc. Ing. Michal Horka, CSc.**


Konzultant diplomovej práce:

Dátum zadania diplomovej práce: **október 2008**

Harmonogram postupu prác:

1. Štúdium problému a spracovanie prehľadu literatúry – september 2009
2. Vypracovanie metodiky – október 2009
3. Príprava experimentov a vlastné meranie – do december 2009
4. Prezentácia výsledkov práce na katedrovom seminári – február 2010
5. Vyhodnotenie a spracovanie vlastnej práce – do apríla 2010

Dátum odovzdania diplomovej práce: **apríl 2010**


Doc. Ing. Peter Čičo, CSc.
vedúci katedry


Prof. Ing. Vladimír Kročko, CSc.
dekan

SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA
UNIVERZITA V NITRE
TECHNICKÁ FAKULTA
DEKANÁT
Trieda Andreja Hlinku 2, 949 76 NITRA ①

Čestné vyhlásenie

Podpísaný Adrián Viktóriusz vyhlasujem, že som záverečnú prácu na tému „Meranie tlaku na konci kompresie dynamickou metódou motora Z-8401“ vypracoval samostatne s použitím uvedenej literatúry.

Som si vedomý zákonných dôsledkov v prípade, ak uvedené údaje nie sú pravdivé.

V Nitre , 16.apríla 2010

.....
Adrián Viktóriusz

Pod'akovanie

Chcel by som poďakovať všetkým, ktorí mi akýmkoľvek spôsobom pomohli pri spracovaní tejto diplomovej práce. Moje poďakovanie patrí najmä vedúcemu práce, doc. Ing. Michalovi Horkovi, CSc. za vedenie a ostatným pracovníkom Katedry kvality a strojárskych technológií za cenné pripomienky pri záverečnom spracovaní práce.

V Nitre , 16.apríla 2010

.....
Adrián Viktóriusz

Abstrakt

Bc. Viktóriusz Adrián: adrian.viktoriusz@gmail.com , 2010. „MERANIE TLAKU NA KONCI KOMPRESIE DYNAMICKOU METÓDOU MOTORA Z-8401“. [Diplomová práca] Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre. Technická fakulta, Katedra kvality a strojárskych technológií (KKST). Vedúci diplomovej práce : doc. Ing. Michal Horka, CSc.

Predložená diplomová práca sa zaoberá meraním dynamického tlaku na zvolenom motore ZETOR 8401. Zameranie je na vznetové motory, kde sú vyššie kompresné tlaky. Ako meracie zariadenie bol použitý prístroj KISTLER typ 2507A.

Tieto prístroje sú využívané pri veľkých lodných vznetových motoroch, ktoré sú neustále v činnosti, pretože pri ich vypnutí by dochádzalo k určitým stratám a preto je dôležité neustále monitorovanie kompresných tlakov v spaľovacom priestore.

My sme využili presne tento typ prístroja, len s úpravou na motor ZETOR 8401. Úprava spočíva v zmenení adaptéra, v ktorom je piezoelektrický snímač, ktorý sa upevní na miesto vstrekovača a jeho vodič sa spojí s elektronickou vyhodnocovacou jednotkou, teda s prístrojom KISTLER typ 2507A.

Kľúčové slová: tlak, kompresia, piezoelektrický snímač, ZETOR 8401, KISTLER.

Abstract

This diploma work deals with the measurement of dynamic pressure on the selected engine ZETOR 8401. The focus is on diesel engines with higher compression pressures. As the measuring equipment used type of device Kistler 2507.

These devices are used in large marine diesel engines that are constantly in action, because when they would run off to some losses, and therefore it is important to continuously monitor the compression pressure in the combustion chamber.

We use exactly this type of device, with only the adjustment of engine ZETOR 8401. Editing is amended, the adapter, which is a piezoelectric sensor that is mounted in place of the injector and the driver connects with the electronic evaluation unit, a device with a Kistler type 2507.

Keywords: pressure, compression, piezoelectric sensor, ZETOR 8401, KISTLER.

Obsah

Úvod	10
1 Prehľad o súčasnom stave riešenej problematiky	11
1.1 Princíp činnosti vznetrového (Dieselovho) motora	12
1.2 Kompresný pomer a kompresná teplota	14
1.3 Konštrukcia vznetrového motora	15
1.4 Opatrebenie motora	16
1.4.1 Druhy opotrebenia	16
1.5 Typické opotrebenia častí motora	18
1.5.1 Funkčná dvojica valec a vložka valca	18
1.5.2 Funkčná dvojica piest a piestny čap	18
1.5.3 Piestne krúžky	19
1.5.4 Ojničné a hlavne ložiská	19
1.6 Starostlivosť v prevádzke a meranie kompresných tlakov	20
1.6.1 Registračný kompresimeter	20
1.6.2 Porovnávacía metóda merania tesnosti spaľovacieho priestoru motora prístrojom BOSH KTS 570	20
1.7 Snímače tlaku	21
1.7.1 Princípy merania tlaku	21
1.7.2 Odporové snímače	23
1.7.3 Kapacitné snímače	25
1.7.4 Indukčnosťné snímače	26
1.7.5 Piezoelektrické snímače	26
1.7.6 Rezonančné snímače	27
1.7.7 Optické snímače	28
1.8 Tester straty tlaku EFAW 210A	30
1.9 Dynamické metódy merania kompresných tlakov	30
1.9.1 Elektronický prístroj KISTLER 2505 A3	31
2 Cieľ práce	32
3 Metodika práce	33
4 Výsledky práce	34
4.1 Meraný objekt a technické parametre motora	34

4.2	Návrh meracej metódy	35
4.3	Úprava motora a výroba adaptéra	37
4.3.1	Úprava motora	37
4.3.2	Výroba adaptéra	37
4.4	Merací prístroj	39
4.4.1	Záznamová jednotka KISTLER 2507 A	40
4.4.2	Technické parametre prístroja KISTLER 2507 A	42
4.4.3	Popis a ovládanie prístroja KISTLER 2507 A	42
4.5	Návrh metodického postupu merania	44
4.5.1	Príprava motora	44
4.5.2	Príprava prístroja KISTLER 2507 A	45
4.5.3	Príprava pracovníka na meranie	46
4.6	Overenie metódy (meranie)	46
4.7	Vyhodnotenie nameraných hodnôt	49
4.8	Výsledky práce a odporúčania pre prax	53
5	Diskusia	54
6	Záver	55
7	Zoznam použitej literatúry	56
8	Prílohy	57

Úvod

Piestový spaľovací motor sa v automobiloch používa niečo cez 100 rokov a ešte sa zaň nenašla plnohodnotná náhrada. Princíp činnosti zostáva stále rovnaký. Využíva sa premeny chemickej energie viazanej v použitom palive najprv jeho spaľovaním na tepelnú energiu a tá sa nakoniec zmení hnacím mechanizmom na mechanickú prácu.

Prvý kto tento princíp vymyslel bol Nikolaus Augustus Otto, ktorý bol nemeckým strojným konštruktérom. (Ottov motor). Neskoršie vyvinul Rudolf Diesel prvý motor so samovznietením paliva, teda vznetový motor, ktorý si dal patentovať v roku 1894.

Neskorším vývojom elektrotechniky a elektroniky sa začalo uvažovať o využívaní týchto vied pri spaľovacích motoroch, k čomu aj samozrejme došlo. V dnešných časoch sa využíva číslicová technika pri riadení chodu spaľovacích motorov. Touto technikou sa snažíme dopracovať k zvýšeniu ekonomických a ekologických výsledkov v celom rozsahu zaťažovania motora.

Pri meraní informácií o motore a jeho okamžitom stave, teda charakteristík výkonu, krútiaceho momentu, kompresného tlaku a termodynamiky pracovného obehu nám súčasná číslicová meracia technika umožňuje merať tieto dôležité charakteristiky primeranými metódami s primeraným výsledkom.

1 PREHĽAD O SÚČASNOM STAVE RIEŠENEJ PROBLEMATIKY

Dynamická metóda merania kompresného tlaku bola využívaná najmä pri lodných vznetrových motoroch, ktoré bežia neustále a preto je potrebná ich diagnostika a merania tlakov v spaľovacom priestore. Meraním kompresného tlaku získavame informácie, ktoré nám umožňujú zistiť stav motora spôsobeného opotrebením častí, ako sú valce, netesnosť piestnych krúžkov, ventilov, poškodenie tesnenia pod hlavou valcov a podobne. Na absolútne hodnoty kompresného tlaku má vplyv aj ventilová vôľa a časovanie rozvodu. My sa zameriavame na motory v motorových vozidlách a to konkrétne na vznetrové motory. Merania sú prakticky identické s lodnými dieselovými motormi.

Vznetrový motor je najúčinnnejším spaľovacím motorom. Až 40% energie dodanej palivom sa premení na výkon. Na rozdiel od zážihových motorov prebieha príprava zmesi paliva so vzduchom výhradne v spaľovacom priestore valca motoru.

Podľa spôsobu vstrekovania paliva do valca vznetrové motory delíme:

- a.) S priamym vstrekaním paliva
- b.) S nepriamym vstrekaním paliva

a.) Motory s priamym vstrekaním paliva:

Výhody: Nižšia merná spotreba paliva, ľahšie spúšťanie motora pri nižších teplotách, jednoduchšia konštrukcia hlavy valcov.

Prvé dve výhody sú výsledkom menších tepelných a hydraulických strát. Spaľovací priestor je kompaktnější s menším povrchom vzhľadom k objemu. Na mernej spotrebe sa podieľa aj menší súčiniteľ prestupu tepla vplyvom menšej intenzity vírenia a rýchlejší priebeh horenia.

Nevýhody: Nižší stredný efektívny tlak ako dôsledok väčšieho prebytku vzduchu, väčšie maximálne tlaky vo valci motora, tým aj väčšie namáhanie súčastí ako sú piestne skupiny a väčšia tvrdosť motora. Vyššie nároky na vstrekovacie zariadenie pri požiadavke potreby veľmi jemného rozprášeného paliva, vyššie vstrekovacie tlaky, viacotvorové vstrekovacie trysky a vyššie požiadavky na kvalitu paliva.

b.) Motory s nepriamym vstrekaním paliva:

Výhody: Vyšší stredný efektívny tlak vo valci motora s lepším využitím vzduchu, nižšie maximálne tlaky vo valci a teda aj menšie namáhanie súčastí motora, väčší chod, menšie nároky na vstrekovacie zariadenie a kvalitu paliva, jednodotvorové trysky, menšie vstrekovacie tlaky, vhodnosť použitia pre vysokoobrátkové motory, intenzívnejšie vírenie zmesi a preto účinnejšie spaľovanie.

Nevýhody: vyššia merná spotreba paliva, ťažšie spúšťanie studeného motora, zložitejšia a drahšia konštrukcia hlavy valcov s komôrkou, ktorá namáhaná mechanicky aj tepelne.

Rozdiel medzi vznetrovým a zážihovým motorom je v tom, že vznetrové motory majú rozdielnú konštrukciu častí kľukového mechanizmu, piestnej skupiny a hlavy valcov, ktoré musia odolávať väčšiemu tlakovému a teplotnému zaťaženiu.

Rozdelenie palivovej sústavy pri vznetrových motoroch:

- a.) Nízkotlaková časť: jej úlohou je nasať palivo z nádrže a cez palivové čističe ho dopraviť do sacieho kanála vstrekovacieho čerpadla. Na konci sacieho kanála je pretlakový ventil, ktorý udržuje v nízkotlakovej časti mierny pretlak. Prebytočné palivo je odvádzané prepádovým potrubím späť do nádrže.
- b.) Vysokotlaková časť: svojou činnosťou vyvoláva požadovaný vstrekovací tlak, pod ktorým je palivo vstrekané do komôrky, alebo priamo do valca motora. Prebytočné palivo je opäť odvádzané späť do nádrže prepádovým potrubím (Motejl, 2003).

1.1 PRINCÍP ČINNOSTI VZNETOVÉHO (DIESELOVHO) MOTORA

Vo valci vznetrového motora sa stláča čistý vzduch na vysoký tlak, čím sa zvyšuje jeho teplota. Do tohto stlačeného vzduchu sa krátko pred hornou úvraťou vstreknú palivo, ktoré sa vplyvom horúceho vzduchu vznieti a tým aj spaľuje.

Ako palivo samozrejme slúži motorová nafta, ktorej vestilačné rozpätie pri atmosférickom tlaku je 200 ÷ 360 °C a jej kinetická viskozita je pri 20 °C cca. 5 m/s. Pred spaľovaním motorovej nafty sa nesmie vytvoriť homogénna zmes, tak ako to je pri zážihovom motore, pretože by následkom jej okamžitého vzplanutia vznikli príliš vysoké tlaky, ktoré sú neprípustné.

Spaľovanie a jeho priebeh:

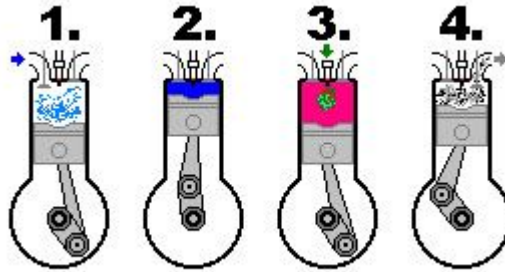
Bod vstreku je charakterizovaný vstreknutím paliva veľkou rýchlosťou do spaľovacieho priestoru, kde sa nafta jemne rozpráši vo vzduchu a vytvorí rovnorodú homogénnu zmes. Pri dobrom rozprášení paliva majú kvapôčky zmesi priemer len niekoľko mikrometrov. V horúcom vzduchu sa začnú odparovať a horieť. Odparovanie začína práve tam, kde teplo a kyslík majú prístup k povrchu. Vonkajšia vrstva sa spáli veľmi rýchlo, pretože molekuly na povrchu paliva reagujú s kyslíkom. Ak máme veľkú povrchovú plochu, tak zhorí veľa paliva naraz, čo sa prejaví zmenou tlaku na otočenie kľukového hriadeľa a maximálnym tlakom vo valci, ktorý je veľký. Povrchová plocha je najväčšia, ak dosiahneme veľmi jemné rozprášenie zmesi.

Hodnota diferenciálneho pomeru, ktorá je 0,5 MPa sa nesmie prekročiť. Ak taký prípad nastane, zapríčini to že motor bude veľmi mechanicky namáhaný a bude mať tvrdý a hlučný chod. Vysoká teplota a tlak podporujú tzv. „krakovanie“, čo je štiepenie molekúl. Veľké molekuly sa rozpadnú a spôsobujú, že majú malú reakčnosť. Ak máme molekuly, ktoré sú dlhé s priamou reťazovou väzbou, tak práve tie sú taktiež náchylné na malú reakčnosť. Krakovanie môže pokročiť až tak ďaleko, že máme veľmi málo uhlíka, ktorý je reakčnosť a keď sa silným prúdením vzduchu nepodarí uhlík dostatočne okysličiť, tak už nezhorí, čo sa prejavuje čiernym zafarbením vnútornej steny výfukového potrubia.

Doby spaľovania:

- **1. Nasávanie-** piest sa pohybuje smerom k dolnej úvrati (DÚ) a cez sací ventil je nasávaný vzduch.
- **2. Kompresia-** piest sa pohybuje smerom k hornej úvrati (HÚ). Oba ventily sú uzavreté. Vzduch, ktorý sa nasal znižuje svoj objem, zväčšuje tlak a teplotu. Tesne pred hornou úvratou je do valca streknuté palivo.
- **3. Expanzia-** oba ventily sú uzavreté. Zmes paliva a vzduchu je zapálená samovznietením a zhorí. V pracovnom priestore valca sa prudko zvýši teplota a aj tlak vzniknutých plynov. Tie expandujú a behom pohybu piestu smerom dole konajú prácu.

