

**UNIVERZITA PARDUBICE**  
**DOPRAVNÍ FAKULTA**  
**JANA PERNERA**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**2010**

**Marek Kudrnáč**

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

**OVĚŘENÍ MOŽNOSTÍ NÁHRADY NAFTY  
ALTERNATIVNÍMI KAPALNÝMI PALIVY  
A EXPERIMENTÁLNÍ URČENÍ KOUŘIVOSTI  
VZNĚTOVÉHO MOTORU V ZÁVISLOSTI  
NA DRUHU POUŽITÉHO PALIVA**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Autor práce: MAREK KUDRNÁČ**

**Vedoucí práce: Ing. JAROMÍR FOLVARČNÝ**

**2010**

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

**VERIFICATION OF THE POSSIBILITY**  
**TO SUBSTITUTE DIESEL OIL BY ALTERNATIVE**  
**LIQUIDFUEL AND EXPERIMENTAL**  
**DETERMINATION OF COMBUSTION ENGINE SMOKE**  
**EMISSION IN DEPENDENCE ON THE FUEL TYPE**

**BACHELOR WORK**

**AUTHOR: MAREK KUDRNÁČ**  
**SUPERVISOR: Ing. JAROMÍR FOLVARČNÝ**

**2010**

Univerzita Pardubice  
Dopravní fakulta Jana Pernera  
Akademický rok: 2009/2010

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Marek KUDRNÁČ**  
Studijní program: **B3709 Dopravní technologie a spoje**  
Studijní obor: **Dopravní prostředky-Silniční vozidla**  
Název tématu: **Ověření možnosti náhrady nafty alternativními kapalnými palivy a experimentální určení kouřivosti vznětového motoru v závislosti na druhu použitého paliva.**  
Zadávací katedra: **Katedra dopravních prostředků a diagnostiky**

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

1. Přehled schválených alternativních kapalných paliv pro vznětové motory.
2. Přehled nestandardních kapalných paliv a důvody pro jejich používání v ČR.
3. Konstrukční provedení palivové soustavy vznětového motoru pro ověření náhrady nafty nestandardními kapalnými palivy.
4. Původ kouření naftových motorů.
5. Metoda měření kouřivosti vznětových motorů na SME.
6. Zjišťování příčin kouřivosti vznětových motorů.
7. Emise vznětového motoru v závislosti na druhu použitého paliva.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

- [1] Matějovský, V.: Automobilová paliva. Nakladatelství Grada Publishing, a.s., Praha 2005, ISBN 80-247-0350-5
- [2] Vémola, A.: Diagnostika automobilů II. Nakladatelství Littera 2006, ISBN 80-85763-32-x
- [3] Takáts, M.: Měření emisí spalovacích motorů. Skriptum ČVUT, Praha 1997, ISBN 80-01-01632-3
- [4] Stritzko, V.: Zjišťování příčin kouření naftových motorů. Nakladatelství technické literatury, Praha 1968

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Jaromír Folvarčný**  
Katedra dopravních prostředků a diagnostiky

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

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



prof. Ing. Bohumil Culek, CSc.  
děkan

L.S.



doc. Ing. Miroslav Tesař, CSc.  
vedoucí katedry

dne

**Prohlašuji:**

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

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

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 16. 05. 2010

Marek Kudrnáč

## **Anotace**

Tato práce je věnována alternativním palivům pro motorová vozidla s dieslovým motorem, jejich vlastnostem a vhodnosti jejich použití při běžném provozu motoru. Dále pojednává o druzích nestandardních alternativních paliv použitelných pro dieselový motor a experimentálnímu zjištění kouřivosti při jejich použití.

Klíčová slova: palivo, bionafta, opacimetr, kouřivost, olej, motor

### **Annotation**

This work is dedicated to alternative fuels for motor vehicles with diesel engines, their characteristics and suitability for use during normal engine operation. Further are discussed types of non-standard alternative fuels applicable to diesel engine and experimental detection of smoke in their use.

Keywords: fuel, biodiesel, opacimeter, smoke, oil, engine



## Obsah

Úvod .....	11
<b>1. Přehled schválených alternativních kapalných paliv pro vznětové motory .....</b>	<b>13</b>
1.1 Bionafta I. generace (MEŘO).....	13
1.2 Bionafta II. generace (tzv. směsná nafta).....	17
1.3 Podmínky pro použití bionafty .....	18
1.4 Nové standardy pro alternativní paliva .....	23
<b>2. Přehled nestandardních kapalných paliv a důvody pro jejich používání v ČR.....</b>	<b>24</b>
2.1 Inspirace pro ověření nestandardních kapalných paliv .....	24
2.2 Seznam nejčastěji používaných nestandardních kapalných paliv .....	25
2.2.1 Rostlinné oleje .....	25
2.2.2 Lehký topný olej .....	27
2.2.3 Motorové oleje - použité .....	28
2.2.4 Hydraulické a převodové oleje .....	29
2.3 Problémy spojené s použitím nestandardních paliv.....	30
2.3.1 Viskozita oleje .....	30
2.3.2 Nečistoty obsažené v oleji .....	30
2.3.3 Nadměrné zvýšení emisí a kouřivosti motoru .....	32
<b>3. Konstrukční provedení palivové soustavy vznětového motoru pro ověření náhrady nafty nestandardními kapalnými palivy .....</b>	<b>33</b>
3.1 Konstrukce přídavných palivových soustav.....	33
3.1.1 Jednonádržový systém.....	33
3.1.2 Dvounádržový systém.....	34
3.2 Moje přestavba .....	35
3.2.1 Použité vozidlo .....	35
3.2.2 Konstrukce méj palivové soustavy .....	36
3.2.3 Funkce palivového systému.....	42
<b>4. Příčiny kouření naftových motorů .....</b>	<b>43</b>
4.1 Nedokonalé spalování.....	43
4.2 Porucha nebo opotřebení vstřikovacího zařízení.....	43
<b>5. Způsoby měření kouřivosti vznětových motorů .....</b>	<b>44</b>
5.1 Měření kouřivosti filtrační metodou .....	44
5.2 Opacimetrie .....	44

5.3 Metoda přímým hmotnostním měřením koncentrace částic .....	46
<b>6. Měření kouřivosti naftových motorů na stanicích měření emisí.....</b>	<b>48</b>
<b>7. Praktické měření kouřivosti vznětového motoru v závislosti na druhu použitého paliva</b>	<b>51</b>
<b>Závěr .....</b>	<b>58</b>
<b>Seznam použité literatury a zdrojů.....</b>	<b>60</b>
<b>Seznam obrázků .....</b>	<b>62</b>
<b>Seznam tabulek.....</b>	<b>63</b>

## Úvod

Evropská komise vypracovala a přijala 7. 11. 2001 program pro využití alternativních pohonných hmot v dopravě a současně navrhla opatření ke splnění tohoto programu. Program předpokládá, že do roku 2020 by mělo být nahrazeno 20 % motorových paliv vyráběných na bázi ropné suroviny alternativními palivy, biopalivy, zemním plynem a vodíkem. Představa komise je, že biopaliva by měla nahradit 8 % klasických motorových paliv, benzínu a motorové nafty.

S ohledem na menší výhřevnost některých typů biopaliv je jejich podíl definován na bázi celkového energetického obsahu automobilového benzínu a motorové nafty spotřebovaných pro dopravní účely v daném kalendářním roce. Zvětšování podílu jednotlivých typů alternativních paliv v dopravě by mělo být podle tohoto programu postupné. V prvním období do roku 2010 se počítá s nárůstem využití především biopaliv (bioetanol a metylestery mastných kyselin) a to až na úroveň 5,75 % podílu klasických kapalných paliv, resp. podílu jejich energetického obsahu (e.o.). Pro tuto problematiku využití biopaliv v dopravě přijaly Evropský parlament a Evropská rada tzv. Akční plán a dvě směrnice. Jednou z těchto dvou směrnic je směrnice 2003/30/EC o podpoře využívání biopaliv a nebo jiných obnovitelných zdrojů v dopravě a druhou pak směrnice 2003/96/EC týkající se zdanění energetických produktů. Tyto směrnice obsahují regulační a fiskální rámec podpory biopaliv. V akčním plánu je definována strategie pro dosažení plánované náhrady 20 % klasických kapalných motorových paliv alternativními palivy do roku 2020. Směrnice 2003/30/EC vybízí členské země k zajištění minimálního podílu biopaliv a jiných alternativních pohonných paliv na jejich národních trzích a v tomto ohledu stanoví národní indikativní cíle (priority). Jako referenční hodnota pro tyto cíle byla navržena pro r. 2005 hodnota 2 % (e.o.), v roce 2010 by mělo být dosaženo hodnoty podílu 5,75 % (e.o.) a do roku 2020 by se měl tento podíl zvětšit na 8 % (e.o.). Směrnice rovněž obsahuje jak definice pojmů biopaliva a biomasa, tak i definice jednotlivých typů biopaliv. Termínem biopaliva jsou míněna kapalná nebo plynná paliva vyrobená z biomasy.

V bakalářské práci je provedena charakteristika biopaliv pro dieselové motory schválených pro použití v ČR. Už na začátku devadesátých let byla vyvinuta snaha státu v takzvaném oleoprogramu využít produkt řepky olejné MEŘO jako palivo a vznikla bionafta I. a později II. generace. Ta se ale kvůli svým nedostatkům a hlavně kvůli přesunutí z nižší kategorie DPH (5 %) do vyšší (19 %) stala pro řidiče nezajímavou a takřka se přestala vyrábět. Změna přišla v září roku 2007, kdy byl nařízen podíl 2 % MEŘO v motorové naftě, od 1. 1. je to 4,5 %, od roku 2010 to bude 6 % a do roku 2020 by podíl MEŘO v motorové naftě měl být 10 %.

V další části bakalářské práce je pojednáno o původu kouření naftových motorů, zjišťování jeho příčin a měření kouřivosti na stanicích měření emisí.

Praktická část bakalářské práce je zaměřena na možnosti nahrazení motorové nafty u dieselového motoru v automobilu různými druhy alternativních kapalných paliv a zabývá se konstrukčním řešením palivové soustavy automobilu pro použití alternativního kapalného paliva. V závěru bakalářské práce je popsáno měření emisí na stanici měření emisí v Jilemnici, kde bude metodou volné akcelerace měřena změna kouřivosti dle druhu použitého paliva.

Pro měření bylo použito vozidlo Audi A4 s motorem 1,9 TDi a veškeré úpravy spojené s přestavbou byly vytvořeny svépomocí. Zkušenosti zde uvedené jsou získány od lidí z mého okolí, z různých diskusních fór a z mé vlastní zkušenosti.

**Použití těchto olejů jako paliva, ať už z důvodu zvýšení emisí a nadměrné kouřivosti motoru nebo nulového zdanění jako paliva pro motorová vozidla však není v České republice povoleno, proto má tato práce čistě pokusný charakter a po skončení pokusu bude vozidlo uvedeno zpět do původního stavu, schváleného pro provoz na pozemních komunikacích.**

# 1. Přehled schválených alternativních kapalných paliv pro vznětové motory

## 1.1 Bionafta I. generace (MEŘO)

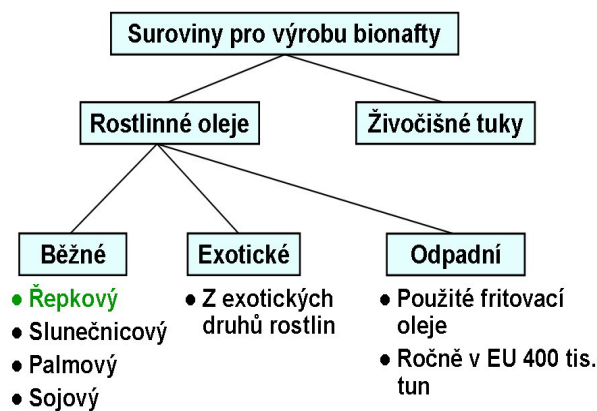
Bionaftou se ze zákona ČNR č. 587/1992 Sb. rozumí paliva a maziva biologicky odbouratelná minimálně z 90 % za 21 dní podle mezinárodního testu CEC L-33-A-93, přičemž podíl metylesteru kyselin obsažených v různých tucích a olejích musí činit více než 30 % všech látek v bionaftě obsažených. Bionafta I. generace je ekologické alternativní palivo na bázi metylesterů nenasycených mastných kyselin rostlinného původu (tzv. MEŘO). MEŘO je zkratka pro metylestery řepkového oleje, současně s touto zkratkou se můžeme setkat i s evropskou FAME (Fat Acid Methyl ester, tj. metylestery mastných kyselin). MEŘO je čirá kapalina bez jakýchkoliv nečistot, zabarvená do žluta, s vodou nemísitelná. MEŘO je hořlavá kapalina III. třídy nebezpečnosti, neobsahuje PCB ani látky obsahující těžké kovy. Při znečištění půdy se MEŘO samo biologicky odbourá.



Obr. 1 Pole s řepkou [5]

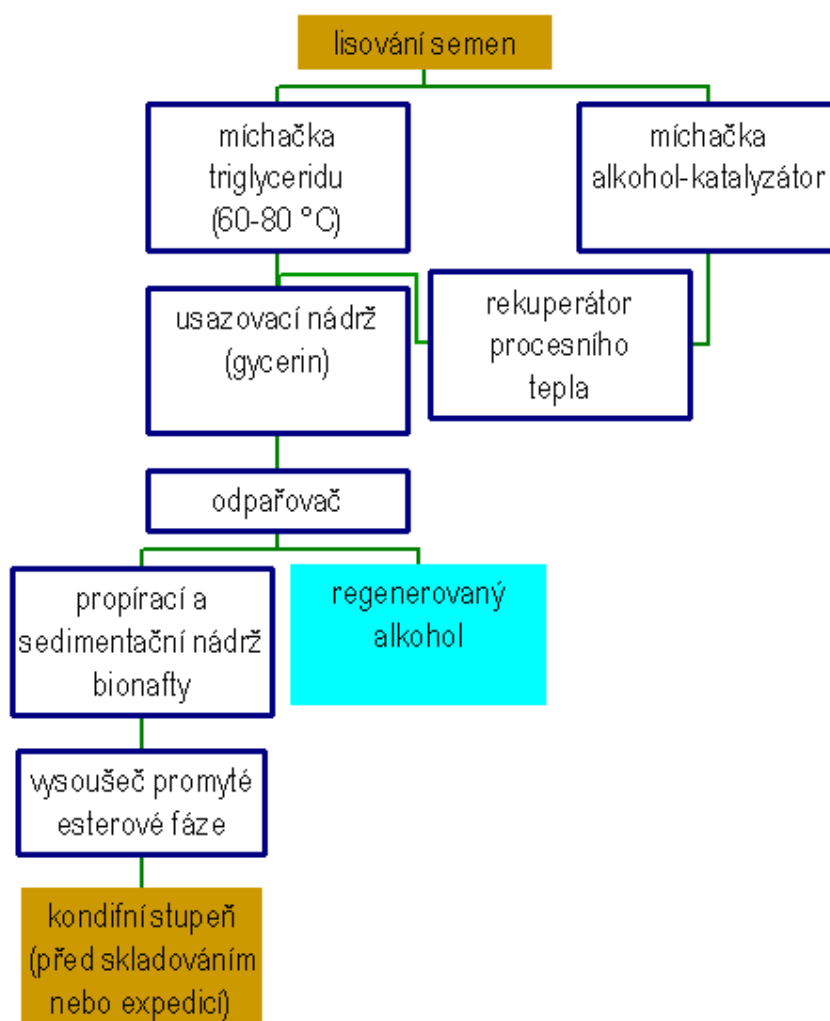
## Výroba

Vyrábí se rafinačním procesem — tzv. esterifikací, kdy se mísí olej nízkomolekulárním alkoholem za homogenní katalýzy. Jako alkohol je nejvíce používán methanol (uveden v reakci), event. ethanol. Použití ostatních alkoholů (propanol, butanol atd.) je také možné, ale problematické. Transesterifikace se provádí za homogenní bazické katalýzy (KOH, NaOH), jako katalyzátor je možno použít

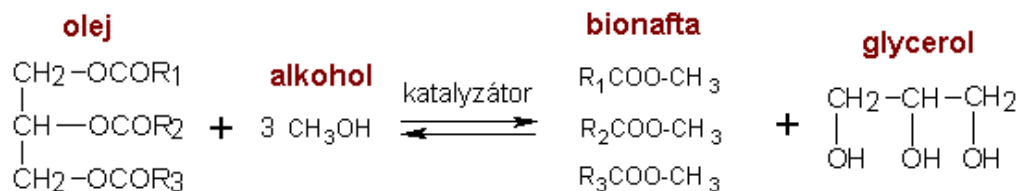


Obr. 2 Suroviny pro výrobu bionafty [2]

i kyselinu (nejvíce  $H_2SO_4$ ). Výhodou tohoto způsobu výroby je nenáročnost na výrobní zařízení a snadné provedení. Nevýhodou je nemožnost získání katalyzátoru zpět z reakce (ztráta katalyzátoru při bočné reakci – zmýdelnění oleje). Na výrobu bionafty lze použít téměř všechny druhy olejů včetně odpadních rostlinných olejů (použité fritovací oleje) a živočišných tuků. Nejdůležitějšími parametry pro reakci jsou: molární poměr methanol/olej, typ a množství katalyzátoru, teplota a čas reakce, intenzita míchání a složení vstupního rostlinného oleje (zejména množství volných mastných kyselin a vody). Vedlejším produktem výroby metylesteru je glycerin, který je dále používán v dalších odvětvích chemického průmyslu k výrobě zubních past, mýdel atd.



