

UNIVERZITA PARDUBICE  
DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA

Analýza zbytkové životnosti Long Life olejů ze silničních motorových  
vozidel

Bc. Michal Beleš

Diplomová práce  
2019

Univerzita Pardubice  
Dopravní fakulta Jana Pernera  
Akademický rok: 2018/2019

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Michal Beleš**  
Osobní číslo: **D17380**  
Studijní program: **N3708 Dopravní inženýrství a spoje**  
Studijní obor: **Dopravní prostředky: Ochrana životního prostředí v dopravě**  
Název tématu: **Analýza zbytkové životnosti Long Life olejů ze silničních motorových vozidel**  
Zadávající katedra: **Katedra dopravních prostředků a diagnostiky**

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

- 1)Úvod
- 2)Na základě literatury a informačních zdrojů zpracujte současný stav poznání v oblasti vlastností, hodnocení a degradace motorových olejů používaných v silničních vozidlech
- 3)Shromážděte vzorky použitých motorových olejů a proveďte vybrané zkoušky stanovení jejich kvalitativních parametrů
- 4)Na základě naměřených dat zhodnoťte funkčnost palubní diagnostiky v oblasti zbytkové životnosti motorového oleje
- 5)Na základě získaných výsledků navrhnete optimalizaci intervalů výměny oleje
- 6)Závěr

Rozsah grafických prací: podle pokynů vedoucího práce

Rozsah pracovní zprávy: 50-60 stran textu a přílohy

Forma zpracování diplomové práce: tištěná

Seznam odborné literatury:

1. GOEBIOWSKI, W.; WOLAK, A.; ZAJŇC, G. Definition of oil change intervals based on the analysis of selected physicochemical properties of used engine oils. *CombustionEngines*, 2018, 57.
2. WOLAK, A.; ZAJŇC, G.; ŽÓTY, M. Changes of properties of engine oils diluted with diesel oil under real operating conditions. *CombustionEngines*, 2018, 57.
3. WEI, Lei, et al. Oil change interval evaluation of civilian cars in urban traffic condition. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*, 2018, 1350650118809772.
4. SEJKOROVÁ, Marie, et al. Definition of a motor oil change interval for high volume diesel engines based on its current characteristics assessment. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 2017, 65.2: 481-490.
5. SEJKOROVÁ, Marie. *Metody tribotechnické diagnostiky*. 1. Vyd. Vysoká škola báňská-Technická univerzita Ostrava/Univerzita Pardubice, 2013, 111.
6. MACIN, V., et al. Fuzzy logic-based expert system for diesel engine oil analysis diagnosis. *Insight-Non-Destructive Testing and Condition Monitoring*, 2006, 48.8: 462-469.

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Marie Sejkorová, Ph.D.  
Katedra dopravních prostředků a diagnostiky

Datum zadání diplomové práce: 15. února 2019

Termín odevzdání diplomové práce: 20. května 2019

L.S.

doc. Ing. Libor Švadlenka, Ph.D.  
děkan

Ing. Jakub Vágner, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 15. února 2019

**Prohlašuji:**

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

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

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 17.5. 2019

Bc. Michal Beleš



**Poděkování:**

Zde bych rád poděkoval vedoucí mé práce paní doc. Ing. Marie Sejkorové Ph.D. za pomoc, připomínky a rady ke zpracování diplomové práce. Dále bych rád poděkoval své rodině za podporu při studiu.

## **Anotace**

Tato diplomová práce se zabývá analýzou zbytkové životnosti Long Life olejů používaných v silničních motorových vozidlech. V teoretické části práce jsou shrnuty základní poznatky o motorových olejích, zejména o jejich výrobě, složení a hodnocení.

První část praktické části práce je věnována analýze použitých vzorků motorového oleje typu 5W30 Long Life. Z naměřených výsledků je vyhodnoceno, zdali je možné tyto Long Life oleje provozovat po celou dobu deklarované životnosti. Dále je zde provedeno zhodnocení palubní diagnostiky vozidla a kvality jejího stanovování zbytkové životnosti oleje.

Druhá část praktické části je věnována návrhu expertního Fuzzy programu, který je schopen na základě hodnot z naměřených parametrů oleje stanovit jeho zbytkovou životnost exaktněji, než je tomu v případě palubní diagnostiky vozidla.

**Klíčová slova:** opotřebení motorového oleje, prodloužené intervaly výměny oleje, Long Life oleje, životnost motorového oleje, zkoušení motorových olejů, Infračervená spektroskopie, Fuzzy logika

## **Annotation**

This diploma thesis deals with the analysis of the residual life of Long Life oils used in road motor vehicles. The theoretical part of the thesis summarizes basic knowledge about motor oils, especially about their production, composition and evaluation.

The first part of the practical part is focused to the evaluation of used engine oil 5W30 Long Life samples. From those results is evaluated, if is able to use this Long Life oils for all of its declared lifetime. Final of first part of practical part is focused to assessment of the vehicle on-board diagnostic residual life assessment quality.

The second part of the practical part is focused to the design of an expert Fuzzy system, which is able to determine the residual life of the engine oil by evaluation of measured values.

**Keywords:** engine oil wear, long term intervals of engine oil change, Long Life oils, engine oil life, motor oil testing, Infrared spectroscopy, Fuzzy logic

## OBSAH

1.	Motorové oleje .....	13
1.1	Dělení motorového oleje .....	14
1.1.1	Podle výroby .....	14
1.1.2	Podle specifikace .....	15
1.1.3	Podle typu uhlovodíku .....	15
1.2	Výroba motorového oleje .....	15
1.2.1	Výroba minerálního oleje .....	15
1.2.1.1	Destilace .....	16
1.2.1.2	Rafinování .....	16
1.2.1.3	Odasfaltování .....	16
1.2.1.4	Odparafinování .....	16
1.2.1.5	Krakování .....	16
1.2.2	Výroba syntetického oleje .....	17
1.2.2.1	Krakování .....	17
1.2.2.2	Syntéza .....	17
1.2.2.3	Vakuová destilace .....	17
1.2.2.4	Hydrogenace .....	17
1.2.3	Výroba polosyntetického oleje .....	18
1.3	Složení olejů .....	18
1.3.1	Modifikátory viskozity .....	19
1.3.2	Snižovače teploty tuhnutí .....	20
1.3.3	Inhibitory a antioxidanty .....	20
1.3.4	Detergenty .....	21
1.3.5	Disperzanty .....	21
1.3.6	Aditiva chránící elastomery .....	22
1.3.7	Deaktivátory kovů .....	22

1.3.8	Protipěnovostní aditiva .....	22
1.3.9	Protiotěrové aditiva.....	22
1.3.10	Antikorozní přísady .....	23
1.4	Funkční vlastnosti motorového oleje.....	23
1.4.1	Viskozita.....	25
1.4.2	Teplota tuhnutí.....	27
1.4.3	Teplota vzplanutí .....	27
1.4.4	Teplota hoření .....	27
1.4.5	Odparnost.....	27
1.4.6	Termooxidační stálost.....	28
1.4.7	Nitrační stálost .....	28
1.4.8	Biologická odbouratelnost .....	28
1.4.9	Snášlivost s konstrukčními materiály .....	29
1.4.10	Kyselost - TAN.....	29
1.4.11	Alkalická rezerva - TBN.....	29
1.4.12	Střihová stabilita .....	29
1.4.13	Emulgace .....	30
1.4.14	Anilinový bod .....	30
1.4.15	Barva.....	30
1.5	Degradace oleje .....	30
1.5.1	Voda.....	30
1.5.2	Palivo .....	32
1.5.3	Glykol .....	33
1.5.4	Saze.....	34
1.5.5	Mechanické nečistoty a prachové částice .....	36
1.5.6	Otěrové částice.....	37
2.	Analýza motorových olejů .....	39

2.1	Tribodiagnostika.....	39
2.2	Odběr vzorků motorového oleje.....	40
2.3	Základní tribotechnické metody .....	40
2.3.1	Stanovení viskozity.....	40
2.3.2	Bod vzplanutí.....	42
2.3.3	Bod tuhnutí .....	43
2.3.4	Conradsonův karbonizační zbytek.....	43
2.3.5	Stanovení objemu vody .....	44
2.3.6	Stanovení kyselosti .....	44
2.3.7	Stanovení alkality .....	45
2.3.8	Stanovení množství nerozpustných látek ve směsi s HEO .....	45
2.4	Komplexnější tribotechnické metody .....	46
2.4.1	Kapkový test.....	46
2.4.2	Infračervená spektrometrie .....	46
2.4.3	Plynová chromatografie.....	48
2.4.4	Atomová emisní spektrometrie.....	48
2.5	Palubní diagnostika motorového oleje .....	49
3.	Analýza vzorků použitého motorového oleje .....	50
3.1	LongLife oleje .....	50
3.2	Analyzované vzorky .....	50
3.2.1	Referenční nový olej.....	52
3.3	Měřené parametry a metody pro jejich stanovení .....	53
3.4	Vyhodnocení měření .....	56
3.4.1	Viskozita.....	56
3.4.2	Obsah paliva .....	60
3.4.3	Obsah oxidačních produktů.....	64
3.4.4	Obsah antioxidantů .....	66

3.4.5	Obsah nitračních produktů.....	69
3.4.6	Obsah sazí.....	71
3.5	Vyhodnocení zbytkové životnosti .....	73
3.6	Porovnání zbytkových životností .....	75
4.	Expertní stanovení životnosti .....	77
4.1	Fuzzy logika .....	77
4.2	Fuzzy program pro stanovení zbytkové životnosti.....	79
4.2.1	Báze pravidel .....	84
4.2.2	Řídící plochy.....	87
4.2.3	Uživatelské prostředí .....	89
4.2.4	Ukázka funkce fuzzy programu pro stanovení zbytkové životnosti motorového oleje.....	90
5.	Závěr .....	95
6.	Seznam literatury .....	97

## Seznam ilustrací, tabulek a grafů:

Obrázek 1: Složení motorového oleje .....	19
Obrázek 2: Polymethylmetakrylát .....	20
Obrázek 3: Příklady teplotních použití jednotlivých druhů olejů .....	23
Obrázek 4: Přibližné porovnání jednotlivých klasifikací s jejich využitími .....	25
Obrázek 5: Závislost viskozity na teplotě pro olej 0W30 .....	26
Obrázek 6: Závislost viskozity na teplotě pro olej 10W60 .....	26
Obrázek 7: Kapkový test .....	35
Obrázek 8: Poškození nikasilové vrtvy válců motoru 4.2l V8 Audi .....	36
Obrázek 9: Viskozimetr Anton Paar .....	42
Obrázek 10: Bod vzplanutí u testovaného vzorku Clevelandovou metodou .....	43
Obrázek 11: Vyhodnocení kapkového testu .....	46
Obrázek 12: Příklad spektra z FTIR analyzátoru .....	47
Obrázek 13: Princip plynové chromatografie .....	48
Obrázek 14: Příklad naměřeného spektra s vyhodnocením .....	55
Obrázek 15: Olejový analyzátor .....	55
Obrázek 16: Ukázka spektra s vysokým obsahem paliva .....	64
Obrázek 17: Ukázka spektra s obsahem nitračních produktů .....	71
Obrázek 18: Spektrum vzorku 33 s vysokým obsahem sazí .....	73
Obrázek 19: Příklad nevýhody ostré logiky .....	77
Obrázek 20: Příklad funkce příslušnosti .....	78
Obrázek 21: Princip Fuzzy logiky .....	78
Obrázek 22: Funkce příslušnosti pro viskozitu .....	81
Obrázek 23: Funkce příslušnosti pro obsah paliva .....	82
Obrázek 24: Funkce příslušnosti pro obsah oxidačních produktů .....	83
Obrázek 25: Výstupní funkce příslušnosti .....	85
Obrázek 26: Báze pravidel fuzzy logiky .....	86
Obrázek 27: Řídící plocha paliva a oxidačních produktů .....	87
Obrázek 28: Řídící plocha viskozity a oxidačních produktů .....	88
Obrázek 29: Uživatelské prostředí .....	89
Obrázek 30: Ukázka funkce - životnost 30000 km .....	90
Obrázek 31: Ukázka funkce - životnost 0 km (palivo) .....	91
Obrázek 32: Ukázka funkce - životnost 0 km (viskozita) .....	92

Obrázek 33: Ukázka funkce - zbytková životnost 21300 km .....	93
Obrázek 34: Ukázka funkce - zbytková životnost 3900 km .....	94
Tabulka 1: Jednotlivé frakce ropy .....	16
Tabulka 2: Rozdělení olejů dle viskozitní normy SAE J300 .....	24
Tabulka 3: Prvky v oleji s jejich možnými zdroji .....	38
Tabulka 4: Limitní hodnoty otěrových prvků v oleji .....	38
Tabulka 5: Charakteristická spektra pro vyhodnocení FTIR .....	47
Tabulka 6: Popis analyzovaných vzorků .....	51
Tabulka 7: Parametry oleje Eurolub 5W30 WIV ECO stanovené výrobcem .....	52
Tabulka 8: Parametry oleje Eurolub 5W30 WIV ECO naměřené .....	53
Tabulka 9: Naměřené hodnoty kinematické viskozity při 100 °C .....	56
Tabulka 10: Naměřené hodnoty dynamické viskozity při 40 °C .....	57
Tabulka 11: Obsah paliva v analyzovaných vzorcích .....	60
Tabulka 12: Porovnání obsahu paliva s/ bez částicového filtru .....	62
Tabulka 13: Srovnání průměrného obsahu paliva pro vzorky s a bez DPF .....	63
Tabulka 14: Obsah oxidačních produktů v analyzovaných vzorcích .....	65
Tabulka 15: Obsah antioxidantů u analyzovaných vzorků .....	67
Tabulka 16: Obsah nitračních produktů .....	69
Tabulka 17: Obsah sazí u měřených vzorků .....	71
Tabulka 18: Naměřené parametry u jednotlivých vzorků .....	74
Tabulka 19: Zbytková životnost nezávadných vzorků .....	75
Tabulka 20: Porovnání stanovených životností .....	76
Tabulka 21: Limitní hodnoty vybraných parametrů pro fuzzy systém .....	79
Graf 1: Hodnoty kinematické viskozity při 100°C u analyzovaných vzorků .....	59
Graf 2: Hodnoty dynamické viskozity při 40°C u analyzovaných vzorků .....	59
Graf 3: Obsah paliva v analyzovaných vzorcích .....	61
Graf 4: Porovnání obsahu paliva s/bez DPF .....	64
Graf 5: Obsah oxidačních produktů v analyzovaných vzorcích .....	66
Graf 6: Obsah antioxidantů u analyzovaných vzorků .....	68
Graf 7: Obsah oxidačních produktů vs. obsah antioxidantů .....	68
Graf 8: Obsah nitračních produktů u analyzovaných vzorků .....	70



### **Seznam použitých zkratk:**

SAE - Society of Automotive Engineers - Viskozitní klasifikace olejů

API - American Petroleum Institute - Výkonnostní klasifikace olejů - Americká

ACEA - Association des Constructeurs Européens d'Automobile - Výkonnostní  
klasifikace olejů - Evropská

FTIR - Fourier transform infrared - Infračervená spektroskopie s Fourierovou  
transformací

SCR - Selective Catalytic Reduction - Selektivní katalytická redukce

EGR - Exhaust gas recirculation - Recirkulace výfukových plynů

HEO - Směs hexan - etanol - kyselina olejová

VI - viskozitní index

HTHS - High Temperature High Shear - Vysoká teplota, vysoký smykový spád

## Úvod

Motorový olej je nedílnou součástí spalovacího motoru. Bez vhodné úpravy tření jednotlivých součástí by motor nebyl schopen správně pracovat, dodávat požadovaný výkon nebo dodržet požadovanou životnost. Právě otázka životnosti je vysokou měrou závislá na správné kvalitě maziva, respektive jeho degradaci vlivem používání. Proto je nutné stanovit optimální okamžik jeho výměny, aby olej nezůstával v motoru i po ukončení jeho životnosti a svými vlastnostmi negativně neovlivňoval životnost jednotlivých komponent motoru. Nabízí se tedy otázka, z jakého důvodu se intervaly výměny oleje prodlužují. Proč se nestanoví bezpečný kilometrický proběh, který je možno na olej absolvovat, a přitom nedojde k překročení limitních parametrů oleje? Odpověď není jednoznačná. Na jedné straně stojí uživatel automobilu, který chce co nejvíce snížit provozní náklady na ujetou vzdálenost. Tato kategorie je samozřejmě výměnami oleje přímo ovlivňována a to tak, že se zkracováním výměnných intervalů oleje rostou náklady na servis vozidla a tím náklady na ujetou vzdálenost. Zákazník tedy požaduje výměnné intervaly co nejdelší. Druhou stranu zastupuje životní prostředí, respektive my lidé, kteří chceme aktivně eliminovat zátěž životního prostředí. V oblasti motorového oleje je eliminace dosažitelná šetřením ropnou surovinou, tedy opět prodlužováním výměnných intervalů.