- **4. Výfuk-** piest sa pohybuje smerom k hornej úvrati. Výfukový ventil je otvorený. Spaliny z pracovného priestoru valca sú vytlačované do výfukového potrubia. Výfuk je rozdelený na dve časti. Výfuk voľný- nasleduje ešte pred dolnou úvraťou a výfuk nútený- vzniknutý následkom vytlačovania spalín piestom.



Obr. č. 1: Schematické znázornenie činnosti vznetrového motora, (zdroj: www.jirkovodoupej.wz.cz, 2007)

Možnosti vytvárania zmesi:

- Objemový- v spaľovacom priestore sa rozprášené palivo vstrekuje do vzduchu. Palivo sa vstrekuje tak, aby sa rovnomerne rozdelilo do objemu vzduchu pred spaľovaním a aj počas neho.
- Povrchový- palivo je vo forme súvislého tekutého filmu nanášané na chladnú stenu priestoru spaľovania.

1.2 KOMPRESNÝ POMER A KOMPRESNÁ TEPLOTA

KOMPRESNÝ POMER:

Ak sa piest nachádza v hornej úvrati, tak je medzi piestom a hlavou valca dutina, ktorú nazývame kompresný priestor. Pod pojmom kompresný pomer rozumieme pomer zdvihového objemu zväčšeného o objem kompresného priestoru k objemu kompresného priestoru. Čím menší je kompresný priestor, teda čím bližšie dobieha piest k hlave valca, tým väčší je kompresný pomer a tým viac je vzduch na konci kompresie stláčaný.

Pri nadmernom kompresnom pomere vznikajú vysoké spaľovacie teploty a tlaky, takže motor by musel byť veľmi robustný. Okrem toho vznikajú pri vysokých tlakoch plynov nadmerné straty trením v piestnom a kľukovom čape a v ložiskách kľukového hriadeľa. Tým sa prvá výhoda stráca. Preto sa u dnešných vznetrových motoroch volí veľkosť kompresného

pomeru v takých medziach, aby sa dosiahlo hospodárnej premeny energie a zároveň aj ľahkej konštrukcie motora. Kompresný pomer býva $13 \div 22$, čomu prináleží tlak $23 \div 44$ kPa /cm. Menšie hodnoty kompresného pomeru $13 \div 16$ sa volia hlavne vo veľkých stacionárnych motoroch, väčšie $16 \div 22$ pri ľahkých vozidlových motoroch. (Svrček, 2006).

KOMPRESNÁ TEPLOTA:

Teplota vzduchu na konci kompresie má byť taká vysoká, aby sa vstreknuté palivo stykom s horúcim vzduchom bezpečne vznietilo. Potrebná teplota závisí na mnohých činiteľoch, hlavne na veľkosti kompresného pomeru a na teplote nasávaného vzduchu, tým vyššia je aj konečná kompresná teplota a behom kompresie sa vzduch ohrieva od horúcich stien valca. Kompresná teplota plne zaťaženého motora je preto vyššia ako motora bežiacého naprázdno, lebo sa spaľuje len malé množstvo paliva.

V rýchlobežných motoroch je na zhorenie paliva vymedzený veľmi krátky čas a preto je nutné zabezpečiť dostatočne zvýšenú teplotu stlačeného vzduchu nad zápalný bod nafty, čo je $330 \div 360$ °C. Zvyšovaním kompresného tlaku si kôli rýchlejšiemu spaľovaniu o 200 až 350 °C vyššiu teplotu než je bod zápalu paliva zodpovedajúci tomuto tlaku.

Vzduch sa stenami valca ohrieva, len pokiaľ teplota komprimovaného vzduchu neprekročí teplotu stien valca. V poslednej fáze kompresie naopak teplo prestupuje zo stlačeného vzduchu do stien, teda vzduch sa ochladzuje. Toto ochladzovanie je tým väčšie a teda kompresná teplota tým nižšia, čím väčší je povrch spaľovacieho priestoru. Kompresná teplota je preto nižšia pri komôrkových motoroch, ktoré majú veľký povrch spaľovacieho priestoru, ako motory s priamym vstrekaním paliva.

Vznetové motory, teda motory na tzv. ťažké kvapalné palivá, ako na plynové a parafínové oleje z ropy, dechtu, plynové syntetické oleje a podobné látky, ktoré sa súhrnne, pokiaľ spĺňajú predpísané podmienky, nazývajú motorová nafta. (Svrček, 2006).

1.3 KONŠTRUKCIA VZNETOVÉHO MOTORA

Konštrukcia je veľmi podobná zážihovému motoru. Vznetový má namiesto karburátora vstrekovacie čerpadlo, ktoré je poháňané od motora. Každý jeden valec má samostatný vstrekoč spojený s rúrkou so vstrekovacím čerpadlom. Spodný koniec vstrekoča zasahuje do komôrky, ktorá je buď jedným väčším väčším otvorom, alebo niekoľkými menšími spojená s vnútorným priestorom valca. Ďalej vznetový motor obsahuje žeraviacu sviečku,

ktorá je z boku zaskrutkovaná do hlavy valca.. Špirála žeraviacej sviečky vniká postranným otvorom do komôrky spaľovania. Táto žeraviaca sviečka slúži k lepšiemu spúšťaniu motora v zimnom období. Po zapnutí spínača žeravenia, začne prúd prechádzať z akumulátora do žeraviacich sviečok. Špirály sviečok sa tým pádom rozžeravia a zohrejú vnútorný priestor komôrok valcov. Vstrekovače paliva sú umiestnené na hlave valca a sú upevnené pomocou strmeňov (Papoušek- Štěrba, 2007).

1.4 OPOTREBENIE MOTORA

Pri chode spaľovacieho motora dochádza priebežne k fyzickému opotrebeniu jednotlivých súčastí, či už je to viditeľné opotrebenie, alebo voľným okom neviditeľné.

Medzi neviditeľné opotrebenie patria typicky dynamické namáhané súčasti do doby vzniku iniciačných trhlín (medza únavy materiálu), alebo počiatočné stavy tzv. medzikryštalickej korózie. Tieto opotrebenia sú veľmi nebezpečné a čelíme im vhodnou konštrukciou, použitými materiálmi a plánovanými výmenami kritických súčastí.

Viditeľné opotrebenie na sebe priebežne upozorňuje rôznymi vonkajšími prejavmi. Môže sa jednáť o zníženie výkonu motora, taktiež to môže vplyvať na zvýšenú spotrebu oleja, či zmenu spektra vyžarovaného hluku. S ohľadom na tieto vonkajšie prejavy tak môžeme toto opotrebenie priebežne diagnostikovať a plánovať potrebné opravy.

Posledným typom opotrebenia, o ktorom sa zmienime iba okrajovo, je opotrebenie morálne. To nemá žiadny vplyv na funkčnosť zariadenia, môže však mať vplyv na predajnosť, či investície do ďalšieho vývoja motora. Veľkosť morálneho opotrebenia a nutnosť prípadných inovácií musí zvážiť výrobca pri rozhodovaní sa o prípadnej zmene výroby (Papoušek- Štěrba, 2007).

1.4.1 DRUHY OPOTREBENIA

V našich úvahách sa ďalej zaoberáme predovšetkým viditeľným fyzickým opotrebením. Toto opotrebenie môžeme podľa charakteru rozdeliť do viacerých skupín:

a.) MECHANICKÉ OPOTREBENIE:

- **Oter-** je to časté opotrebenie vyskytujúce sa u vzájomne pohyblivých súčastí, ktoré po sebe klížu. Dochádza pri ňom k obrusovaniu povrchu súčastí. Jeho veľkosť je daná

vzájomnou rýchlosťou pohybu a silovým pôsobením. Medzi typické prípady môžeme zaradiť opotrebenie klzných ložísk, alebo opotrebenie piestovej skupiny.

- **Otlačenie**- patrí medzi ďalšie časté opotrebenie, ktoré vzniká iba vzájomným silovým pôsobením. Dochádza pri ňom k prelomeniu povrchovej vrstvy súčastí, zmene mechanických vlastností tejto povrchovej vrstvy, vzniku vôlí a k ďalšiemu rázovému namáhaniu. Súčasti nie sú vo vzájomnom klznom pohybe, no veľmi často však dochádza k odvaľovaniu jednej súčasti po druhej. Medzi typické príklady patria rôzne čapy, valivé ložiská, či ozubené kolesá.
- **Pitting**- patrí medzi zvláštny prípad opotrebenia spôsobeného otlačením. Vzniká pri silnom preťažení, kedy dôjde ku značnému prelomeniu povrchových vrstiev a ich vzájomnému pohybu voči sebe, vzniku tepla a k ich mikroskopickému zvareniu. Po následnom oddialení súčastí od seba dôjde k roztrhnutiu povrchových vrstiev a zhoršeniu kvality povrchu. Toto opotrebenie sa typicky vyskytuje pri ozubených kolesách.
- **Kavitácia**- zvláštny druh opotrebenia, ktoré by sme mohli zaradiť do kategórie chemických opotrebení. Vzniká tam, kde dochádza k narušeniu tlakových pomerov pri prúdení kvapalín. Lokálne tak môže vzniknúť takmer vákuum, ktoré však obsahuje stopy pár kvapaliny. Toto vákuum vzápätí zmizne. Pri jeho vzniku a aj vymiznutí vznikajú tlakové rázy, ktoré spolu s chemickým pôsobením (korózia) silne narušujú povrch súčastí. Toto vzniká najčastejšie na lopatkách vodných čerpadiel, hydraulických spojkách, zriedkakedy na hlavách valcov (Papoušek- Štěrba, 2007).

b.) CHEMICKÉ OPOTREBENIE:

- **Korózia**- je to vlastne oxidácia materiálu. Vzniká buď pôsobením vonkajšieho prostredia (chemická), alebo za pomoci elektrického pola (elektrochemická). Podľa povahy môžeme koróziu rozdeliť na povrchovú, jamkovú a medzikryštálovú. Posledný prípad je najbezpečnejší, pretože sa prakticky neprejavuje až do doby, keď dôjde k strate únosnosti častí.
- **Oxidácia**- je to zmena vlastností povrchu pôsobením kyslíka. Pri pevných materiáloch je považovaná za koróziu, no môžeme sa s ňou stretnúť aj pri kvapalinách, napr. pri olejoch, ktoré jej pôsobením strácajú svoje pôvodné vlastnosti.

- **Tepelné opotrebenie**- najčastejšie sa prejavuje ako následný stav pri vzniku nejakej poruchy, napr. pri lokálnom prehriatí môže dôjsť k vyžihaniu materiálu a zmäknutí jeho povrchových vrstiev. Pri vysokopevnostných materiáloch potom dochádza k výrazným zmenám ich mechanických vlastností. (medza pevnosti, sklzu, húževnatosť, tvrdosť..)
- **Radiačné opotrebenie**- pôsobením rádioaktívneho žiarenia dochádza postupom času k dlhodobým zmenám mechanických vlastností materiálu. Vzhľadom k tomu, že tieto zmeny sa veľmi ťažko dopredu odhadujú a spustené jadrové zariadenie v podstate nemôžeme v aktívnej zóne rozobrať a preskúšať, bývajú súčasťou takýchto zariadení a špeciálne komory, v ktorých ukladáme vzorky použitých materiálov. Tieto vzorky postupne v plánovaných časových intervaloch z komôr vyberáme a skúmame zmeny ich vlastností. Pokiaľ zistíme nadmernú degradáciu vzoriek, odstavíme ich. S týmto druhom opotrebenia sa v automobilovej praxi nestretáme, jedine pri vojenskej technike v prípade nasadenia.
(PAPOUŠEK- ŠTĚRBA, 2007)

1.5 TYPICKÉ OPOTREBENIA ČASTÍ MOTORA

1.5.1 FUNKČNÁ DVOJICA VALEC A VLOŽKA VALCA

Typické opotrebenie týchto častí je znázornené na obr. 2. Je vidieť, že v hornej úvrati je opotrebenie najväčšie, no smerom dole sa znižuje. Dané to je priebehom tlakov vo valci, rozložením teplôt aj pôsobením spalín. Rovnako bude opotrebenie najväčšie v rovine kolmej k ose kľukového hriadeľa, no však v rovine idúcej osou kľukového hriadeľa bude menšie. Toto je spôsobené zotrvačnými silami ojnic, ktoré zachytáva piest (Papoušek- Štěrba, 2007).

1.5.2 FUNKČNÁ DVOJICA PIEST A PIESTNY ČAP

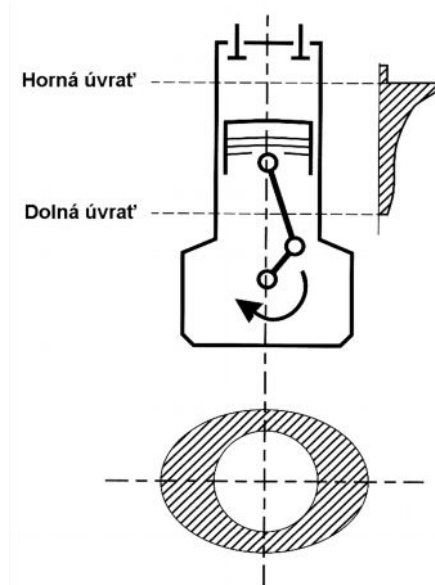
Piest je opotrebený oterom na vonkajšom plášti, najväčšie opotrebenie bude však v rovine kolmej na os kľukového hriadeľa, často tu je vidieť zadrené oblasti. Dôvod nerovnomerného opotrebenia je zhodný ako pri valci, avšak bude tu dochádzať aj k vytĺkaniu drážok pre piestne krúžky (Papoušek- Štěrba, 2007).

1.5.3 PIESTNE KRÚŽKY

Otierajú sa po vonkajšej valcovej ploche, miznú úkosy, na krajoch sa v medzných prípadoch tvorí ošúchanie. Pri vytlačení piestnych krúžkov v drážke piestu bude opotrebenie po obvodu nerovnomerné a vonkajšia plocha môže byť súdkovitá. Rovnako tak sa prvé príznaky budú prejavovať v oblasti zámku vplyvom nerovnomernosti prítlaku (Papoušek-Štěrba, 2007).

1.5.4 OJNIČNÉ A HLAVNÉ LOŽISKÁ

Klzné ložiská sa opotrebojú oterom, ich opotrebenie je spravidla rovnomerné. Pokiaľ zistíme nerovnomernosť, tzv. ovalitu, jedná sa o havarijný stav motora, ktorého príčinou bude hlavne nedostatočné mazanie. Opatrebenie ložísk býva najväčšie pri rozbehu motora, kedy ešte v olejovej sústave nie je potrebný tlak. Tomuto javu sa zabraňuje pri veľkých lodných motoroch tak, že pred vlastným štartom motora sa najprv spustia pomocné olejové čerpadlá, ktoré vytvoria potrebný tlak oleja a zaistia tak premazanie (Papoušek-Štěrba, 2007).



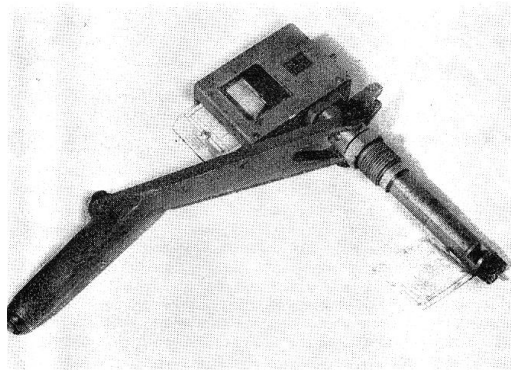
Obr. č. 2: Typické opotrebenie valca motora. Opatrebenie bude väčšie v rovine kolmej na os kľukového hriadeľa z dôvodu pôsobenia zotrvačných síl ojníc. (zdroj: Papoušek – Štěrba, 2007)

1.6 STAROSTLIVOSŤ V PREVÁDZKE A MERANIE KOMPRESNÝCH TLAKOV

1.6.1 REGISTRAČNÝ KOMPRESIOMETER

Je určený na meranie maximálnych kompresných tlakov piestových spaľovacích motorov. Tlakomer tohto prístroja má v hornej časti telesa pružinu s piestom, ktorá je spojená s tiahlom zapisovača. Pri pôsobiacom tlaku na piest sa pružina stláča a tým meria veľkosť tlaku. Na pomocnej doštičke, ktorá je uložená v skrinke zapisovača je uložený registračný štítok a na ten sa zaznamenáva hodnota tlaku.