Obr. 3 Postup výroby MEFO [1]

**Reakce:**

$R_{1,2,3}$  jsou hydrofóbní zbytky mastných kyselin

**Obr. 4** Chemická reakce při výrobě MEŘO [2]

### Existují ještě tři metody výroby, které ale jsou ve vývojové fázi:

- **Heterogenní katalýza**

Jde o speciální katalyzátory na bázi organokovových komplexů nebo pevných kyselých katalyzátorů (zeolity) či oxidů kovů (MgO). Nevýhodou je větší náročnost a cena katalyzátoru. Výhodou je opětovné použití katalyzátoru po reakci, což u klasické homogenní katalýzy není možné.

- **Enzymatická katalýza**

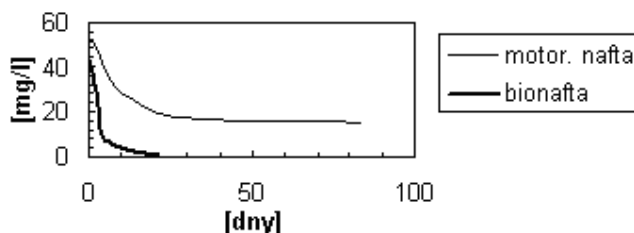
Používají se různé druhy enzymů, jež jsou izolovány z mikroorganismů jako například z *Rizhomucor miehei*, *Pseudomonas cepacia*, *Caida antarctica*. Výhodou je, že reakce probíhá při relativně nízkých teplotách (25-35 °C), nevýhodou její dlouhé trvání (desítky hodin). Hlavními překážkami používání lipáz v průmyslovém měřítku je jejich cena, částečná ztráta aktivity v methanolu a dlouhé reakční časy.

- **Bez katalyzátoru**

Další vyvíjenou metodou je příprava bionafty pomocí methanolu v superkritickém stavu, která probíhá bez katalyzátoru. Tento postup však vyžaduje vysokou teplotu (cca. 350 °C) a tlak (45-65 MPa) kterou je možné snížit přidávkem pomocného rozpouštědla. Výhodou je získání relativně čistého glycerolu.

### Výhody použití bionafty:

- není toxická a je biologicky odbouratelná (během 21 dnů z 90 procent). Tím je možné ji použít v situacích, kde hrozí kontaminace půdy, zejména v lesnictví, zemědělství nebo v chráněných územích



Obr. 5 Graf biologického rozkladu [4]

- při spalování lépe shoří, proto snižuje kouřivost motoru, množství polétavých částic, síry, oxidu uhličitého, aromatických látek a uhlovodíků
- zabraňuje tvoření karbonu v motoru a tím zvyšuje jeho životnost
- má vysokou mazací schopnost a tím snižuje opotřebení a zvyšuje životnost vstřikovacího čerpadla a vstřikovacích jednotek
- nevyžaduje žádné speciální uskladnění
- rozpouští usazeniny v palivové soustavě
- neomezená mísitelnost s motorovou naftou

### Nevýhody použití bionafty:

- pokles výkonu o cca 2-5 %
- zvýšení spotřeby o cca 4 %
- dochází k nárůstu oxidu dusíku NO<sub>x</sub> (o cca 10 %)
- pokud teplota klesne pod 5 °C → problémy s dopravou paliva z nádrže a se startováním motoru
- při kontaktu s vodou v ní vznikají mastné kyseliny, které mohou způsobit korozi palivového systému, bionafta zhoustne, je nefiltrovatelná a nemaže
- časem se rozkládá a oxiduje → motor nesmí dlouho stát
- ekonomická náročnost výrobního procesu → bez státních dotací nemůže konkurovat nynějším cenám nafty



## 1.2 Bionafta II. generace (tzv. směsná nafta)

Bionafta II. generace se začala vyrábět v roce 1996. Je to palivo pro vznětové motory s obsahem podle druhu 5 – 30 % (maximálně 36 %) metylesterů řepkového oleje. Zbytek tvoří motorová nafta. Její výhody a nevýhody jsou prakticky totožné s metylesterem řepkového oleje, ale díky převládajícímu podílu nafty se vlastnostmi blíží jí.

Po přesunutí bionafty II. generace jako paliva pro automobily z nižší sazby DPH do vyšší se její cena vyrovnala ceně motorové nafty. Tím se pro spotřebitele stala nezajímavou a přestala se takřka vyrábět.

PALIVO	Energia v MJ/liter
Nafta	35,1
Rastlinný olej	34,3
MERO (bionafta)	33,1
Etanol	21,1
Metanol	18,0
Vodík kvapalný pri -256°C	8,5
Elektrina z batérie	0,36

**Obr. 6** Porovnání uložené energie v palivech [3]

	Nafta s nízkým obsahom síry	Bionafta (MERO)	Čistý repkový olej
Cetánové číslo	46	61,2	42,6
Bod varu °C	191	347	311
Viskozita pri 20 °C	5,1	7,5	77,8
viskozita pri 50 °C	2,6	3,8	25,7
Obsah síry (%váž.)	0,036	0,012	0,022
Obsah dusíka v ppm	0	6	-
Zvyškový obsah uhlíka %	0,15	0,02	0,25
Teplo pri spaľovaní (kJ/kg)	46,42	40,6	40,4
Energetický obsah (MJ/l)	35,1	33,1	34,3
Hustota	0,8495	0,8802	0,906

**Obr. 7** Porovnání vlastností paliv [3]

### 1.3 Podmínky pro použití bionafty

„V současnosti existují tři možné způsoby použití bionafty jako paliva pro motorová vozidla vybavená vznětovými motory:

- a) ve formě čisté bionafty (100 % FAME) v kvalitě odpovídající ČSN EN 14214,
- b) ve formě tzv. směsného paliva obsahujícího 30 % obj. FAME ve směsi s uhlovodíkovou frakcí, v kvalitě odpovídající technické normě ČSN 65 6508,
- c) ve formě přídatku v množství max. 5 % obj. do běžné motorové nafty, v kvalitě odpovídající technické normě ČSN EN 590. Toto palivo s obsahem MEŘO je považováno za motorovou naftu, bez nutnosti zvláštního označení.

V posledních letech byla prezentována celá řada studií a hodnocení zkušeností získaných při používání čistého FAME a jeho směsí s motorovou naftou jako paliva pro vznětové motory. Základní požadavky vznětových motorů pro používání bionafty, resp. jejich směsí s motorovou naftou – 5 % (B5), 10 % (B10), 20 % (B20) a 30 % (B30) jsou stejné jako pro používání klasické motorové nafty. Některé tyto požadavky jsou však u bionafty obtížně dosažitelné v důsledku jejího odlišného chemického složení. Liší se zejména menší termicko-oxidační stabilitou, mají větší hustotu, větší viskozitou jak při 40 °C, tak zejména při nízkých teplotách. Dále se liší destilační křivkou, rozpustností vody, emulgovatelností, menší výhřevností, zvýšenou rozpouštěcí schopností, sklonem k hydrolýze, hygroskopičností, napadání mikroorganismy, stabilitou při skladování, horšími nízkoteplotními vlastnostmi apod. První provozní zkušenosti s tímto typem paliva v neupravených motorech i v ČR, signalizovaly celou řadu problémů, z nichž je třeba uvést především následující:

- menší snášenlivost s materiály používanými pro těsnění,
- větší náchylnost k tvorbě úsad v motoru,
- zanášení vstřikovacích trysek a tím i zhoršování exhalačních parametrů, zvýšení spotřeby a snížení výkonu motoru,
- ředění motorového oleje a tím nejdříve snížení jeho viskozity s následnou rychlou tvorbou kalů vedoucí k extrémnímu zahuštění oleje,
- nutnost zkrácení výměnných lhůt olejů na polovinu.

Tyto důsledky byly promítnuty do následujících závěrů. Motorová vozidla, ve kterých je možno používat čistou bionaftu (100 % FAME), musí být pro toto palivo speciálně vybavena a výrobce motorového vozidla musí v servisní knížce deklarovat podmínky možnosti použití bionafty jako paliva. Poslední přehledy povolení světových výrobců motorů ukazují, že počet schválení provozu s bionaftou je pro nákladní vozy a autobusy minimální a soustřeďuje se spíše na upravené traktory. MB Chrysler povoluje např. použití bionafty pro určité typy motorů, ale

s tím, že výměnu motorových olejů je nutno zkrátit na poloviční proběh oproti povolenému proběhu při použití konvenčního paliva. Snaha o zmírnění těchto dopadů na pohonné jednotky vedla ke zkoušení směsí bionafty a konvenční motorové nafty v různých poměrech, které například v ČR vedlo k vytvoření a schválení ČSN 65 6508 – Palivo pro vznětové motory s obsahem metylesterů řepkového oleje s minimálním obsahem esterů ve výsledném palivu 30 % hm., a v USA k vytvoření ASTM směsné nafty s obsahem 20 % hm. FAME (B20). Používání směsné nafty (B30) musí být schváleno příslušným výrobcem motorového vozidla, obsaženo v zákonu o motorových vozidlech na pozemních komunikacích a vyhlášce MPO ČR o jakosti motorových paliv. Lze předpokládat použití směsných naft s vyšším obsahem bionafty v motorech schválených pro čistou bionaftu. Velmi citlivou záležitostí je garance na bezporuchovou funkci pohonné jednotky.

Stanovisko evropských výrobců bionafty sdružených v EBB prezentované na „Stakeholders meeting“ konaném v květnu r. 2005 v Bruselu, obsahuje konstatování, že značný podíl na negativních dopadech používání bionafty a tím vytvoření špatného ohlasu u veřejnosti způsobila nedostatečná kvalita bionafty pocházející z malých výrobních jednotek s ne vždy vhodnou technologií výroby. Důsledkem toho se nenaplnily optimistické prognózy týkající se masového používání FAME. Využívání FAME v těchto motorech je stálým předmětem celosvětové diskuze. Např. stanovisko Evropské asociace výrobců motorových vozidel (ACEA) ve World Wide Fuel Charter 98 k tomuto problému uvádí, že používání FAME má celou řadu negativních dopadů pro provoz motorů zejména nových konstrukcí a pro zachování optimální výkonnosti a příznivých ekonomických a ekologických parametrů. Používání čisté bionafty (100 % FAME) nepovoluje a pro některá paliva připouští maximální přídavek 5 % obj. FAME do klasické motorové nafty. Pro čistá paliva v určité jakosti definované ve World Wide Fuel Charter dokonce přidání biopaliva vůbec nepřipouští.“ [16]

Zásadní je také stanovisko firmy Volkswagen, prezentované na semináři CEC Polska v září 2002. Firma na tomto semináři uvedla následující problémy spojené s používáním FAME, které vyvolaly nepříznivé dopady na pohonné jednotky VW:

- vysoký obsah glycerolu a glyceridů má za následek ucpávání palivových filtrů a korozní působení na neželezné kovy (Cu a Zn),
- nízká oxidační stabilita je příčinou tvorby úsad v motorech, koroze v důsledku vytvoření agresivních oxidačních produktů (kyselina mravenčí, kyselina octová),
- vysoký obsah alkalických kovů (Na, K) a kovů alkalických zemin (Ca, Mg) vede k hygroskopičnosti (tvorba Ca mýdel), tvorbě kalů (Na, K) a k ucpávání filtrů,

- malá stabilita při nízkých teplotách má za následek zhoršenou filtrovatelnost a vede rovněž k ucpávání filtrů,
- vysoký obsah vody je příčinou koroze, ucpávání filtrů a bakteriálního napadení,
- pro růst organismů (bakterie, plísně, houby) je vhodný substrát obsahující mastné kyseliny, P a vodu; zejména při skladování už i malé množství FAME může vyvolat tento problém,
- vysoké číslo kyselosti, které signalizuje přítomnost volných kyselin a jejich korozní působení,
- vysoké jodové číslo souvisí s přítomností mastných nenasycených kyselin s větším počtem dvojných vazeb, což má za následek koksování, vznik kalů v oleji a dochází k ucpávání vstřikovacích trysek,
- vysoký obsah fosforu má nepříznivý dopad na účinnost a životnost oxidačních katalyzátorů,
- nárůst pěnovosti paliva.

Zástupci firmy VW upozornili rovněž na vysokou viskozitu bionafty při nízkých teplotách způsobující následně problémy při dosahování potřebných vysokých vstřikovacích tlaků.