Protikladem pro tyto dvě výše zmíněné kategorie je opět samotný uživatel. Ten samozřejmě požaduje dlouhodobou životnost svého motoru, nemá v úmyslu po krátkém kilometrickém proběhu investovat do nákladných generálních oprav. Dlouhodobou životnost je možné zajistit pouze bezvadným technickým stavem, jenž je možno zajistit mimo jiné i kvalitním a nezávadným mazivem. Z tohoto úhlu pohledu je natahování výměnných intervalů minimálně neprozíravé.

I proto jsou současně používaná vozidla osazena palubní diagnostikou, která se stará o úpravu zbytkové životnosti motorového oleje. Nakolik je palubní diagnostika v oblasti stanovování zbytkové životnosti účinná, zda jsou vhodné prodloužené výměnné intervaly oleje a zda je možné vyhodnocovat zbytkovou životnost exaktněji, bude předmětem této diplomové práce.

## 1. Motorové oleje

Motorový olej je nepostradatelnou součástí spalovacího motoru v podobě jeho maziva. Hlavním úkolem motorového oleje používaného ve spalovacích motorech je snížit tření mezi dvěma vzájemně se pohybujícími částmi. Další z úloh je úloha chladičí nebo například pro vzájemný přenos sil.

Jeho výsledné vlastnosti jsou dány celou řadou technických parametrů a často velmi protichůdných požadavků na ně kladených. Tyto požadavky jsou stanovovány konstruktéry motorů, jež jsou nuceni reagovat na vnější trend snižování spotřeby paliva, respektive snížení emisí CO<sub>2</sub>. Konstrukteři vymýšlejí stále nové cesty, jak zdokonalit spalovací proces a tím co nejvíce zvýšit účinnost spalovacího motoru. I zde hraje motorový olej zásadní roli a to v oblasti tření jednotlivých komponent agregátu<sup>[1]</sup>.

Z výše zmíněných důvodů jsou na motorové oleje kladeny následující požadavky:

### **Oblast tření**

- minimalizace tření
- minimalizace opotřebení
- snížení spotřeby paliva
- odolnost olejového filmu proti protržení
- žádná povrchová poškození (pitting)
- přilnavost k třecím plochám

### **Oblast viskozity:**

- vhodná viskozita za nízké i vysoké teploty
- termická stabilita
- mechanická stabilita ve stříhu

### **Oblast teploty:**

- chlazení
- teplotní stabilita
- odolnost proti oxidaci

### **Oblast čistoty:**

- disperzní účinky

- detergentní (čistící) schopnost
- žádné karbonizační účinky
- zabránění vzniku horkých a studených kalů
- odolnost vůči vodě
- žádné samozápaly

**Oblast dalších důležitých fyzikálních a chemických vlastností:**

- antikoroziční účinky
- neutralizační vlastnosti
- snášenlivost s neželeznými kovy
- snášenlivost s těsníci prvky
- potlačení pěnivosti
- těsnící schopnost
- nízká těkavost

**Oblast aplikace:**

- mísitelnost s ostatními motorovými oleji
- záběhové vlastnosti
- dlouhé výměnné intervaly
- žádné negativní vlivy na zdraví a životní prostředí<sup>[2][3][4]</sup>

Z výše uvedeného je patrná náročnost splnění technických požadavků a tím složitost výroby motorového oleje.

## **1.1 Dělení motorového oleje**

Motorový olej se dělí dle nejrůznějších klasifikací. Níže je vypsáno základní dělení motorových olejů.

### **1.1.1 Podle výroby**

Dříve se motorový olej vyráběl pouze z ropy. Snaha nahradit ropu jako surovinu zasáhla i petrochemický průmysl, minerální oleje tedy začaly být nahrazovány oleji syntetickými, jež nejsou z ropy vyráběny. Určitým kompromisem jsou oleje polosyntetické, ve kterých se jako základový olej použije olej minerální, do něhož jsou přidány syntetické složky<sup>[2][3][5]</sup>.

### 1.1.2 Podle specifikace

V dnešní době se již nepoužívá rozdělení na minerální, syntetické a polosyntetické oleje, jako tomu bylo v dobách minulých. Dnes téměř každý prodávaný olej je polosyntetický, který se liší množstvím a druhem aditivovaných přísad.

Daleko důležitějším parametrem je při rozlišování olejů viskozitní a výkonnostní klasifikace. Zatímco u viskozitní klasifikace se můžeme jednoznačně spolehnout na klasifikaci dle SAE (např. 5W30), u výkonnostní to tak jednoznačné není. Používá se například americké hodnocení API, popřípadě evropské ACEA<sup>[2][3][5][7]</sup>.

### 1.1.3 Podle typu uhlovodíku

Toto rozdělení platí pouze pro minerální oleje. Dělení je založené na převládajícím druhu uhlovodíku v oleji.

V parafinických olejích převládají parafíny  $C_nH_{2n+2}$ , což jsou nasycené alifatické uhlovodíky s přímým nebo rozvětveným řetězcem atomů v molekule. Vyznačují se nízkým bodem tuhnutí a nízkým viskozitním indexem<sup>[2][3]</sup>.

V naftenických olejích převládají (s více než 38 % uhlíku v naftenických vazbách) alkeny – nenasyčené uhlovodíky  $C_nH_{2n}$ . Jen malá část minerálních olejů není toho typu<sup>[3]</sup>.

Poslední skupinou jsou aromatické, v jejichž základě jsou nejvyšším podílem zastoupeny aromatické uhlovodíky s obecným vzorcem  $C_nH_{2n-6}$ . Nejznámější zástupce je benzen  $C_6H_6$ <sup>[2][3]</sup>.

## 1.2 Výroba motorového oleje

### 1.2.1 Výroba minerálního oleje

Jako výchozí surovina pro výrobu motorového oleje se používá ropa. Ropa je směsí plyných, kapalných a tuhých uhlovodíků, což jsou látky, jejichž molekuly jsou tvořeny různě dlouhými řetězci atomů uhlíku, na něž jsou navázány atomy vodíku. V tabulce 1 jsou uvedené jednotlivé frakce ropy podle délky řetězce (zároveň to odpovídá pořadí, ve kterém se látky z ropy destilují)<sup>[8]</sup>.

Tabulka 1: Jednotlivé frakce ropy<sup>[4]</sup>

Frakce	Délka řetězce
Zemní plyn	C <sub>1</sub> - C <sub>4</sub>
Benzin	C <sub>5</sub> - C <sub>12</sub>
Nafta, lehký topný olej	C <sub>10</sub> - C <sub>20</sub>
Mazací olej	C <sub>20</sub> - C <sub>35</sub>
Těžké topné oleje	C <sub>35</sub> - C <sub>80</sub>
Asfalt	C <sub>80</sub> a výše
Umělé hmoty	C <sub>100</sub> a výše

Tyto jednotlivé frakce se získávají z ropy rafinací. Rafinace probíhá následujícím způsobem.

#### 1.2.1.1 Destilace

Destilace využívá rozdílného bodu varu a slouží k oddělení jednotlivých frakcí ropy. Na destilaci za normálního atmosférického tlaku navazuje destilace vakuová, která probíhá za nižšího tlaku, než je atmosférický. Nižší tlak slouží k odpaření frakcí, které se za atmosférického tlaku obtížně vypařují, konkrétně jde o asfalt a látky s delšími řetězci<sup>[2][3][4]</sup>.

#### 1.2.1.2 Rafinování

Při rafinování dochází k odstranění nežádoucích příměsí, oleje jsou zušlechťovány. Při rafinaci dochází k úpravě a zlepšení vlastností olejů<sup>[2][3][4]</sup>.

#### 1.2.1.3 Odasfaltování

Čím lepší je odasfaltování těžkých ropných zbytků, tím nižší je náchylnost rafinátu k tvorbě karbonizačního zbytku. Snahou je tedy co nejlepší odasfaltování<sup>[2][3][4]</sup>.

#### 1.2.1.4 Odparařinování

Odparařinování slouží k odstranění tuhých parařinických uhlovodíků. Ty mají za následek horší tekutost oleje při nízké teplotě. Odparařinováním se tedy snižuje bod tuhnutí. Tento proces je velmi nákladný, oleje se tedy odparařinávají pouze tak, aby splňovaly svou funkci pouze za daných klimatických podmínek<sup>[2][3][4]</sup>.

#### 1.2.1.5 Krakování

Cílem krakování je rozštěpit dlouhé řetězce molekul. Součástí této operace je ještě hydrogenace, kdy se na volné pozice po rozštěpení navážou molekuly vodíku<sup>[2][3][4]</sup>.

### 1.2.2 Výroba syntetického oleje

Syntetický olej, jak již z názvu vyplývá, se vyrábí chemickou syntézou. Výroba chemickou syntézou má výhodu v přesném složení, kterým má výsledný olej disponovat. Tato výroba je ovšem nákladnější než výroba minerálního oleje, i proto jsou plně syntetické oleje málo používané a velice drahé. Základem pro výrobu maziv syntézou jsou polyolefiny, polyglykoly, estery organických kyselin, atd. Vlastnosti těchto látek jsou podobné ropným mazivům, ovšem ve srovnání s nimi mají vyšší mazivost, odolnost vůči vysokým teplotám, lepší tekutost při nižších teplotách a vyšší viskózní index<sup>[2][3][4]</sup>.

#### 1.2.2.1 Krakování

Krakování je štěpení jednotlivých vysokovroucích ropných frakcí na frakce nízkovroucí. Konkrétně se jedná o štěpení vazeb C-C a C-H delších řetězců uhlovodíků na nižší, například Eten  $C_2H_4$  nebo Buten  $C_4H_8$ . Výsledné řetězce jsou základními uhlovodíky pro další syntézu<sup>[2][3][4]</sup>.

#### 1.2.2.2 Syntéza

Molekuly Etenu  $C_2H_4$  a Butenu  $C_4H_8$  se syntetizují do molekul poly-alfa-olefinů (PAO), což vede ke změně struktury a výsledných vlastností<sup>[2][3][4]</sup>.

#### 1.2.2.3 Vakuová destilace

Při destilaci se oddělují jednotlivé frakce vzniklé syntézou v závislosti na jejich rozdílném bodu vypařování. Vakuová destilace probíhá za nižšího tlaku, než je tlak atmosférický, neboť za běžného tlaku by bylo vypařování omezené. Destilací se oleje rozdělí do různých viskozitních tříd<sup>[2][3][4]</sup>.

#### 1.2.2.4 Hydrogenace

Tento krok je shodný s výrobou minerálního oleje. Na molekuly se navážou atomy vodíku, což opět vede ke zlepšení vlastností<sup>[2][3][4]</sup>.

### 1.2.3 Výroba polosyntetického oleje

Důvod dělení na minerální a syntetické oleje zažitý z minulého století byl ten, že tehdejší technologie výroby nedovolovala tyto dva druhy oleje mísit. Docházelo ke srážení, destabilizaci a poruše viskozity. Dnešní technologie výroby, obzvláště u syntetických olejů, je již na takové úrovni, že dovoluje tyto dva druhy olejů mísit. To dovolilo vzniku tzv. polosyntetických olejů<sup>[2][3][6]</sup>.

Polosyntetický olej, jak již bylo výše zmíněno, je základový minerální olej, do něhož je přimíchán olej syntetický tak, aby se získaly optimální parametry. Abychom olej mohli nazvat syntetickým, nesmí být podíl syntetické složky nižší než 20%<sup>[2][6]</sup>.

Polosyntetické oleje kombinují rozdílné, často i protichůdné, vlastnosti minerálních a syntetických olejů. Životnost polosyntetických olejů je samozřejmě vyšší, než olejů minerálních, zároveň je ale jejich výroba cenově přijatelnější, než výroba olejů čistě syntetických<sup>[6]</sup>.

## 1.3 Složení olejů

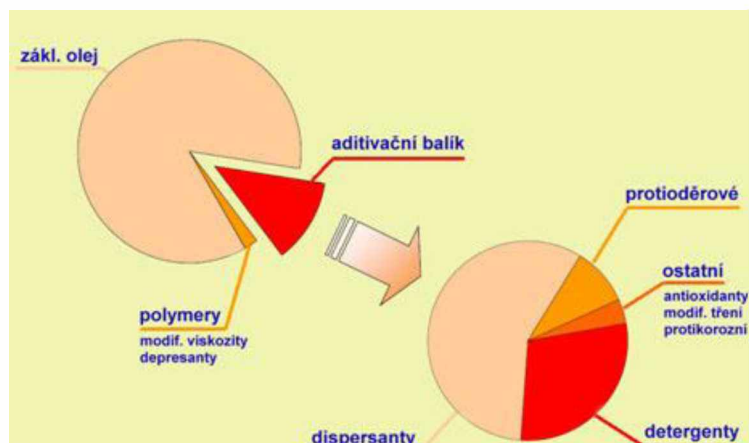
Aby kvalita motorového oleje dosahovala požadované úrovně, není možné si vystačit pouze se smícháním základového oleje se syntetickou složkou. Potřebných vlastností je dosaženo přidáním zušlechťujících přísad. Výběr vhodných přísad závisí na provozních podmínkách, ve kterých bude spalovací motor používán. Zároveň se musí dbát na vzájemné neovlivnění jednotlivých přísad.

Obecně se aditiva dělí na polární a napolární. Polární aditiva jsou povrchově aktivní látky. Vlivem nesymetrie jejich molekul vznikají na jejich koncích elektrické náboje, které molekuly přitahují k povrchu materiálu, např. k povrchu válce motoru. Vzájemnými mezimolekulárními silami se vytvoří tenký film, který je odolný proti poškození vysokým tlakem a zároveň brání v usazování nečistot<sup>[1][2][3]</sup>.

Nepolární aditiva naopak nejsou povrchově aktivní, jsou tedy rovnoměrně rozptýlena v celém objemu oleje a ovlivňují jen samotný olej. Tyto aditiva snižují bod tuhnutí, chrání těsnící prvky motoru, ale hlavně slouží jako modifikátory viskozity<sup>[1][3]</sup>.

Složení motorového oleje je znázorněno na obrázku 1.





Obrázek 1: Složení motorového oleje<sup>[9]</sup>

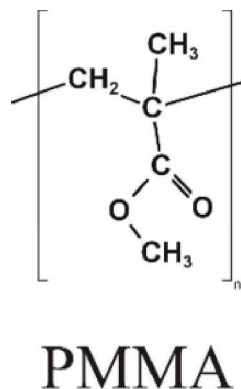
### 1.3.1 Modifikátory viskozity

Zde je potřeba rozlišit, zda jde pouze o docílení výsledné viskozity, či o zlepšení viskozitního indexu. V případě, že je snahou docílení určité viskozity, je tato operace možná vhodně provést již při výrobě základového oleje.