V spodnej časti kompresimetra sa nachádza gumové tesnenie, ktoré slúži na utesnenie kompresimetra v hlave valcov pri meraní. a tiež sa tam nachádza aj spätný ventil.



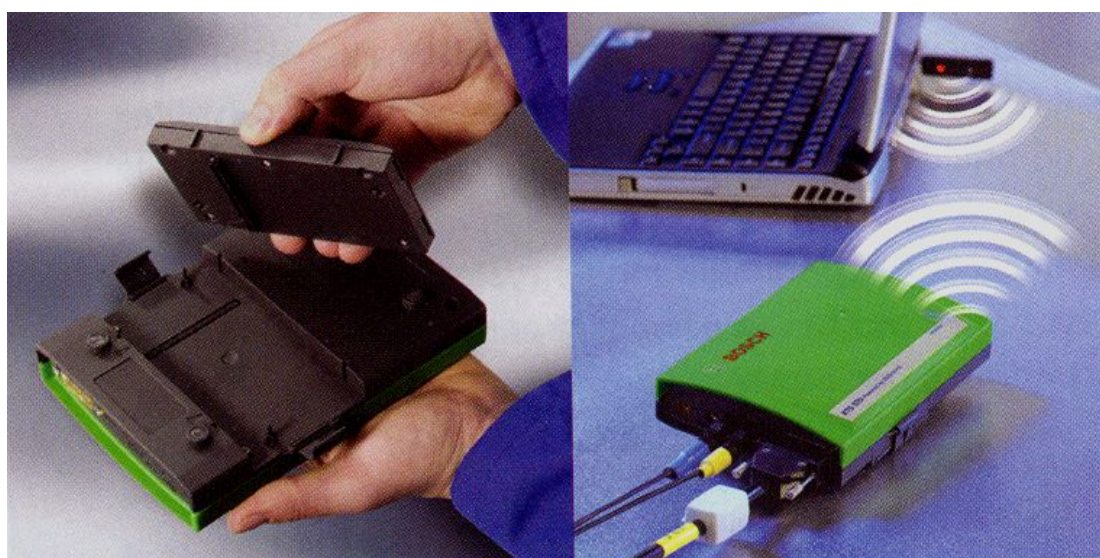
*Obr. č. 3: Registračný kompresimeter
(zdroj: Havlíček, 1983)*

1.6.2 POROVNÁVACIA METÓDA MERANIA TESNOSTI SPAĽOVACIEHO PRIESTORU MOTORA PRÍSTROJOM BOSH KTS 570

Základom tu je vypínanie zapalovania pri každom valci jednotlivo. Vypnutím každého valca a z toho vzniknutého poklesu otáčok sa vypočíta podiel každého valca na celkovej strate motora. Valec, pri ktorom je najväčšia strata výkonu spôsobuje pri vypnutí menší úbytok otáčok na rozdiel od valcov, ktoré sú v poriadku. Za najvhodnejšie sa predpokladá, ak by bol úbytok otáčok pri každom valci rovnaký. Väčšie rozdiely v nameraných hodnotách môžu byť spôsobené zapalovaním, prípravou zmesi, alebo technickým stavom funkčných častí spaľovacieho priestoru. (Peterson news, 2006).



Obr. č. 4: Diagnostický tester BOSCH KTS 570 (zdroj: Diagnostika Bosh pro současnost i budoucnost autoservisu, 2007).



Obr. č. 5: Flexibilita při práci (zdroj: Diagnostika Bosh pro současnost i budoucnost autoservisu, 2007).

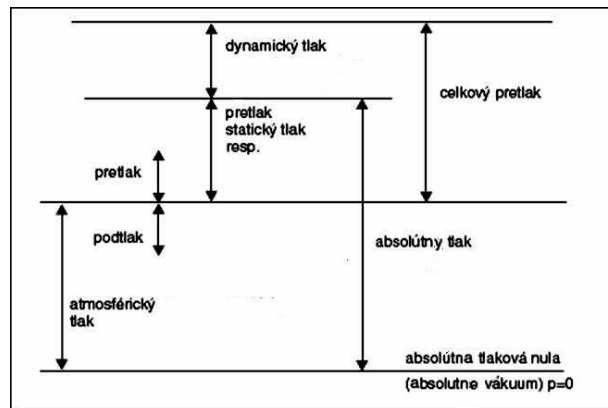
1.7 SNÍMAČE TLAKU

Meranie tlakov kvapalín, plynov a pár patrí k veľmi častým úlohám v praxi. Stretnúť sa s tým môžeme napr. v energetike, vede, medicíne, meteorológii atď. Zhruba 12% meraní fyzikálnych veličín v praxi tvoria merania za pomoci tlakomerov (www.automatizace.cz, 2004).

1.7.1 PRINCÍPY MERANIA TLAKU

Z fyzikálneho hľadiska rozlišujeme statický, dynamický a zmiešaný tlak, absolútny, relatívny a atmosférický, podtlak (vákuum) a pretlak- obr. 3. Základnou jednotkou tlaku je pascal, pričom $1 \text{ Pa} = 1 \text{ m}^{-1} \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2} = 1 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$. Častejšie sa používajú násobky ako kPa,

MPa. Ďalšou jednotkou je „bar“, pričom 1 bar= 100 kPa. Pri udávaní tlaku v baroch sa robia menšie chyby, pretože „bar“ je približne rovnako veľký ako „atmosféra“ (0,981 bar= 1 atm.).



Obr. č. 6: grafické znázornenie vyjadrení tlakov. (zdroj: www.automatizace.cz, 2004)

Väčšina základných princípov využívaných pri snímačoch tlakov je po desaťročia nemenná. Spravidla sa nemení priamo tlak (p), ale jeho silový účinok (F) a to obvykle buď v podobe deformácie pružného člena, alebo v podobe mechanického napätia, ktoré v silovo namáhanom člene vzniká. Výnimku tvoria niektoré vákuometre uvádzané nižšie. Obvykle rozlišujeme nasledujúce funkčné princípy:

- odporový piezorezistívny
- odporový s tenzometrami
- kapacitný
- piezoelektrický
- rezonančný
- indukčnosť
- optický (optoelektronický)
- deformačný

(www.automatizace.cz, 2004).

K názvu „deformačný“ môžeme zahrnúť ďalšie princípy, ktoré sú kombináciou deformačného člena s rôznymi čidlami polohy: s mechanickými kontaktmi (mikrospínač), s jazýčkovým relé, s Hallovou sondou, alebo s iným (napr. optickým) snímačom polohy.

Ďalším príkladom je deformačný člen v spojení s elektromechanickou spätnou väzbou v kompenzačnom zapojení. Pre meranie vákuua sa používajú zhodné spôsoby. Silové účinky veľmi nízkych tlakov sú však ťažko merateľné, a preto sa používajú tiež spôsoby elektrické

(piezorezistívne a Bayardova mierka, Albertova mierka, ionizačná, Penningova a so zdrojom rádioaktívneho žiarenia) a tepelné (bolometer, Piraniho a termočlánkové mierky). Z iného hľadiska je možné rozdeliť systémy snímačov na:

- Intrinsické, kde silovo namáhaný prvok je spätý so snímacím elementom, ako je tomu napr. pri piezorezistívnych snímačoch.
- Systémy s deformačným členom, pri ktorých deformačný člen možno chápať ako samostatnú súčasť oddeliteľnú od elementu snímajúceho jeho výchylku.

Podľa tvaru deformačného člena možno rozdeľovať snímače tlaku na systémy:

- s membránou
- s membránovou krabicou
- s vlnkou
- s trubkovým (Bourdonovým) perom
- prípadne ohybový nosník, či pružina v spojení s membránou, piestom či vlnkou bez vlastnej charakteristiky.

Najrozšírenejšie sú snímače tlaku s membránou, ktorá môže mať rôzne podoby. Pokým pri skôr používaných systémov membrána mala priemer desiatok až stoviek milimetrov a pracovný zdvih desatiny až jednotky milimetrov, moderné snímače (napr. piezorezistívny) majú membránu z tvrdého krehkého materiálu o priemere sotva niekoľko desiatín milimetra a priehyb membrány je prakticky nulový (*www.automatizace.cz, 2004*).

1.7.2 ODPOROVÉ SNÍMAČE

Sú založené na zmene odporu vodiča s jeho deformáciou, resp. s jeho mechanickým namáhaním. Meracie odpory sú usporiadané do Wheatsonovho mostíka a snímajú napätie deformačného člena, čím je spravidla membrána tvaru dosky. Nevýhodou je závislosť odporu na teplote, ktorá musí byť kompenzovaná.

Piezorezistívny odporový snímač

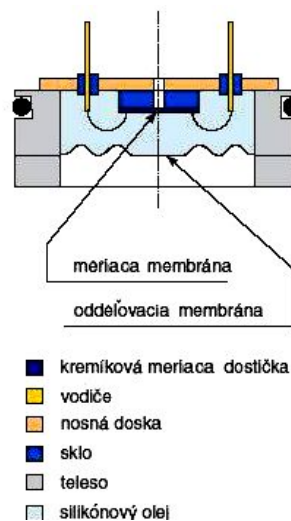
Piezorezistivita je jav, ktorý sa začal technicky využívať v 60. rokoch 20-teho storočia. Monokryštalický kremík je modifikovaný prímiesou stopových prvkov tak, že jeho merný

odpor je výrazne závislý na mechanickom namáhaní. Táto závislosť je cca. 30-krát výraznejšia než pri kovových fóliových tenzometroch. V závislosti na voľbe akceptora sa dá dosiahnuť vodivosť typu P, alebo N, ktoré sa mimo iných odlišujú tiež znamienkom súčiniteľa závislosti odporu na mechanickom napätí (K-faktora).

Meracím členom piezorezistívnych snímačov je mechanicky namáhaná doštička z vysokoodporového kremíka, na ktorej sú difúzne akceptory vytvorené vodivé „cestičky“ usporiadané obvykle do Wheatsonovho mostíka.

Kremíková meracia doštička je obvykle pripájaná na nosnú doštičku zo skla, ktorá je nalepená na kovovú podložku zo špeciálnej zliatiny so zhodnou teplotou rozťažnosti. Vysoká citlivosť piezorezistívneho materiálu dáva čidlám nasledujúce vlastnosti:

- malý priemer činnej časti kremíkovej membrány
- veľmi malá deformácia
- malá hysterézia a malý „creep“ (tečenie materiálu v studenom stave vplyvom mechanického namáhania).



Obr. č. 7: Rez piezorezistívnym snímačom s oddel'ovacou membránou

(zdroj: www.automatizace.cz, 2004)

Hrubovrstvové tenzometre

Tenzometer je vytvorený hybridnou technológiou na jednej strane membrány zhotovenej obvykle z keramiky, ale aj z iných materiálov vrátane plastov. Odporový materiál sa vo forme pasty naniesie sieťotlačou a potom sa vytvrdí. Hrúbka vrstvy je rádovo 0,01 mm. Rovnakou technológiou môžu byť na doštičke, avšak mimo oblasť namáhanej tlakom vytvorené

kompenzačné odpory, prípadne iné súčasti elektronického obvodu, ktorých hodnota je trimovaná laserom. V extrémnych prípadoch sú všetky elektronické obvody snímača vytvorené na jedinej keramickej doštičke. Druhá strana membrány je prístupná meranému médiu (*www.automatizace.cz, 2004*).

Tenkovrstvové kovové tenzometre

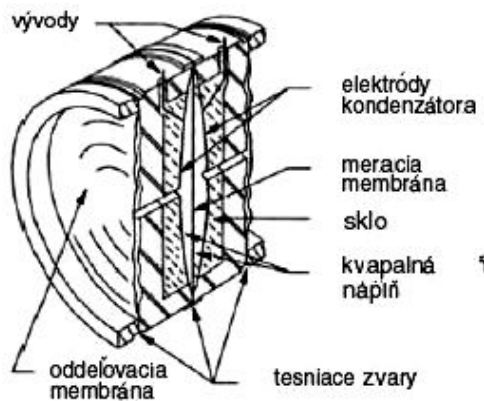
Vznikajú vákuovým naparením kovovej vrstvy o hrúbke rádovo 0,0001 mm na izolačnú vrstvu (obvykle keramickú), ktorá je zhotovená na kovovom deformačnom člene. Deformačný člen môže tvoriť jeden celok s telesom, alebo môže byť spojený zvarom so vstupným hrdlom tlaku. Tým je toto riešenie vhodné pre meranie vysokých tlakov. Nevýhodou sú vyššie výrobné náklady a nesúrodnosť jednotlivých vrstiev (kov-keramika-kov) (*www.automatizace.cz, 2004*).

1.7.3 KAPACITNÉ SNÍMAČE

Pokým piezorezistívne snímače a hrubovrstvové tenzometre zaznamenali v minulých dvoch desaťročiach búrlivý rozvoj, kapacitný snímací systém je už o niečo starším spôsobom senzorickej techniky.

Deformačná membrána z tenkého vodivého materiálu tvorí elektródu, ktorá sa vychýľuje medzi dvoma ďalšími elektródami vytvorenými na stenách dutiny v telese snímača. Priestor medzi membránou a stenou dutiny je vyplnený dielektrikom, ktorým je vzduch, alebo iný inertný plyn. Týmto usporiadaním vzniká dvojica snímacích kondenzátorov, ktorých kapacita je závislá na hrúbke dielektrika, teda na výchylke membrány. Oba kondenzátory sú zapojené do dvoch vetiev polovičného mostíka.

Kapacita kondenzátorov je závislá na vlastnostiach dielektrika a preto je možné len v obmedzenom okruhu aplikácií merané médium privádzať až do priestoru snímacích elektród. Popísané usporiadanie je náročné na výrobu a nájdeme ho v presných a odolných prevodníkoch vyššej cenovej kategórie (*www.automatizace.cz, 2004*).



Obr. č. 8: Schematické znázornenie kapacitného snímača diferencie tlakov
(zdroj: www.automatizace.cz, 2004)

1.7.4 INDUKČNOSTNÉ SNÍMAČE

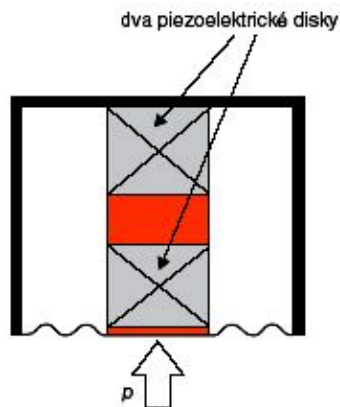
Indukčnosťný diferenčný snímač je usporiadaný podobne ako kapacitný snímač. Miesto pevných snímacích elektród sú v telese prevodníka zabudované snímacie cievky. Magnetický obvod sa uzatvára cez jadro cievky a vzduchovú medzeru. Meracia membrána je zhotovená buď z feromagnetického materiálu a tvorí časť magnetického obvodu, prípadne je vo svojej aktívnej časti opatrená kúskom feromagnetického materiálu, alebo pohybuje jadrom cievky pomocou tiahla. S výchylkou membrány sa mení pomer indukčností oboch cievok zapojených v striedavom moste a tým dochádza k jeho rozváženiu. Používajú sa aj konštrukcie s jedinou snímacou cievkou (www.automatizace.cz, 2004).