Na otázku, proč byl dán souhlas s používáním čisté bionafty v některých VW motorech od roku 1996, odpověděli konstatováním, že zásadní podmínkou byla úprava motorů a hlavně podmínka bezpodmínečného splnění jakostních parametrů dle E-DIN 51 606 dále zpřísněných podnikovým předpisem. Veškeré zkušenosti s materiály, komponentami a testováním motorů byly získány pouze s FAME velmi dobré kvality a z těchto výsledků rezultovalo i dřívější stanovisko firmy. Současné stanovisko firmy k používání bionafty je následující: „Pro příslušně upravené motory se stanoveným způsobem jejich provozování se povoluje pouze FAME, striktně splňující jakostní požadavky EN 14214. Pro běžný provoz všech vozidel VW se vznětovými motory je možno používat motorovou naftu obsahující maximálně 5 % obj. bionafty, bezpodmínečně v kvalitě dle EN 14214.“

„Vyhodnocení praktických zkušeností používání bionafty z minulých let jednoznačně potvrdilo, že rozhodnutí o možnosti používání FAME a směsné motorové nafty B30 pro pohon vznětového motoru ovlivňuje především vstřikovací čerpadlo. I zde se vyskytují nežádoucí vlivy na těsnicí materiály, ve srovnání s klasickou motorovou naftou se při nízkých teplotách značně zvýší viskozita na téměř hraniční hodnotu pro provoz vstřikovacích čerpadel. To může vést zejména u rotačních čerpadel k deformacím až překroucení hřídele. Co se týče použitých materiálů, novější typy čerpadel mají již těsnění z polymerů na bázi PTFE (polytetrafluorethylen), která používání směsných paliv umožňují a firmy, jako např. LUKAS a Bosch, vydaly svá doporučení k možnosti používání FAME a B30. Pro běžná čerpadla starých

motorů, pokud jsou vybavena relativně odolným těsněním, tyto firmy povolují naftu s obsahem FAME maximálně 10 % obj. Nezaručují však životnost vstřikovacích čerpadel. Bosch výslovně upozornil na skutečnost, že při odstavení vozidla na delší dobu může dojít k zalepení funkčních dílů, a proto při používání směsné nafty se na tento jev nevztahují žádné záruky.

Novodobé vstřikovací systémy pracují s vysokým vstřikovacím tlakem a recirkulací silně zahřátého paliva (Common rail, Pumpe – Düse). Silně zahřáté palivo má za následek vznik termooxidačních produktů, vedoucích k poruchám v systému. Vzhledem k horší stlačitelnosti FAME je obtížné dosáhnout předepsaných vysokých vstřikovacích tlaků. Odstraňování poruch způsobených zalepováním funkčních dílů čerpadel je velmi obtížné pro špatnou rozpustnost úsad a znamená to obvykle provést nákladnou výměnu celého vstřikovacího systému. Tyto problémy nastávají i u směsí FAME s klasickou naftou, kde kromě stability je velmi důležitá rovněž čistota FAME, především pak obsah částečně nezreagovaných glyceridů a různých chemicky obtížně definovatelných kontaminací pocházejících z výchozího oleje a technologie jeho reesterifikace. Za klíčové je třeba považovat současné stanovisko Evropské asociace pro výrobu autodílů (CLEPA), které vyjádřila prostřednictvím výrobců vstřikovacích zařízení (Bosch, Delphi, Siemens, VDO, Denso a Stanadyne) sdružených ve FIE (Fuel Injection Equipment). Asociace FIE podporuje možnost používání alternativních paliv pro pohon vznětových motorů v rámci směrnice EC 2003/30/EC. FIE byla aktivní při vypracování a schvalování EN 14214 pro FAME, která reprezentuje minimum požadavků na kvalitu a to jak při použití čisté bionafty, tak i pro směsnou motorovou naftu. Pro zabránění poruch palivových systémů i v případě nafty obsahující FAME do 5 % obj., se kterou FIE souhlasí, musí kvalita FAME i v tomto případě bezpodmínečně těmto požadavkům odpovídat, stejně jako základní nafta a směs požadavkům EN 590. Souhlas byl vysloven na základě zkušeností s používáním MEŘO v Evropě. Není však zatím dostatek zkušeností s ostatními metylestery (sójové, talové, upotřebené fritovací oleje) a tyto musí být ještě získány. U testovaných FAME byla zjištěna dobrá mazivost a hodnota cetanového čísla, ale vliv dalších parametrů na dlouhodobý provoz je ještě třeba prověřit.

Za nejzávažnější považuje FIE následující: obsahy volného metanolu, vody, volného glycerolu, mono-, di- a triglyceridů, volných mastných kyselin, hladinu mechanických nečistot, obsah alkalických kovů a kovů alkalických zemin a oxidační stabilitu. Nejzávažnější vlastnosti z hlediska poruch vstřikovacích zařízení podle FIE jsou:

- biologická odbouratelnost, která je sice marketingově zdůrazňována jako přednost, ale je velmi nebezpečná pro samotné palivo s hlediska vzniku hutných úsad a kontaminačního znečištění dalšího paliva,

- snížená termicko-oxidační stabilita, která je ve středu zájmu FIE, protože jako produkt stárnutí paliva, je potenciálně nebezpečná pro celý palivový systém a to jako ve vozidle, tak i mimo vozidlo,
- stárnutí je akcelerováno zvýšenou teplotou, přítomností vody, kovových iontů a ostatních nečistot, tvoří se silně korozivní produkty a polymerní úsady.“ [17]

Byl vypracován podrobný seznam potenciálních problémů pro systémy vstřikování paliva hrozících při použití FAME. Na základě uvedených možných problémů a zkušeností z provozu motorových vozidel s alternativními palivy, zaujala asociace FIE k požadavku EBB na zařazení možnosti přídavku min 10 % obj. FAME do motorové nafty v roce 2010 v rámci novely EN 590 toto stanovisko:

- asociace FIE trvá na svém dřívějším stanovisku z roku 2004, tj. souhlasí s přídavkem maximálně 5 % obj. FAME do motorové nafty,
- v současné době je nedostatek praktických zkušeností se směsí obsahující více než 5 % obj. FAME a bez toho se nelze vyjádřit k možnosti dalšího zvýšení obsahu FAME,
- pokládá proto za velmi předčasné hovořit o zvýšení povoleného přídavku FAME na 10 % obj.

K tomuto stanovisku se připojila i ACEA ve své odpovědi na požadavek změny směrnice EU o jakosti paliv. Současná motorová vozidla se vznětovými motory jsou určena pro palivo obsahující maximálně 5 % obj. bionafty. Toto bylo přijato na základě jednoznačného požadavku asociace výrobců vstřikovacích systémů z června 2004. Revize EN 590 byla provedena v tomtéž roce tak, aby tento přídavek byl umožněn. ACEA žádá, aby pro tuto změnu na trhu paliv byly také upraveny požadavky na monitorovací systém kvality a hlavně na monitorování obsahu FAME v motorové naftě. Asociace není v principu proti projednávání návrhu na přídavek FAME do 10 % obj. Protože však kapacita výroby FAME v Evropě je nedostatečná i pro zajištění plošného přídavku 5 % obj., je obtížné zavést plošný standard pro využití pouze v několika málo zemích. Zavedení 10 %-ního přídavku FAME do motorové nafty vyžaduje spolupráci všech zainteresovaných institucí k realizaci následujících kroků s tím, že zásadní při posuzování možného přijetí nové technické normy musí být stanovisko FIE:

- připravit novou specifikace v rámci CEN pro palivo B10 a současně revidovat požadované kvalitativní parametry pro FAME dané normou EN 14 214,
- s přípravou specifikace musí být spojeno nezávislé vyhodnocení vlastností směsného paliva B10 při dostatečně dlouhých provozních zkouškách, přičemž kritéria musí být přesně určena (stabilita paliva, jeho snášlivost s konstrukčními materiály, zachování emisí minimálně pro

proběh 100 tis. km) a musí být určeno, jakým způsobem bude veškerá činnost směřovaná k zavedení nového paliva B10 financována,

- členové ACEA by mohli vyžadovat určitý čas pro adaptaci technologie výroby pohonných jednotek určených pro používání B10, tato potřebná doba musí být diskutována jak s ACEA, tak i s CLEPA reprezentovanou výrobcí FIE,
- označení paliva B10 u čerpacích stanic je nutné pro zabránění vzniku poruch u existujících motorových vozidel, která mohou být s tímto typem směsného paliva neslučitelná,
- i nadále musí být u čerpacích stanic prodávána paliva pro současná motorová vozidla odpovídající směrnici EC 98/70.

## **1.4 Nové standardy pro alternativní paliva**

Vývojem nových standardů pro alternativní paliva se v rámci Evropy zabývá pracovní skupina WG 149 při CEN. V rámci její činnosti je možné v oblasti paliv pro vznětové motory očekávat vydání nových jakostních standardů pro:

- FAEE –etylestery mastných kyselin,
- motorovou naftu s obsahem do 5 % obj. FAEE – revize EN 590,
- alkoholová paliva pro vznětové motory, typy E95 (95 % etanolu) a E15 (15 % etanolu),
- směsnou naftu s obsahem 30 % obj. FAME,
- syntetické palivo GTL (Gas to Liquid),
- syntetické palivo BTL (Biomass to Liquid),

## **2. Přehled nestandardních kapalných paliv a důvody pro jejich používání v ČR**

### **2.1 Inspirace pro ověření nestandardních kapalných paliv**

Jednou z inspirací, z kterých jsem před započítím pokusu čerpal, byl časopis Auto Tip a v něm článek „S olejem jako po másle“.

„Testů zkoušejících, zda jde ve vznětovém motoru v klidu spalovat běžný potravinářský rostlinný olej, se už objevilo několik. Ale nikdo ještě nezkusil vzít místo staršího modelu vůz s nejmodernější pohonnou jednotkou.

Wolfgang Blaude na sebe před lety vzal riskantní úlohu: on to bude, kdo v redakci Auto Bildu zkusí dlouhodobě jezdit na fritovací olej. Jeho první test z června 2000 spočíval v absolvování dva tisíce kilometrů dlouhé testovací trasy od jednoho z německých diskontů až do španělského letoviska Alicante. S netradičním palivem se ovšem potýkal tehdy šestnáct let starý diesel GTD ve Volkswagenu Golf.

Tentokrát to dopadlo dobře, ale pokud má potravinářská alternativa dostat další hlasy k dobru, musí s ní dokázat fungovat také nejmodernější vznětové jednotky, a navíc v tuhé zimě. Biopaliva totiž ve zvýšené míře zanášejí vstřikovací trysky, jejichž průřez se za posledních dvacet let podstatně zmenšil, a k tomu přidávají problémy se startováním za nízkých teplot, protože při nich tuhnou.

Takže přišel čas na zopakování celé akce, teď ovšem na řepku jede Volkswagen Golf 1,9 TDI páté generace se čtyřválcovým turbodieselem koncepce čerpadlo-tryska o výkonu 77 kilowatů. Cílem je lít do nádrže pouze olej, pokud možno žádné ředění klasickou naftou, jak to už relativně úspěšně praktikuje mnoho lidí po celé Evropě a jaká je ostatně také strategie Evropské unie – do konce roku 2010 šest procent biosložek v ropných palivech.“ [15]



Nafta versus Olej		
Disciplína	Nafta	Olej
0 – 100 km/h	11,3 s	11,4 s
0 – 150 km/h	35,9 s	35,4 s
60 – 100 km/h (4. stupeň)	7,9 s	7,8 s
80 – 120 Km/h (5. stupeň)	11,7 s	11,3 s
Nejmenší spotřeba	4,5 l	5,3 l
Největší spotřeba	9,2 l	9,6 l
Průměrná spotřeba	5,9 l	6,6 l

Tab. 1 Výsledky testu v časopisu Auto Tip [15]

## 2.2 Seznam nejčastěji používaných nestandardních kapalných paliv

Důvody použití nestandardních kapalných paliv v ČR jsou v podstatě čistě ekonomické. Ještě v roce 2008 byl rozdíl mezi asi nepoužívanějším rostlinným olejem a motorovou naftou cca 12 Kč. Po vypuknutí světové krize a poklesu cen ropy na konci roku 2008 a zvyšování cen potravin se cena rostlinného oleje s naftou takřka vyrovnaly a jeho použití již nebylo ekonomicky výhodné, ale v dnešní době se rozdíl mezi motorovou naftou a olejem opět začíná navyšovat a v současnosti tvoří asi 10 Kč. Toto vede ke zvýšené snaze lidí k využití těchto olejů, ať už rostlinného původu (nových nebo starých – vyřazených po použití v potravinářském průmyslu), topných olejů nebo různých druhů vyřazených motorových, převodových nebo hydraulických olejů.

### 2.2.1 Rostlinné oleje

Rostlinné oleje patří mezi význačné zdroje alternativních paliv. Olej je možné získat z více než 300 druhů rostlin. Ve světové produkci převládá olej ze sóji (hlavně Spojené státy americké), mezi dalšími pak palmový olej, olej ze slunečnice, řepky atd. Při výrobě se ze suchých semen lisuje olej. Odpadem při lisování olejin jsou výlisky (šrot), které se dále využívají pro výrobu krmných směsí a přírodních hnojiv. U nás se nejvíce pěstuje řepka olejná.



Obr. 8 Rostlinný olej [6]

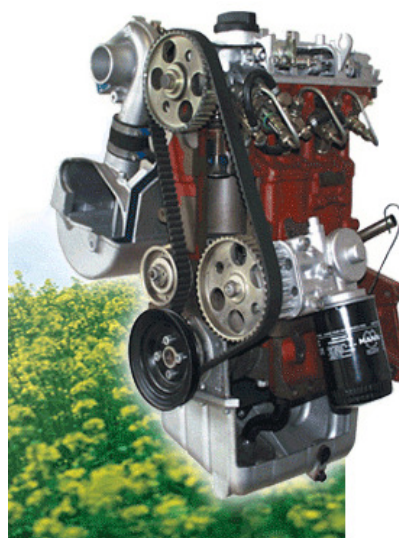
Lisováním semen řepky se získá 32 % čistého řepkového oleje, 6 % vody a 59 % výlisků. V posledních několika letech se kvůli neustále zvyšujícím se cenám olejnatých plodin hledají nové zdroje surovin, např.: použité fritovací oleje, odpad, živočišné tuky, aj.

## Provoz motoru na rostlinný olej

Už v roce 1900 představil Rudolf Diesel na výstavě v Paříži spalovací motor, který používal jako palivo olej z podzemnice olejné. Toto palivo se ale neuchytilo a pro pohon dieselového agregátu je používána takřka výhradně motorová nafta. K myšlence použití rostlinného oleje jako paliva se konstruktéři motorů vrátili až v sedmdesátých letech po vypuknutí ropné krize.

## Elsbethův motor

V roce 1964 byl vyvinut Ludwigem Elsbethem motor, který je bez jakýchkoliv úprav schopen používat rostlinný olej jako palivo. Motor je charakteristický tím, že při spalování rostlinného oleje nezanáší stěny válce nerozprášenými uhlovodíky. Je vybavený speciálním vstříkovaním paliva kombinovaným s okrouhlou spalovací komorou umístěnou ve válci motoru. Tato konstrukce umožňuje spalování při vysoké teplotě v centru obklopeném vrstvou studeného vzduchu. Válec motoru je vyroben ze dvou částí. Horní část je vyrobena z žáruvzdorné litiny a tvoří hlavu válce, spodní je z hliníku. Celková hmotnost válce je potom nižší než u klasického motoru.



Obr. 9 Elsbethův motor [7]

**Výhodou** tohoto motoru je vyšší účinnost (asi 40 % proti cca 30 % u klasického dieselového motoru) a s tím spojená nižší spotřeba paliva (asi o 30 %). Podle měření nezávislých institutů má také Elsbethův motor nižší emise CO, NO<sub>x</sub> a HC.

**Nevýhodou** jsou však vyšší náklady na výrobu a s tím spojený nezáměr automobilek na jeho výrobu. Z tohoto důvodu se tento typ motoru dnes nepoužívá.