Viskozitní index je číslo charakterizující změnu viskozity oleje s teplotou. Čím je viskozitní index vyšší, tím je viskozita méně závislá na teplotě. Čím vyšší tedy viskozitní index mazivo má, tím lépe je schopno plnit svou funkci ve větším teplotním rozsahu. Změna viskozity maziva má přímý vliv na tloušťku mazacího filmu a tím tedy schopnost mazání.

S rostoucí teplotou motorového oleje klesá jeho viskozita. Jako modifikátory viskozitního indexu se používají polymerní látky, které se s rostoucí teplotou rozpouštějí a tím snižují jeho viskozitu. Díky těmto druhům aditiv již dnes není potřeba rozlišovat olej pro letní a zimní provoz. Konkrétněji jde o polymetylmetakryláty a polyizobutyleny, které mimo modifikaci viskozitního indexu zároveň působí i jako snižovače teploty tuhnutí. Rozšířenějším druhem jsou polymetylmetakryláty, jejichž hlavní výhodou je částečné zastoupení i jako bezpopelné detergenty a disperzanty<sup>[2][3][4]</sup>.

Struktura polymetylmetakrylátu je zobrazena na obrázku 2.



Obrázek 2: Polymethylmetakrylát<sup>[10]</sup>

### 1.3.2 Snižovače teploty tuhnutí

Snižovače bodu tuhnutí, taktéž nazývány jako depresanty, zabraňují spojování krystalů parafinů a tím vytváření krystalové mříže, která zvyšuje hustotu oleje. Vyšší hustota maziva zvyšuje energii, kterou motor musí při překonávání maziva překonat. Zlepšuje se tedy celková tekutost oleje i za nižších teplot.

Nejčastěji se jako snižovače teploty tuhnutí používají produkty parafinu s naftalenem, polymethylmetakryláty, případně etylen-vinylacetáty. Mechanismus zabránění vytvoření krystalické mříže je založen na adsorpci molekul na vylučujících se krystalech tuhých uhlovodíků. Druhým způsobem je zúčastnění na krystalizaci parafinických látek z ropy a tím ovlivnění struktury vyloučené pevné fáze<sup>[2][3][4]</sup>.

### 1.3.3 Inhibitory a antioxidanty

Inhibitory jsou schopny zlepšit oxidační stabilitu oleje. Inhibitory jsou přírodní látky, které jsou již v ropě obsaženy, avšak rafinováním jsou z oleje odstraňovány, naneštěstí tím více, čím větší se dosahuje viskozitního indexu. Je potřeba tedy po rafinaci tyto látky zpět do oleje dodat.

Antioxidanty zpomalují reakci s kyslíkem a tím tvorbu produktů stárnutí. Vysoké teploty ve spalovacím motoru a kontakt s kyslíkem vede ke vzniku chemických sloučenin, které mají za následek degradaci maziva. Tyto látky likvidují oxidační činidla a tím zabraňují výše zmíněným chemickým reakcím. Čím tmavší používané mazivo je, tím více je oxidačně degradované, zároveň také dochází ke zvyšování viskozity.

Nežádoucí oxidační produkty dále korozně působí na součásti motoru a přispívají k tvorbě nežádoucího karbonu, zvláště v oblasti pístních kroužků<sup>[1][3][5]</sup>.

Mechanismus zabránění oxidace je možný několika způsoby. Prvním je přerušení řetězové reakce s volnými radikály. Volný radikál je velice reaktivní, jeho navázáním dochází k vytvoření nereaktivního konce řetězce a tudíž dále nemůže docházet k oxidaci. Druhou možností je usměrnění rozkladu peroxidu na stabilní sloučeniny nepodporující následnou oxidaci. Poslední možností je deaktivace katalyzátoru. To se provede vytvořením dilatační vrstvy, která zabrání katalytickým účinkům kovů<sup>[1][3][5]</sup>.

#### 1.3.4 Detergenty

Detergenty jsou látky s čistícím účinkem. Úkolem detergentů je tedy rozpouštět vzniklé nečistoty a zamezit usazování těchto nečistot na površích. V případě, že jsou nečistoty vystaveny vysokým teplotám, dochází vlivem vypálení ke vzniku uhlíkatých usazenin, které zhoršují postup tepla. Tyto uhlíkaté vměstky jsou velice tvrdé a mají negativní vliv v oblasti abrazivního opotřebení. V případě průniku do spalovacího prostoru může docházet k samozápalům a tzv. detonačnímu spalování, což vede k nekontrolovanému řízení motoru a tím k destrukci pístní skupiny<sup>[1][3][5][9]</sup>.

Další funkcí detergentů je zabránit koroznímu působení oxidačních produktů, obzvláště z paliv s vyšším obsahem síry. Při oxidaci síry vznikají agresivní oxidy, které napomáhají ke korozi motoru a dále se účastní tvorby úsad v oleji. Zabráněním tvorby oxidů je docíleno použitím hydroxidových detergentů s dostatečnou alkalickou rezervou. Samozřejmě s vyčerpáním alkalické rezervy přestávají detergenty plnit svou funkci. Je tedy vidět, že na životnost motorového oleje má vliv spousta faktorů, i třeba to, jak kvalitní palivo je tankováno<sup>[2][5][6][9]</sup>.

Složení detergentních přísad obsahuje dvě části - první, polární část a druhou, nepolární, což je uhlovodíkový oleofilní řetězec. Polární část má za úkol navázat molekulu k polárnímu objektu, nepolární část naopak zaručuje rozpustnost v oleji a zabraňuje usazování částic<sup>[3][5][6][9]</sup>.

#### 1.3.5 Disperzanty

Disperzanty navazují na práci detergentů. Obalením částic nečistot a následným udělením stejné polaritý je zabráněno ve vzájemné koagulaci a shlukování jednotlivých částic. Nečistoty se vlivem disperzivních částic rozptýlí do celého objemu oleje. Zabráněním tvorbě shlukových usazenin je velice důležité pro mikrokanály, kterými je mazáno klikové ústrojí. Zanesením těchto kanálů by bylo znemožněno mazání těchto částí a tím opět k destrukci motoru<sup>[3][5][6][9]</sup>.

### 1.3.6 Aditiva chránící elastomery

Elastomery jsou látky, které se při deformaci/zatížení vrací do svých původních rozměrů. V motoru jsou elastomery obsaženy v těsnících prvcích, je tedy nežádoucí, aby došlo k vyplavení, ztrátě elasticity těsnícího prvku a tím porušení těsnící funkce. Dále tyto aditiva zabráňují chemické degradaci elastomerů<sup>[3]</sup>.

V aditivách pro ochranu elastomerů jsou obsaženy i prvky, jejichž úkolem je botnění elastomerů. Tyto aditiva zaručují navrácení elastomerů do původní polohy i při jejich vysušení<sup>[2]</sup>.

### 1.3.7 Deaktivátory kovů

V použitém motorovém oleji se nacházejí mikroskopické kovové části v množství závislém na opotřebení motoru. Tyto částičky působí jako katalyzátor nežádoucích chemických degradačních procesů. Deaktivátory se starají o neutralizaci iontů a vytvoření ochranného filmu na povrchu kovových částí, což zabráňuje následné chemické reakci a tím stárnutí mazací náplně<sup>[2][4]</sup>.

### 1.3.8 Protipěnovostní aditiva

Pěnění maziva je nežádoucí jev, který vzniká při intenzivním promíchávání oleje se vzduchem. Tento jev se z části dá řešit konstrukčními prvky, které zabráňují přelívání oleje, zvláště tento jev nastává u sportovních vozidel, u kterých vlivem intenzivní jízdy v zatáčkách dochází k přelívání oleje. Pěnovost oleje vede nejen ke stárnutí oleje, ale zároveň napomáhá ke stlačitelnosti maziva. V krajním případě dochází k nasátí této pěny a tím k mazání vzduchem.

Protipěnovostní přísady jsou založeny na silikonové bázi<sup>[4][5][6]</sup>.

### 1.3.9 Protiotěrové aditiva

Tato aditiva vytvářejí pomocí chemické reakce vrstvu na povrchu ozubených kol, která zamezuje kontaktu kov na kov. Mezi tyto aditiva patří estery kyseliny fosforečné, dialkyldithiofosfáty zinku, bezpopelné sloučeniny síry nebo fosforu<sup>[3]</sup>.

Jev výše zmíněný je spíše problematikou převodového ústrojí, nicméně i ve spalovacím motoru se můžeme setkat s pohonem ozubenými koly a to konkrétně u pohonu vyvažovacích hřídelů, pohonu olejového čerpadla, či případně pohonu vačkových hřídelů mezi sebou.

### 1.3.10 Antikorozní přísady

Vytvořením ochranného filmu na povrchu součástí se zabráňuje tvorbě korozních činitelů. Ke korozi dochází vlivem působení agresivních sloučenin ze spalování, jakou je například síra obsažená v palivu<sup>[2]</sup>.

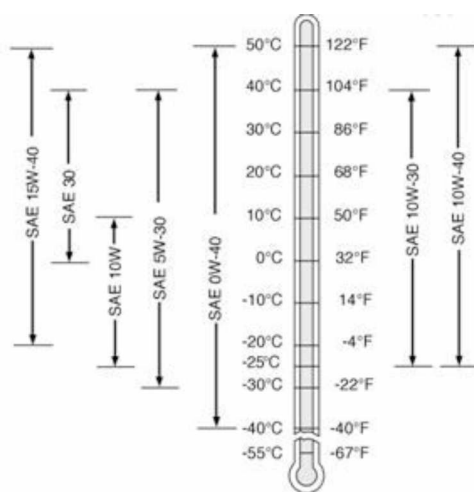
## 1.4 Funkční vlastnosti motorového oleje

Ke správnému plnění požadavků na ně kladených musí mít motorové oleje vhodné vlastnosti. Tyto vlastnosti zajišťují plnění požadovaných funkcí za všech provozních podmínek a po celou dobu životnosti olejové náplně. Jen tím může být zaručena bezporuchovost, spolehlivost a hospodárnost.

Výběr oleje dle jednotlivých funkčních vlastností by byl pro koncového uživatele značně nepřehledný a zdlouhavý. Z tohoto důvodu byly vlastnosti pro přehlednou volbu z hlediska konečného uživatele sloučeny pouze do dvou kategorií - viskozitní a výkonnostní klasifikace.

**Viskozitní klasifikace**, jak již název napovídá, se zaměřuje na rozdělení tříd motorových olejů dle výše zmíněné viskozity. Nejvíce používaná viskozitní klasifikace je dle americké normy SAE (Society of Automotive Engineers). Tato norma rozděluje oleje podle toho, v jakých podnebních podmínkách bude motorový olej pracovat. Oleje označené písmenem "W" jsou zimní třídy (0W, 5W, 10W, 15 W, 20W a 25W), oleje označené pouhým číslem jsou letní třídy (8, 12, 16, 20, 30, 40, 50 a 60).

Trendem v oblasti viskozitní klasifikace je její snižování - menší vnitřní tření znamená menší ztráty, tím menší spotřebu paliva, což vede k menší tvorbě emisí škodlivin<sup>[18][21]</sup>.



Obrázek 3: Příklady teplotních použití jednotlivých druhů olejů<sup>[20]</sup>

Tabulka 2: Rozdělení olejů dle viskozitní normy SAE J300<sup>[19]</sup>

SAE stupeň viskozity	Maximální viskozita za studena [MPa·s <sup>-1</sup> ]	Hranice čerpatelnosti (při viskozitě 60 000 MPa.s) [°C]	Minimální kinematická viskozita při 100°C [mm <sup>2</sup> /s]	Maximální kinematická viskozita při 100 °C [mm <sup>2</sup> /s]	Minimální HTHS viskozita [MPa·s <sup>-1</sup> ]
<b>0W</b>	6200 při -35 °C	-40	3,8		
<b>5W</b>	6600 při -30 °C	-35	3,8		
<b>10W</b>	7000 při -25 °C	-30	4,1		
<b>15W</b>	7000 při -20 °C	-25	5,6		
<b>20W</b>	9500 při -15 °C	-20	5,6		
<b>25W</b>	13000 při -10 °C	-15	9,3		
<b>8</b>			4,0	< 6,1	1,7
<b>12</b>			5,0	< 7,1	2,0
<b>16</b>			6,1	< 8,2	2,3
<b>20</b>			6,9	< 9,3	2,6
<b>30</b>			9,3	< 12,5	2,9
<b>40</b>			12,5	< 16,3	3,5 pro 0W, 5W, 10W 3,7 pro 15W, 20W, 25W
<b>50</b>			16,3	< 21,9	3,7
<b>60</b>			21,9	< 26,1	3,7

**Výkonnostní klasifikace** hodnotí více než jeden parametr a je tedy daleko komplexnějším hodnotitelem, než klasifikace viskozitní. Byla zavedena z důvodu různých kvalitativních požadavků od jednotlivých výrobců vozidel na motorové oleje. Hodnocenými parametry jsou např. oxidační stabilita, ochrana proti otěru, ochrana proti tvorbě úsad, atd.

U výkonnostní klasifikace není sjednoceno hodnocení do jedné normy. Nejznámějšími a nejčastěji používanými jsou evropská ACEA (Association des Constructeurs Européens d'Automobile), americká API (American Petroleum Institute), popřípadě interní normy výrobců vozidel (VW 505.01). Tyto dvě základní normy jsou uzpůsobeny vozidlům, která se na daném kontinentu pohybují - v Evropě převládá provoz maloobjemových vznětových motorů s velkým důrazem na úpravu výfukových plynů. V Americe naopak převládá provoz vysokoobjemových zážehových motorů. Normy nejsou vzájemně kompatibilní a nemělo by doházet k jejich záměně. Normy zároveň reagují na vývoj legislativních předpisů na daném kontinentu<sup>[22]</sup>.

	DIESELOVÉ MOTORY										BENZINOVÉ MOTORY									
API			CF-4																	
			CF-2				CD II													
	CG-4		CF	CE	CD	CC	CB	CA			SA	SB	SC	SD	SE	SF	SG	SH	SJ	SL
ACEA		B4-96	B3-96	B2-96		B1-96								A1-96				A2-96		A3-96
	E4-96	E3-96	E2-96			E1-96														
CCMC				D3	D2		D1					G1		G2	G3					
				D5			D4							G4				G5		
WV																				
MB																				
VOLVO																				
MAN																				

Obrázek 4: Přibližné porovnání jednotlivých klasifikací s jejich využitími<sup>[8]</sup>

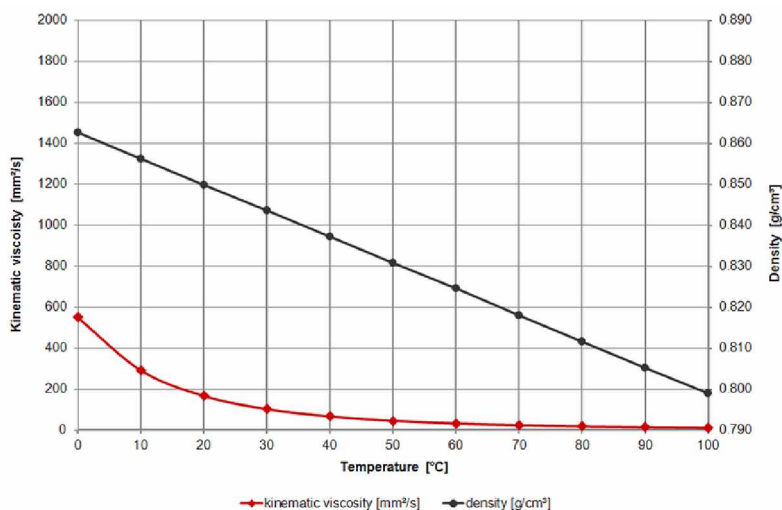
### 1.4.1 Viskozita

Viskozita je veličina udávající míru vnitřního tření v kapalině, v našem případě tedy v oleji. Viskozita má přímý vliv na únosnost mazacího filmu, čerpatelnost maziva, míru vnitřního tření. I proto je jedna z klasifikací olejů (viz výše) zaměřena pouze na viskozitu.