1.7.5 PIEZOELEKTRICKÉ SNÍMAČE

Pri piezoelektrických senzoch tlaku vyvoláva tlaková sila F deformáciu piezoelektrického elementu. Piezoelektrický element tvorí tzv. dvojica piezoelektrických diskov. Disky sú zapojené elektricky paralelne (náboje sa sčítajú), mechanicky sériovo. Následkom priameho piezoelektrického javu dochádza k polarizácii elementu a vzniku piezoelektrického náboja Q na elektródach úmerného tlaku. Tlak je privádzaný na tuhú strednú časť membrány, ktorá súčasne zaisťuje počiatočné mechanické predpätie, vhodné aj pre zlepšenie linearity. Z piezoelektrických materiálov, ktoré delíme na kryštalické, keramické a polymérové sa u snímačov tlaku najčastejšie používa kremeň (SiO_2 vyrábaný v súčasnosti umelo). Použitie je obmedzené Courierovou teplotou, pri ktorej dochádza ku strate piezoelektrických vlastností.

K hlavným výhodám piezoelektrických snímačov tlaku patria ich malé rozmery a hmotnosť, široké frekvenčné pásmo. Medzi nevýhody patrí teplotná závislosť, zložitejšie spracovanie signálov a potrebné špeciálne káble s vysokým izolačným odporom, zníži sa tým šum kábla, ale zmenší sa obvykle horná hranica pracovných teplôt.

K významným výrobcom piezoelektrických snímačov tlaku patria napr. spoločnosti Kistler, PBC Piezotronics Inc., Kulite, Paroscientific Inc. a ďalšie. (www.automatizace.cz, 2004).



Obr. č. 9: Schematické znázornenie piezoelektrickej dvojice

(zdroj: www.automatizace.cz, 2004)

1.7.6 REZONANČNÉ SNÍMAČE

Pracujú na princípe elektromagnetického rezonátora s pružným členom, ktorého rezonančný kmitočet závisí, okrem rozmerov, tvaru, mernej hmotnosti, modulu pružnosti a teploty aj na mernom tlaku. Mechanický rezonátor je zapojený do spätnoväzbového obvodu oscilátora a jeho parametre určujú vlastný kmitočet (frekvenciu) oscilátora, ktorý je rozkmitaný elektromechanickým meničom (obvykle to je magnet). Pôsobením merného tlaku vznikajú v rezonátore deformácie, ktoré sa prejavujú zmenou rezonančného kmitočtu- obr. 7. (www.automatizace.cz, 2004).

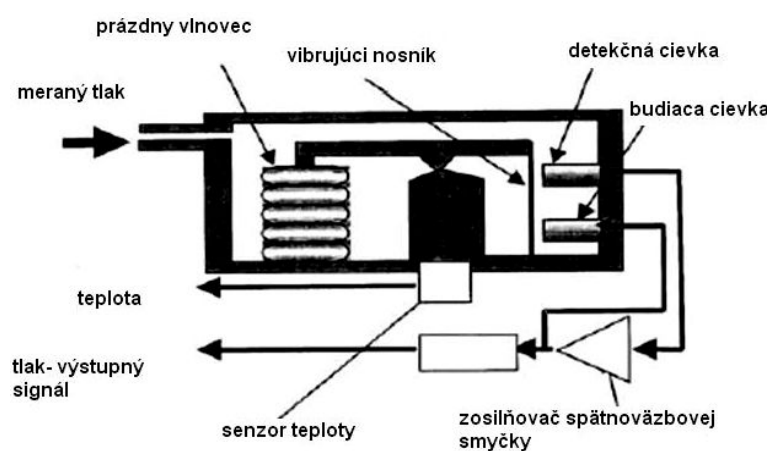
Podľa konštrukčného riešenia rezonátora sa obvykle delia na senzory:

- s kmitajúcou strunou, valcom, alebo nosníčkom
- s kmitajúcim kryštálom
- s povrchovými akustickými vlnami
- s kremíkovým vibračným členom

K základným všeobecným výhodám týchto snímačov patrí binárny vstupný signál (bez prevodníka A/D), vysoká presnosť a časová stabilita, spoľahlivosť, rozlišovacia schopnosť, reprodukovateľnosť a odolnosť voči rušeniu, väčšinou tiež zanedbateľná hysterezia.

K nevýhodám patrí naopak závislosť na teplote, v súčasnosti obmedzený rozsah merania diferenčného tlaku, horšie dynamické vlastnosti, náročnejšia výroba a u niektorých konštrukcií aj nelineárna závislosť rezonančného kmitočtu na tlaku a citlivosť na vibrácie.

K výrobcom rezonančných tlakomerov, ktoré sa vyrábajú 3D elektromechanickými technológiami patria spoločnosti ako Yokogawa, Druck, Thales, Foxboro a ďalšie. (www.automatizace.cz, 2004).



Obr. č.10: Schéma rezonančného snímača tlaku s kremíkovým vibračným členom
(zdroj: www.automatizace.cz, 2004)

1.7.7 OPTICKÉ SNÍMAČE

Oproti ostatným snímačom tlaku je rozdiel v použití iného typu nosičov- fotónov. Práve z tejto zásadnej odlišnosti vyplývajú ich charakteristické vlastnosti, ku ktorým patrí vysoká citlivosť, linearita a odolnosť voči rušeniu, iskrová bezpečnosť, nízka hmotnosť a ďalšie. K nevýhodám patrí oveľa náročnejšia konštrukcia a cena.

Pri optických snímačoch sa využíva voľný svetelný zväzok paprskov, no v poslednej dobe sú to častejšie optické vlákna. Delia sa na optické vláknové snímače vlastné, kedy vlákno je súčasťou snímača- čiže čidlo a nevlastné, kedy vlákno slúži iba ako transportné prostredie.

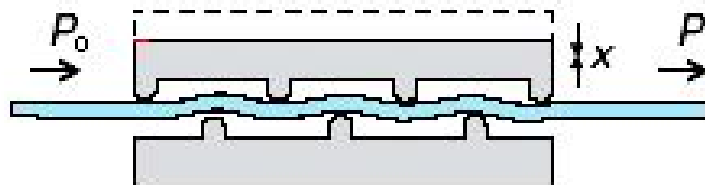
Optický vláknový snímač na obr. 8 využíva mikroohyby v optickom vlákne, ktoré vznikajú medzi hrotmi pôsobením meraného tlaku- zmenou polohy hornej pohyblivej dosky o hodnotu x . Jej následkom dochádza ku konverzii vyšších vidov vo viacvidovom optickom

vlákne, ktoré jadro vlákna opúšťa. Následkom toho sa vstupný optický výkon, čiže intenzita P_0 zmenší na hodnotu P_1 za snímačom.

Na obr. 9 je principiálne usporiadanie reflexného optického vláknového snímača. V tomto prípade dochádza pôsobením tlaku na membránu k zmene vzdialenosti medzi koncom optického vlákna a vnútornou stranou membrány s reflexnou vrstvou. Tým sa mení intenzita výstupného optického toku F_2 . Na obr. 9 je možné vidieť vláknový snímač tlaku s pólóvým vláknom (a) a s dvoma vláknami (b).

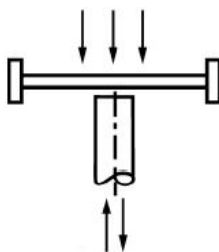
Iný druh optického vláknového snímača využíva optický Fabryho- Perotovho rozonátora, ktorého rozmery sa pôsobením meraného tlaku mení a dochádza tak k jeho preladovaniu, teda k zmene rezonančnej frekvencie. Optické vláknové snímače tlaku sa používajú v priemyselnej praxi, potom aj v iných odboroch akým je aj armáda. K najznámejším optickým vláknovým snímačom patrí optický vláknový hydrofón, ktorý so svojimi parametrami nemá zrovnateľného konkurenta pri iných princípoch.

K významným výrobcam optických snímačov tlaku patria Optrand Inc., Dresser Instruments., Fiso, Ipitek, Neoptix a iné. (www.automatizace.cz, 2004).



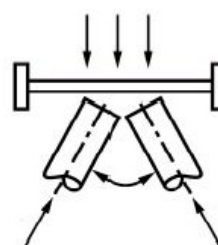
Obr. č. 11: Snímač tlaku s optickými vláknami
(zdroj: www.automatizace.cz, 2004)

a.)



Obr. č. 12: Vláknový reflexný snímač tlaku so spoločným vláknom.
(zdroj: www.automatizace.cz, 2004)

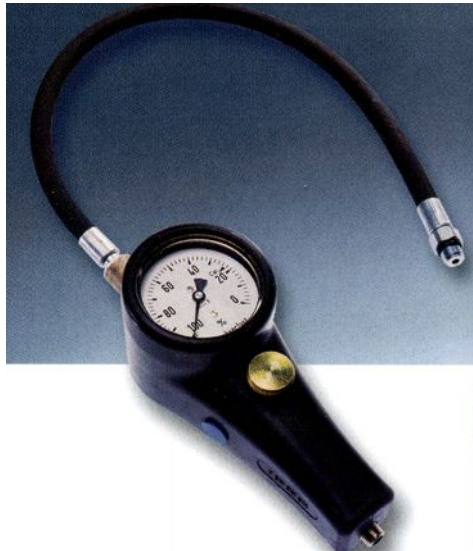
b.)



Obr. č. 13: Vláknový reflexný snímač tlaku s dvoma vláknami.
(zdroj: www.automatizace.cz, 2004)

1.8 TESTER STRATY TLAKU EFAW 210A

Slúži ku kontrole a zaisteniu netesností spaľovacieho priestoru zážihových a vznetrových motorov, napríklad po nevyhovujúcom teste kompresie. V závislosti na percentuálnom poklese tlaku a vzniku je možné jednoznačne identifikovať, ktorá časť motora je zdrojom netesnosti (*Diagnostika Bosh pro súčasnosť i budúcnosť autoservisu, 2007*).



Obr. č. 14: Tester straty tlaku EFAW 210A (zdroj: Diagnostika Bosh pro súčasnosť i budúcnosť autoservisu, 2007).

1.9 DYNAMICKÉ METÓDY MERANIA KOMPRESNÝCH TLAKOV

Dynamické metódy merania tlakov sú najvhodnejšie pre zisťovanie druhov opotrebenia motorov a preto sú tak často využívané.

Meranie maximálnych hodnôt kompresných tlakov je veľmi rozšírené. Nižšie hodnoty kompresného tlaku spaľovacieho motora nám svedčia o opotrebení a nevyhnutnosti výmeny, alebo obnovy piestovej skupiny, alebo ventilov.

Veľmi často zisťujeme časové zmeny tlakov pri kontrole tesnosti a opotrebenia dvojíc vstrekovacieho čerpadla. Veľmi hodnotným signálom, ktorým hodnotíme kvalitu vstrekovania paliva je časová zmena tlaku vstrekovania paliva do valcov.

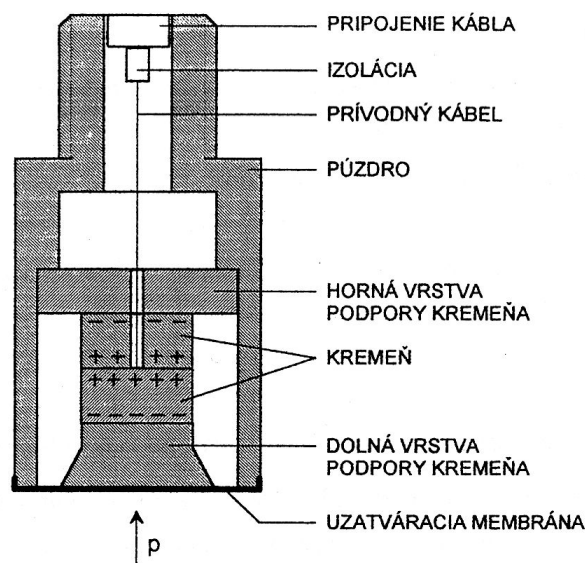
Na meranie tlakov sa využívajú rôzne fyzikálne deje, ktoré ovplyvňujú tlak. Na meranie vyšších tlakov využívame deformačné tlakomery na princípe Bourdonovej rúrky. Na meranie extrémnych hodnôt tlakov je možné použiť tlakomer s vlečnou ručičkou, alebo s registračným

zariadením tzv. registračný kompresimeter na meranie kompresných tlakov. Širšie využitie majú tlakomery založené na zmene elektrických, alebo magnetických vlastností látok. Veľkou výhodou tu je, že snímače sú väčšinou malé, ľahko umiestniteľné a umožňujú indikáciu, alebo registráciu pomocou bežných univerzálnych vyhodnocovacích prístrojov. Patria sem predovšetkým piezoelektrické snímače, vhodné pre vyššie, rýchlo sa meniace tlaky. Ďalej sem patria snímače, ktoré sú založené na magnetostrikčnom jave feromagnetických materiálov, pri ktorých je možné zmenu magnetizácie indukovať tzv. indukčnou cievkou.

1.9.1 ELEKTRONICKÝ PRÍSTROJ KISTLER 2505 A3

Slúži na posudzovanie tlaku pri spaľovacích motoroch. V prípade, že sa do meraného valca neprivádza palivo, je možné tento prístroj výhodne využiť na dynamické posúdenie tesnosti spaľovacieho priestoru meraním kompresného tlaku. Princíp spočíva v meraní neelektrickej veličiny (spaľovací, alebo kompresný tlak), elektrickou veličinou pomocou piezoelektrického snímača. Tento snímač sa pomocou adaptéra umiestni na miesto vstrekovača a jeho vodič sa spojí s vyhodnocovacou jednotkou KISTLER 2505 A3.

Vyhodnocovacia jednotka je riadená programom zaznamenáva a meria štatistickou metódou maximálnu hodnotu tlaku. Pri štatistickej metóde sa po stlačení tlačidla stredná hodnota a štart zaznamenáva za chodu motora do pamäti vyhodnocovacej jednotky KISTLER 2505 A3 štyridsať po sebe idúcich pracovných cyklov. Po ukončení meraní prístroj automaticky vypočíta strednú aritmetickú hodnotu kompresného tlaku, ako aj oblasť rozptylu a obe hodnoty zobrazí na displeji (Balla, 1993).



Obr. č. 15: Rez piezoelektrickým snímačom tlaku z kremeňa (zdroj: Horka, 1997)

2 CIEĽ PRÁCE

Cieľom diplomovej práce je výber vhodnej meracej súpravy pre dynamické meranie tlaku na konci kompresie motora Z 8041, uskutočniť praktické meranie v celom rozsahu otáčok motora a namerané výsledky spracovať do prehľadnej podoby.

Pri plnení zadania diplomovej práce bude potrebné uskutočniť nasledovné kroky:

1. Štúdium literatúry a zhodnotenie stavu problematiky.
2. Vybrať vhodnú meraciu súpravu a prakticky ju overiť.
3. Uskutočniť prevádzkové merania na motore ZETOR 8401
4. Namerané výsledky spracovať do prehľadnej podoby.

3 METODIKA PRÁCE

1. Meraný objekt a technické parametre motora
2. Návrh meracej metódy
3. Úprava motora a výroba adaptéra
4. Merací prístroj
5. Návrh metodického postupu merania -príprava motora
-príprava prístroja
- príprava pracovníka na meranie
6. Overenie metódy (meranie)
7. Vyhodnotenie nameraných hodnôt
8. Výsledky práce a odporúčania pre prax

4 VÝSLEDKY PRÁCE

4.1 MERANÝ OBJEKT A TECHNICKÉ PARAMETRE MOTORA

Ako meraný objekt bol k dispozícii motor ZETOR Z 8401, ktorý sme skúšali v laboratóriu s odvádzaním výfukových plynov za prevádzkových podmienok.