**Výhody použití rostlinného oleje:**

- Ekologické a hospodárné využití půdy produkcí potravinářských plodin
- Jde o obnovitelný zdroj energie
- Není toxický a je v přírodě lehce odbouratelný
- Má vysokou mazací schopnost (je mastnější než motorová nafta), a tím snižuje opotřebení motoru a prodlužuje životnost vstřikovacích jednotek
- Nízké emise škodlivin CO, CO<sub>2</sub>,
- Větší energetická hustota než u jiných alternativních paliv

**Nevýhody použití rostlinného oleje:**

- Větší viskozita a tím spojené problémy (viz kapitola níže)
- Po zředění motorového oleje dochází k želatinizaci (nutný zkrácený interval výměny motorového oleje)
- Při kontaktu s vodou v ní vznikají mastné kyseliny, které mohou způsobit korozi palivového systému, zhoustne, je nefiltrovatelná a nemaže
- Časem se rozkládá a oxiduje → motor nesmí dlouho stát

**Použitý rostlinný olej**

Tento olej je u nás jako palivo velmi rozšířen. Je využíván především odpadní fritovací olej z restauračních zařízení, který je snadno dostupný a jeho cena je nízká. Jeho vlastnosti jsou obdobné jako u čistého, avšak v použitém je obsaženo navíc následkem fritování velké množství tuků a hlavně solí, které mají neblahý vliv na povrch kluzných částí vstřikovacího mechanismu. Ve fritovacím oleji také bývá velké množství vody a pevných částic, které je nutné nechat usadit a odfiltrovat.

**2.2.2 Lehký topný olej**

Lehký topný olej je směs kapalných uhlovodíků. Získává se z ropy destilací případně rafinací. Může obsahovat přísady pro snížení bodu tuhnutí, případně přísady pro zlepšení jiných vlastností. Lehký topný olej je běžně určen k vytápění rodinných domů a průmyslových podniků.



**Obr. 10** Lehký topný olej [8]

Vlastnostmi se blíží motorové naftě, proto je obarven na červeno, aby s ní nešel zaměnit. Pro případné použití jako palivo nemusí být na vozidle provedeny žádné konstrukční úpravy, ale oproti motorové naftě do něj nebývají přidány přísady proti tuhnutí, proto je jeho použití v zimních podmínkách bez použití těchto přísad omezené.

<b>Hustota při 20 °C kg/m<sup>3</sup> max.</b>	860
<b>Kinematická viskozita při 20 °C mm<sup>2</sup>/s max.</b>	6
<b>Bod vzplanutí PM ve °C min.</b>	56
<b>Bod tuhnutí °C max.</b>	-15
<b>Destilační zkouška: do 360 °C predestiluje % obj.min.</b>	85
<b>Obsah síry v % hm.max.</b>	0,1
<b>Mechanické nečistoty v % hm. max.</b>	0,1
<b>Obsah vody v % hm. max.</b>	0,05
<b>CCT v % hm. max.</b>	0,1
<b>Popel v % hm. max.</b>	0,01
<b>Výhřevnost kJ/kg min.</b>	42.900

Tab. 2 Vlastnosti lehkého topného oleje [18]

### 2.2.3 Motorové oleje - použité

Jsou použity jako prostředek mazání spalovacího motoru. Dle druhu a použití se jejich vlastnosti liší. Pro použití jako paliva platí, že vhodnější jsou ty s nižší viskozitou. Tyto oleje jsou pro použití jako paliva nejméně vhodné, protože obsahují velké množství nečistot a rozpuštěného karbonu z motoru. S použitím těchto olejů jsem se setkal jen u nákladních nebo starých osobních vozidel, kdy je jejich palivová soustava schopna používání těchto olejů vydržet.



Obr. 11 Motorový olej [9]

<b>Viskozita při 100 °C (mm<sup>2</sup>/s)</b>	<b>Viskozitní index</b>	<b>Bod vzplanutí (°C)</b>	<b>Bod tekutosti (°C)</b>
10 – 70	110 - 190	200 - 250	-20 - -50

**Tab. 3** Vlastnosti motorového oleje (údaje jsou čistě informativní a mohou se dle druhu mot. oleje lišit) [18]

## 2.2.4 Hydraulické a převodové oleje

Jsou použity v různých hydraulických mechanismech, kde slouží zpravidla k přenosu energie mezi hydrogenerátorem a hydromotorem resp. k mazání převodovek a převodových soukolí. Dle použití se můžeme setkat s mnoha druhy těchto olejů s různými vlastnostmi určenými na konkrétní použití.

<b>Viskozita při 40 °C (mm<sup>2</sup>/s)</b>	<b>Viskozitní index</b>	<b>Bod vzplanutí (°C)</b>	<b>Bod tekutosti (°C)</b>
10 – 70	110 - 140	150 - 300	-25 - -55

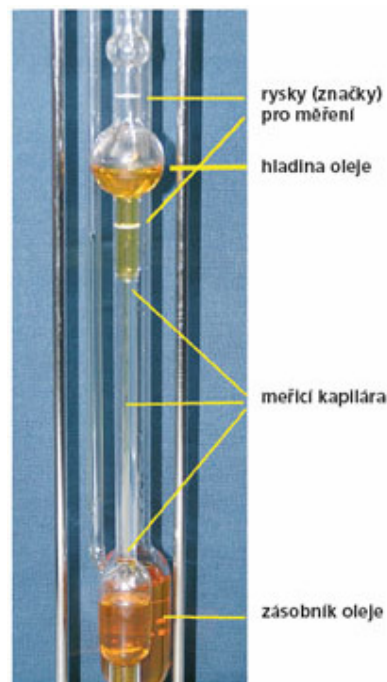
**Tab. 4** Vlastnosti převodového oleje (údaje jsou čistě informativní a mohou se dle druhu př. oleje lišit) [18]

Pro použití jako paliva je snaha používat hydraulické nebo převodové oleje s co nejnižší viskozitou. Dále musí být kladen důraz na dokonalou filtraci a zbavení oleje drobných částic vzniklých opotřebením hydraulických mechanismů a převodových soukolí. Pro odstranění drobných ocelových šupinek bývá olej filtrován skrz jádro z magnetu, na kterém šupinky ulpívají.

## 2.3 Problémy spojené s použitím nestandardních paliv

### 2.3.1 Viskozita oleje

Je asi největším problémem. Všechny tyto nestandardní paliva mají o mnoho větší viskozitu než motorová nafta. Při použití paliva s vyšší viskozitou nastává problém s dopravou paliva z nádrže, kdy palivový systém musí být zpravidla doplněn pomocným dopravním čerpadlem, palivové potrubí musí být nahrazeno jiným, s větším průměrem a soustava musí být doplněna větším palivovým filtrem. Při použití paliva s vysokou viskozitou dochází také k nadměrnému namáhání pohyblivých částí vstřikovacího čerpadla a vstřikovacích jednotek a hrozí jejich zničení. V neposlední řadě pak nedochází k dokonalému rozprášení vstříknutého paliva, to ulpívá na stěnách válce a je pístními kroužky stahováno do prostoru klikové skříňe. Tím dochází k ředění a následné degradaci motorového oleje. Nedokonalé spálení směsi také vede k tvorbě karbonu, ke zvýšené kouřivosti motoru a s tím spojené zanášení výfukové soustavy.



Obr. 12 Měření viskozity oleje [10]

Problém je zpravidla řešen ohřevem paliva na teplotu 70-80 °C kdy se jeho viskozita snižuje. Toto je řešeno výměníky tepla, které využívají odpadního tepla z motoru (voda, motorový olej nebo výfuk) nebo elektrickými topnými tělesy. Pro snížení viskozity bývá palivo ředěno motorovou naftou nebo automobilovým benzínem, tím se ale snižuje jeho ekonomická výhodnost.

### 2.3.2 Nečistoty obsažené v oleji

V nových olejích jsou obsaženy látky pro zlepšení jejich vlastností pro potřeby, ke kterým jsou určené. Pro provoz diesellového motoru jsou však tyto látky nevhodné a při spalování se podílí na tvorbě karbonu a k zanášení motoru. Při použití těchto olejů musí být z vozidla odstraněn katalyzátor, který by byl brzy zanešen sazemí. V použitých olejích je navíc problém s množstvím mechanických nečistot, které se do oleje dostaly jeho použitím. U hydraulických a převodových olejů jsou to částice vzniklé mechanickým opotřebením zařízení, ze kterých pocházejí,

v motorovém oleji je navíc obsaženo velké množství rozpuštěného karbonu. Pro použití v dieslovém motoru tak musí být olej zbaven těchto nečistot dokonalou filtrací.

## Druhy filtrace:

### Mechanické filtry

Principem filtrace je průtok znečištěného oleje přes filtrační vložku. Ta může být papírová, kovová nebo z textilního materiálu. Tato filtrace je vhodná jen pro odstranění mechanických nečistot. Pro toto řešení se nejčastěji používají filtry na úpravu vody nebo tělesa filtrů použitá v osobních nebo nákladních vozidlech. Podle druhu filtrační vložky je možné odstranit nečistoty až do velikosti 1  $\mu\text{m}$ .



Obr. 13 Mechanický filtr [11]

### Filtrace pomocí magnetu

Princip spočívá v čerpání oleje okolo magnetu. Tato metoda je vhodná jen k odstranění ocelových nečistot, které jsou magnetické. Používá se zpravidla u filtrace převodových a hydraulických olejů.

### Elektrostatické čištění

Tyto filtry pracují na základě Coulombova zákona. Olej je elektricky nevodivou kapalinou a obtéká v systému elektrod elektrickým polem. V oleji nerozpustné částice jsou zachycovány na ploše kolektoru. V zásadě rozlišujeme pouze tři druhy: částice s kladným a záporným nábojem a částice neutrální. Touto metodou se odlučují kontinuálně veškeré nečistoty, které do oleje nepatří, bez rozlišení tvaru, druhu, velikosti, tedy již od molekulárních velikostí. Odstraňuje nečistoty „chemické i mechanické“, tedy jak produkty stárnutí oleje, tak i běžné nečistoty (částice prachu, těsniv, otěry, apod.).





Obr. 14 Elektrostatické čištění [12]

### Odstraňování vody z olejů

Pro odstranění vody z oleje se využívá toho, že voda má vyšší hustotu než olej, a proto se v nádobě usazuje u dna. Tato metoda je však velmi pomalá. K rychlejšímu odstranění je možno použít různé druhy dehydrátorů. To je však finančně náročné, a proto nemá pro toto použití smysl.

### 2.3.3 Nadměrné zvýšení emisí a kouřivosti motoru

Spalováním těchto olejů dochází díky nečistotám a přísadám, jež jsou v nich obsažené, ke zvýšení kouřivosti a nárůstu emisí CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> a HC (pro čistý rostlinný olej platí jen omezeně). To je dále umocněno odstraněním katalyzátoru z důvodu hrozícího zanesení sazími.



### **3. Konstrukční provedení palivové soustavy vznětového motoru pro ověření náhrady nafty nestandardními kapalnými palivy**

#### **3.1 Konstrukce přídavných palivových soustav**

S přestavbou vozidla na provoz **rostlinným** olejem se v již České republice zabývá mnoho firem. Jejich rozvoj ale v posledním roce značně zbrzdilo snížení cen ropy a zvýšení cen potravin, což má za následek, že použití čistého rostlinného oleje již není tak ekonomicky výhodné.

**Konstrukce palivových systémů automobilů lze rozdělit na základní dva typy:**

##### **3.1.1 Jednonádržový systém**

V automobilu je uložena jen jedna palivová nádrž (ta originální), ve které je uloženo palivo.

**Výhodou** tohoto systému je mnohem jednodušší konstrukce a z toho vyplývající cena, kdy je palivo uskladněno v jedné nádrži a je použito jen jednoho palivového filtru. Celá palivová soustava je zpravidla rozšířena jen o přídavný teplovodní nebo elektrický výměník, který se stará o ohřev paliva a tím spojené snížení jeho viskozity.

**Nevýhodou** tohoto systému je jeho omezená použitelnost při nízkých teplotách a z toho vyplývající nutnost ředění oleje motorovou naftou nebo benzínem. Při jízdě na palivo s vysokou viskozitou také značně narůstá namáhání pohyblivých částí vstřikovacího čerpadla a vstřikovacích jednotek. Dále dochází k nedostatečnému rozprášení paliva ve spalovacím prostoru. Ten je stahován písními kroužky do klikové skříně a dochází k ředění motorového oleje a v neposlední řadě se vlivem nedostatečného shoření směsi zvyšuje kouřivost motoru, zvyšují se emise, v motoru se tvoří karbon a zanáší se výfuková soustava.

### 3.1.2 Dvounádržový systém

V tomto systému jsou v podstatě použity dvě nezávislé palivové soustavy. První je originální a slouží jen k jízdě na naftu. Celý systém je pak doplněn druhou nezávislou soustavou určenou k jízdě na olej. Přepínání mezi soustavami je uskutečněno pomocí elektromagnetických ventilů ovládaných buď ručně řidičem nebo automaticky pomocí bimetalického spínače na základě teploty chladicí kapaliny. Přepnutí na olej probíhá v okamžiku, kdy dosáhne motor provozní teploty a tím je zajištěno i ohřátí oleje na požadovanou teplotu.

**Výhodou** tohoto systému je použitelnost za nízkých teplot, kdy startování probíhá na naftu. Tím nedochází vlivem provozu na studený olej k výše popsaným problémům (viz. jednonádržový systém).

**Nevýhodou** tohoto systému je jeho složitost a z toho se odvíjející cena. Dále potom problém se zástavbou řady komponent (hlavně druhé nádrže) a s tím, že těsně před koncem jízdy je nutné přepnout zpátky na první okruh a vypláchnout palivový systém čistou naftou pro jeho další bezproblémové startování. Toto řeší někteří výrobci přidáním přídatného elektrického podávacího čerpadla a časového spínače, kdy po vypnutí motoru čerpadlo automaticky vypláchne palivový systém naftou. Nevýhodou tohoto systému je také omezená použitelnost na krátké vzdálenosti a také to, že mezi přepínání mezi palivy dochází vlivem konstrukce systému k vzájemnému mísení paliv.

## 3.2 Moje přestavba

Pro přestavbu jsem zvolil dvounádržový systém. Tento systém je sice konstrukčně složitější, ale šetrnější k motoru a pro dodatečné změření kouřivosti na SME je vhodnější.

### 3.2.1 Použité vozidlo

Pro pokus bylo použito vozidlo Audi A4 1,9 TDi, rok výroby 1995 se stavem tachometru 320 000 kilometrů.



Obr. 15 Audi A4 [foto autor]

Motor: Jedná se o přeplňovaný motor s elektronicky řízeným vstřikovacím čerpadlem a přímým vstřikováním paliva do spalovacího prostoru. Ten je tvořen komůrkou v pístu. Plnění motoru vzduchem je zajištěno turbodmychadlem, hnaným výfukovými plyny, s maximálním přetlakem 0,7 baru. Na výfukovém potrubí motoru je umístěn katalyzátor. Ten je ale po dobu testu odstraněn, aby nedošlo k jeho zanesení a tím zničení.