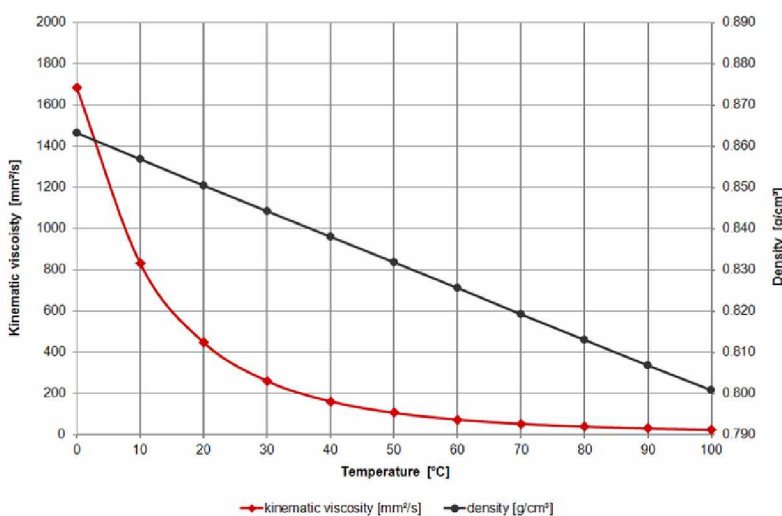
Viskozita, tedy odpor molekul proti pohybu, je veličina, která se mění se změnou teploty, konkrétně nepřímou měrou - s rostoucí teplotou se snižuje a naopak. Motorový olej pracuje ve velmi širokém spektru teplot, je proto žádoucí, aby se viskozita měnila s teplotou co nejméně. Tato závislost viskozity na teplotě se u motorového oleje nazývá **viskozitní index**. Čím vyšší viskozitní index je, tím je viskozita teplotou méně ovlivněna. Viskozitní index se stanovuje porovnáním viskozity zkoušeného oleje s viskozitami dvou standardů - oleje parafinického ( $VI = 100$ ) a naftenického ( $VI = 0$ ).

Viskozitní index lze nejvíce ovlivnit použitou technologií výroby základového oleje. Z přísad lze VI ovlivnit polymerními aditivy, konkrétně polyizobuteny a polymetakryláty<sup>[22]</sup>.

Rozdíl změny viskozity olejů pro různé teplotní režimy je patrný na obrázcích 5 a 6.



Obrázek 5: Závislost viskozity na teplotě pro olej 0W30<sup>[22]</sup>



Obrázek 6: Závislost viskozity na teplotě pro olej 10W60<sup>[22]</sup>

Viskozita se dále dělí na kinematickou a dynamickou. **Dynamická viskozita** je úměrná síle tření, která vzniká mezi dvěma vrstvami proudící kapaliny stýkající se plochou  $1 \text{ m}^2$  a rozdíl jejich rychlostí je  $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . **Kinematická viskozita** je poměrem dynamické viskozity a hustoty kapaliny, tedy oleje.



Zvláštním druhem dynamické viskozity je tzv. HTHS viskozita. Význam zkratk HTHS je High Temperature High Shear, název dostala od podmínek jejího měření, což jsou vysoká teplota (150 °C) a velký smykový spád ( $10^6 \text{ s}^{-1}$ ). Tato viskozita má přímý vliv na tloušťku mazacího filmu - čím je HTHS viskozita větší, tím je mazací film silnější. Podmínky měření HTHS viskozity nejsou nastaveny náhodným rozhodnutím. Velikost smykového spádu při měření je stejná, jako velikost smykového spádu pístní skupiny při maximálních otáčkách. Teplota naopak odpovídá teplotnímu režimu oleje v motoru<sup>[1][5]</sup>.

#### **1.4.2 Teplota tuhnutí**

U parafinických olejů teplotou tuhnutí označujeme teplotu, kdy se z oleje vylučovaných krystalů tuhých uhlovodíků začíná vytvářet a zpevňovat mřížka, která znemožní pohyb oleje. Teplota, při níž se začnou vylučovat první krystaly parafinu, se nazývá teplotou zákalu.

Teplota tuhnutí u neparafinických olejů nastává, když olej vlivem vysoké viskozity přestává téci. Tato teplota je u neparafinických olejů zároveň limitní teplotou pro jejich manipulaci<sup>[1][3][4]</sup>.

#### **1.4.3 Teplota vzplanutí**

Teplota vzplanutí je teplota, při níž začnou po přiblížení zkušebního plamínku hořet olejové páry, které se z oleje vlivem teploty vylučují. Podmínkou je, aby tyto páry hořet přestaly, v opačném případě se již jedná o teplotu hoření. Zkouška se provádí podle normy ČSN EN ISO 2592. Teplota vzplanutí nového oleje se pohybuje okolo 230 °C<sup>[1][3][4]</sup>.

#### **1.4.4 Teplota hoření**

Teplotou hoření je nazván takový stav, při kterém se vylučované páry vznítí a hoří alespoň po dobu 5 sekund.

Obecně teplota vzplanutí a hoření souvisí s chemickým a frakčním složením oleje. Z důvodu menší velikosti molekul a větší odparnosti mají menší teplotu vzplanutí oleje polycyklické oproti olejům alkalickým<sup>[1][3][4][25]</sup>.

#### **1.4.5 Odparnost**

Odparnost maziva je důležitým parametrem nejen v oblasti teploty vzplanutí, popřípadě hoření. Motorový olej pracuje ve slabém filmu na tepelně vysoce zatížených

místech. Příkladem tomu jsou tepelné rozdíly v jednotlivých částech motoru - v prostoru ojnicích ložisek má olej teplotu 160 - 180 °C, olej procházející ložiskem turbodmychadla až 200°C a v oblasti pístních kroužků dosahuje teplota téměř 250 °C. Je tedy nežádoucí, aby se vlivem odpaření porušil mazací film a tím došlo k poruše mazání<sup>[1][3][4][24]</sup>.

#### **1.4.6 Termooxidační stálost**

Olejová náplň je během svého působení ve spalovacím motoru vystavena oxidačnímu namáhání. V době provozu motoru je toto namáhání ještě podporováno termickým působením a katalytickou reakcí s celou řadou kovů. Termooxidační stálost je tedy jedním z hlavních parametrů, který udává životnost motorového oleje.

Oxidaci, respektive její iniciaci, je věnována značná pozornost. Získané poznatky napomáhají zabránit nežádoucímu průběhu oxidace, zpomalení oxidace a v neposlední řadě minimalizovat následky oxidací vzniklé.

Oxidace oleje probíhá oxidací jeho uhlovodíkové složky. Ta je vyvolána volnými radikály, které vznikají roztržením uhlovodíkové vazby. Energie potřebná pro oxidaci je dodána teplem, rychlost je ovlivněna katalytickými účinky kovů, v nichž olej proudí. Oxidace je doprovázena změnou barvy oleje, konkrétně jejím tmavnutím, dále také změnou kyselosti a viskozity. Produkty oxidace vedou k tvorbě usazenin a kalů a to zvláště v místech s malou fluktuací oleje. Pro zvýšení termooxidační stálosti jsou do oleje přidávány inhibitory.

Oxidace motorových olejů je složitým procesem, jehož studium spadá do oblasti organické chemie, než do tribodiagnostiky olejů<sup>[1][3][4][25]</sup>.

#### **1.4.7 Nitrační stálost**

Nežádoucím, avšak nevyhnutelným, jevem je styk motorového oleje s horkými spaliny. Při smíšení paliva se vzdušným kyslíkem a následně jeho spálením vznikají oxidy dusíku ( $\text{NO}_x$ ). Nitrace probíhá při jejich styku s motorovým olejem, výsledným produktem této reakce jsou organické nitráty  $\text{R-O-N-O}$ <sup>[4][5]</sup>.

#### **1.4.8 Biologická odbouratelnost**

Po ukončení funkční životnosti je třeba s motorovým olejem náležitě nakládat. Některé oleje jsou regenerovány a mohou tedy být znovu použity v pro svou funkci.

Pro neregenerované oleje je důležitá biologická odbouratelnost. Ta má vypovídající hodnotu v oblasti chemického rozkladu, který je nezbytný pro nezatížení ekologické stopy. S veškerými použitými oleji je tedy potřeba nakládat dle příslušných předpisů, volná expozice do jedné složek životního prostředí není přípustná.

Nevyhnutelným jevem je únik motorového oleje z provozu vozidel na pozemní komunikaci. Splašky se pak olej dostává do podzemních vod. Pokud tento nežádoucí jev nastane, je důležitá jeho netoxičita<sup>[5][6][25]</sup>.

#### **1.4.9 Snášlivost s konstrukčními materiály**

Je nezbytné zaručit snášlivost se všemi druhy konstrukčních materiálů, které jsou v systému olejové náplně, zvláště je toto nutno dodržet u těsnících prvků, aby nedošlo k porušení jejich funkce<sup>[5][25]</sup>.

#### **1.4.10 Kyselost - TAN**

Total acid number, neboli číslo celkové kyselosti, jenž charakterizuje obsah kyselých podílů. Kyselé zplodiny (aldehydy, ketony) se do oleje dostávají ze spalín, nejčastěji z oxidů dusíku a síry, nebo jako produkt stárnutí a oxidace motorového oleje. Nový olej má hodnotu TAN okolo 3mg KOH/g. U opotřebeného oleje se TAN pohybuje v rozmezí 7-10 mg KOH/g<sup>[1][3][4]</sup>.

#### **1.4.11 Alkalická rezerva - TBN**

Total base number, v překladu alkalická rezerva oleje. Alkalické složky detergentů mají schopnost neutralizovat kyseliny vzniklé při spalování. Hodnota TBN u nového oleje je 8-13 mg KOH/g. Je vždy nutné, aby číslo TBN bylo vyšší než číslo TAN. Jen tím může být docíleno stálé neutralizace kyselých produktů vzniklých při spalování.

Hlavními zástupci alkalických složek jsou tzv. micely, jejichž jádro je tvořeno většinou vápencem (uhličitan vápenatý  $\text{CaCO}_3$ ). Tento vápenec je schopen reakce a tím neutralizací s kyselými látkami. Při této reakci dochází k jeho spotřebovávání.

Obě hodnoty, TAN i TBN, se stanovují titračně<sup>[1][3][4]</sup>.

#### **1.4.12 Stříhová stabilita**

Stříhová stabilita je vlastnost přímo ovlivňující viskozitu oleje. Charakterizuje schopnost odolávat velkým stříhovým napětím, kterým je olej během provozu vystaven.

Toto obzvláště platí v oblasti horní úvratě, kde se teplota pohybuje na úrovni 250 °C a rychlost pístu se blíží nule. V důsledku vysokého tepelného a stříhového zatížení může dojít k destrukci dlouhých řetězců molekul polymerů, což má za následek nevratnou ztrátu viskozity a tím zhoršení mazacích podmínek<sup>[1][3][4]</sup>.

#### **1.4.13 Emulgace**

Při smíchání s vodou má mazivo tendenci se oddělit. Emulgační číslo je indexem tendence jakéhokoliv oleje emulgovat s vodou<sup>[25]</sup>.

#### **1.4.14 Anilinový bod**

Anilinový bod dává informaci o podílu parafinu v oleji - čím vyšší, tím větší množství. Svůj název získal podle způsobu stanovení - je to nejnižší teplota, při které je olej dokonale mísitelný se stejným objemem anilinu<sup>[25]</sup>.

#### **1.4.15 Barva**

Jednou z vlastností oleje je barva. Pro jeho funkčnost ale nemá žádný význam<sup>[25]</sup>.

### **1.5 Degradace oleje**

Životnost motorového oleje je závislá na mnoha faktorech. Opotřebení nelze usuzovat pouze z jedné naměřené hodnoty, neboť některé parametry jsou protichůdné a navzájem se ovlivňují. Je tedy potřeba vícero měření, které vytvoří komplexní pohled na stav motorového oleje.

Motorové oleje jsou vysoce provozně namáhány (tepelné, oxidační namáhání), dochází tedy ke změně jejich chemických a fyzikálních vlastností. Tyto změny ovlivňují základní funkční vlastnosti, jako například termooxidační stálost, alkalická rezerva, antikoroziční vlastnosti nebo detergentně - disperzanční vlastnosti. Tyto změny jsou nežádoucí a vedou k nenávratné degradaci oleje. Přítomnost a množství níže uvedených druhů nežádoucích příměsí bezprostředně ovlivňuje rychlost degradace motorového oleje. Tyto kontaminanty je možné kvantitativně i kvalitativně stanovit, je tedy možné z odebraných vzorků stanovit, jak na tom olej v oblasti opotřebení je<sup>[2]</sup>.

#### **1.5.1 Voda**

Vodou myšlena opravdu voda, nikoliv chladicí kapalina, která často pojmem "voda" bývá chybně označována. Přítomnost vody je nežádoucí. Při intenzivním

promíchávání vzniká emulze, která samozřejmě nemá požadované mazací schopnosti. Existují dva způsoby možného výskytu vody v motorovém oleji.

Prvním je kondenzace vzdušné vlhkosti, která se do motoru dostane s nasávaným vzduchem. To bývá problém při změně teplot, typicky tedy při startu a v době, než se motor zahřeje na provozní teplotu.

Druhým možným způsobem výskytu je voda jako produkt spalování paliva. Spálením paliva vzniká mimo jiných produktů spalování i vodní pára. Většina vodní páry odchází výfukovým potrubím do ovzduší, malé procento ovšem ulpí na stěnách válců a dostane se dále přes pístní kroužky až do klikového, olejem mazaného prostoru.

Přítomnost vody v oleji má oproti ostatním kontaminantům jednu výhodu – jedná se o vratný jev. Při delší jízdě je tedy možné vodu z oleje opět odpařit. Přesto zůstává v olejové náplni voda ve stopové koncentraci. I nízké koncentrace vody působí hydrolyticky a jsou příčinou degradace detergentně-disperzantních přísad či příčinou vysrážení aditiv ve formě úsad a kalů. Není tedy vhodné absolvovat s vozidlem pouze krátké trasy bez zahřátí motoru na provozní teplotu. Výrazně se tím zkracuje životnost motorového oleje. Při rozhodnutí o výměně je tedy nutné přihlédnout i k časovému hledisku, popřípadě způsobu namáhání, kterým olej prochází, a ne jen k naplnění kilometrického proběhu.

Maximální obsah vody v oleji není normovaný. Na základě náročných zkoušek byla stanovena obecně přijímaná hranice a to 0,1% hm.<sup>[2][11]</sup>.

#### **Možné metody detekce vody v oleji:**

- Prskací test na horké podložce.
- Kapková zkouška na chromatografickém papíru - při přítomnosti vody vzniká na vnějším okraji bezbarvý kruh.
- Destilační zkouška.
- FTIR spektrometrií – absorpční pás v oblasti vlnočtů kolem  $3\,400\text{ cm}^{-1}$ .

Jsou i další metody, kterými je možno zjistit přítomnost vody v oleji. Nicméně stanovení není jednoznačné, neboť jsou i další parametry, které mohou test ovlivnit a tím výsledek zkreslit, jako je tomu i například u měření dielektrické konstanty oleje - záporné ovlivnění vodou, kladné přítomnými částicemi.