HISTÓRIA A SÚČASNOSŤ ZETOR:

Značka ZETOR vznikla spojením názvu písmena „Zet“ používaného zbrojovkou a posledných dvoch písmen slova traktor- „or“

Traktory ZETOR spĺňajú svojimi parametrami tie najnáročnejšie požiadavky kladené na traktory týchto parametrov a výkonov. 60 ročná história nepretržitej výroby radí ZETOR medzi najstabilnejších výrobcov traktorov vo svete. Sústavná modernizácia zabezpečuje neustály technický a technologický rast výroby a tým stále uspokojovanie potrieb zákazníkov.

V súčasnosti je oddelenie R&D dlhoročným a stabilným výzkumným, vývojovým a testovacím zázemím akciovej spoločnosti ZETOR. Toto oddelenie vychádza z množstva inovačných projektov poľnohospodárskych traktorov, motorov a komponentov pravidelne realizovaných do sériovej výroby od roku 1946. Využíva sa vysoká odborná úroveň tímu vývojových pracovníkov, ktorí využívajú rozsiahle zdroje znalostí a odborné skúsenosti podporované najvýkonnejšími CAD technológiami. Firma ZETOR sa neustále snaží o zaistenie komplexného systémového výzkumu a vývoja výrobných programov, od koncepcií k dizajnu, konštrukcii prototypov až po laboratórne a prevádzkové skúšky traktorov a motorov.

Výrobná základňa traktorov a motorov ZETOR je sústredená v Brne v mestskej časti Líšeň. Pri kompletizácii výrobkov je účelne kombinovaná a vyvážená skladba uzlov a súčastí vyrábaných vo vlastných prevádzkach s nákupom dielov a celkov od špecializovaných dodávateľov. Montáž výroby traktorov ZETOR je realizovaná výrobným úsekom a jeho prevádzkou, ktoré sa realizujú výrobou prevodových uzlov, kabín, lisovaných dielov, drobných kompletačných prvkov, povrchových úprav až po samotnú konečnú montáž traktorov. (www.zetor.cz, 2009)

PARAMETRE MOTORA:

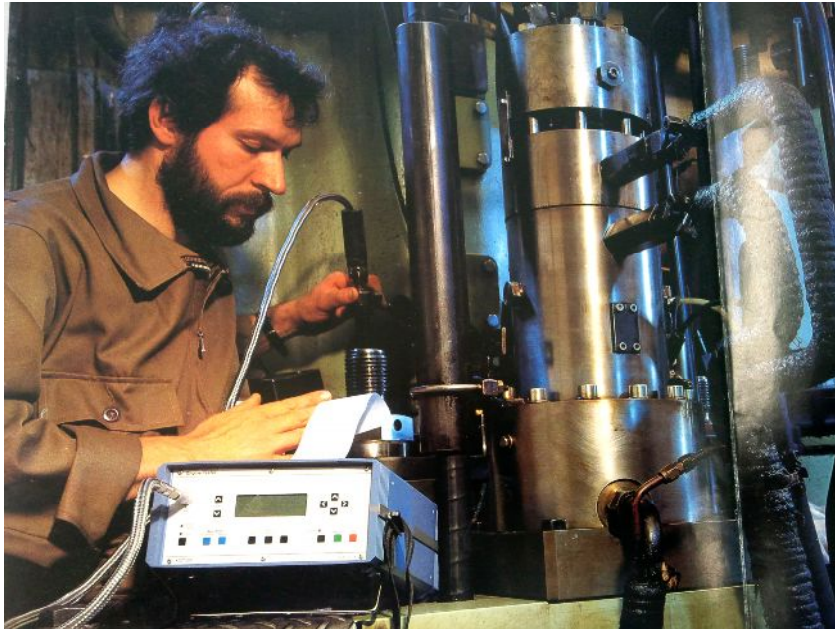
Typ motora	ZETOR 8401
Výrobné číslo	006131
Rok výroby	1982
Výrobca	ZŤS Martin
Usporiadanie valcov	radové
Pracovný cyklus	štvordobý
Počet valcov	4
Obsah valcov	4562 cm ³
Spôsob chladenia	voda
Zdvih	120 mm
Vřtanie	110 mm
Poradie práce valcov	1-3-4-2
Kompresný pomer	17:1
Maximálny spařovací tlak	83 MPa
Smer otáčania	doprava
Typ rozvodu	OHV
Výkon pri menovitých otáčkach	57 kW
Menovité otáčky	2200 min ⁻¹
Maximálne otáčky	2450 min ⁻¹
Vôľa ventilov za studena (sací / výfukový)	0,3/0,3 mm
Počiatok vstreku paliva	24 ° ⁺²
Merná spotreba paliva	240 g.kW ⁻¹ .h ⁻¹

4.2 NÁVRH MERACEJ METÓDY

Zvolili sme dynamickú metódu merania kompresných tlakov za pomoci prřstroja KISTLER Typ 2507 A s vyrobeným adaptérom, ktorý funguje na princípe piezoelektrického snímača tlakov. Dynamické metódy sú najvhodnejšie pre zisťovanie opotrebenia motora.

Vychádzali sme z metódy, ktorá sa využíva pri meraní veľkých lodných motorov, ktoré sú neustále v chode a preto je potrebná kontrola prevádzkových kompresných tlakov z dôvodov opotrebenia motora s čím súvisí znižovanie výkonu motora. Táto metóda je obdobná, ako tá

naša. Rozdiel je v použítom type adaptéra. Prístroj môže obsahovať malú tlačiareň, na ktorej je možné nameraného hodnoty vytlačiť, čím sa dáta archivujú. K prístroju je tiež možné pripojiť počítač s vhodným programom, čím sa práca nielenže zjednodušuje, ale aj namerané údaje sa stávajú prehľadnejšie.



Obr. č. 16: Kontrola tlakov pri lodných motoroch



Obr. č. 17: Adaptér pre lodné vznetrové motory a nadstavce.

4.3 ÚPRAVA MOTORA A VÝROBA ADAPTÉRA

4.3.1 ÚPRAVA MOTORA

Úprava motora spočíva v odstránení vstrekovača paliva. Do meraného valca sa neprivádza palivo, čím je možné upevniť na miesto vstrekovača samotný adaptér a teda piezoelektrický snímač tlaku. Odvádzanie paliva z miesta, kde bol vstrekovač je vyriešené pripojením hadičky, ktorá palivo odvádza späť do nádrže.

4.3.2 VÝROBA ADAPTÉRA

Adaptér je vlastne náhrada za vstrekovač paliva a tomu sa teda podriadil aj jeho tvar. Adaptér obsahuje prepojovací kábel, ktorý vedie z hornej časti adaptéra a ďalej smeruje k vyhodnocovacej jednotke KISTLER 2507 A, kde sa upevní na prednú časť prístroja na názvom „Transducer input“. Adaptér obsahuje piezoelektrický snímač KISTLER typu 7613C

Špecifikácia snímača KISTLER Typ 7613C:

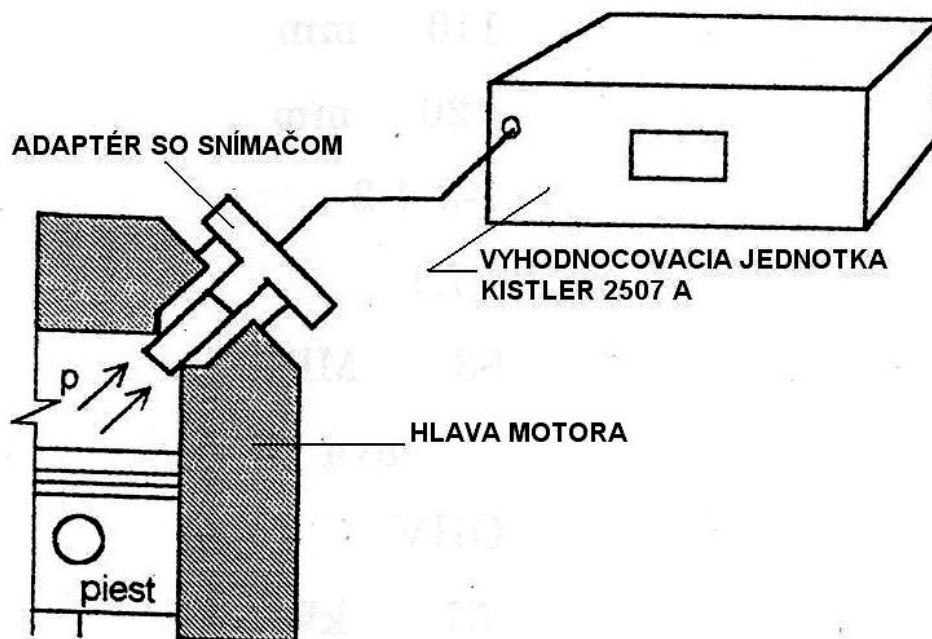
Merací rozsah	0 ... 250 bar
Pret'azenie	300,0 bar
Citlivosť	20 mV / bar
Frekvencia	> 70 kHz
Nelinearita	<± 0,5 % FSO
Rozsah prevádzkových teplôt	-50 ° C ... 350
Citlivosť posun, nechladený	<± 3 %
Tepelný šok Dp (krátkodobo)	<± 0,3 bar
Tepelný šok dp mi	<± 2 %
Citlivosť na zrýchlenie	0,001 bar / g
Závit	M 14x1, 25
Priemer	12 mm
Dĺžka	12 mm
Konektor	Fischer SE 103A054
Štandardná dĺžka kábla	1,5 m

Charakteristika snímača KISTLER Typ 7613C:

Obsahuje robustný viton kábel Ø 5,5 mm, má veľmi dobrú linearitu, malý teplotný šok a veľmi dobrú linearitu s integrovaným zosilňovačom Piezotron.

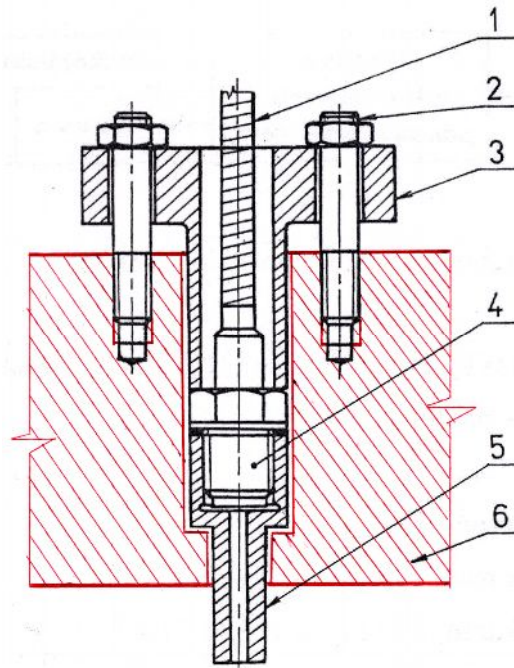
Aplikácia snímača KISTLER Typ 7613C:

Použitie je v spaľovacích komorách za sťažených podmienok, ako je špina, vlhkosť atď. Tento snímač je do značnej miery necitlivý na spaľovanie a teda je vhodný pre drsné podmienky, ako aj pre dlhodobé merania.



Obr. č. 18: Schematické znázornenie pripojenie adaptéra s vyhodnocovacou jednotkou KISTLER 2507 A na miesto vstrekoваča.

Adaptér obsahuje prepojovací kábel (1), dve skrutky na upevnenie adaptéra (2), držiak (3), piezoelektrický snímač KISTLER Typ 7613C (4), samotný adaptér (5), hlava motora (6). Legendu spomínaných prvkov je možné vidieť na obr. č. 19.



Obr. č. 19: Rez adaptérom, (zdroj: Balla, 1993).

4.4 MERACÍ PRÍSTROJ

Ako merací prístroj bola zvolená záznamová jednotka KISTLER 2507 A.

SPOLOČNOSŤ KISTLER:

Firma KISTLER company je jedným z popradných svetových dodávateľov meracej techniky. Piezoelektrické a piezorezistívne technológie sú využívané na poskytovanie najvyššej úrovne presnosti a spoľahlivosti v oblasti výskumu strojárstva a v priemyselných aplikáciách. Už viac ako 40 rokov ponúkajú vo Veľkej Británii prístroje Kistler plnú podporu v oblasti aplikácií a služieb. Firma taktiež ponúka kalibračné služby svojich prístrojov za poplatok podľa UKAS ISO 17025 a ostatných noriem.

V dnešnej dobe firma spustila novú radu senzorov pre laboratórne merania výkonov a krútiacich momentov strojov.

Kistler je ideálnym spoločníkom pre vysoko citlivé meracie systémy a spaľovacie technológie. Spoločnosť ponúka kompletné meracie reťazce služieb plus riešenia pre spaľovaciu diagnostiku pri vznetrových motoroch.

Výhody pre zákazníkov firmy KISTLER:

- Najlepšie riešenia pre každé aplikácie. To môže znamenať presnosť, životnosť, miniaturizácia atď.
- Sensory sú vždy osvedčené štandardné produkty s optimálnymi meracími prvkami.
- Elektronika spracovania signálu prirodzene zodpovedá vašim aplikáciám a spôsobom, akým fungujú vaše zariadenia.
- Z niekoľkých skupín výrobkov si zákazník vyberie svoje riešenie pre:
 - a) vysokoautomatizovaný rozvoj továrne
 - b) mobilnú potrebu testovania vozidiel
 - c) pružné výskumné laboratóriá
 - d) alebo pre obzvlášť silné stacionárne a lodné motory

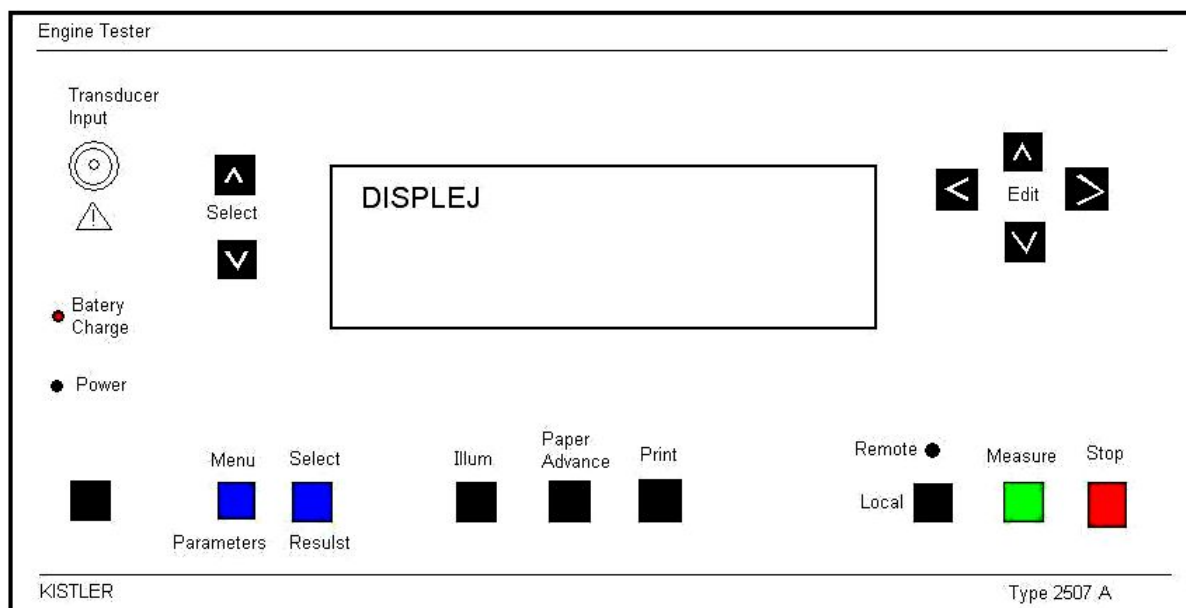


Obr. č. 20: Odolnosť snímača tlaku pri extrémnych teplotách v motoroch. (zdroj: www.kistler.com, 2010)

4.4.1 ZÁZNAMOVÁ JEDNOTKA KISTLER 2507 A

Výhodou tohto prístroja je, že je prenosný. Záznamová jednotka je určená na meranie a vyhodnocovanie tlakov vo valcoch vznetrových motorov a je určená pre použitie v náročných prevádzkových podmienkach vznetrových motorov.