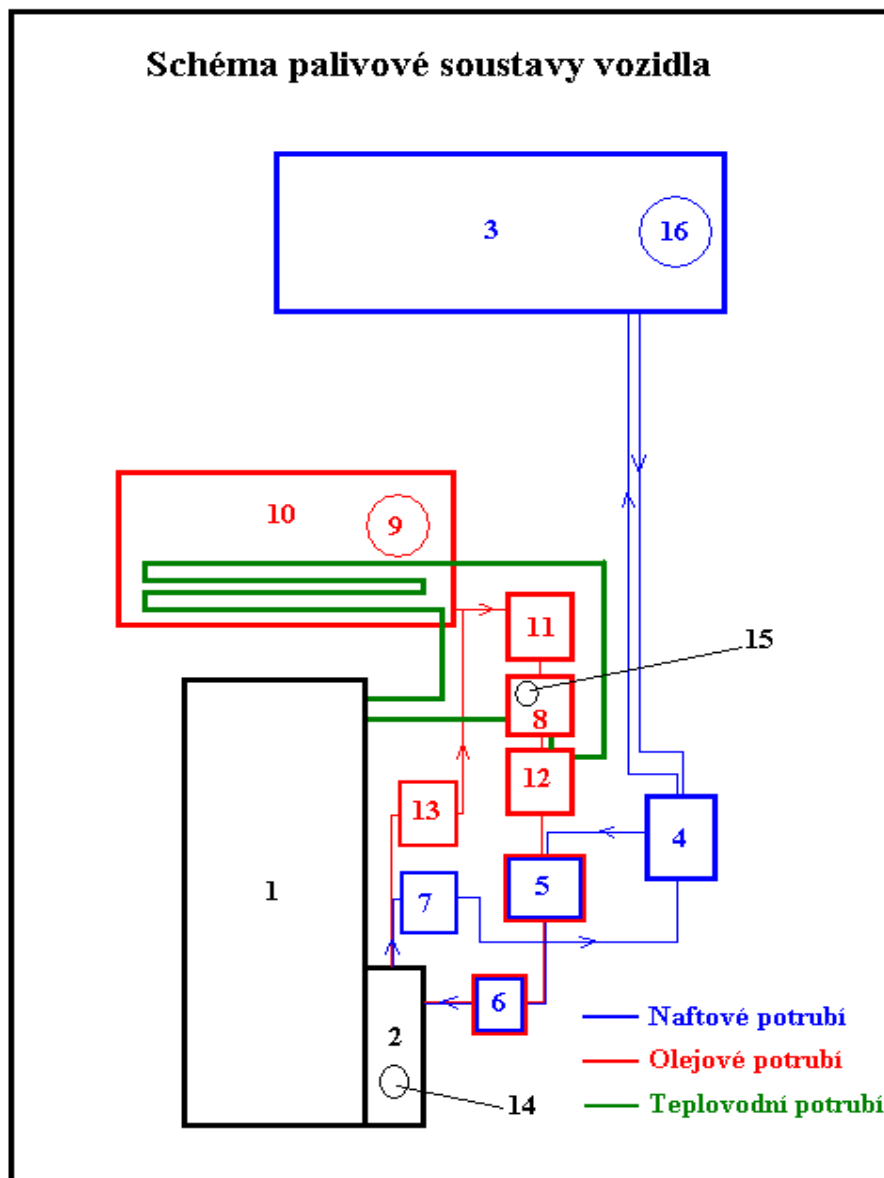
Obr. 16 Motorový prostor Audi A4 [foto autor]

Technické parametry: - obsah motoru 1896 ccm

- výkon 66 kw při 4000 ot./min.

- kroutící moment 210 Nm při 1950 ot./min.

### 3.2.2 Konstrukce mojí palivové soustavy



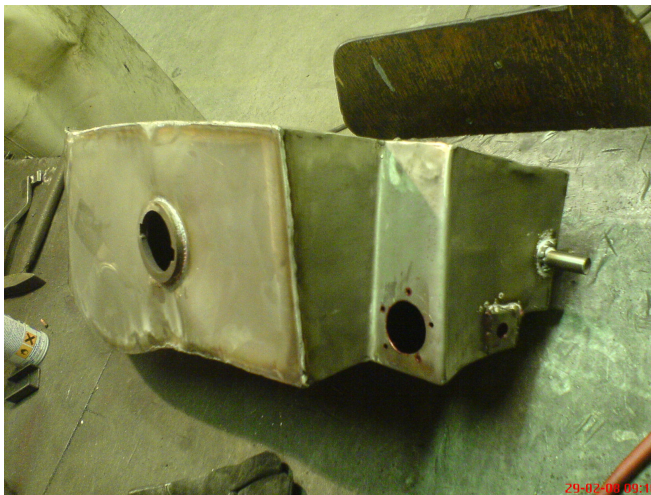
**Obr. 17** Schéma palivové soustavy – po přestavbě [autor]

Legenda:

1...motor, 2...vstřikovací čerpadlo, 3...palivová nádrž (naftová), 4...palivový filtr (naftový), 5...třícestný ventil, 6...elektrický ohřívač paliva, 7...dvoucestný zpětný ventil (naftový), 8...tepelný výměník (olejový), 9...snímač ukazatele stavu paliva (olejový), 10...palivová nádrž (olejová), 11...hrubý palivový filtr (olejový), 12...jemný palivový filtr (olejový), 13...dvoucestný zpětný ventil (olejový), 14...snímač teploty vstřikovacího čerpadla, 15...snímač teploty chladicí kapaliny v tepelném olejovém výměníku, 16...snímač ukazatele stavu paliva (naftový)

### Palivová nádrž (10)

Pro druhé použité palivo jsem vyrobil speciální nádrž. Je vyrobena z nerezové oceli třídy 17240 o síle 1 mm a je umístěna těsně za motorovým prostorem. V tomto místě je od výrobce uložena baterie, kterou jsem pro tyto potřeby přemístil do zavazadlového prostoru vozidla. Objem nádrže je 23 litrů a při průměrné spotřebě vozu na ní má automobil dojezd asi 400 kilometrů.



Obr. 18 Palivová nádrž – olej [foto autor]

U většiny přestaveb je volena koncepce umístění nádrže do prostoru rezervy, nebo na bok zavazadlového prostoru vozidla. Já jsem volil toto složitější umístění z důvodu odpadnutí problému se ztíženou dopravou hustého paliva do motoru a z toho vyplývající nutnost použití hadic s větší světlostí a použití přídavného podávacího čerpadla. Navíc díky kratší vzdálenosti jsem mohl použít horkou chladicí kapalinu z motoru pro ohřev paliva přímo v nádrži.

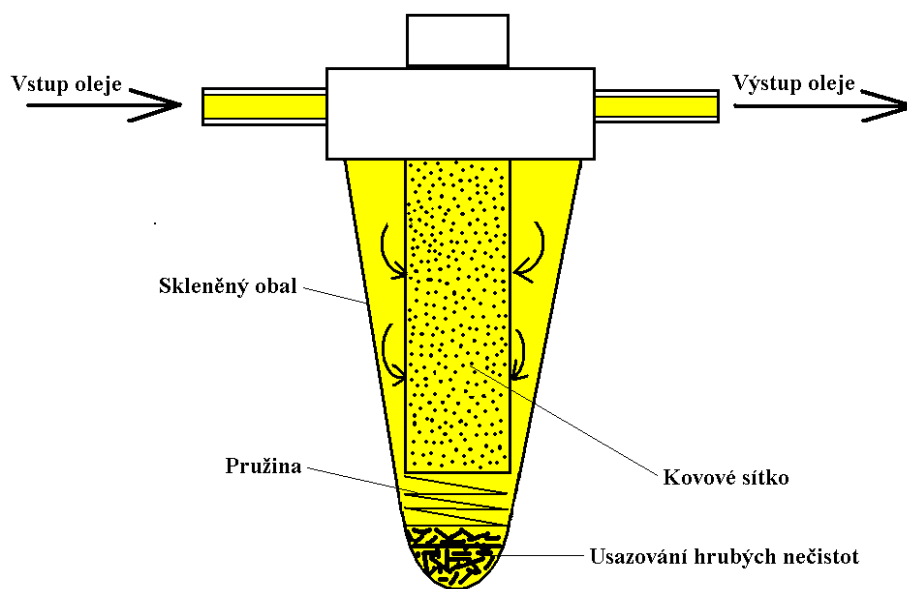
Nádrž je vybavena snímačem pro určení aktuálního stavu paliva a snímačem teploty z vozu Škoda 120. Ve spodní části je umístěna topná spirála, kterou proudí ohřátá chladicí kapalina z motoru a zahřívá palivo v nádrži.

### Palivové filtry (11 a 12)

Pro dokonalou ochranu motoru před nečistotami musí být palivový systém vybaven palivovými filtry. Na moji přestavbu jsem použil dva:

**Hrubý filtr:** Slouží k zachycení hrubých nečistot o velikosti větší než 50  $\mu\text{m}$ , které nebyly odstraněny předešlou filtrací nebo se do oleje dostaly špatnou manipulací nebo skladováním oleje. Pokud by v soustavě nebyl tento filtr, došlo by k rychlému zanesení jemného filtru nečistotami a tím ke ztrátě výkonu nebo k úplnému zastavení vozidla. Jako filtrační vložka je zde použito sítko z mosazného drátu. Obal je skleněný pro dobrou vizuální kontrolu stavu nečistot ve filtru. Nečistoty, které jsou větší než mezery v sítku, padají odstředivou silou do spodní části

filtru a zde se usazují. Filtr má takřka neomezenou životnost, jen je nutné ho po ujetí cca 10 000 km vyčistit.

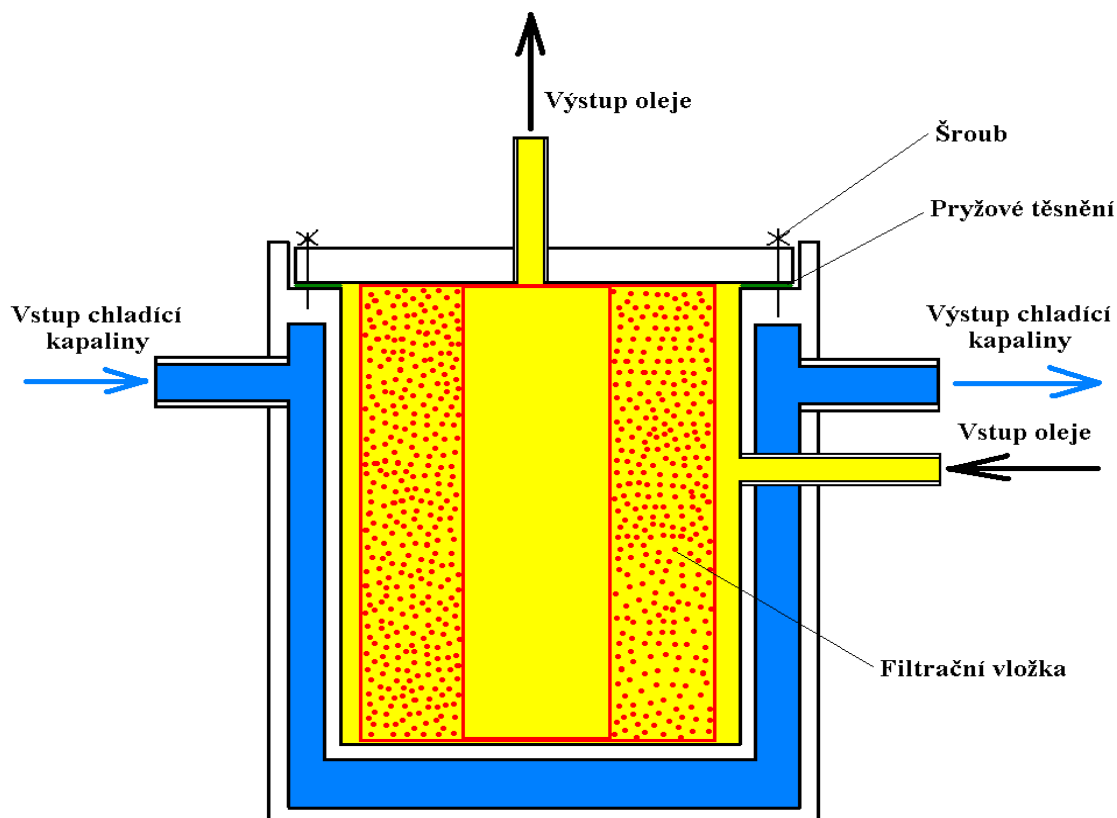


Obr. 19 Hrubý palivový filtr - olej [autor]

**Jemný filtr:** Slouží k odfiltrování jemných nečistot o velikosti větší než  $1\mu\text{m}$ . V soustavě musí být vždy umístěn za tepelným výměníkem, aby jím procházel už ohřátý olej. Pokud by byl umístěn před ním, čerpadlo by nestíhalo protlačit hustý olej přes filtrační vložku a motor by ztrácel výkon nebo by vůbec nepropracoval. Pro lepší průtok paliva přes vložku bývá zpravidla doplněn elektrickým nebo teplovodním příhřevem.

#### Konstrukční provedení jemného filtru:

Můj palivový filtr je vyroben z oceli 11373. Papírová filtrační vložka pochází z vozu Opel Vectra 2,0 DTi. Filtr je dvouplášťový. Ve vnějším obalu proudí ohřátá chladicí kapalina z motoru a dále ohřívá olej proudící vnitřní částí filtru přes filtrační vložku. Podmínkou tohoto řešení je dokonalá těsnost svarů, jinak by docházelo k úniku chladicí kapaliny do prostoru oleje, což je nežádoucí. Toho jsem při výrobě docílil tlakovou zkouškou.

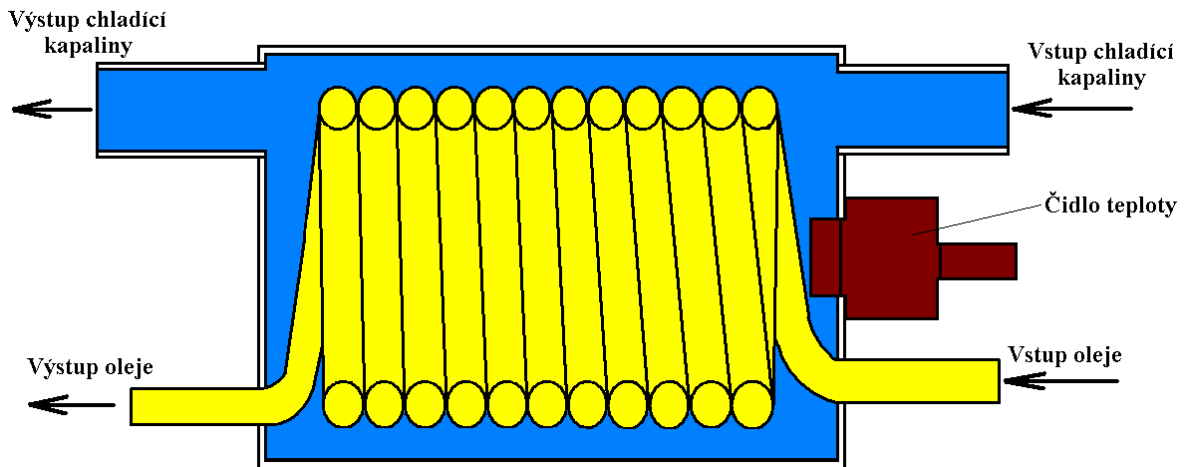


Obr. 20 Jemný palivový filtr – olej [autor]

### Tepelný výměník (8)

Tepelný výměník slouží k ohřevu paliva na požadovanou teplotu. Při tom je využíváno tepelné energie chladicí kapaliny. Teplota paliva proto nikdy nemůže přesáhnout její teplotu a zpravidla se vlivem ztrát a okolní teploty ovzduší pohybuje v rozmezí 65 – 75 °C.