### 1.5.2 Palivo

Ani motor v nejlepším technickém stavu nespáluje palivo beze zbytku, ať jde o benzín či naftu. Množství nespáleného paliva závisí na kvalitě jeho rozprášení vstřikovacím ventilem. S příchodem moderních vstřikovacích systémů pracujících s vysokým tlakem došlo k eliminaci tohoto problému, na druhou stranu pozdní vstřík vykonaný na konci pracovního cyklu určený k regeneraci filtru pevných částic vysoce přispívá ke kontaminaci oleje palivem. Při regeneraci filtru pevných částic se musí dosáhnout ve výfukovém potrubí zápalné teploty sazí, která je za běžných podmínek nedosažitelná. Vstříknuté palivo se tedy potrubím dostává k oxidačnímu katalyzátoru, kde pomocí chemických reakcí začne hořet a zvýší teplotu ve výfuku na zápalnou teplotu sazí. Problém tkví právě v cestě paliva potrubím, která samozřejmě začíná ve válci, na jehož stěnách část paliva ulpí a je setřena pístními kroužky do klikového prostoru a následně do oleje. Tento problém by měl být eliminován katalyzátory SCR, které nesnižují zápalnou teplotu sazí pomocí dodatečného paliva, nýbrž pomocí močoviny.

Palivo v motoru přímo ovlivňuje viskozitu, konkrétně její pokles. Tento parametr má přímý vliv na tloušťku mazacího filmu a stříhovou stabilitu. S vyšším obsahem paliva je tedy vyšší pravděpodobnost porušení mazacího filmu, což opět vede k většímu opotřebení motoru.

Přirozený objemový podíl paliva v oleji je 1-2 %obj., maximální přípustný pak 4 %obj.. U motorů s filtry pevných částic a zároveň oleji s prodlouženými intervaly je tedy nutné sledovat jeho viskozitu, která se samozřejmě s vyšším počtem regenerací filtru snižuje<sup>[2][12]</sup>.

#### **Možné metody pro stanovení paliva v oleji:**

- Stanovení bodu vzplanutí - bod vzplanutí nového oleje se pohybuje v rozmezí 220 - 240°C. Přítomnost paliva v oleji způsobuje snížení bodu vzplanutí. U olejů pro vznětové motory nesmí bod vzplanutí poklesnout pod 180 - 190 °C, oleje pro zážehové motory mají díky nižší zápalné teplotě benzínu tento bod nižší, konkrétně 160 °C.
- Plynová chromatografie - signál paliva je oddělen od signálu oleje. Lze vypočítat i koncentraci paliva, která je rovna intenzitě signálu.
- Měření viskozity → podezření na kontaminaci oleje palivem. Tato zkouška je neprokazatelná, neboť snížení viskozity může být způsobeno i jinými kontaminanty a také stříhovou nestabilitou modifikátorů viskozity.

- Infračervená spektroskopie FTIR - pásmo 745 - 805 cm<sup>-1</sup>.

### 1.5.3 Glykol

Přirozený výskyt glykolu v motorovém oleji neexistuje. Chladicí a mazací soustavy motoru jsou striktně odděleny, nález glykolu v oleji tedy poukazuje na vzájemnou netěsnost těchto částí, na netěsnost chladicího systému vůči systému sání, popřípadě vůči spalovacímu prostoru.

Mezi nejčastější příčiny netěsnosti patří vadné těsnění hlavy válců, tepelný výměník olej-voda nebo také prasklina mezi mazacím a chladicím kanálem na hlavě válců, popřípadě bloku motoru.

Problém v netěsnosti chladicího a sacího systému je poměrně novinkou a je způsoben dokonalejšími emisními systémy. Konkrétně se jedná o netěsnost chladiče EGR plynů, netěsnost chladiče sacího potrubí nebo závada na chlazení turbodmychadla.

Netěsnost chladicího systému vůči spalovacímu prostoru může být způsobena opět vadným těsněním hlavy motoru. Jednu z častých závad na starších konstrukcích motorů a to provozem vytvořený nedostatečný přesah vložek válců již dnes můžeme opomenout, dnešní současné motory typu "Opencode" nebo "Closeddeck" již mají vložky válců součástí bloku motoru a na tento typ závady netrpí. K daleko větším problémům dochází vlivem současného navyšování kompresních tlaků, a to konkrétně ke kroucení bloků motorů, které svou povahou vytvoří netěsnost mezi výše zmíněnými okruhy. Typickým případem této novodobé závady jsou motory Ecoboost produkované automobilkou Ford.

Glykol je složkou všech nemrznoucích kapalin a to ve formě etylenglykolu nebo propylenglykolu. Dalším problémem jsou aditiva obsažená v chladicí kapalině. Antikoroze zabraňující korozi chladicího systému negativně ovlivňují parametry motorového oleje. Oproti vodě stačí glykolu velmi malé množství pro nevratnou degradaci a zhoršení parametrů motorového oleje.

Typickými příznaky výskytu glykolu v oleji je jeho rychlé zčernání, ztráta tekutosti, vytváření úsad a kalů.

Nutnou podmínkou při nález stop chladicí kapaliny v oleji je odstranění závady, která výskyt způsobuje. Dále nestačí pouhá výměna motorového oleje, je třeba kompletního proplachu motoru, aby bylo docíleno čistoty bez zbytků chladicí kapaliny v motoru. V případě nedůsledného vyčištění dochází k rychlému znehodnocení nové olejové náplně<sup>[2][11]</sup>.

### **Možné metody pro stanovení glykolu v oleji:**

- FTIR - přítomnost glykolu se nejlépe určuje pomocí infračervené spektroskopie, kde má velmi prokazatelné dva pásy v oblasti vlnočtů kolem  $1040\text{ cm}^{-1}$  a  $1080\text{ cm}^{-1}$ .
- Atomová emisní spektrometrie (AES) - nález 50 ppm sodíku v použitém motorovém oleji a zároveň zvýšený obsah bóru znamená průnik nemrznoucí směsi do oleje v objemu zhruba desetiny objemu olejové náplně.

### **1.5.4 Saze**

Saze jsou produktem nedokonalého spalování nafty, jsou karcinogenní, je třeba tedy omezit vozy se vznětovým motorem. Tato mýlka, nejspíše podložená zkušenostmi s kouřícími dieselovými auty minulého století, panuje Evropskou unií. Saze nejsou nic jiného než čistý, tvrdý uhlík, a jsou produktem hlavně spalování paliva za chudé směsi, typické pro vznětový motor. Tyto viditelné saze vycházející z výfuků sice byly karcinogenní, nicméně velikost částic byla 4-10  $\mu\text{m}$ , pro člověka tedy nebyl problém zachytit je v nosu, ty menší z nich až v nosohrtanu.

Daleko větší problém představují saze produkováné vznětovými vozidly pracující s vysokými tlaky vstřikování a zároveň absencí filtru pevných částic. Velikost částic je 1-2  $\mu\text{m}$ , není možné je zachytit, dostávají se tedy do plic, kde je nebezpečná jejich karcinogenita.

Jenže moderní přímovstříkové zážehové motory jsou taktéž schopny pracovat za chudé směsi, tedy vysokém poměru  $\lambda$ . Jednoduchým důkazem tvorby sazí zážehových motorů je "zakouřená" vnitřní část koncovky výfuku. V tribotechnické problematice je tedy nutné sledovat obsah sazí i u olejů pocházejících z motorů spalujících benzín.

Problém u sazí v motorovém oleji je jejich tendence se shlukovat. Tomu by měly zabráňovat disperzanty, nicméně i jejich obsah je v oleji omezený, opět se tedy nedoporučuje zbytečně natahovat výměnné intervaly.

Saze se do oleje dostanou stejně jako většina nečistot procházející přes spalovací prostor - přes pístní kroužky. Navíc technologie EGR zpětného vedení výfukových plynů do sání zajistí, že i saze vhodně odvedené výfukovým potrubím se do spalovacího prostoru znovu vrátí.



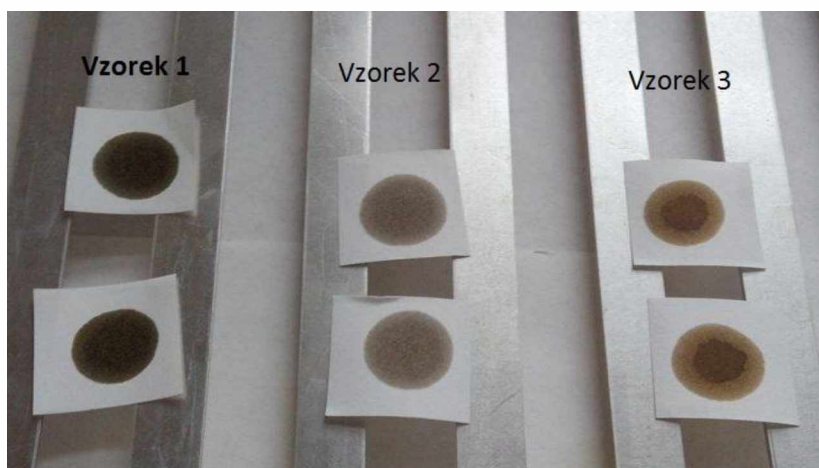
Jak již bylo výše zmíněno, saze jsou tvrdého charakteru. Olej jimi kontaminovaný má tedy negativní účinky v oblasti abrazivního opotřebení ploch, s nimiž je v kontaktu, konkrétněji je možné připodobnit vysoký obsah sazí v oleji v použití brusné pasty.

Obsah sazí má také přímý vliv na viskozitu, s rostoucím obsahem viskozita roste. Zde se tedy dostáváme k příkladu, jež je důkazem, že stanovení viskozity použitého oleje není jednoznačným parametrem pro určení jeho životnosti. Za předpokladu, že v oleji bude zároveň voda, budou se tyto dva parametry vzájemně vylučovat a výsledek z měření viskozity bude vyhovovat. Opět tedy musí být zdůrazněno, že pro stanovení znečištění motorového oleje je zapotřebí více komplexnějších testů.

Limitní koncentrace sazí je přibližně 5 % hm. <sup>[2][13]</sup>.

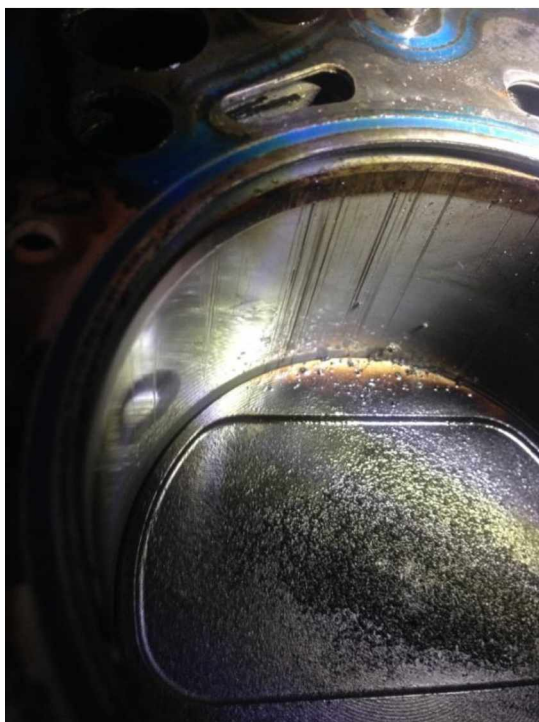
#### **Možné metody pro stanovení vody v oleji:**

- Kapkový test - vnitřní kruh má tmavší barvu než vnější.
- FTIR - pokles transmittance při  $2000\text{ cm}^{-1}$ .



**Obrázek 7: Kapkový test** <sup>[Autor]</sup>

Na obrázku 3 je vyobrazena jednoduchá kapková zkouška ze tří různých vzorků motorového oleje. U vzorku 1 a 3 je patrné jiné zbarvení vnitřních kruhů, můžeme tedy o vzorcích říct, že olej je kontaminován sazími. Pro kvantitativní určení sazí je nutné použít technologii infračervené spektroskopie.



Obrázek 8: Poškození nikasilové vrstvy válců motoru 4.2l V8 Audi<sup>[Autor]</sup>

Na obrázku 8 je vidět karbonem způsobené abrazivní poškození. Tento karbon se usadil na pístních kroužcích. Následkem toho došlo k nenávratné destrukci stěn válců a to pouhou zanedbanou údržbou a prodlouženými výměnnými intervaly oleje.

### 1.5.5 Mechanické nečistoty a prachové částice

Obsah mechanických a prachových částic může mít původ z několika možných zdrojů. Nejpravděpodobnějším zdrojem částic bývá nasávaný vzduch, který sice bývá filtrován, ale limita filtrovatelnosti částic opět existuje. I zde platí, že se vyplatí použití dokonalejších čističů vzduchu, jejichž kvalita samozřejmě koresponduje s cenou.

Dalším zdrojem je nasávané palivo, které je kromě uhlovodíkové složky ještě nositelem spousty dalších látek a nečistot, které se do něj dostávají během výroby a distribuce. Většina větších nečistot se zachycuje v palivovém filtru, menší procházejí dále vstříkovací soustavou až do spalovacího prostoru, respektive do oleje.

Nerozpustné nečistoty mohou také pocházet ze samotného oleje. Termickým a oxidačním namáháním oleje vznikají nerozpustné kaly, úsady a karbonové povlaky.

Výše zmíněné částice mají vlivem shlukovacích schopností velikost až řádu mikrometrů, jsou často velice tvrdé, jejich povrch je polární a svou povahou se přibližují sazím. Částice jsou v největší míře zastoupeny křemičitým pískem<sup>[14][15]</sup>.

### **Možné metody pro stanovení nečistot v oleji:**

- Filtrace přes mikroporézní papír - olej je nutné předem rozpustit v pentanu či hexanu, aby se snížila jeho viskozita a bylo jej možné filtrovat. Množství mechanických nečistot na filtru lze zvážit a vypočítat hmotnostní podíl nečistot v oleji.
- Kapková zkouška - nutná zkušenost technika pro vyhodnocení
- Odstředěním ve směsi HEO
- Infračervená spektroskopie - zvýšená absorpce základní linie spektra v oblasti  $2000\text{ cm}^{-1}$

### **1.5.6 Otěrové částice**

Otěrové částice nejsou externího původu. Jsou reakcí na vnitřní opotřebení motoru. Částice do velikosti  $3\text{ }\mu\text{m}$  obsažené v oleji nejsou pro motor problémem, neboť jsou s rezervou menší, než vůle mezi jednotlivými komponenty. Problém vzniká u částic větších než  $5\text{ }\mu\text{m}$ .

Charakter a povaha částic je závislá na výrobci motoru, respektive na materiálech, které výrobce pro výrobu použije. Při zjištění přítomných částic je dle materiálu částic nutné identifikovat třecí dvojici, ze které částice pochází, stanovit poškození a přistoupit k nápravným opatřením, aby nedošlo k další iniciaci tření a opotřebení i po výměně za nový olej. Díky charakteristickým materiálům používaných při výrobě jednotlivých částí motorů je možné určit, ze které konstrukční skupiny částice pocházejí. Přibližné otěrové kovy s jejich zdroji jsou uvedeny v tabulce 2. Dále jsou v tabulce uvedeny prvky, které mohou být vytvořeny následkem procesů při stárnutí oleje, případně aditiva sloužící k zabránění těchto jevů. Limitní hodnoty otěrových kovů jsou uvedeny v tabulce 3.

Bylo pravidlem, že motorový olej byl v novém nebo repasovaném motoru měněn po ujetí záběhové doby dílů. Dnes toto pravidlo již neplatí. Přísné výrobní tolerance a dokonalejší technologické výrobní postupy mají za následek, že otěrových záběhových částic nebývá více než částic z normálního provozu motoru<sup>[14][15]</sup>.

### **Možné metody pro stanovení otěrových částic v oleji:**

- Ferrografie – tvar a morfologie otěrových částic - přímé vyhodnocení.
- Emisní spektrometrie – vyhodnocuje se pomocí obsahu detergentů a deaktivátorů kovů (Ca, Mg, Ba).