Táto záznamová jednotka má v seba zabudovaný mikroprocesorový systém, ktorý vypočítava a zaznamenáva dáta o dynamických dejoch, ktoré prebiehajú vo valci motora. Zaznamenané dáta sa uchovávajú v pamäti vyhodnocovacej jednotky a je možné si ich pozrieť aj po opätovnom vypnutí a zapnutí prístroja. Namerané hodnoty sú zobrazované na LCD displeji, ktorý je podsvietený. Záznamová jednotka sa ovláda pomocou tlačidiel umiestnených na prednom paneli.



Obr. č. 21: Schematické znázornenie predného panelu záznamovej jednotky KISTLER 2507 A

HODNOTY ZAZNAMENÁVANÉ NA PRÍSTROJI KISTLER 2507 A:

P_{mean} - Stredná hodnota tlakov na konci zdvihu valca.

P_{max} - Maximálna hodnota tlaku na konci zdvihu valca.

P_{min} - Minimálna hodnota tlaku na konci zdvihu valca.

P_{sdev} - Štandardná odchýlka hodnôt tlakov na konci zdvihu valca.

dp/dt_{max} - Najväčší nárast tlaku.

RPM_{mean} - Stredná hodnota otáčok motora.

RPM_{max} - Maximálna hodnota otáčok.

(HORKA M. : Návrh meracieho kanála pre dynamické meranie tlakov, 1997).

HODNOTY UCHOVÁVANÉ PRI SPUSTENÍ MERANÍ:

- číslo valca a číslo merania
- čas a dátum merania
- použitý merací rozsah
- priemerná krivka tlaku počas cyklu motora

4.4.2 TECHNICKÉ PARAMETRE PRÍSTROJA KISTLER 2507 A:

-Meracie rozsahy:

- Rozlíšenie 0,1 bar 0 ÷ 50 bar
 - Rozlíšenie 0,2 bar 0 ÷ 100 bar
 - Rozlíšenie 0,2 bar 0 ÷ 150 bar
 - Rozlíšenie 0,5 bar 0 ÷ 200 bar
 - Rozlíšenie 0,5 bar 0 ÷ 250 bar
 - Presnosť 1 % z rozsahu
 - Spúšťacia úroveň, voliteľná 10 ÷ 90 % v rozsahu
 - Citlivosť snímača, voliteľná 18 ÷ 27 mV/bar
 - Rozsah otáčok motora 50 ÷ 4000 ot./ min
 - Počet meracích cyklov 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128
 - Dolnopriepustný filter 1; 1,5; 2 ; 3; 5 ; 7,5; 10; 15 kHz
 - Rozlišovacia schopnosť 360/ 720 meraní na 1 otáčku
 - Analógový výstup (BNC) 0 ÷ 5 V
 - Sériové rozhranie RS-232C
 - Napájanie:
 - Plynotesný Pb akumulátor (YUASA NP) 2,6 Ah; 12 V
 - Životnosť 200 nabíjacích cyklov
 - Doba nabíjania 14 h
 - Doba prevádzky cca. 8 h
 - Samovybitie 6 mesiacov
 - Externé napaájanie =18 ÷ 24 V, 0,5A
 - Rozmery 240 x 120 x 255 mm
 - Hmotnosť cca. 5 kg
- (Horka, 1997).

4.4.3 POPIS A OVLÁDANIE PRÍSTROJA KISTLER 2507 A:

Keď zapneme prístroj, tak sa zobrazí číslo verzie softwaru a prebehne test prístroja. Po teste sa zobrazí stav batérií, čas a dátum. Ovládanie sa uskutočňuje pomocou tlačidla menu a pomocou šípok prístroja (hore a dole), teda Select.

POPIS FUNKCIÍ TLAČIDIEL PRÍSTROJA KISTLER 2507 A:

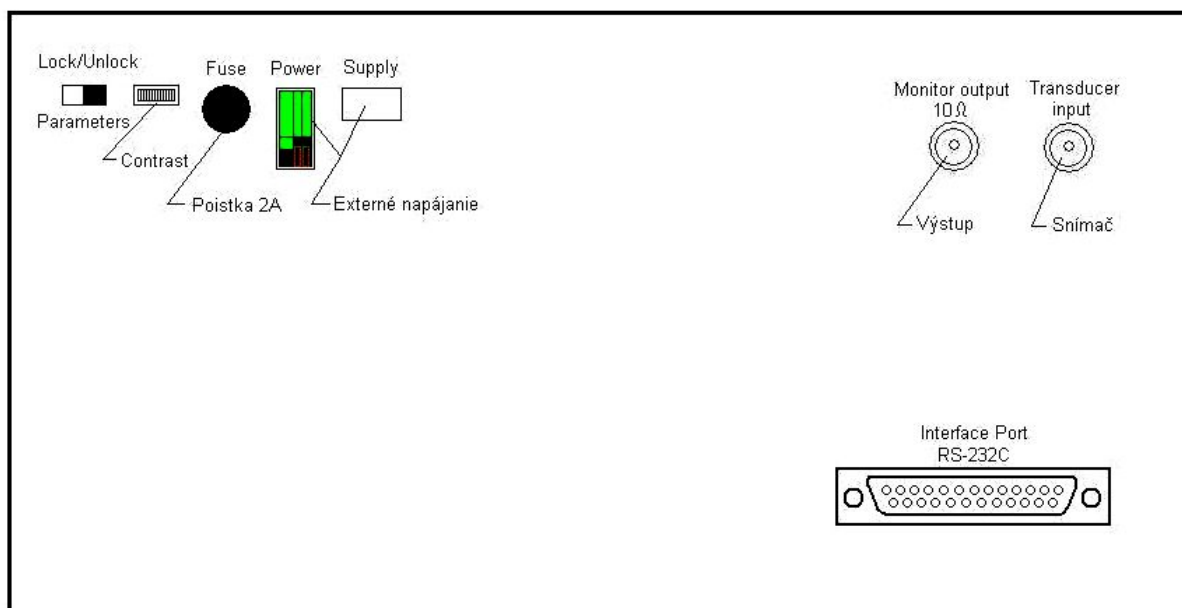
- a) PARAMETERS- zmena položky v menu parametrov, alebo prechod na menu parametrov.
- b) RESULTS- menu výsledkov.
- c) MEASURE- menu merania, alebo samotné spustenie merania.
- d) PRINT- tlač.
- e) SELECT ↑- pohyb v menu smerom nahor.
- f) SELECT ↓- pohyb v menu smerom nadol.
- g) EDIT ↑- zvolením sa zvýši zobrazený parameter.
- h) EDIT ↓- zvolením sa zníži zobrazený parameter.
- i) EDIT ← - presunutie na parameter zobrazený vľavo.
- j) EDIT → - presunutie na parameter zobrazený vpravo.

(Horka, 1997).

Prístroj je vybavený troma užívateľskými úrovňami, vďaka ktorým sa zamedzuje nežiadúcim zmenám parametrov z dôvodu neodborného zaobchádzania z nedostatočne oboznámenými pracovníkmi, ktorí prístroj ovládajú. Ďalšou možnou alternatívou ochrany je tlačidlo s názvom „Lock/ Unlock“, ktoré je umiestnené na zadnej strane prístroja a po jeho aktivovaní zmeny nie sú povolené a zase naopak.

ÚROVNE PRÍSTROJA KISTLER 2507 A (LEVEL):

- Užívateľská úroveň (user level)- Pri tejto úrovni sú zakázané niektoré zmeny parametrov, avšak prístroj je plne funkčný.
- Dozorná úroveň (supervisor level)- Pri tejto úrovni je umožnená zmena všetkých parametrov, kedy je potrebné zadať kód. Kód je postupnosť tlačidiel EDIT →, EDIT ← a STOP. Kód sa zadáva v menu parametrov.
- Servisná úroveň (service level)- Táto úroveň je nastavená pre servis a testovanie prístroja.



Obr. č. 22: Schematické znázornenie zadného panelu záznamovej jednotky KISTLER 2507 A

MENU PARAMETROV:

- Meracie parametre- patrí sem rozsah, počet cyklov, typ motora, filter, identifikačné číslo motora, kresliaci mód a jednotky.
- Čas a dátum
- Systémové nastavenia- patrí sem úroveň prístupu, citlivosť použitého snímača, spúšťacia úroveň, nastavenie tlače.
- Nastavenie pamäte- patrí sem rozlišovacia schopnosť, počet valcov a počet meraní.
- Kalibrácia
- Komunikačné rozhranie- patrí sem typ, protokol, rýchlosť, počet dátových bitov, počet stop bitov.

4.5 NÁVRH METODICKÉHO POSTUPU MERANIA

4.5.1 PRÍPRAVA MOTORA

Ako motor bol zvolený ZETOR 8401. Jedná sa o klasický 4 valcový vznetový motor s objemom 4,6 litra a o výkone 57 kW, ktorý sa montoval do starších modelov traktorov ZETOR. Maximálne otáčky motora sú 2450 min^{-1} .

Motor má ponechané klasické ukazovatele, ako sú otáčkomer a tiež je tam ukazovateľ na hodnotu teploty motora. Motor sa spúšťa tak ako klasický, čiže vsunutím kľúča do skrinky zapalovania a samotným pootočením kľúča.

Motor má taktiež ponechané ručné regulovanie plynu, čo pozná každý užívateľ staršieho typu týchto traktorov.

Nádrž motora je umiestnená pod zariadením, na ktorom je motor ukotvený. Palivo je privádzané čerpadlom, tak ako to je bežne aj pri motoroch ZETOR.

Motor, ktorý bol k dispozícii na meranie sa nachádza v laboratóriu technickej fakulty na SPU v Nitre. V laboratóriu je zabezpečenie odvádzania výfukových plynov z motora a to tak, že hadica je napojená na výfuk motora a po zapnutí odsávania sa plyny odvádzajú do ovzdušia.

Do nádrže sme doplnili palivo a spustili sme motor, aby sme ho zahriali na prevádzkovú teplotu, čo je cca. 90°C.

Príprava motora (demontáž a montáž adaptéra):

Príprava spočíva v odmontovaní vstrekovača paliva a samotným jeho nahradením za nami vyrobený adaptér, v ktorom sa nachádza piezoelektrický snímač tlaku. Adaptér má identický tvar, ako vstrekovač paliva.

Demontujeme vstrekovač s priloženými kľúčmi. Vstrekovač je upevnený na hlavu motora dvoma maticami. Po demontovaní nasleduje samotné namontovanie adaptéra, ktorý sa na hlavu motora upevňuje taktiež dvoma maticami identickými veľkosťou s tými, ktoré sú použité na vstrekovači. Adaptér osadíme na miesto a matice utiahneme na požadovaný moment.

Keďže do vstrekovača je privádzané palivo, musíme taktiež zabezpečiť odvádzanie tohto paliva. Toto je vyriešené napojením hadičky na palivovú trubku, pričom druhý koniec hadičky je napojený na palivovú nádrž. Týmto krokom zabezpečíme čistotu pracoviska a aj svoju ochranu, keďže palivo by samovoľne odtekalo.

Po dokončení týchto krokov ešte všetko odznovu starostlivo skontrolujeme.

4.5.2 PRÍPRAVA PRÍSTROJA KISTLER 2507 A

Príprava prístroja spočíva v jeho zapojení na samotný sledovaný objekt, čiže motor ZETOR 8401 a nastavenie prístroja na meranie. Taktiež je sem možné zahrnúť samotnú

kalibráciu prístroja, ktorá sa vykonáva raz za určité obdobie vyškoleným pracovníkom, alebo v špecializovanej organizácii zaoberajúcej sa kalibráciou prístrojov.

Pri nesprávne nakalibrovanom prístroji by mohlo dôjsť k nesprávnym nameraným hodnotám a meranie by tým pádom nemalo zmysel. Namerané hodnoty sa porovnávajú s vypočítanými, čím sa zaisťuje skúška správnosti merania a teda aj samotná kontrola.

Na prednej strane prístroja sa nachádza slot s označením „Transducer input“, kde sa zapojí koncový kábel adaptéra, čiže piezoelektrického snímača tlaku. Prístroj KISTLER 2507 A umiestnime vo vhodnej vzdialenosti od motora tak, nakoľko nám to umožňuje dĺžka kábla.

Ďalej je potrebné prístroj zapojiť na zdroj energie (220 V). Na zadnej strane prístroja sa nachádza slot s názvom „Supply“, do ktorého vsunieme kábel zdroja napätia. Prístroj má taktiež batériu, takže by sa dal použiť aj bez zdroja napätia.

Po zapojení prístroja všetko ešte raz skontrolujeme. Spustenie prístroja sa realizuje stlačením zeleného tlačidla s názvom „Measure“, čo znamená meranie.

4.5.3 PRÍPRAVA PRACOVNÍKA NA MERANIE

Pracovník musí byť oboznámený so skúmaným motorom a aj samotnou vyhodnocovacou jednotkou, musí sa riadiť príslušnými predpismi BOZP a musí mať aj potrebné školenia. Pracovník musí mať taktiež ochranné oblečenie, rukavice atď.

Je dôležité poznať parametre prístroja a taktiež motora a samozrejme aj princíp fungovania jednotlivých segmentov skúmaného objektu a prístroja.

Pracovník musí vedieť obsluhovať prístroj, čo si vyžaduje štúdium užívateľskej príručky. Taktiež musí mať znalosti o motore, ktorý je predmetom skúmania. Potom je dôležité postupovať podľa pokynov uvedených v manuáli a dbať na bezpečnosť.

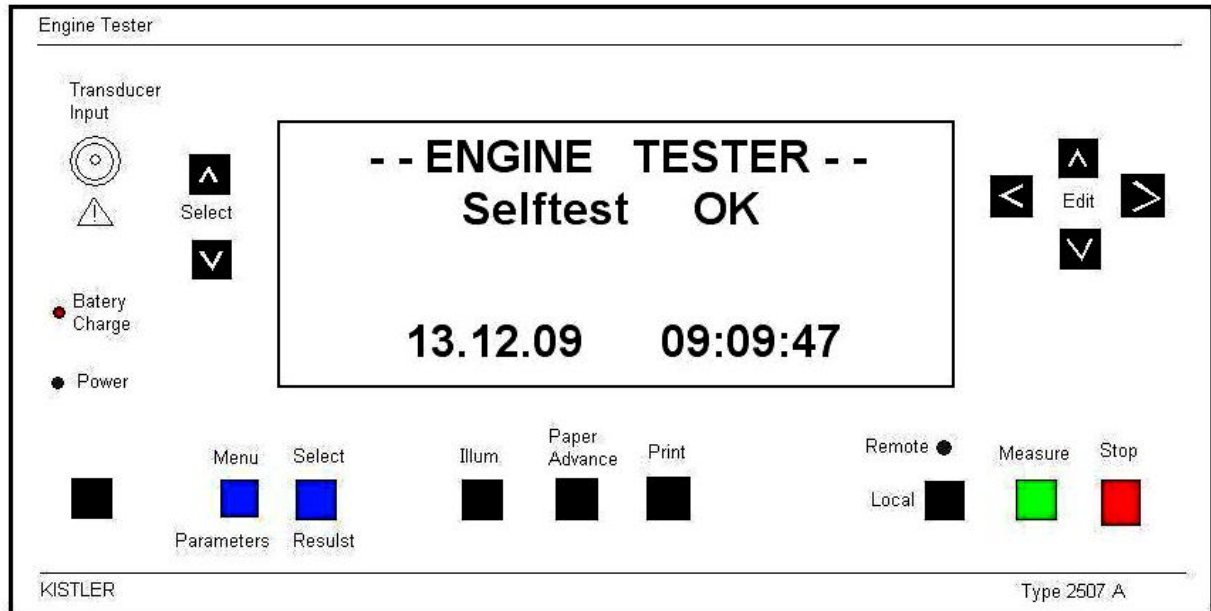
4.6 OVERENIE METÓDY (MERANIE)

Samotné meranie sa začína prípravou pracoviska. Je dôležité vopred si všetko pripraviť, aby nenastali zmätky.