Výměník je vyroben z hliníkové trubky průměru 100 mm a délky 150 mm, ve které jsou stočeny do spirály cca 2 metry hliníkové trubičky o průměru 10 mm, kterou proudí palivo. To je vlivem okolní horké kapaliny zahříváno. Ve výměníku je dále umístěno čidlo teploty chladicí kapaliny z vozu Škoda 120.

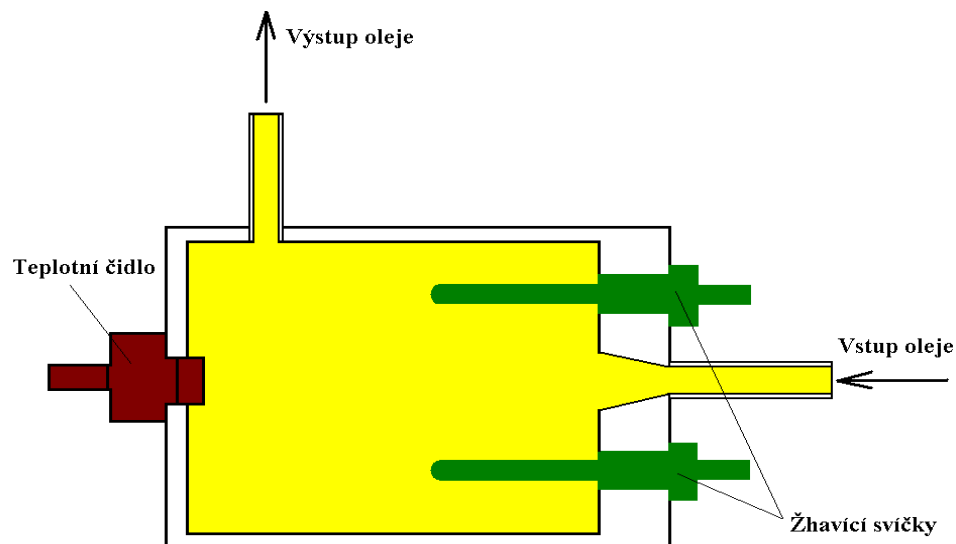


Obr. 21 Tepelný výměník [autor]

### Elektrický ohřívač paliva (6)

Jeho funkce je zahřátí paliva na co nejvyšší teplotu při startu studeného motoru, kdy je teplota chladicí kapaliny ještě nízká.

Ohřívač je vyroben z ocelové trubky 11373 průměru 50 mm a na každém čele je příruba, v níž jsou závity. Jako topné těleso se využívá čtyř žhavicích svíček, zapojených do obvodu v sérii po dvou, z vozu Škoda Felicia 1,9 D. Žhavicí svíčky jsou napájeny napětím 6 voltů a jejich výkon dohromady je 480 wattů. V tělese ohřívače je také umístěno teplotní čidlo pro zjištění teploty paliva. To pochází z vozu Škoda 120.



Obr. 21 Elektrický ohřívač paliva [Autor]



### Elektromagnetické ventily (5, 7, 13)

První třícestný (5) se nachází na vstupní hadici paliva do motoru a určuje, ze které nádrže bude palivo odebíráno. Další dva (7 a 13) jsou dvoucestné a přepínáním mezi nimi se určuje, do které nádrže se vrací palivo přepadovou hadicí ze vstřikovacího čerpadla. Dvoucestné ventily jsou značky Lovtec a používají se pro přestavby vozidel na pohon LPG, třícestný je používán na hydraulických zařízeních.



Obr. 22 Elektromagnetický ventil [13]

### Ovládací panel

Je umístěn v interiéru vozidla. Jsou na něm umístěny dva analogové ukazatele. První zobrazuje stav paliva v přídatné (olejové) nádrži a na druhém je možno přepnutím vypínače zobrazit teplotu chladicí kapaliny v tepelném výměníku a teplotu v elektrickém ohřivači paliva. Na panelu jsou dále umístěny dva vypínače pro zapnutí elektrického ohřevu paliva a pro přepínání, ze které nádrže bude palivo odebíráno, a dvě signalizační kontrolky. Ovládní elektromagnetických ventilů a žhavicích svíček v elektrickém ohřivači paliva je zajištěno pomocí tří elektronických spínacích relé.



Obr. 23 Ovládací panel [foto autor]

### 3.2.3 Funkce palivového systému

Po nastartování studeného motoru jsou oba spínače na ovládacím panelu v poloze OFF. Třícestný ventil je v tu chvíli přepnutý do polohy „nafta“ a je zapnut dvoucestný ventil přepadu do naftové nádrže. V tuto chvíli je provoz automobilu na naftu odebíranou z hlavní nádrže. Jakmile dojde k nastartování motoru, přepnu vypínač elektrického přehřevu do polohy ON. Po přesáhnutí hranice 30 °C na čidle umístěném na vstřikovacím čerpadle se zobrazením na digitálním displeji v interiéru vozu sepnu druhý spínač a pomocí elektromagnetických ventilů se začne odebírat palivo z druhé nádrže. Vypínač elektrického ohřívače paliva vypínám v okamžiku, kdy je v tepelném výměníku dosaženo teploty chladicí kapaliny 80 °C a o ohřev paliva se již stará horká chladicí kapalina.

## **4. Příčiny kouření naftových motorů**

### **4.1 Nedokonalé spalování**

Pro správnou funkci motoru musí být zajištěno dokonalé spalování paliva. V ideálním případě na jeden litr paliva zapotřebí 9 700 – 10 000 litrů vzduchu. Přitom platí, že teplota vzduchu stlačeného ve spalovacím prostoru by měla být vyšší než 300 °C. Za těchto podmínek je zaručeno, že se nafta rozprášená do spalovacího prostoru sama vznítí. Pokud je však teplota nižší nebo chybí potřebné množství vzduchu pro dokonalé spalování, není palivo dostatečně spáleno a výfukové plyny potom obsahují jeho hořlavé a nevyužité části. To se projevuje šedočerným nebo černým kouřem z výfuku. Špatný směšovací poměr může být důsledkem těchto příčin:

#### **Přímý nedostatek vzduchu**

U nepřeplňovaných motorů může být příčinou snížená průchodnost sací soustavy nebo vzduchového filtru. Dále může být příčinou snížení kompresního tlaku vlivem špatných dosedacích ploch ventilů nebo netěsnými pístními kroužky. U přeplňovaných je to navíc netěsností v sací soustavě a tím způsobené snížení požadovaného plnicího tlaku.

#### **Měřič hmotnosti nasátého vzduchu**

U moderních vznětových motorů se o přesné určení nasátého vzduchu stará měřič hmotnosti nasátého vzduchu - takzvaná „váha vzduchu“. Ta měří průtok vzduchu a na základě této a dalších hodnot počítá řídicí jednotka požadované množství vstříknutého paliva. Porucha této součásti se projevuje nadměrným kouřením vlivem velké dávky paliva nebo snížením výkonu.

### **4.2 Porucha nebo opotřebení vstřikovacího zařízení**

Moderní diesellové motory používají velmi složitá vstřikovací zařízení pracující s tlaky převyšujícími 2 000 barů. O určení přesné dávky paliva se stará řídicí jednotka motoru na základě akčních členů motoru. Samotné dávkování je řízeno elektronickými impulzy do jednotlivých vstřikovačů. K chybnému dávkování paliva může dojít v případě zhoršené funkce některého z akčních členů motoru nebo přímo při opotřebení vstřikovacích jednotek a vysokotlakého čerpadla. V tomto případě je nutná výměna tohoto komponentu.

## 5. Způsoby měření kouřivosti vznětových motorů

Kouření vznětového motoru je pozorovatelné i bez měřicích přístrojů, a proto se stalo předmětem zájmu jako první ze skupin jevů, kterými spalovací motor působí negativně na okolí. Kouřivost vznětového motoru se měří třemi metodami:

### 5.1 Měření kouřivosti filtrační metodou

Metoda je založena na principu zachycování částic kouře na filtračním papírku. Měření probíhá ve dvou fázích:

V první fázi se odebere vzorek kouře z motoru za přesně stanovených podmínek. Definovaný objem odebraného kouře se potom definovanou rychlostí prosaje přes filtrační papírek. To je docíleno pístem určeného průměru a stlačením pružiny s předepsanou dráhou. Rychlost vratného pohybu pístu je pak dána škrťicím ventilem.

V druhé fázi je pak kontaminovaný papírek vyhodnocen pomocí reflektivního fotometru, který je citlivý na množství světla odraženého od plochy papírku v místě s vrstvou sazí. Vliv odrazivosti podložky pod papírkem se eliminuje podložením pěti vrstvami neznečištěných papírků, stejným způsobem se nastavuje i nula stupnice. Výsledkem je potom stupeň zčernání  $B_n$  (Bosch Numer) s jednotkou  $^{\circ}\text{Bosch}$ :

$$B_n = 10 \left( 1 - \frac{I_Z}{I_R} \right) \quad [^{\circ}\text{Bosch}]$$

$I_Z$ .....dopadající záření

$I_R$ .....odražené záření

Novější model kouřoměru pracuje s kontinuálním pásem papíru namísto jednotlivých kroužků. Nejmodernější potom s pásem papíru a vestavěnou pumpou. Přívodní hadice je pak trvale připojena k výfukovému vedení. Po povelu obsluhy se solenoidovým ventilem vpustí spaliny a po prosátí určeného množství se ventil zavře a kontrolovaná plocha papírku se posune k fotoelektrickému vyhodnocení.

### 5.2 Opacimetrie

Je metoda zjišťování pohltivosti světla sloupcem výfukových plynů definované délky. Měřená veličina se nazývá opacita (= pohltivost světla) spalin a příslušný měřicí přístroj je

opacimetr. Pro tuto veličinu se též používá označení emise viditelného kouře. Výsledná hodnota je uváděna v procentech. V měřicí komoře opacimetru je na jednom konci komory lampa a na druhém detektor (fotodioda). Ta měří, kolik světla vyzářeného lampou na ni dopadne. Je-li v komoře čistý vzduch, pak světlo není pohlcováno a hodnota opacity je 0 %. Pokud je do komory puštěn znečištěný výfukový plyn, část světla pohltí. Stoprocentní opacita nastává v okamžiku, kdy k fotodiodě již neprojde žádné světlo. Zeslabení intenzity světelného záření v komoře opacimetru s výfukovým plynem nemá na svědomí jen absorpce, ale také rozptyl světla. Pohlcování



Obr. 24 Opacimetr [14]

světelného záření ve výfukových plynech vznětových motorů nezpůsobují jen pevné částice vytvářející černý kouř, ale také mazací olej, který při teplotě pod 180 °C kondenzuje. Jeho jemné kapičky zabarvují kouř do modra.

Standardem v třídě opacimetrů je přístroj HARTRIDGE. Za provozu přístroje je optická dráha souosá se vzduchovou trubicí a přívod spalín je uzavřen na vstupu. Při měřicí proceduře se pak optická dráha překlápí do osy měřicí trubice, do které se pak současně vpouští vzorek spalín. Po odečtení hodnoty se držák s žárovkou a fotodiodou překlápí do polohy, kde je omýván proudem čistého vzduchu. To udržuje plochy měřicích prvků prosty úsad, které by bránily správné funkci přístroje. Při měření je předepsaná teplota spalín v měřicí trubici. Ta se kontroluje zabudovaným dilatačním teploměrem. Světlost přívodu spalín musí být 24 mm.

Stupnice ukazovacího přístroje je rozdělena na 100 dílků (HSU – Hartridge Smoke Unit). Z údajů této stupnice se potom vypočítává absorpční koeficient  $k$  dle vztahu:

$$k = -\frac{1}{L} \ln\left(1 - \frac{N}{100}\right) \quad [\text{m}^{-1}]$$

L.....délka optické dráhy (vzdálenost žárovky od fotodiody) (dle Hartridge 0,43 m),

N.....údaj z opacimetru v HSU,

k.....součinitel absorpce [m-1] – pokles intenzity světelného paprsku při průchodu sloupcem spalin o tloušťce 1m

Nevýhodou měření kouřivosti filtrační metodou a opacimetrie je nemožnost vztažení naměřených hodnot k výkonovým vlastnostem motoru.

### 5.3 Metoda přímým hmotnostním měřením koncentrace částic

Princip této metody je jednoduchý. Spočívá v prosátí stanoveného množství spalin přes filtrační vložku jako v případě filtrační metody. Tu nám v tomto případě představuje element ze skelných vláken potažený teflonem (Pallflex). Při měření je nejprve na přesných laboratorních vahách změřena hmotnost čisté filtrační vložky. Provede se prosátí spalin a znečištěná vložka se opět zváží.

Hmotnostní koncentrace spalin ve vzorku se stanoví dle vztahu:

$$C_{M,PE} = \frac{M_2 - M_1}{V_{VZOR}}$$

M<sub>1</sub>.....hmotnost nového filtru,

M<sub>2</sub>.....hmotnost kontaminovaného filtru,

V<sub>VZOR</sub>.....objem prosátého množství spalin (rozdíl počáteční a konečné hodnoty stanovené plynoměrem

Úsady na filtru sestávají kromě sazí ještě z dalších látek v pevném, případně v kapalném skupenství. Proto se výsledek měření popsanou metodikou nazývá emise částic (PE – Particulates Emission). Pro účely dalšího rozřídění částic podle složení byla zavedena specifikace částic na rozpustné a nerozpustné. Toto rozlišení se prakticky provede vystavením úsady působení konvenčního organického rozpouštědla (dichlormetan, isopropylalkohol).

Hygienická závadnost částic emitovaných vznětovým motorem je však způsobena zejména různými uhlovodíky sorbovanými na povrchu pevných částic. Toto měření má proto význam jen tehdy, podaří li se nasimulovat podmínky na kondenzaci těchto uhlovodíků a jejich ukládání na částechkách sazí. Pro simulaci ředění spalin okolním vzduchem za ústím výfukového potrubí se v přístroji výfukové plyny ředí vzduchem dodávaným zvláštním dmychadlem. Toto dmychadlo je umístěno na vstupní straně tunelu. Při použití objemového stroje je průtok zředěných spalin definován zdvihovým objemem a otáčkami dmychadla (Varianta PDP – Positive Displacement Pump). V dostatečné vzdálenosti od vstupu neředěných spalin do tunelu je umístěna sonda, kterou se odebírá část zředěných spalin pro filtrační soupravu. Těch může být i několik, aby se zajistilo jejich operativní přepínání při změně režimu motoru.

## 6. Měření kouřivosti naftových motorů na stanicích měření emisí

Měření emisí se řídí vyhláškou ministerstva dopravy ze dne 7. srpna 2001 o technických prohlídkách a měření emisí vozidel 302/2001 Sb.