Tabulka 3: Prvky v oleji s jejich možnými zdroji<sup>[15][16]</sup>

Prvek	Možné zdroje
Antimon	Ložiska
Barium	Anti-korozní a anti-oxidační aditivum
Bor	Anti-korozní aditivum
Cín	Ložiska
Draslík	Aditiva chladicích kapalin
Fosfor	Protiotěrové aditiva
Hliník	Písty, ložiska, vymežovací podložky
Hořčík	Hřídele, ventily, aditiva
Chrom	Pístní kroužky
Měď	Ložiska, ozubená kola
Molybden	Pístní kroužky, modifikátor viskozity
Nikl	Ventily, ložiska, lopatky turbodmychadla
Olovo	Ložiska, palivová iditiva, protiotěrové přísady
Silikon	Těsnící prvky
Sodík	Aditiva Ložiska, hřídele
Stříbro	Ložiska, hřídele
Titan	Ložiska, lopatky turbodmychadla
Vápník	Detergentně-disperzantní přísady
Zinek	Těsnění, protiotěrové přísady
Železo	Hřídele, písty, válce

Tabulka 4: Limitní hodnoty otěrových prvků v oleji<sup>[17]</sup>

Prvek	Vznětový motor [ppm]	Zážehový motor [ppm]
Cín	25	40
Hliník	40	50
Chrom	40	10
Měď	75	400
Nikl	15	20
Olovo	40	50
Silicon	50	50
Stříbro	5	5
Železo	80	300

## 2. Analýza motorových olejů

### 2.1 Tribodiagnostika

Tribologie je věda zabývající se vzájemně pohybujícími se povrchy. Při kontaktu těchto povrchů dochází k odporu proti vzájemnému pohybu, vzniká tedy tření. Následkem tření dochází k opotřebení. Zmíněné tření a opotřebení lze eliminovat vhodným mazáním.

Jako každá diagnostika je i tribodiagnostika nedestruktivní a bezdemontážní. Tribodiagnostika využívá mazivo jako zdroj informací o dějích, které v mazaných součástech nastávají. Poskytuje nejen informace o stavu maziva, ale zároveň i o stavu technického zařízení, v němž mazivo proudí. Pravidelným zjišťováním parametrů maziva lze predikovat vývoj opotřebení jak maziva, tak mazané součásti<sup>[4]</sup>.

Cíle tribotechnické diagnostiky:

- Zamezení poruchy vlivem nedostatečné funkce oleje.
- Snížení poruchovosti a neplánovaných odstávek.
- Úspory z předčasných výměn olejů - maximální využití olejové náplně.
- Snížení ekologické zátěže dostatečným využitím olejů - šetření ropnou surovinou.
- Stanovení zbytkové životnosti.
- Zvýšení životnosti strojů a úspora investic.
- Zhodnocení stavu oleje a technického stavu strojního zařízení.
- Snížení energie potřebné k pohonu motoru.
- Správná diagnostika už vzniklé poruchy v motoru.

Nutnou podmínkou správné diagnostiky motorového oleje je individuální posouzení stupně degradace na základě analýzy z několika měření. To, že je parametr vyhovující, neznamená, že samotný olej je vyhovující pro další použití. Příkladem tomu je možné uvést viskozitu. Ta se průnikem paliva do oleje snižuje, přítomností sazí naopak zvyšuje. Současnou přítomností těchto vylučujících se kontaminantů může nastat stav, kdy viskozita bude vyhovovat, ale obsah paliva respektive sazí nebude v přijatelných normách. Parametry vypovídající o stavu maziva se zjišťují laboratorními metodami. Laboratorní metody vhodné k určení stavu oleje jsou popsány níže.

## **2.2 Odběr vzorků motorového oleje**

Před vlastním měřením je důležité věnovat důslednou pozornost odběru analyzovaných vzorků. Je nutné si uvědomit, že správnost měření začíná již při odběru vzorku. Vzorek musí být reprezentativní, tj. jeho kvalita musí odpovídat kvalitě celé olejové náplně. Kroky, které by neměly být při odběru opomenuty, jsou uvedeny níže:

- Olej musí být zhomogenizovaný - docílení reprezentativnosti vzorku.
- Olej se odebírá při provozní teplotě, minimálně 65°C.
- Při odebrání je nutné zabezpečit čistotu okolí odběrového místa.
- Odběr se provádí ze stejného místa v motoru.
- Zajistit čistotu vzorkovnice, její řádné zapečetění a označení<sup>[4]</sup>.

## **2.3 Základní tribotechnické metody**

Pro určení stavu motorového oleje je možné využít velké množství tribotechnických testů. Rozhodující faktor pro zvolení dané techniky je časová náročnost, jakou test vyžaduje, ale hlavně také to, jak přesný obraz si chceme o zkoušeném oleji vytvořit. Pro základní charakteristiku je možné využít rychlých "příručních" metod, naopak pro komplexní vyhodnocení je nutné použít složité instrumentální metody.

Ať už zvolíme jakoukoliv z metod, pro určení zbytkové životnosti je nutné stav oleje monitorovat.

### **2.3.1 Stanovení viskozity**

Problematika viskozity byla vysvětlena v kapitole 1.4.1. Stanovení viskozity použitého motorového oleje bývá jednou z nejčastěji používaných základních charakteristik, neboť během používání oleje dochází k nenávratným změnám tohoto parametru, který má zásadní vliv na únosnost mazacího filmu.

Snížení viskozity bývá nejčastěji způsobeno přítomností paliva, což bývá doprovázeno snížením bodu vzplanutí motorového oleje, což lze ověřit příslušnými testy viz kapitola 2.3.2.

Zvýšení viskozity je způsobeno termickými a polymeračními reakcemi nebo také přítomností sazí v oleji. Při podezření na kontaminaci sazemi je dobré ověření testem Stanovení karbonizačního zbytku viz kapitola 2.3.4, popřípadě Infračervenou spektroskopií viz kapitola 2.4.2.

Stanovení viskozity se obvykle provádí při teplotách 40 °C a 100 °C, neboť z těchto hodnot lze následně dopočítat viskozitní index, který spolehlivě informuje o změně viskozitní závislosti na teplotě.

**Dynamická viskozita** se stanovuje Hopplerovým viskozimetrem, který obsahuje měřicí trubici, v níž je kulička a měřená kapalina. Dle doby pádu této kuličky se podle vzorce 1 stanoví dynamická viskozita<sup>[2][19]</sup>.

$$\eta = k \cdot t \cdot (\rho_1 - \rho_2)(1)$$

Kde:

$\eta$ .....dynamická viskozita [MPa·s<sup>-1</sup>]

$k$ .....konstanta viskozimetru

$\rho_1$ .....hustota kuličky [g·cm<sup>-3</sup>]

$\rho_2$ .....hustota kapaliny [g·cm<sup>-3</sup>]

$s$ .....doba pádu kuličky [s]

**Kinematickou viskozitu** je možno vypočítat z podílu dynamické viskozity a hustoty kapaliny dle vzorce 2.

$$\nu = \frac{\eta}{\sigma} \quad (2)$$

Kde:

$\nu$ .....kinematická viskozita [m<sup>2</sup>·s<sup>-1</sup>]

$\eta$ .....dynamická viskozita [MPa·s<sup>-1</sup>]

$\sigma$ .....hustota kapaliny [kg·m<sup>-3</sup>]

Pro stanovení kinematické viskozity se používají viskozimetry, které měří dobu průtoku definovaného objemu kapaliny kapilárou (ČSN EN ISO 3104). Kinematická viskozita se poté určí součinem doby průtoku s konstantou viskozimetru.

**Stabingerův viskozimetr** Anton Paar SVM 3000 je rotační viskozimetr, jenž je schopen stanovit komplexní charakteristiky spojené s viskozitou, tedy změřit dynamickou viskozitu při 40 °C a 100 °C, viskozitní index a hustotu při 15 °C, a z těchto hodnot dopočítat kinematickou viskozitu při 40 °C a 100 °C.

Stabingerův viskozimetr pracuje na principu zjištění stabilní rychlosti měřícího rotoru, v němž je integrován magnet, který plave v měřeném vzorku. Stabilní rychlosti



se dosáhne v okamžiku, kdy je v rovnováze smykové napětí generované vzorkem spolu s brzdými účinky vířivého elektrického pole.



Obrázek 9: Viskozimetr Anton Paar<sup>[Autor]</sup>

Viskozita by se neměla měnit o  $\pm 20\%$  oproti hodnotě viskozity nového oleje.

### 2.3.2 Bod vzplanutí

Normovaná zkouška pro bod vzplanutí je označena ČSN EN ISO 2592 a nazývá se Stanovení bodu vzplanutí a hoření v otevřeném kelímku dle Clevelanda. Cílovou skupinou pro zkoušku jsou pro ropné produkty s teplotou vzplanutí nad 79 °C.

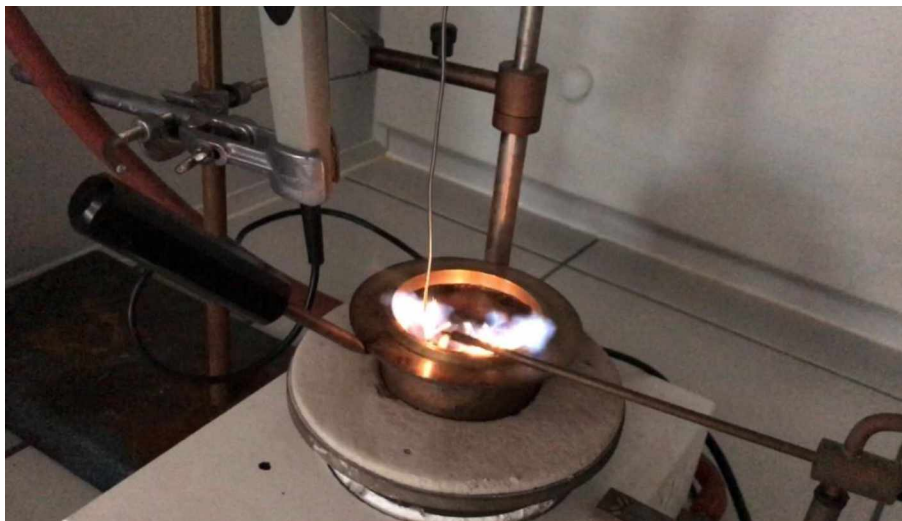
Bod vzplanutí podle Clevelanda nastává v okamžiku, kdy páry vytvořené zahříváním po přiblížení zkušebního plamínku vzplanou a opět zhasnou. Hodnota má kromě hodnocení použitého oleje význam i pro zařazení oleje do třídy hořlavosti kapalin - je tedy významnou požárně-bezpečnostní charakteristikou. U použitých olejů je zpravidla snížení teploty vzplanutí důsledkem zředění oleje palivem, tj. lehkými, snadno zápalnými frakcemi.

Zkouška je normovaná, má tedy přesně definovaný postup. Definovaný objem vzorku se naplní do zkušebního kelímku. Teploměr sledující teplotu vzorku se umístí tak, aby se jeho spodní okraj nacházel 6 mm ode dna kelímku. Na hořáku se nastaví plamínek o šířce 4 mm. Rychlost zahřívání musí probíhat tak, aby teplota stoupala 15 °C za minutu - to platí na začátku testu. 50 °C pod předpokládanou teplotou vzplanutí se rychlost ohřevu zreguluje tak, aby stoupala o 5-6 °C za minutu. Po ustálení ohřevu se



rovnoměrným pohybem přejíždí zkušebním plamínkem nad zkoušeným vzorkem a zkouší se zápalnost par. V okamžiku zapálení a zhasnutí par se odečte teplota vzplanutí

Teplota vzplanutí nového oleje se pohybuje kolem 230 °C, u použitého oleje by neměla klesnout pod 180 °C<sup>[2][3][5]</sup>.



Obrázek 10: Bod vzplanutí u testovaného vzorku Clevelandovou metodou<sup>[Autor]</sup>

### 2.3.3 Bod tuhnutí

Pro stanovení bodu tuhnutí je normovaná zkouška ČSN 65 6072 - Stanovení bodu tuhnutí motorových naft a minerálních olejů.

Ochlazování ropných produktů doprovází jev vylučování tuhých uhlovodíků - parafinů. Mřížka vzniklá z parafinů se s narůstajícím ochlazováním zpevňuje a zabraňuje tím pohybu oleje.

Při zkoušce se definovaný objem oleje ochlazuje předepsaným způsobem. Při ochlazování se sleduje vznik prvních krystalů parafinů. Teplota, při které olej přestává téci, se nazývá bod tuhnutí. Tekutost se zkouší vychýlením zkumavky z rovnovážné polohy. Bod tuhnutí informuje o teplotě, do které lze s olejem manipulovat<sup>[2][3][5]</sup>.

### 2.3.4 Conradsonův karbonizační zbytek

Stanovení karbonizačního zbytku je výhodné z hlediska stanovení náchylnosti k tvorbě uhlíkatých zbytků. Vysoká hodnota tohoto parametru má za následek zvýšenou

tvorbou uhlíkatých úsad, jenž se po vyčerpání detergentů a disperzantů shlukují a napomáhají k celé řadě nežádoucích degradačních jevů a tvorbu úsad

Zkouška probíhá termickým rozkladem oleje za nepřístupu vzduchu. Při zkoušce se zahřívá 10 g vzorku v přístroji pomocí Méckerova kahanu. Ohřev se nastavuje tak, aby se za 10 minut (doba zahřívání) mohly vznítit páry unikající ze vzorku. Po dalších 7 minutách zahřívání v témž přístroji se stanoví váhové množství nespalitelného karbonizačního zbytku.

Podobnou metodou, avšak za jiných podmínek je metoda stanovení zbytkového popela (ČSN 65 6063), rozdíl v postupu je ten, že termický rozklad probíhá za přístupu vzduchu<sup>[2][3][5]</sup>.

### **2.3.5 Stanovení objemu vody**

Kvalitativní stanovení přítomnosti vody je možné zjistit pomocí tzv. Prskacího testu dle ČSN 65 6231. Na horkou destičku se nanese kapka oleje. Pokud nanesení doprovází zvukový efekt v podobě prskání, je možné s jistotou uvést, že daný vzorek obsahuje vodu.

Ke kvantitativnímu stanovení je určena zkouška ČSN 65 6062 Stanovení obsahu vody. Zkouška je založena na bázi destilace vzorku v xylenu nebo benzínu, při které páry rozpouštědla s sebou strhávají kapky vody. Vzniklá směs se po ustálení oddělí a změří objem jednotlivých složek.

Druhou možností kvantitativního hodnocení je Coulometrická metoda dle K. Fischera ČSN ISO 760. V titrační nádobě se vlivem působení el. napětí uvolňuje jód. Jód reaguje s vodou, a to ve shodném poměru 1 mol jódu na 1 mol vody. Po zreagování veškeré vody je pomocí proudu indikována koncentrace zbytkového, nespotřebovaného jódu<sup>[2][3][5]</sup>.

### **2.3.6 Stanovení kyselosti**

Kyselost lze stanovit dle ČSN ISO 6619 Stanovení neutralizačního čísla potenciometrickou titrací. Metoda stanovení TAN je založena na titraci vzorku hydroxidem draselným KOH, při čemž se sledují kyselé vlastnosti vzorku. V okamžiku, kdy začnou převažovat alkalické vlastnosti, se změří množství použitého hydroxidu draselného. Toto spotřebované množství pak definuje kyselost oleje, která je vyjádřena v  $\text{mg KOH} \cdot 100\text{cm}^{-3}$ . Okamžik, kdy začnou převažovat alkalické vlastnosti, je možný

sledovat pomocí barevných indikátorů. Tento způsob je zastaralý a nevhodný pro silně termooxidačně znečištěné oleje. Lepší způsob je sledování elektrochemických vlastností oleje<sup>[2][3][5]</sup>.