Pripravíme si motor, zahrejeme ho na prevádzkovú teplotu, osadíme naň adaptér. Taktiež si pripravíme vyhodnocovaciu jednotku. Príprava motora a vyhodnocovacej jednotky KISTLER 2507 A je spomenutá v predošlej kapitole pod číslom 4.5.

Meranie sa uskutočňuje dynamicky, čiže za chodu motora. Do meraného valca sa palivo nevstrekuje. Samotná vyhodnocovacia jednotka je riadená programom.

Zapneme motor a počkáme pokým sa ustália otáčky. Potom zapneme zeleným tlačidlom „Merasure“ vyhodnocovaciu jednotku. Po zapnutí sa nám na displeji objaví, že prístroj sa sám otestuje, teda prebehne test čo je možné na displeji vidieť pod slovom „OK“. Potom sa na displeji zobrazí ešte aktuálny dátum a čas, čo je možné vidieť na obr. č. 23.

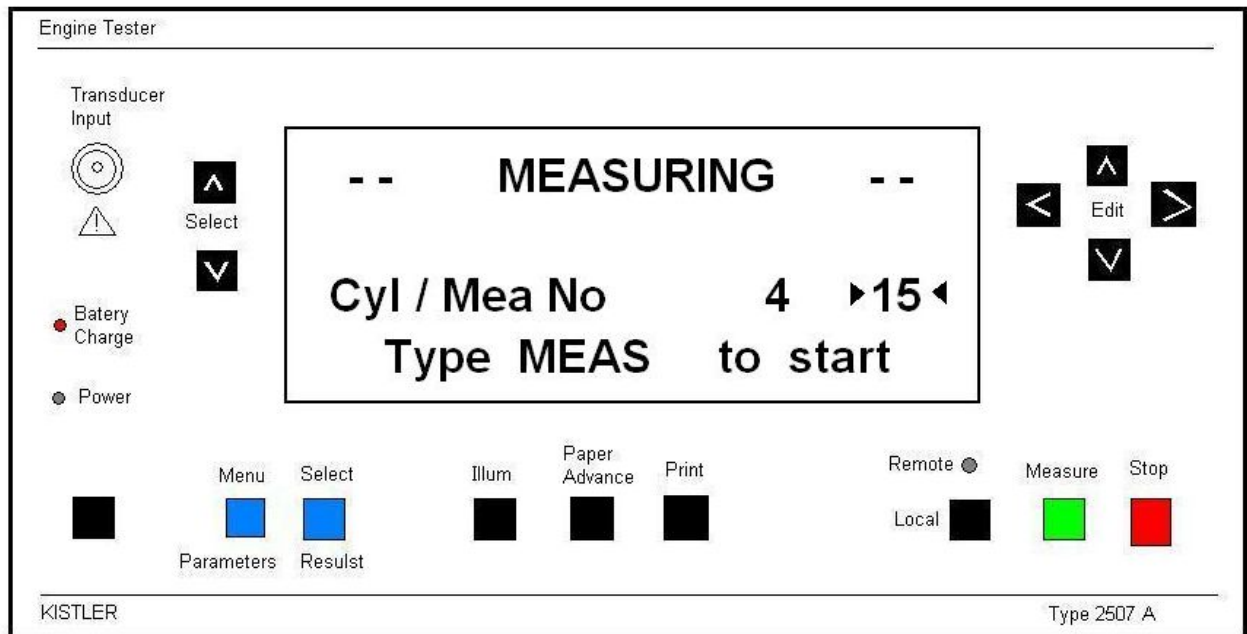


Obr. č. 23: Schematické znázornenie záznamovej jednotky KISTLER 2507 A po zapnutí.

Ďalej sa na displeji následne zobrazí obrazovka pre spustenie merania (obr. č. 24), kde si môžeme navoliť pomocou šípok „Select,, v menu merania číslo merania a samotný valec, ktorý meriame. Meranie sa spusti zase pomocou zeleného tlačidla „Merasure“.

Vysvetlenie pojmov:

- „Cyl“- valec
- „Mea“- meranie
- „No“- číslo
- „Type MEAS to start“ – je možné začať meranie stlačením tlačidla Measure.

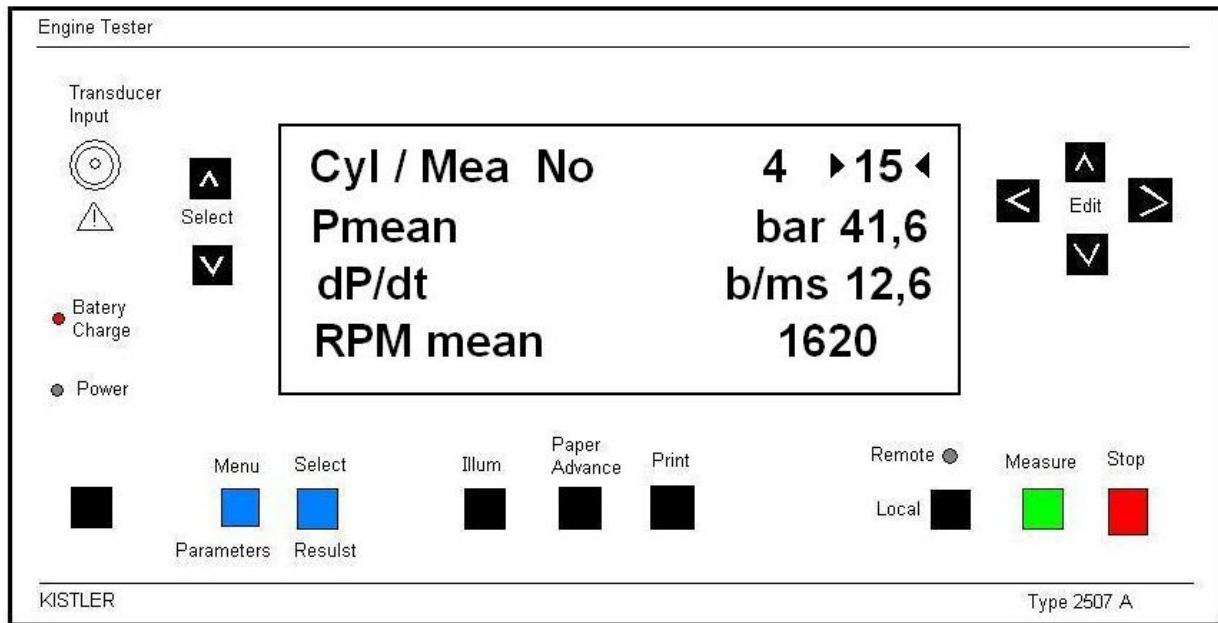


Obr. č. 24: Schematické znázornenie záznamovej jednotky KISTLER 2507 A po ukončení samotného testu prístroja.

Potom nasleduje samotné meranie a teda pohybovanie sa v otáčok motora v rozmedzí od 600 do 2200 ot./min. To sú menovité otáčky. Stlačíme tlačidlo merania „Measure“ a program spustí meranie. Do pamäti prístroja sa postupne zaznamenáva štyridsať po sebe idúcich kompresných tlakov. Po nameraní sa na prístroji vyhodnocovacej jednotky uskutoční výpočet strednej hodnoty kompresného tlaku a jeho hodnota sa automaticky zobrazí na displeji v hornom riadku. Toto je možné vidieť na obr. č. 25. V spodnom riadku sa zobrazí oblasť rozptylu Δp .

Vysvetlenie pojmov:

- P_{mean} - Stredná hodnota tlakov na konci zdvihu valca.
- dp / dt_{max} - Najväčší nárast tlaku.
- RPM_{mean} - Stredná hodnota otáčok motora.



Obr. č. 25: Schematické znázornenie záznamovej jednotky KISTLER 2507 A pri meraní hodnôt kompresných tlakov.

4.7 VYHODNOTENIE NAMERANÝCH HODNÔT

Získané namerané hodnoty porovnávame s teoretickými vypočítanými hodnotami pri rovnakých zvolených otáčkach ako pri meraní. Teoretické hodnoty potom vypočítame podľa vzťahu:

$$p_2 = p_1 \cdot \varepsilon^n \quad (\text{MPa})$$

- p_2 - tlak na konci kompresie (MPa)
- p_1 - tlak na začiatku kompresie (MPa)
- ε - kompresný pomer motora
- n - polytropický koeficient pre kompresiu.

Polytropický koeficient spaľovacích motorov pre kompresiu :

$$n = 1,41 - \frac{1,666}{n_m} \quad \text{kde: } n_m - \text{otáčky motora (s}^{-1}\text{)}$$

(Balla, 1993).

Na tabuľkách číslo 1 a 2 je možné vidieť súbor nameraných hodnôt, ktoré predstavujú číselné hodnoty daných meraní. Každé meranie obsahuje 40 hodnôt a merania sú vytvorené v celom rozsahu otáčok od 1200 po 2200, čo predstavuje takmer maximálne rozmedzie otáčok pri tomto type motora.

Jednotky sú udávané v baroch, tak ako to je aj na vyhodnocovacej jednotke KISTLER 2507 A preto, aby sme mohli ľahšie porovnať výsledky.

Teoretické hodnoty boli vypočítané v MPa a prevedené na bary, pričom 1 bar= 0,1 MPa. Strata tlaku je udávaná v % pre lepšie znázornenie rozdielov medzi teoretickými a nameranými hodnotami.

Merania sú prevádzané v dvoch variantách a to pri studenom motore a teplom, aby boli vidieť rozdielne zmeny tlaku, pri rozdielnych teplotách. Po meraní studeného motora je potrebné počkať si určitú dobu pokiaľ motor dosiahne požadovanú teplotu pre meranie hodnôt za tepla.

Zvýšenie teploty motora sa dá urýchliť zvýšením otáčok na určitý čas a neustále vo zvyšovaní otáčok (ľudovo povedané „túrovanie motora“) pokračovať.

Teplý motor predstavuje dosiahnutie teploty okolo 90 ° C čo je možné vidieť na skrinke ukazovateľov stavu motora, ako sú otáčky a ukazovateľ stavu teploty motora.

Kompresný pomer predstavuje $\epsilon=17$. Polytropický koeficient sa mení vzhľadom so stúpajúcimi otáčkami motora, takže je pri výpočte potrebné počítať ho pre každú hodnotu jednotlivo.

Ootáčky je potrebné premeniť z min^{-1} na s^{-1} .

Tab. č. 1: Namerané hodnoty prístrojom KISTLER 2507 A za studena a porovnanie s vypočítanými hodnotami.

Otáčky min ⁻¹	40 nameraných hodnôt pri zvolených otáčkach										Stredná hodnota (bar)	Vypočítaná hodnota (bar)	Strata tlaku (%)	
	č.merania	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.				10.
1200	1.	38,8	38,9	39	39	38,8	39,2	38,7	39,1	38,8	38,9	39,4875	44,2	10,66
	2.	39,2	39,3	39,4	39,3	39,1	38,9	39,3	39,2	39,3	39,2			
	3.	39,6	39,4	39,6	39,8	39,8	39,8	39,9	39,8	39,8	39,9			
	4.	40	40,1	39,9	39,9	40,2	40,2	39,9	40,3	40,3	39,9			
1400	č.merania	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	40,375	45,6	11,45
	1.	39,6	39,5	39,9	39,6	39,5	39,9	39,6	39,5	39,9	39,7			
	2.	40,1	40,2	40,2	40,2	40,2	40,2	40,5	40,4	40,6	40,2			
	3.	40,7	40,7	40,5	40,5	40,7	40,7	40,5	40,5	40,5	40,6			
1600	č.merania	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	41,545	46,8	11,22
	1.	40,9	41,2	40,9	41,2	41,1	41,3	41,4	41,3	41,4	41,3			
	2.	41,1	41,3	41,4	41,5	41,6	41,5	41,6	41,6	41,5	41,7			
	3.	41,5	41,6	41,6	41,6	41,7	41,6	41,7	41,8	41,6	41,7			
1800	č.merania	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	41,8675	47,7	12,22
	1.	41,2	41,1	41,2	41,1	41,3	41,3	41,1	41,3	41,3	41,2			
	2.	41,6	41,4	41,5	41,6	41,4	41,5	41,6	41,4	41,5	41,7			
	3.	42	41,9	41,9	42	42	41,9	41,9	42,2	42,2	42,4			
2000	č.merania	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	43,57	48,5	10,16
	1.	41,9	41,8	42	41,7	41,9	41,8	42	42	42,2	42,2			
	2.	42,9	43	43,1	43,4	43,5	43,4	43,5	43,5	43,5	43,5			
	3.	43,7	44	43,7	44	44,2	44,1	44,1	44,2	44,3	44,3			
2200	č.merania	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	45,33	49,1	7,68
	1.	43,9	43,8	43,9	43,8	43,9	43,8	44	43,9	43,8	44			
	2.	44,5	44,7	44,6	44,5	44,7	44,6	44,7	44,9	44,7	44,9			
	3.	45,8	45,9	45,8	45,9	45,8	45,8	45,8	45,9	45,8	45,8			
	č.merania	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	48	48	48
	1.	46,1	46,2	46,3	46,9	47	46,9	47	48	48	46,9			
	2.													
	3.													

Tab. č. 2: Namerané hodnoty prístrojom KISTLER 2507 A za tepla a porovnanie s vypočítanými hodnotami.

Otáčky min ⁻¹	40 nameraných hodnôt pri zvolených otáčkach										Stredná hodnota (bar)	Vypočítaná hodnota (bar)	Strata tlaku (%)	
	č.merania	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.				10.
1200	1.	38,7	39,1	38,8	38,9	39	38,8	39,2	38,9	38,9	38,9	39,4775	44,2	10,68
	2.	39,3	39,2	39,3	39,1	38,9	39,2	39,2	39,3	39,4	39,3			
	3.	39,5	39,6	39,4	39,7	39,7	39,6	39,8	39,8	39,8	39,9			
	4.	40	40,1	39,9	40,2	40,2	39,9	39,9	40,3	40,3	40,1			
1400	č.merania	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	40,3875	45,6	11,43
	1.	39,6	39,8	39,7	39,7	39,9	39,6	39,5	39,9	39,9	39,9			
	2.	40,1	40,2	40,2	40,2	40,5	40,4	40,6	40,2	40,1	40			
	3.	40,6	40,5	40,7	40,6	40,6	40,7	40,7	40,5	40,5	40,6			
1600	č.merania	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	41,505	46,8	11,31
	1.	40,7	40,8	40,9	41,2	41,1	41,3	41,4	41,3	41,3	41,2			
	2.	41,2	41,1	41,3	41,4	41,5	41,6	41,5	41,5	41,5	41,7			
	3.	41,5	41,6	41,6	41,7	41,8	41,8	41,6	41,5	41,7	41,8			
1800	č.merania	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	41,875	47,7	12,21
	1.	41,2	41,1	41,3	41,2	41,1	41,2	41,1	41,3	41,3	41,2			
	2.	41,5	41,6	41,4	41,5	41,6	41,5	41,7	41,6	41,6	41,7			
	3.	41,6	42	41,9	41,9	42	42,1	42,1	42,2	42,2	42,3			
2000	č.merania	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	43,555	48,5	10,19
	1.	41,9	41,8	42	42,1	42	42	42,2	42,2	42,3	42,1			
	2.	42,8	42,9	43	43,1	42,9	43,2	43,4	43,5	43,5	43,5			
	3.	43,7	44	44,1	44,2	44,1	44,1	44,2	44,3	44,4	44,3			
2200	č.merania	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	45,2075	49,1	7,92
	1.	44,1	44,2	44	43,9	43,8	43,9	43,8	44	44,2	44,3			
	2.	44,6	44,5	44,5	44,5	44,7	44,6	44,8	44,7	44,7	44,9			
	3.	44,9	45	45,1	45,2	45,4	45,3	45,4	45,7	45,8	45,9			
4.	46	46,1	46,2	46,3	46,2	46,9	47	47,4	47,8	48				

4.8 VÝSLEDKY PRÁCE A ODPORÚČANIA PRE PRAX

Výsledkom práce je úspešné zvládnutie merania na vyhodnocovacej jednotke KISTLER KISTLER 2507 A a vzájomné porovnanie teoretických hodnôt s nameranými v prehľadnej podobe, čiže v tabuľkách. Z hodnôt je tým pádom možné určiť straty tlakov a tým aj možné opotrebenie funkčných dvojíc a teda celého motora.