### U vozidla se vznětovým motorem se při měření emisí provádí:

- vizuální kontrola skupin a dílů ovlivňujících tvorbu emisí ve výfukových plynech zaměřená na úplnost a těsnost palivové, sací a výfukové soustavy a těsnost motoru; kontroluje se i neporušenost zajištění palivové soustavy proti neoprávněné manipulaci; ventilový rozvod a jeho stav se kontroluje bez demontáže, v rozsahu umožněném jeho konstrukcí
- u neřízených systémů se kontroluje stav a případně i funkce přídatných zařízení ke snižování škodlivých emisí způsobem předepsaným výrobcem vozidla, u řízených systémů kontrola funkce řídicího systému motoru pomocí diagnostického zařízení v rozsahu a způsobem předepsaným výrobcem vozidla
- kontrola seřízení motoru zahřátého na provozní teplotu, zejména volnoběžných otáček motoru, pravidelnosti chodu motoru při volnoběžných otáčkách, maximálních otáček (kontrola regulátoru) a měření kouřivosti motoru metodou volné akcelerace
- porovnání výsledků kontroly a naměřených hodnot se stavem a hodnotami stanovenými výrobcem vozidla

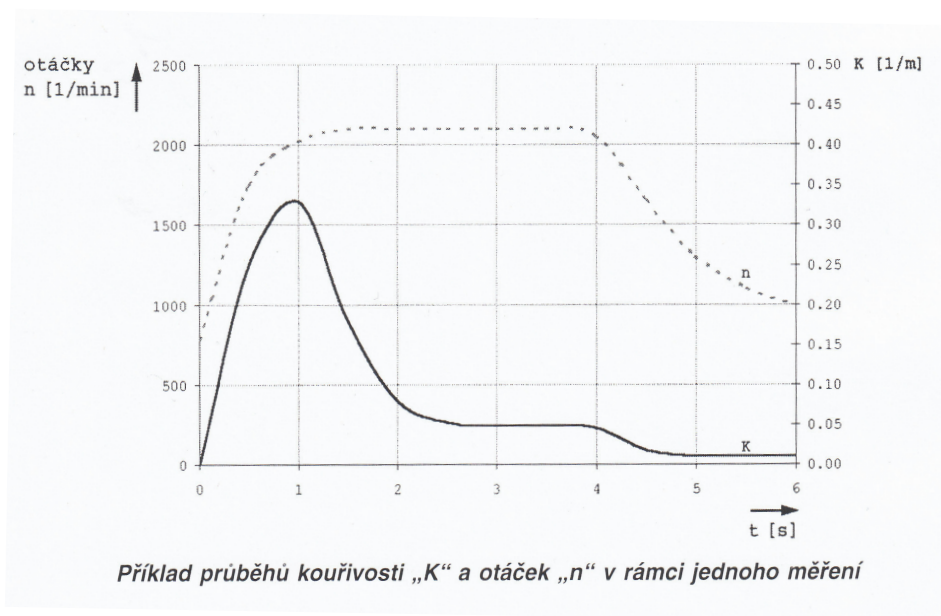
### Metoda volné akcelerace

Tato metoda měření maximální kouřivosti se dle vyhlášky 302/2001 Sb. používá na stanicích ME. Spočívá v přecházení motoru z volnoběžných do přeběhových otáček při plné dávce paliva, přičemž motor je zatěžován vlastními setrvačnými hmotami a hmotami spojky a převodovky při zařazeném neutrálu.

Jakmile se dosáhne max. přeběhových otáček v oblasti funkce regulátoru, akcelerační pedál se po 3 sekundách uvolní a otáčky motoru se nechají klesnout na volnoběžné. V průběhu volné akcelerace se zaznamená max. hodnota kouřivosti (v lineárních nebo absolutních jednotkách). Po 15 sekundách volnoběžných otáček je motor připraven k dalšímu cyklu volné



akcelerace. Výše uvedený postup se opakuje nejméně pětkrát, (první slouží k vyčištění spalovacího prostoru a výfukového systému). Zaznamenané hodnoty jsou považovány za správné, když se naměřené hodnoty neodlišují o více než  $0.25 \text{ m}^{-1}$ . Výsledná hodnota kouřivosti v absolutních hodnotách je u kontrolovaného vozidla aritmetickým průměrem z posledních čtyř odečtených hodnot.



Obr. 25 Závislost kouřivosti na otáčkách motoru [16]

**Stanice měření emisí pro vozidla poháněná vznětovými motory musí být vybavena nejméně těmito přístroji a zařízeními:**

- přístrojem na měření otáček motoru
- přístrojem na měření teploty motoru
- testerem řídicích systémů vznětového motoru (týká se jen stanice měření emisí měřící emise motorů vozidel s řízeným emisním systémem)
- přístrojem pro bezdemontážní kontrolu dynamického úhlu předvstříku paliva, případně přípravky pro nastavení statického úhlu předvstříku paliva
- zařízením na kontrolu vstřikovacích trysek a vstřikovačů
- přístrojem k měření kouřivosti vznětových motorů (opacimetrem) schváleného typu

**Druhy opacimetrů schválené pro měření kouřivosti dle vyhlášky č. 302/2001 Sb. v ČR**

- Opacimetr **MAHA MDO 2** se software V 0.02-CF
- Opacimetr **DO 285**, se software DO 285-020705

- Opacimetr **DO 284**, se software DO 285-110101
- Opacimetr **SMOKE ANALYSER MODULE AT 601L** s vyhodnocovací jednotkou AT 501 a vzorkovací jednotkou LCS 2000 se softwarem V1.06
- Opacimetr **AVL DiSmoke 4000** s měřicí komorou typu 4000 a software 4000CZ-1.06

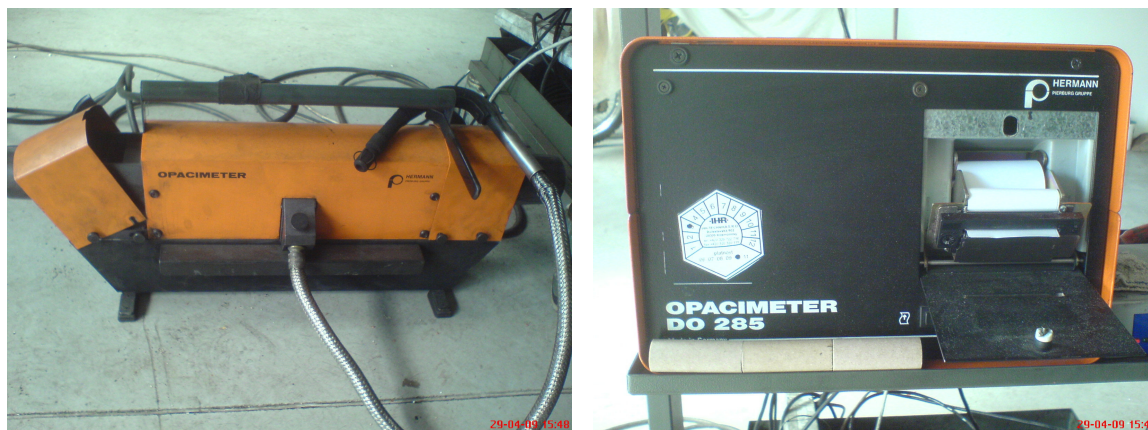
**Limitní hodnoty kouřivosti:**

Kouřivost, vyjádřená pomocí K, nesmí překročit:

1. U vozidel vyrobených do 31. 12. 1980 hodnotu  $4 \text{ m}^{-1}$
2. U vozidel vyrobených po 1. 1. 1981 hodnotu zjištěnou při homologační zkoušce (uvedenou na štítku) zvýšenou o  $0,5 \text{ m}^{-1}$
3. U vozidel, které nemají stanoven korigovaný součinitel absorpce, stanoví hodnotu maximální kouřivosti homologační zkušebna

## 7. Praktické měření kouřivosti vznětového motoru v závislosti na druhu použitého paliva

Test měření kouřivosti jsem uskutečnil na stanici technické kontroly a měření emisí v Jilemnici. Pro měření jsem použil přístroj od firmy Hermann OPACIMETER DO 285 .



Obr. 26 a 27 Opacimeter DO 285 [foto autor]

Jde o analyzátor výfukových plynů vznětových motorů. Určený pro emisní stanice k provádění zákonem stanovených emisních kontrol vznětových motorů.

**Možnosti dalšího využití:** přímé měření kouřivosti (opacity), teploty, otáček motoru, úhlu sepnutí

Měřené veličiny:	Měřicí rozsah:	Rozlišení:	Přesnost:
Koeficient kouřivosti (k):	0... 9.99 m <sup>-1</sup>	0.01 m <sup>-1</sup>	k ≤ 1 m <sup>-1</sup> : ± 0.15 m <sup>-1</sup> k > 1 m <sup>-1</sup> : ± 0.15 x k
Stupeň kouřivosti (N):	0... 99.9 %	0.1 %	
Teplota oleje:	0... 120 °C	1 °C	± 3 °C
Otáčky:	400... 6000 min <sup>-1</sup>	1 min <sup>-1</sup>	± 1 % od naměř. hodnoty
Začátek vstřiku:	- 180... 180 °KW	1 °	± 1 °
Tlak:	- 1000... 6000 hPa	1 hPa	± 5 % od naměř. hodnoty
<b>Napájení:</b>			
Napětí:	230 V ± 10 %		
Kmitočet:	47... 63 Hz		
Příkon:	≤ 230 VA		

Různé:		
Skutečná délka L:	430/455 mm	
Doba zahřátí:	15 s... 3 min	
Provozní teplota:	0... 45 °C	
Skladovací teplota:	- 10... 60 °C	
Relativní vlhkost vzduchu:	≤ 95 %, nekondenzovaná	
Rozhraní:	1 x RS 232 C pro PC	
	Vyhodnocovací přístroj:	Měřicí komora:
Rozměry (Š x H x V):	310 x 260 x 230 mm	760 x 200 x 325 mm
Hmotnost netto:	10.6 kg	9 kg

Tab. 5 Technické parametry přístroje

**Průběh měření:**

Měření probíhalo v otevřené místnosti ve dvou termínech za okolní teploty vzduchu 22 a 23 °C. Tyto teploty jsou natolik blízké, že nemohou mít vliv na výsledky měření. Teplota motoru byla regulována termostatem vozidla a trvale se držela v rozmezí 90 – 95 °C. Teplota paliva se dle snímače na vstříkovacím čerpadle pohybovala v rozmezí 65 – 70 °C.



Obr. 28 a 29 Měření emisí v STK Jilemnice [foto autor]

Měření probíhalo při čtyřech fázích chodu motoru:

- Měření kouřivosti při volnoběžných otáčkách (816 ot./min.)
- Měření kouřivosti při ustálených otáčkách (2000 ot./min.)
- Měření kouřivosti při ustálených otáčkách (4000 ot./min.)
- Měření kouřivosti metodou volné akcelerace

#### Použitá paliva:

- Motorová nafta
- Metyl ester řepky olejné (MEŘO)
- Rostlinný olej (sojový, **nový**)
- Rostlinný olej (fritovací, **použitý**)
- Hydraulický olej (**nový**)
- Hydraulický olej (**použitý**)

Měření jsem prováděl ve čtyřech režimech chodu motoru. V první fázi jsem motor zahřátý na provozní teplotu nechal běžet asi 5 minut v režimu volnoběžných otáček a provedl odečtení hodnoty. Potom jsem plynulým sešlápnutím plynového pedálu zvýšil otáčky na  $2\,000\text{ min}^{-1}$  a provedl další odečtení hodnoty. To jsem opakoval i pro otáčky  $4\,000\text{ min}^{-1}$ . Obě tyto měření jsem provedl při ustáleném chodu motoru bez zatížení. Ve třetí fázi jsem provedl měření metodou volné akcelerace.

Měření jsem započal měřením kouřivosti na motorovou naftu. Ta byla umístěna v prvním palivovém okruhu. Druhá palivová nádrž byla pro toto měření odpojena a další měřená paliva se pomocí sací a zpětné hadice odebírala ze samostatných zásobníků. Po změření prvního paliva jsem sací hadici umístil do zásobníku s druhým palivem, zpětné vedení do prázdné nádoby a počkal, než dojde k vypláchnutí palivového okruhu novým palivem, aby nedošlo k jejich vzájemnému mísení. Potom jsem i zpětnou hadici umístil do nádoby s druhým palivem, nechal motor asi 3 minuty běžet v režimu volnoběžných otáček, aby došlo k dokonalému nasátí nového paliva a provedl odečtení hodnoty. Tento proces jsem postupně opakoval pro všechna použitá paliva.

**Hodnoty měření kouřivosti [v K<sup>-1</sup>]**

Palivo Otáčky [1/min]	Nafta	MEŘO	Rostlinný olej čistý	Rostlinný olej použitý	Hydraulický olej čistý	Hydraulický olej použitý
<b>816</b>	0,04	0,05	0,06 a 0,10	0,12	0,08	0,19
<b>2000</b>	0,03 a 0,06	0,06	0,15	0,14	0,07	0,23
<b>4000</b>	0,19 a 0,32 a 0,44	0,18	0,23	0,17 a 0,15	0,26 a 0,24	0,27
<b>Metoda volné akcelerace</b>	2,02 a 2,44 a 3,72 a 5,55	3,78 a 3,21 a 1,17	4,67a 3,33a 4,36	9,32 a 4,67	8,57 a 4,06	4,36 a 5,15 a 9,99

**Tab. 6** Výsledné hodnoty měření [autor]**Hodnoty měření kouřivosti - zprůměrnované [v K<sup>-1</sup>]**

Palivo Otáčky [1/min]	Motorová Nafta	MEŘO	Rostlinný olej čistý	Rostlinný olej použitý	Hydraulický olej čistý	Hydraulický olej použitý
<b>816</b>	0,04	0,05	0,8	0,12	0,08	0,19
<b>2000</b>	0,045	0,06	0,15	0,14	0,07	0,23
<b>4000</b>	0,32	0,18	0,23	0,16	0,25	0,27
<b>Metoda volné akcelerace</b>	3,43	2,72	4,12	6,89	6,31	6,5

**Tab. 7** Výsledné hodnoty měření [autor]

**Hodnoty z měření emisí z 19.2.2007:**

(ještě před započítáním testu při provozu jen na motorovou naftu)

Otáčky [1/min]	Předepsané	Naměřené
Volnoběžné	820 - 900	853

Korigovaný součinitel absorpce [1/m]		1,2
Hodnota kouřivosti [1/m]	dovolená	1,7
	naměřená	0,99
Rozpětí hodnot kouřivosti čtyř po sobě jdoucích měření	dovolená	0,25
	naměřená	0,12
Přeběhové	4800 - 5200	4958

Tab. 8 a 9 Hodnoty měření před testem [autor]

**Vyhodnocení měření**

Z výsledných hodnot vyplývá, že použitá alternativní paliva mají větší kouřivost než paliva schválená. Dále to, že na zvýšení kouřivosti má velký vliv viskozita paliva (porovnání MEŘO a čistého rostlinného oleje) a znečištění oleje (porovnání čistého rostlinného a hydraulického oleje s použitými).

Z výše uvedené tabulky je zřejmé, že motor byl před počátkem testu schopen bez problémů plnit hodnotu maximální kouřivosti, ale nyní není schopen se ani na jedno palivo této hodnotě přiblížit. Při měření se několikrát stalo, že byla překročena hodnota maximální kouřivosti přístroje  $10 \text{ m}^{-1}$  (toto měření jsem ale do tabulky nezahrnul). Rozptyl hodnot je také mimo normu. To může být zapříčiněno několika nedostatky:

- **Stav motoru a palivové soustavy**

Po testu už stav motoru, palivové soustavy a jiných komponent motoru nemusí plnit svojí funkci natolik, aby byl motor schopen plnit emisní normu. To je dáno hlavně tvorbou karbonu v motoru. Při použití hydraulického oleje vzniká na vstřikovacích tryskách velké množství

karbonu, což značně zvyšovalo jeho kouřivost. Před započítáním měření byl ale karbon z trysek odstraněn. Pro správné měření by musel být použit motor v prokazatelně zcela funkčním stavu.