### **2.3.7 Stanovení alkality**

Princip zkoušky stanovení celkové alkality TBN (ČSN ISO 6619) je rozpuštění zkoušeného vzorku v bezvodné směsi chlorbenzenu a kyselině octové. Tato směs se dále potenciometricky titruje s roztokem kyseliny chloristé. Spotřebovaná kyselina chloristá, která je potřebná k neutralizaci všech zásaditých složek v 1 g oleje, pak udává číslo celkové alkality.

Parametry TBN a TAN je nutné stanovovat současně a sice nezáleží na jejich hodnotách, nicméně na porovnání těchto dvou čísel. Zásaditých látek schopných alkalizovat kyselé produkty musí být vždy více, než kyselých produktů stárnutí, tedy  $TBN > TAN$ <sup>[2][3][5]</sup>.

### **2.3.8 Stanovení množství nerozpustných látek ve směsi s HEO**

Dle této metodiky jsou všechny nerozpustné látky definovány jako tuhé částice, které jsou nerozpustné ve směsi HEO - n-hexan, etanol, kyselina olejová, v poměru 97:2:1. Jedná se tedy o mechanické nečistoty a produkty termooxidačních reakcí, jenž jsou důsledkem provozu motorového oleje, a signalizují jeho degradaci.

Principem zkoušky je rozpuštění předem definovaného objemu oleje v 50 ml směsi HEO. Takto vzniklá směs se následně odstředí, usuší a zváží. Zvážené množství se následně vyjádří ve hmotnostních procentech vůči původní směsi<sup>[2][3][5]</sup>.

## 2.4 Komplexnější tribotechnické metody

Metodami uvedenými v kapitole 2.3 je možné stanovit vždy pouze jeden parametr oleje. Ke komplexnějšímu posouzení stavu je však nutné zohlednit více parametrů, což by bylo jednotlivými metodami časově náročné a finančně nerentabilní vzhledem k cenové dostupnosti nové olejové náplně. Snahou tedy je vybrat test, který poskytne komplexní obraz o stavu motorového oleje.

### 2.4.1 Kapkový test

Kapkový test přesně splňuje výše uvedené podmínky o komplexnosti a finanční nenáročnosti, klade však potřebnou znalost na zkušebního technika. Výsledky nejsou přesné, nicméně vyhodnocení je rychlé a pro orientační vyhodnocení stačí. Lze jimi zjistit obsah paliva v oleji, obsah vody, detergentně disperzní vlastnosti, popřípadě celkové znečištění

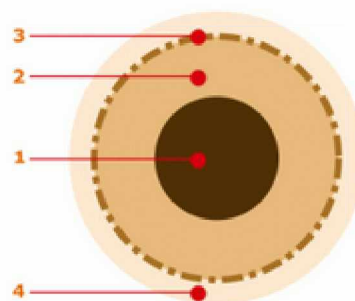
Test se provede nanesením kapky oleje na chromatografický papír. Hodnocení se provede dle indikátorů, jakými jsou způsob jejího vsáknutí, vytvoření jednotlivých kruhů, hranice mezi kruhy či barva skvrny. Postup vyhodnocení je naznačen na obrázku 11<sup>[6][26]</sup>.

**1 – vnitřní kruh** – ukazuje stupeň znečištění pevnými látkami

**2 – druhý kruh** – identifikace kondice oleje

**3 – hraniční zóna kolem druhého kruhu** – vypovídá o obsahu vody v oleji

**4 – vnější palivový kruh** – vytvoří se, pokud je v oleji obsažené palivo



Obrázek 11: Vyhodnocení kapkového testu<sup>[26]</sup>

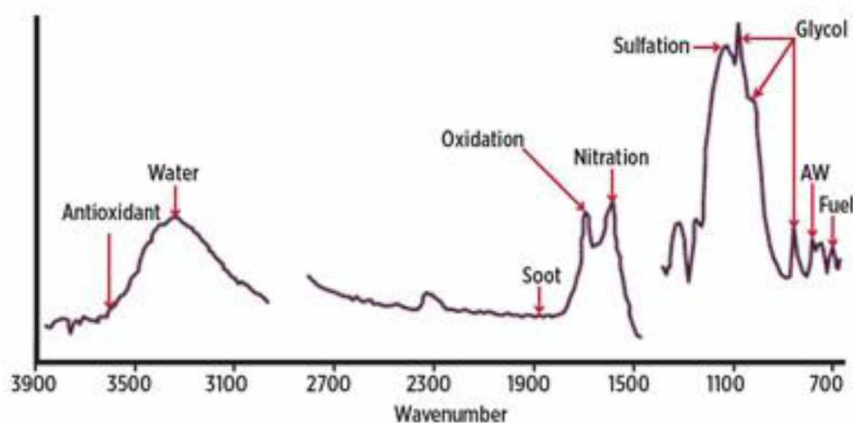
### 2.4.2 Infračervená spektroskopie

Infračervená spektroskopie zkoumá absorpci molekul vzorku infračerveného záření, konkrétně oblast střední -  $4000 - 400 \text{ cm}^{-1}$ . V oblasti absorpce infračerveného záření dochází ke změně vibračních a rotačních stavů molekuly, což má za následek generaci energie. Tyto stavy jsou definovány uspořádáním atomů v molekule a chemickou pevností jejich vazeb. Toho využívá i metoda stanovení látek ve vzorku, která

měří výše zmíněnou absorpci při průchodu IČ záření ve formě energie, v závislosti na vlnové délce  $\lambda$ . Energie se pro přehlednost vyjadřuje v procentech transmitance (poměr intenzity záření, které prošlo, a intenzity záření vyřazovaného) nebo jednotkách absorbance (dekadický logaritmus  $1/T$ ). Jednotlivé vlnočty vytvářejí přehledné spektrum.

S rozvojem výpočetní techniky se začaly využívat FTIR spektrometry (infračervené spektrometry s Fourierovou transformací), které získaný signál interferometricky převedou Fourierovou transformací na infračervené spektrum.

Při vyhodnocování spekter jsou hlavními sledovanými charakteristikami poloha, tvar, počet a intenzita absorpčních pásů. Je přitom nutné znát referenční vlnočty, které náleží příslušným sledovaným prvkům viz tabulka 5<sup>[16][27]</sup>.



Obrázek 12: Příklad spektra z FTIR analyzátoru<sup>[27]</sup>

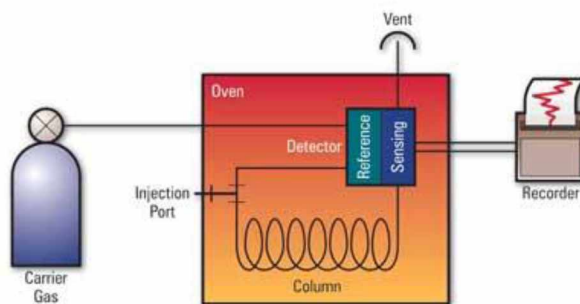
Tabulka 5: Charakteristická spektra pro vyhodnocení FTIR<sup>[28]</sup>

Hledaný parametr	Oblast spektra [cm <sup>-1</sup> ]
Voda	3150 - 3500
Saze	1900 - 2000
Modifikátory viskozity	1700 - 1750
Oxidační produkty	1670 - 1800
Nitrosloučeniny	1600 - 1650
Sulfátové detergenty	1120 - 1180
Glykol	1030 - 1100
Protiotěrové přísady	960 - 1025
Nafta	805 - 815
Benzín	745 - 755

### 2.4.3 Plynová chromatografie

Chromatografickými metodami jsme schopni rozdělit směs na jednotlivé složky a stanovit jejich kvantitativní a kvalitativní vyhodnocení. Dle způsobu separace se chromatografické metody dělí na adsorpční, rozdělovací a chemisorpční. Způsob tohoto dělení látek je pak rozděluje na plynové a kapalinové chromatografie dle použitého nosného média. Plynová chromatografie je separační metoda, jenž pro separaci látek využívá dvě heterogenní fáze - mobilní a stacionární. Stacionární fází bývá kapalina zakotvená na inertním nosiči, popřípadě aktivní sorbent. Mobilní fází je naopak nosný plyn.

Po vstříknutí vzorku dojde k jeho vypaření a unášení proudem nosného plynu do chromatografické kolony, která je vyhřívána na teplotu blízkou bodu varu látek. Zde se jednotlivé látky zachycují na stacionární fázi - adsorbují se na tuhý sorbent. Ten působí na látky selektivně a díky rozdílné eluci spolu se vzájemnými interakcemi se látka rozdělí do jednotlivých složek. Látky s nejkratšími elučními časy vystupují z kolony nejdříve, ty s nejdelšími časy jsou zadržovány nejdéle a vystoupí z kolony jako poslední. Postupně jsou látky při opouštění kolony detekovány detektorem, jenž zaznamenává eluční čas jednotlivých složek. Tyto časy jsou následně porovnávány se standardy a tím dochází k jejich identifikaci. Plynovou chromatografií je možné analyzovat plyny, kapaliny i tuhé látky. Je tedy více než vhodná pro analýzu složení motorových olejů<sup>[30]</sup>.



Obrázek 13: Princip plynové chromatografie<sup>[29]</sup>

### 2.4.4 Atomová emisní spektrometrie

Principem atomové emisní spektrometrie je rozložení vzorku vlivem působení energie na volné atomy, jenž jsou převedeny do vybuzeného stavu. Při přechodu částic do energeticky nižších stavů je vyzařováno elektromagnetické záření, jenž má za následek produkci fotonů. Toto záření se změří a vytvoří se z nich spektrum. Poloha čar ve spektru charakterizuje jednotlivé prvky a intenzita čar je úměrná koncentraci prvku ve vzorku. K budicímu účinku vyzařovaného záření je používána celá řada zdrojů, nejčastěji

indukčně vázaná plazma, plamen nebo elektrický výboj. AES je využívána tribotechnickou diagnostikou ke stanovení koncentrace aditivních přísad v mazadle a k určení koncentrace kontaminantů viz tabulka 3<sup>[30]</sup>.

## **2.5 Palubní diagnostika motorového oleje**

Ekonomickým a ekologickým chováním v oblasti využití motorového oleje je myšleno využít celou životnost olejové náplně, zároveň však tuto životnost nepřekračovat. Úspora na nevyměněném mazivu se promítne v kondici motoru, v tom horším případě v jeho destrukci. Naplnění životnosti oleje se nejenom šetří provozovatelovy náklady na provoz vozidla, ale i ropná surovina. V praxi je z důvodu rozdílných provozních podmínek obtížné zachytit tento vhodný okamžik, kdy dojde k vyčerpání životnosti a při kterém by mělo dojít k výměně použitého oleje za nový.

Stanovení zbytkové životnosti je možné periodickým měřením, které je avšak oproti hodnotě nové olejové náplně cenově neekonomické. To by šlo s výhodou řešit palubní diagnostikou, která by pomocí snímačů, jenž by konstantně měřily parametry oleje, vyhodnocovala jeho opotřebení a zbytkovou životnost. Nicméně dnešní tlak ze strany spotřebitelů nutí výrobce šetřit výrobní náklady. Technologie, která by se starala o měření zbytkové životnosti olejové náplně, by tedy zbytečně zvyšovala výrobní náklady a tím i konečnou cenu vozu.

Kompromisem, který je mezi stavy "stanovovat" a "nestanovovat" zbytkovou životnost, je palubní diagnostika, která z dat již implementovaných snímačů ve vozidle usuzuje provozní zatížení daného motoru a z nich počítá zbytkovou "životnost". Záměrně je zde životnost uvedena v uvozovkách, neboť palubní diagnostika disponuje pouze omezenou logikou, kterou ji stanovil programátor, a není tedy schopna přesně určit stav motorového oleje.

Princip počítání životnosti je následovný. Po výměně oleje je zadána kilometrická životnost oleje do řídicí jednotky. Ta bude platit pouze v ideálním případě. V případě, že snímače detekují negativní faktor, odečítá řídicí jednotka ze zbytkové životnosti předem definovaný počet kilometrů mimo klasický kilometrický proběh. V praxi to znamená, že pokud se vozidlo pohybuje v rizikových režimech, řídicí jednotka vyhodnotí nutnost dřívější výměny oleje, než byla zadána hodnota po servisní akci. Mezi sledované hodnoty patří počet studených startů, počet regenerací filtru pevných částic, oblast provozních otáček, údaje z teplotního namáhání oleje, ale i množství olejové náplně, neboť malé množství olejové náplně podléhá degradaci rychleji, než množství požadované.



### **3. Analýza vzorků použitého motorového oleje**

V předchozí kapitole byla probrána funkce palubní diagnostiky pro stanovení zbytkové životnosti motorového oleje. Tato funkce je nedostačující a vzhledem k její omezené logice nevhodná. Pro optimální okamžik výměny oleje je nutné stanovit funkční parametry použitého oleje a na jejich základě stanovit zbytkovou životnost. Není vhodné provádět vyhodnocení na základě jednoho, či dvou parametrů. Vždy by mělo jít o posouzení komplexních parametrů, které by měl provádět zkušený technik.

#### **3.1 Long Life oleje**

Long Life oleji jsou označovány oleje s prodlouženým výměnným intervalem. Olej takto označený má od výrobce danou výměnnou lhůtu typicky 30000 km (novější verze Long Life olejů až 50000km) z hlediska proběhu kilometrického, a 2 roky z hlediska proběhu časového.

Prodlužováním servisních intervalů sledují výrobci automobilů aktuální trendy v oblasti snižování provozních nákladů motorových vozidel z hlediska spotřebitele, ale i snižování ekologické zatížitelnosti z hlediska recyklace oleje použitého. Toto prodlužování je pro majitele vozidel velice lákavé, neboť spolu s ušetřenými náklady na údržbu nedochází k prostojům nutných pro vykonání údržby<sup>[15] [32] [41]</sup>.

Nutno dodat, že takto stanovená hranice vyměnitelnosti platí při dodržení optimálních podmínek provozu, které však v reálném provozu nikdy nenastanou. I proto byla do vozidla implementována palubní diagnostika viz kapitola 2.5, která by měla vhodně stanovit okamžik výměny motorového oleje. Jak moc je palubní diagnostika účinná v oblasti stanovení vhodného okamžiku výměny, a zda jsou vhodné prodloužené výměnné intervaly, bude ověřováno v experimentální části této diplomové práce.

#### **3.2 Analyzované vzorky**

Pro analýzu vzorků byly zvoleny oleje jedné viskozitní třídy, konkrétně SAE 5W30 Long Life, které by měly být schopny plnit svou mazací funkci 30000 km. Tyto vzorky byly odebrány z různých vozidel odlišných kilometrických proběhů tak, aby bylo možno komplexně zahrnout všechny provozní podmínky. Jen tím lze dosáhnout objektivních výsledků, které lze aplikovat pro olej jakéhokoliv provozního režimu. Vzorky byly odebírány v různých ročních obdobích, aby bylo možné eliminovat vliv rozdílů teplot jednotlivých období. Celkem bylo analyzováno 35 provozně zatížených



vzorků. Výhodou analýzy těchto vzorků je, že pocházejí z jednoho servisního střediska. S jistotou je tedy možné uvést, že uvedený kilometrický proběh je platný a použitý olej má původ v jednom a tom samém typu nového oleje.