V rámci spracovania prehľadu o súčasnom stave danej riešenej problematiky je práca sústredená na všeobecné znalosti z oblasti vznetových motorov, opotrebenia motorov, z oblasti typov tlakových snímačov a možností ich použitia a z oblasti možností zisťovania kompresných tlakov dynamickými metódami. Všeobecné znalosti sú spracované z literárnych zdrojov uvedených v kapitole zoznamu použitej literatúry.

Odporúčania pre prax vyplývajú zo všeobecných znalostí meracích prístrojov, ktoré sú určené na danú riešenú problematiku.

Je dôležité vybrať si vhodnú meraciu metódu či už z ekonomického hľadiska, alebo praktického a prispôbiť ju pre vlastné potreby a merania. Ďalej je potrebné vybrať si vhodný typ snímača s ohľadom na teplotu a tlaky v spaľovacom priestore. Tým sa aspoň čiastočne zabezpečí dlhodobá životnosť daného zariadenia.

Pri meraniach je dôležité dbať na vlastnú bezpečnosť a zaistiť bezpečnosť ostatných osôb.

5 DISKUSIA

V súčasnosti sa dynamickým meraniam kompresných tlakov venuje veľká pozornosť. Najmä v automobilkách, ktorým záleží na vývoji svojich motorov, skúškach motorov a v prvom rade záleží na kvalite a dlhodobej životnosti motorov.

Firmy, ktoré sa touto problematikou venujú sú napr. KISTLER, alebo BOSH, ktoré majú rôzne druhy metód na zisťovania kompresných tlakov a snažia sa ich naďalej rozvíjať. KISTLER ponúka nekonečné množstvá snímačov a prístrojov, takže zákazník si bez problémov vyberie, čo potrebuje.

Po získaných znalostiach o daných tlakoch a teda aj opotrebeniach sa snažíme používať čo najvhodnejšie materiály a látky, ktoré by mohli dopomôcť k dlhodobému zvýšeniu výkonu a života motora a jeho častí.

Spoluprácou automobiliek sa dosahuje zvýšeniu kvality motorov, pretože čím viac hláv, tým viac kvality a spoľahlivosti.

V praxi sa robí tá chyba, že pri motoroch, ktoré dosiahli určitú dobu životnosti, teda opotrebenia sa pri poškodení vstrekovacieho čerpadla toto čerpadlo automaticky vymieňa za nové. Z mojich skúseností by bolo dobré preveriť tesnosť spaľovacieho priestoru a na základe výsledkov nastaviť palivovú sústavu podľa stavu motora a tým by sa aj udržala ekológia tohto motora.

6 ZÁVER

Táto diplomová práca objasňuje pojmy z oblasti merania kompresných tlakov a taktiež poskytuje výsledky z merania kompresných tlakov dynamickou metódou. Ďalej poskytuje detailné vysvetlenie možností použitia metód merania kompresných tlakov dynamicky, teda za chodu motora.

Práca ponúka informačné, textové a obrazové materiály k danej riešenej problematike. Súbor práce je zložený z informácií, ktoré boli z literárnych aj vlastných zbierok.

Práca samozrejme obsahuje aj typické prejavy, ktoré sú výsledkom daných konštrukčných riešení.

Zdokumentované výsledky a metódy môžu slúžiť pre ďalší osobný rast pracovníkov, alebo fyzických osôb zaoberajúcich sa touto tematikou, alebo pri starostlivosti o o motory a dané používané zariadenia.

7 ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

1. BALLA a kol., 1993. *Zabezpečenie prevádzkyschopnosti strojov*. Nitra: SPU, 1993. ISBN 80-7137-067-3.
2. Firemná literatúra: *Meracia a vyhodnocovacia elektronická jednotka KISTLER 2705A*. Vintertúr, 2001.
3. HAVLÍČEK a kol. 1983. *Provozní spolehlivost strojů*. 1. vyd. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1983. 655 s.
4. HORKA, Michal. 1997. *Návrh meracieho kanála pre dynamické meranie tlakov*: diplomová práca. Bratislava: STU, 1997. 65 s.
5. MOTEJL, Vladimír. 2003. *Vstříkovací zařízení vznětových motorů*. 1.vyd. České Budějovice: Kopp, 2003. 181 s. ISBN 80-7232-142-0
6. PAPOUŠEK, Miroslav - ŠTĚRBA, Pavel. 2007. *Diagnostika spalovacích motorů*. 2. vyd. Brno: Computer press, 2007. 233 s. ISBN 978-80-251-1697-5
7. SVRČEK, Tomáš. 2006. *Závislost' kompresného tlaku na sacom odpore naftového motora*: diplomová práca. Nitra: SPU, 2006. 56 s.
8. VLK, F.: *Skoušení a diagnostika motorových vozidel*. Vyd. František Vlk, Brno, 2003.
9. VLK, F.: *Vozidlové spalovací motory*. Vyd. František Vlk, Brno, 2003.
10. *Spalovací motor 2007* [online] [cit. 2010-01-28]. Dostupné na internete: <<http://jirkovodoupej.wz.cz/spalovaci-motor.html>>
11. *Automatizace 2004* [online] [cit. 2010-02-12]. Dostupné na internete: <<http://www.automatizace.cz/article.php?a=1025>>
12. *Traktory ZETOR 2007* [online] [cit. 2009-11-25]. Dostupné na internete: <<http://www.agra.sk/traktory-zetor/>>
13. *Zetor 2009* [online] [cit. 2009-12-08]. Dostupné na internete: <<http://www.zetor.cz>>
14. *KISTLER 2010* [online] [cit. 2009-11-29]. Dostupné na internete: <http://www.kistler.com/gb_en-gb/KistlerCountryHome_KIL>

8 PRÍLOHY



Obr. A.1: Štítok označenia typu motora ZETOR.



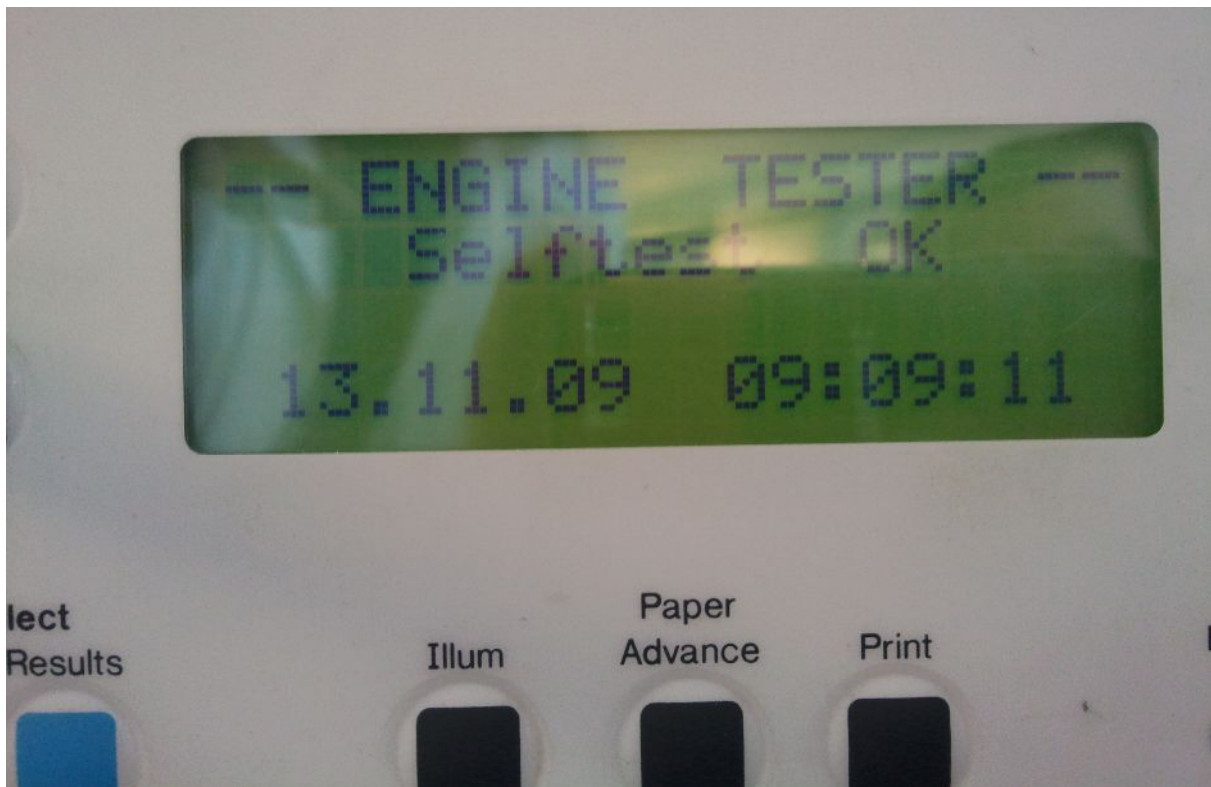
Obr. A.2: Skrinka ukazovateľov stavu motora



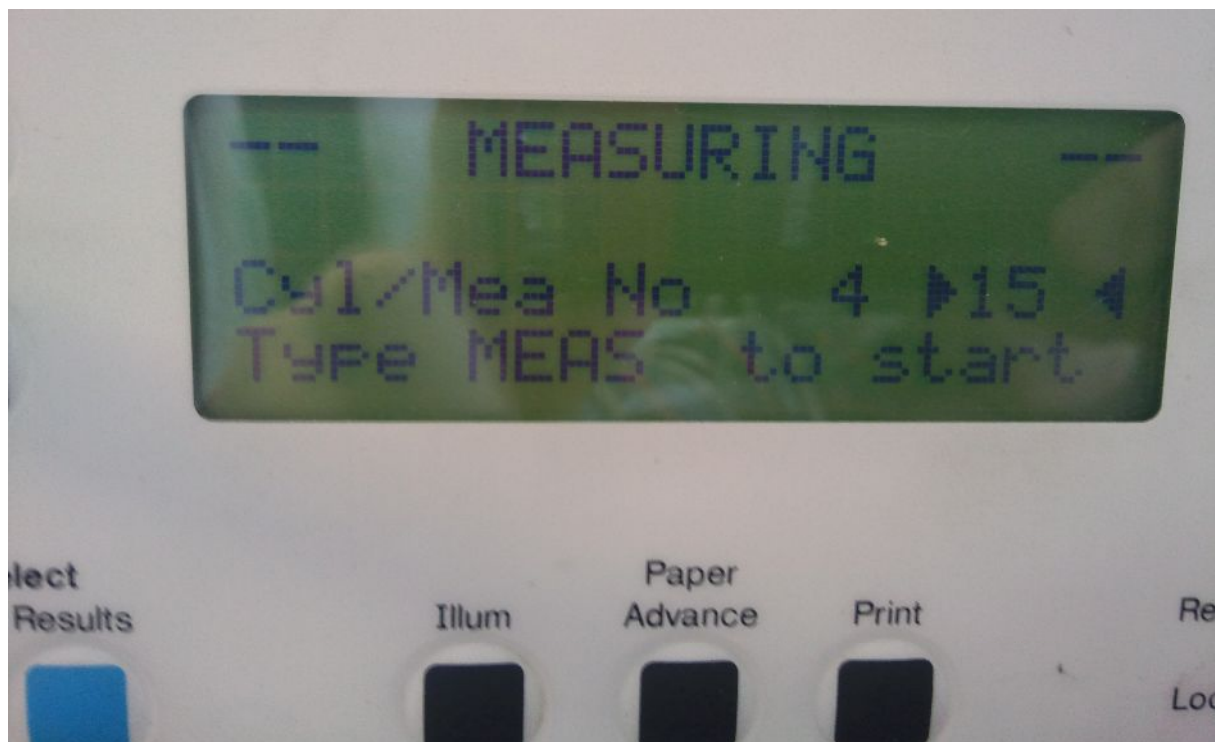
Obr. A.3: Predná časť záznamovej jednotky KISTLER 2507 A a adaptér s piezoelektrickým snímačom.



Obr. A.4: Zadná časť záznamovej jednotky KISTLER 2507 A.



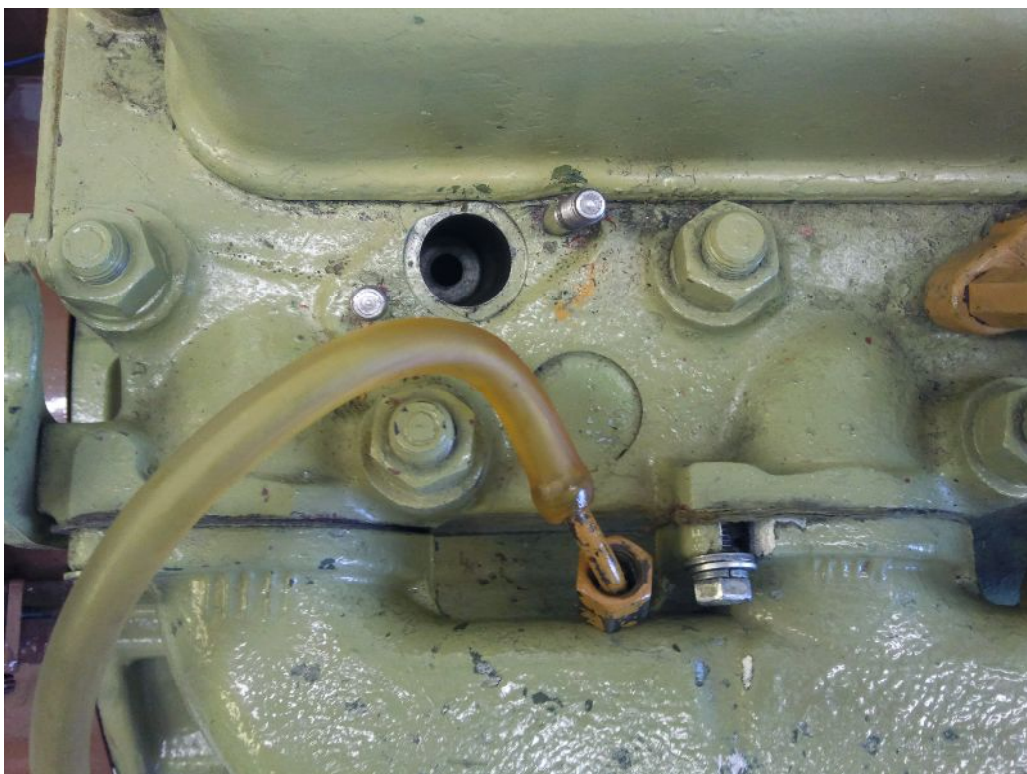
Obr. A.5: Test záznamovej jednotky KISTLER 2507 A po zapnutí.



Obr. A.6: Výzva na stlačenie tlačidla merania a samotné začatie merania.



Obr. A.7: Vstrekoč umiestnený na hlave motora.



Obr. A.8: Demontáž vstrekoča.



Obr. A.9: Montáž adaptéra s piezoelektrickým snímačom.



Obr. A.10: Záznamová jednotka KISTLER 2507 A a jej zapojenie na Motor ZETOR 8401.