- **Stav výfukové soustavy**

Po testu je zřejmé, že je výfuková soustava zanešena značnou vrstvou usazenin. To může mít nepříznivý vliv na měření a výrazně ovlivňovat jeho hodnoty.

- **Nedokonalost metody měření a obsluhy měřicího přístroje**

I při dodržení přesně stanovených podmínek měřicí metodou není obsluha měřicího přístroje schopna zajistit stejné podmínky pro opakované měření. Z vlastní zkušenosti a po utvrzení technikem vím, že i přes dodržení metody jde výsledek měření značně ovlivnit.

To je dáno: - rychlostí sešlápnutí plynového pedálu

- intenzitou sešlápnutí plynového pedálu

- časem, po který je plynového pedál držen v maximální sešlápnuté poloze

**Během testu se na vozidle objevily tyto nedostatky:**

1. **Zakarbonování vstřikovacích jednotek** a s tím spojené zvýšení kouřivosti. Vstřikovače jsem musel každých 1 – 2 tisíce kilometrů demontovat a vyčistit. Pokud se toto neučinilo, motor nadměrně kouřil a docházelo k problému 2.



**Obr. 30** Zakarbonovaný vstřikovač [foto autor]



2. **Ředění motorového oleje** – docházelo k němu jen se zakarbonovanými vstřikovači, které nebyly schopny dostatečně palivo rozprášit. Při pravidelném čistění vstřikovačů se palivo stahovalo do motorového oleje jen minimálně a vyrovnalo přirozenou spotřebu oleje motoru.
3. **Porucha vstřikovacího čerpadla** – zřejmě vlivem jízdy na studené palivo s vysokou viskozitou došlo k únavě a zlomení jedné z pružin ve vstřikovacím čerpadle a následnému úniku paliva do motorového prostoru těsnícím gumovým kroužkem na hlavě čerpadla vlivem vzniklých vibrací. Demontáž proběhla svépomocí, cena opravy byla 1100 Kč.

## Závěr

Požadavky na kvalitu motorových paliv sledují splnění jednoho z hlavních cílů programu European Programme on Emissions, Fuels and Engines ( EPEFE), kterým je snížení emisí vybraných škodlivin pocházejících z dopravy v roce 2010, a to o 60–70 % ve srovnání s rokem 1990. Na základě dosavadních poznatků, získaných v rámci řešení tohoto programu a následně zaváděných opatření týkajících se kvality paliv, předpokládá Evropská organizace ropných společností pro životní prostředí, zdraví a bezpečnost (CONCAWE), že v roce 2010 by mohlo být dosaženo v porovnání s rokem 1990 následujícího snížení emisí škodlivin z dopravy: NO<sub>x</sub> o 70 %, CO o 75 %, VOC o 80 %, benzenu o 85 % a emisí pevných částic ze vznětových motorů o 75 %. Přitom je předpokládáno zvětšení celkového objemu dopravy v uvedeném období o 30 %. Zvláštní pozornost je věnována ozonu a emisím látek podílejících se na jeho tvorbě, tj. NO<sub>x</sub> a VOC. Prvořadá pozornost je věnována emisím CO<sub>2</sub> podle směrnice 99/125/EC. Předpokládá se totiž, že v souvislosti s nárůstem silniční dopravy se emise CO<sub>2</sub> v období 1990–2010 zvětší o 50 %. Při snižování emisí CO<sub>2</sub> je za výchozí stav považována průměrná hodnota emisí vozového parku v roce 1995, tj. 186 g CO<sub>2</sub> km<sup>-1</sup>. V roce 2001 již některá na trh uváděná vozidla emitovala dokonce jen maximálně 120 g CO<sub>2</sub> km<sup>-1</sup>, což představuje limit, který by měla splňovat vozidla v roce 2012. Na tuto hodnotu jsou emise CO<sub>2</sub> snižovány postupně a to nejprve na hodnotu 170 g CO<sub>2</sub> km<sup>-1</sup> v roce 2003, a v roce v roce 2007 by to mělo být na 160 g CO<sub>2</sub> km<sup>-1</sup>. Stále rostoucí požadavky na kvalitu ovzduší jsou příčinou toho, že EU legislativně prosazuje alternativní paliva pro pohon dopravních prostředků. Evropská komise vypracovala a přijala 7. 11. 2001 program pro využití alternativních pohonných hmot v dopravě a současně vypracovala i opatření, jež by měla splnění tohoto programu zajistit. Program předpokládá, že do roku 2020 by mělo být nahrazeno 20 % motorových paliv vyráběných na bázi ropné suroviny alternativními palivy, biopalivy, zemním plynem a vodíkem. Pro tuto problematiku využití biopaliv v dopravě přijaly Evropský parlament a Evropská rada tzv. Akční plán a dvě směrnice. První směrnicí je směrnice 2003/30/EC o podpoře využívání biopaliv a jiných obnovitelných zdrojů v dopravě a druhou pak směrnice 2003/96/EC týkající se zdanění energetických produktů. Tyto směrnice obsahují regulační a fiskální rámec podpory biopaliv. V akčním plánu je definována strategie pro dosažení plánované náhrady 20 % klasických kapalných motorových paliv alternativními palivy do roku 2020.

Směrnice 2003/30/EC vybízí členské země k zajištění minimálního podílu biopaliv a jiných alternativních pohonných paliv na jejich národních trzích a v tomto ohledu stanoví národní indikativní cíle (priority). Jako referenční hodnota pro tyto cíle byla navržena pro rok

2005 hodnota 2 %, v roce 2010 by mělo být dosaženo hodnoty podílu 5,75 % a do roku 2020 by se měl tento podíl zvětšit na 8 %.

ČR nesplnila v roce 2005 stanovený minimální indikativní cíl spotřeby biopaliv v dopravě 2 %. V roce 2005 bylo dosaženo pouze 0,046 % náhrady fosilních motorových paliv. Ani v roce 2010 není reálný předpoklad, že ČR splní minimální indikativní cíl spotřeby biopaliv v dopravě 5,75 %. Jedním z hlavních důvodů, proč se tak nestane je i postoj českého prezidenta Václava Klause, který tvrdí: „Myšlenka použít zemědělské produkty k výrobě pohonných hmot je za současných podmínek zcestná. Kapitál spotřebovaný v nesmyslných a nenávratných projektech výroby biolihu či bionafty by mohl být využit v jiných formách, které by byly smysluplnější i výnosnější. Biopaliva nadělají víc škody než užitku.“ Proto také Václav Klaus nepodepsal novelu zákona o ochraně ovzduší, podle které měl od 1. června 2010 stoupnout podíl biosložky v benzínu z dosavadních 3,5 na 4,1 % a u motorové nafty ze 4,5 na 6 %. Tento krok Václav Klaus odůvodnil takto: „Existují vážné pochybnosti o dopadu biopaliv na zdraví člověka. Boj s emisemi oxidu uhličitého je nadále sporný a v neposlední řadě přimíchávání pohonné hmoty výrazně zdraží a sníží životnost automobilů“. K celkové problematice používání alternativních kapalných paliv v dieslových motorech je nutné přičíst i problematiku používání nestandardních alternativních paliv v dieslových motorech. V bakalářské práci jsem se zabýval problematikou jak standardních alternativních paliv tak nestandardních paliv pro dieslové motory a to především z hlediska kouřivosti dieslového motoru při použití konkrétního alternativního paliva a to jak standardního tak i nestandardního. K měření kouřivosti dieslového motoru s nestandardním kapalným alternativním palivem jsem přistoupil proto, že je všeobecně známo, že používání nestandardních kapalných paliv řada motoristů praktikuje a že tento nešvar je v ČR hodně rozšířen. Naměřené hodnoty kouřivosti při použití nestandardních kapalných paliv jsou přitom alarmující. Z naměřených výsledků kouřivosti při použití nestandardních kapalných paliv jasně vyplývá, že tyto nestandardní kapalná paliva nadělají víc škody než užitku než standardní biopaliva. Proto se domnívám, že zde by měla konat dopravní policie ČR, která by měla disponovat mobilními stanicemi měření kouřivosti vznětových motorů a stejně jako provádí měření rychlosti vozidel, by měla pomocí mobilních stanic provádět i měření emisí a to zejména měření kouřivosti vznětových motorů. A pokud by při těchto kontrolách zjistila, že řidiči nesplňují emisní limity kouřivosti z důvodu používání nestandardního kapalného paliva, pak by tyto řidiče měla přísně postihovat.

## Seznam použité literatury a zdrojů

- [1] Bionafta [oline] dostupné na WWW: <<http://max.af.czu.cz/~miki/biodiesel.htm>>
- [2] Bionafta (FAME) - náhrada za fosilní naftu [online] dostupné na WWW:  
<[http://kfch.upce.cz/htmls/vedecka\\_cinnost\\_bionafta.htm](http://kfch.upce.cz/htmls/vedecka_cinnost_bionafta.htm)>
- [3] Rostlinné oleje – bionafta [online] dostupné na WWW:  
<[http://images.google.com/imgres?imgurl=http://www.inforse.dk/europe/fae/DOPRAVA/paliva/bionafta%2520vlastnosti.jpg&imgrefurl=http://www.inforse.dk/europe/fae/DOPRAVA/paliva/Bionafta.htm&usq=\\_\\_nmXCLeYPFmQgQON4XY8ppV7CDtU=&h=271&w=504&sz=45&hl=cs&start=5&um=1&itbs=1&tbnid=58xsgISoPlowvM:&tbnh=70&tbnw=130&prev=/images%3Fq%3Dbionafta%26um%3D1%26hl%3Dcs%26lr%3D%26sa%3DX%26tbs%3Disch:1](http://images.google.com/imgres?imgurl=http://www.inforse.dk/europe/fae/DOPRAVA/paliva/bionafta%2520vlastnosti.jpg&imgrefurl=http://www.inforse.dk/europe/fae/DOPRAVA/paliva/Bionafta.htm&usq=__nmXCLeYPFmQgQON4XY8ppV7CDtU=&h=271&w=504&sz=45&hl=cs&start=5&um=1&itbs=1&tbnid=58xsgISoPlowvM:&tbnh=70&tbnw=130&prev=/images%3Fq%3Dbionafta%26um%3D1%26hl%3Dcs%26lr%3D%26sa%3DX%26tbs%3Disch:1)>
- [4] Současný stav výroby a užití bionafty v České republice [online] dostupné na WWW:  
<<http://max.af.czu.cz/~miki/biodiesel/Hluk96/HOLAS/HOLAS96.DOC>>
- [5] Pole s řepkou [obr.] dostupné na WWW:  
<[http://auto.idnes.cz/foto.asp?r=automoto&foto1=SPI208d53\\_biopaliva.jpg](http://auto.idnes.cz/foto.asp?r=automoto&foto1=SPI208d53_biopaliva.jpg)>
- [6] Rostlinný olej [obr.] dostupné na WWW:  
<<http://www.hhcorp.cz/metylester/oleje1.jpg>>
- [7] Elsbett [online] dostupné na WWW:  
<<http://www.elsbett.com/>>
- [8] Lehký topný olej [obr.] dostupné na WWW:  
<<http://www.egethergie.com/extra-lehky-topny-olej.html>>
- [9] Motorový olej [online] dostupné na WWW:  
<[http://cs.wikipedia.org/wiki/Motorov%C3%BD\\_olej](http://cs.wikipedia.org/wiki/Motorov%C3%BD_olej)>
- [10] Vlastnosti motorových olejů - viskozita [obr.] dostupné na WWW:  
<[http://www.oleje.cz/index.php?left=main&page=clanky\\_vlastnosti\\_oleju2](http://www.oleje.cz/index.php?left=main&page=clanky_vlastnosti_oleju2)>
- [11] Vodní filtry [obr.] dostupné na WWW:  
<<http://www.alkmaradi.cz/produkty/vodni-filtry---cista-voda-kdykoliv-kdekoliv/vodovodni-filtr/trup-predbezneho-filtru-%28na-teplou-vodu%29/7873.html>>
- [12] Princip čištění oleje [online] dostupné na WWW:  
<<http://www.tegamo.cz/princip-cisteni-oleje>>

- [13] LPG ventily [obr.] dostupné na WWW:  
<<http://www.agw.cz/eshop/strana-1/razeni-nazev/zobrazeni-obrazkove/auto/4-lpg-ventily/>>
- [14] Opacimetr (kouřoměr) typ MDO02 [online] dostupné na WWW:  
<<http://www.maha-cz.cz/produkty6-2.php>>
- [15] časopis „Auto Tip“ číslo 7 / duben 2006
- [16] STRITZKO, J. *Zjišťování příčin kouření naftových motorů*, Knihnice motoristy SNTL, Praha 1968
- [17] Gustav Šebor, Milan Pospíšil, Jan Žákovec: *Tecnicko – ekonomická analýza vhodných alternativních paliv v dopravě*. VŠCHT Praha, Fakulta technologie ochrany prostředí. Praha, 2006.
- [18] HI-Oil [online] dostupné na WWW:  
<[http://www.hi-oil.cz/index.php?page=produkt\\_detail&id=43](http://www.hi-oil.cz/index.php?page=produkt_detail&id=43)>

## Seznam obrázků

Obr. 1.....	Pole s řepkou [5]
Obr. 2.....	Suroviny pro výrobu bionafty [2]
Obr. 3.....	Postup výroby MEŘO [1]
Obr. 4.....	Chemická reakce při výrobě MEŘO [2]
Obr. 5.....	Graf biologického rozkladu [4]
Obr. 6 .....	Porovnání uložené energie v palivech [3]
Obr. 7.....	Porovnání vlastností paliv [3]
Obr. 8.....	Rostlinný olej [6]
Obr. 9.....	Elsbethův motor [7]
Obr. 10.....	Lehký topný olej [8]
Obr. 11.....	Motorový olej [9]
Obr. 12.....	Měření viskozity oleje [10]
Obr. 13.....	Mechanický filtr [11]
Obr. 14.....	Elektrostatické čištění [12]
Obr. 15.....	Audi A4 [foto autor]
Obr. 16.....	Motorový prostor Audi A4 [foto autor]
Obr. 17.....	Schéma palivové soustavy – po přestavbě [autor]
Obr. 18.....	Palivová nádrž – olej [foto autor]
Obr. 19.....	Hrubý palivový filtr - olej [autor]
Obr. 21.....	Tepelný výměník [autor]
Obr. 22.....	Elektromagnetický ventil [13]
Obr. 23.....	Ovládací panel [foto autor]
Obr. 24.....	Opacimetr [14]
Obr. 25.....	Závislost kouřivosti na otáčkách motoru [16]
Obr. 26 a 27.....	Opacimeter DO 285 [foto autor]
Obr. 28 a 29.....	Měření emisí v STK Jilemnice [foto autor]
Obr. 30.....	Zakarbonovaný vstřikovač [foto autor]

## Seznam tabulek

Tab. 1.....	Výsledky testu v časopisu Auto Tip [15]
Tab. 2.....	Vlastnosti lehkého topného oleje
Tab. 3 .....	Vlastnosti motorového oleje [18]
Tab. 4 .....	Vlastnosti převodového oleje [18]
Tab. 5.....	Technické parametry přístroje
Tab. 6.....	Výsledné hodnoty měření [autor]
Tab. 7.....	Výsledné hodnoty měření [autor]
Tab. 8 a 9.....	Hodnoty měření před testem [autor]