**Tabulka 6: Popis analyzovaných vzorků**

Vzorek	Vozidlo	Palivo	DPF	Počet najetým km na olej
1	Nový olej Eurolub 5W30 WIV ECO	-	-	0
2	Audi A6 3.0 Tdi	nafta	Ano	7974
3	Škoda Octavia 1.6 Tdi	nafta	Ano	14243
4	VW Touran 2.0 Tdi PD	nafta	Ne	7227
5	Škoda Roomster 1.2 HTP	benzín	Ne	2917
6	Lexus SC430 4,3 V8	benzín	Ne	9872
7	Škoda octavia 1.9 Tdi	nafta	Ne	6573
8	VW Caddy	nafta	Ano	22393
9	Škoda Rapid 1.2 Tsi	benzín	Ne	24823
10	BMW 530d	nafta	Ne	22623
11	Škoda Rapid 1.2 Tsi	benzín	Ne	17478
12	Škoda Octavia RS 1.8T	benzín	Ne	8225
13	Škoda Octavia III 2.0Tdi CR	nafta	Ano	24323
14	Škoda Rapid 1.2 Tsi	benzín	Ne	16589
15	Toyota Corrola 1.6 ViT	benzín	Ne	10350
16	Peugeot 308 1.6 Hdi	nafta	Ano	20126
17	Peugeot 208 1.2 Puretech	benzín	Ne	4360
18	Peugeot 208 1.4 Vti	benzín	Ne	10227
19	Peugeot 3008 1.0 ETC	benzín	Ne	13422
20	Peugeot 5008 1.2 EB	benzín	Ne	17689
21	Peugeot 308 1.6 Vti	benzín	Ne	7405
22	Peugeot 508 1.6 Hdi	nafta	Ano	25300
23	Peugeot 508 1.6 ECB	benzín	Ne	4170
24	Peugeot 308 1.6 Hdi	nafta	Ano	13105
25	Peugeot 308 1.6 EP6	benzín	Ne	13477
26	Škoda Octavia 2.0 Tdi	nafta	Ne	17160
27	VW Passat 1.6 Tdi	nafta	Ano	16761
28	Peugeot 308 1.6 Hdi	nafta	Ano	7488
29	Mercedes Benz Vito 2.2D	nafta	Ne	27125
30	Nissan 350Z 3.5V6	benzín	Ne	12358
31	Volvo XC90 2.4D	nafta	Ano	20632
32	Renault Grand Scenic 1.5Dci	nafta	Ano	22173
33	Ford Galaxy 1.8 TDCi	nafta	Ne	22200
34	Škoda Octavia III 2.0Tdi 4x4	nafta	Ano	18290
35	Peugeot 5008 1.6Hdi	nafta	Ano	19454
36	Škoda Octavia 1.6 Tdi	nafta	Ano	31228

V tabulce 6 jsou uvedeny analyzované vzorky. Přehledně je zde vyobrazeno, z jakého typu vozidla pochází, jejich kilometrický proběh absolvovaný na měřený olej, typ paliva a v případě vznětového motoru přítomnost filtru pevných částic.

Záměrně je zde uváděna přítomnost částicového filtru. V případě častých regenerací filtru dochází k pronikání nespáleného paliva, určeného k hoření ve výfuku ke zvýšení teploty nutné k regeneraci, do olejové náplně. To platí za předpokladu, že teplota potřebná k regeneraci je řízena oxidačním katalyzátorem, který k potřebné chemické reakci potřebuje palivo. Tento jev je eliminován modernějšími systémy za použití SCR katalyzátoru, kde dochází k reakci nikoliv s přebytkovým palivem, ale externě dodávanou močovinou (respektive amoniakem  $\text{NH}_3$ , který je v močovině obsažený). Na kolik mají regenerace vliv na obsah paliva v oleji, bude předmětem dalšího vyhodnocení.

### 3.2.1 Referenční nový olej

Základem pro analýzu zbytkové životnosti je stanovení parametrů nového oleje, od kterých se zbytková životnost bude počítat. Jako nový olej se v partnerském servisním středisku používá olej WIV 5W30 ECO od výrobce Eurolub, splňující normu C3. Tato norma sice byla vytvořena pro oleje používané ve vznětových motorech, nyní je ale použitelná v širokém spektru současně provozovaných vozidel včetně těch poháněných zážehovým agregátem. Funkční parametry nového oleje definované výrobcem jsou uvedeny v tabulce 7.

Tyto parametry byly ověřeny měřením shodným s měřením použitých vzorků. Výsledky jsou uvedeny v tabulce 8.

Tabulka 7: Parametry oleje Eurolub 5W30 WIV ECO stanovené výrobcem<sup>[31]</sup>

Parametr	Hodnota	Jednotka	Použitá metoda
Hustota při 15°C	0,853	$\text{g} \cdot \text{cm}^3$	D4052
Dynamická viskozita při 40°C	57,3	$\text{MPa} \cdot \text{s}^{-1}$	D445
Kinematická viskozita při 100°C	11,9	$\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	D445
Viskozitní index	175	-	D2270
Bod vzplanutí	228	°C	D92

**Tabulka 8: Parametry oleje Eurolub 5W30 WIV ECO naměřené**

<b>Parametr</b>	<b>Hodnota</b>	<b>Jednotka</b>	<b>Použitá metoda</b>
Hustota při 15°C	0,8492	$\text{g} \cdot \text{cm}^3$	DIN 53015
Dynamická viskozita při 40°C	56,082	$\text{MPa} \cdot \text{s}^{-1}$	DIN 53015
Kinematická viskozita při 100°C	11,746	$\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	DIN 53015
Viskozitní index	171,6	-	DIN 53015
Bod vzplanutí	231	°C	ČSN 65 6212

Z porovnání tabulek je vidět, že hodnoty nejsou dokonale shodné. Odlišnost hodnot můžeme vysvětlit jinými metodami, které jsme použili pro ověření parametrů. Rozdíl jednotlivých hodnot se pohybuje do 2 %. Můžeme tedy uvést, že naměřené parametry nového oleje odpovídají parametrům stanovených výrobcem.

### **3.3 Měřené parametry a metody pro jejich stanovení**

Pro stanovení zbytkové životnosti je nutné stanovit parametry, ze kterých se bude zbytková životnost počítat, a dále metody, jimiž se parametry určí. Jako hlavní životnostní parametry byly vybrány viskozita, obsah paliva, obsah antioxidačních produktů, obsah nitračních produktů, obsah, respektive úbytek antioxidantů a obsah sazí.

Viskozita má přímý vliv na tloušťku mazacího filmu. Teorie viskozity byla probrána v kapitole 1.4.1. Metoda, kterou se viskozita stanovovala, byla probrána v kapitole 2.3.1. Zvýšení viskozity mají za následek saze obsažené v oleji, její snížení naopak palivo. Může docházet k případům, že v mazací náplni jsou obsaženy oba tyto degradační prvky a dojde k jejich vzájemnému vyrušení. V tomto případě nenastane změna viskozity a olej se může z hlediska viskozity zdát jako vyhovující. I z tohoto důvodu byl jako druhý parametr vybrán obsah paliva. Limitním obsahem paliva je 5 % objemových. Obsah paliva byl určen infračervenou spektroskopií popsanou v kapitole 2.4.2. Jednotkou, ve kterých obsah paliva infračervená spektroskopie určí, jsou procenta hmotnostní. Bylo tedy nutné přepočítat objemová procenta na procenta hmotnostní dle vzorce 3<sup>[17][33]</sup>.

$$W = \Phi \cdot \frac{\rho_p}{\rho_o} = 5 \cdot \frac{0,754}{0,8492} = 4,4 \%hm \quad (3)$$

Kde:

W....obsah složky [%hm]

$\Phi$ ....obsah složky [%obj]

$\rho_p$ ....hustota paliva[g·cm<sup>-3</sup>]

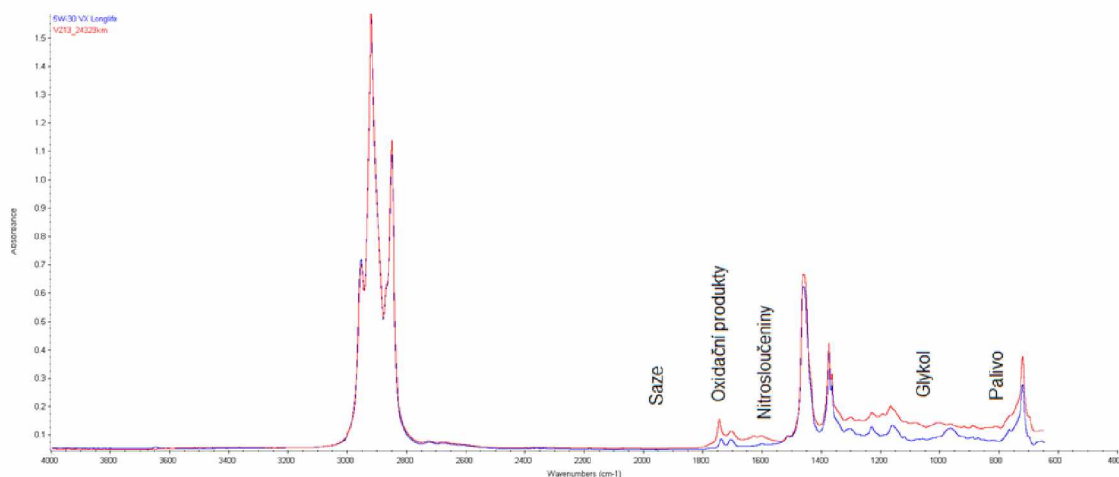
$\rho_o$ ....hustota oleje [g·cm<sup>-3</sup>]<sup>[17]</sup>

Pro ověření obsahu paliva byl ještě prováděn test Bodu vzplanutí paliva, jenž je popsán v kapitole 2.3.2.

Obsah zbylých čtyř parametrů (oxidační produkty, nitrační produkty, antioxidanty, saze) je možno určit metodou infračervené spektroskopie. Oxidační produkty jsou přímým ukazatelem stáří olejové náplně. Tento parametr byl stanoven v jednotkách absorbance (A) přepočítané na měření v transmisní technice za použití kyvety o tloušťce 0,1 mm. Literatura<sup>35</sup> uvádí jako maximální přípustnou hodnotu údaj 0,20 A·0,1mm<sup>-1</sup>. Stejná hodnota platí v případě nitračních produktů. Antioxidanty jsou aditivem, jenž zabraňují reakcím s kyslíkem a tím tvorbě produktů stárnutí. Jejich obsah se stanovuje procentuálně vzhledem k obsahu antioxidantů v novém oleji. Hodnota antioxidantu by neměla klesnout pod 20 % z původního objemu - pod touto hodnotou dochází k rychlejším reakcím<sup>[27][44][45][46]</sup>.

Posledním stanovovaným ukazatelem kvality opotřebeného oleje jsou saze. Použité technologie nedovolují stanovovat obsah sazí v oleji pocházejícího ze zážehového motoru, neboť obvyklý objem v takovém oleji je do 0,1 %. V daleko větší míře se saze vyskytují v oleji ze vznětového motoru a to vlivem teploty spalování, typu paliva, ale také recirkulace spalin, jejíž funkčnost má vysoký vliv na obsah sazí v oleji. Obsah sazí se v motorovém oleji stanovuje nejčastěji FTIR spektrometrií, hodnotí se transmittance (T) základní linie spektra opotřebeného oleje v oblasti 2000 cm<sup>-1</sup> (čistý olej bez sazí má v této oblasti 100% T, se vzrůstajícím průnikem sazí do oleje se T snižuje). Výzkumy ukazují, že už i dvouprocentní obsah sazí ovlivňuje viskozitu oleje. Limitní hodnota obsahu sazí je 5 %, pro vozidla opatřena EGR systémem je tato limitní hodnota zvýšená na 8 %<sup>[17][37]</sup>.

Ukázka vyhodnocovaných spekter je zobrazena na obrázku 14. Princip vyhodnocení byl vysvětlen v kapitole 2.4.2 Infračervená spektroskopie, kde jsou uvedeny i referenční vlnočty, ve kterých se jednotlivé kontaminanty vyskytují<sup>[17]</sup>.



Obrázek 14: Příklad naměřeného spektra s vyhodnocením<sup>[Autor]</sup>

Vhodným nástrojem pro stanovení jednotlivých kontaminantů v oleji je v Infračervené spektroskopii softwarový nástroj - Olejový analyzátor. Tento analyzátor je schopný stanovit obsah jednotlivých kontaminantů na základě rozdílu jednotlivých spekter (spektra nového a opotřebeného oleje). Příklad výsledku generovaný Olejovým analyzátozem je zobrazen na obrázku 15.

Výsledek analýzy				
Vzorek				
VZ36				
Složka	Obsah	Jednotka		
Saze	94.1	%T		
Oxidační prod.	0.60	Å.1 mm		
Nitrační prod.	0.19	Å.1 mm		
Sulfatační prod.	0.22	Å.1 mm		
Nafta	9.1	hm. %		
Glykol	0.7	hm. %		
Glykol_pom	0.0	hm. %		
Voda	0.0	hm. %		
Voda_pom	0.0	hm. %		
Antioxidant	24.0	%		

Obrázek 15: Olejový analyzátor<sup>[Autor]</sup>

### 3.4 Vyhodnocení měření

#### 3.4.1 Viskozita

Stabingerovým viskozimetrem Anton Paar je možné stanovit kinematickou viskozitu při 40 °C a 100 °C a dynamickou viskozitu při 40 °C a 100 °C. Není nutné vyhodnocovat všechny parametry, neboť z důvodu jednoho základního oleje jsou hodnoty vázané. Vybrána tedy byla viskozita kinematická při 100 °C a viskozita dynamická při 40 °C. Výsledky jsou uvedeny v tabulkách 9 a 10.

Tabulka 9: Naměřené hodnoty kinematické viskozity při 100 °C

Vzorek	Hodnota [mm <sup>2</sup> ·s <sup>-1</sup> ]	Počet km	Palivo
1	11,746	0	-
5	10,267	2917	benzín
23	9,3744	4170	benzín
17	8,7656	4360	benzín
7	12,011	6573	nafta
4	9,42	7227	nafta
21	9,1561	7405	benzín
28	9,1406	7488	nafta
2	12,338	7974	nafta
6	10,575	9872	benzín
18	8,8	10227	benzín
15	8,9879	10350	benzín
30	11,46	12358	benzín
24	9,6278	13105	benzín
19	11,478	13422	nafta
25	9,3572	13477	benzín
3	8,987	14243	benzín
14	9,7207	16589	nafta
27	9,196	16761	benzín
26	8,4741	17160	nafta
11	8,3586	17478	nafta
12	11,153	17478	benzín
20	11,692	17689	benzín
34	10,392	18290	nafta
35	9,2522	19454	nafta
16	9,232	20126	nafta
31	10,702	20632	nafta
32	10,98	22173	nafta
33	11,789	22200	nafta
8	9,44	22393	nafta
10	11,935	22623	nafta
13	8,9275	24323	nafta
9	7,689	24823	benzín
22	10,759	25300	nafta
29	11,969	27125	nafta
36	8,296	31228	nafta

Tabulka 10: Naměřené hodnoty dynamické viskozity při 40 °C

Vzorek	Hodnota [MPa·s]	Počet km	Palivo
1	56,082	0	-
5	47,87	2917	benzín
23	43,376	4170	benzín
17	35,942	4360	benzín
7	60,628	6573	nafta
4	44,22	7227	nafta
21	42,445	7405	benzín
28	44,763	7488	nafta
2	59,4	7974	nafta
12	54,522	8225	benzín
6	49,878	9872	benzín
18	39,481	10227	benzín
15	40,554	10350	benzín
30	59,378	12358	benzín
24	47,102	13105	nafta
19	57,725	13422	benzín
25	44,187	13477	benzín
3	39,247	14243	nafta
14	44,054	16589	benzín
27	43,499	16761	nafta
26	38,166	17160	nafta
11	35,389	17478	benzín
20	58,929	17689	benzín
34	47,211	18290	nafta
35	44,31	19454	nafta
16	44,86	20126	nafta
31	48,341	20632	nafta
32	56,018	22173	nafta
33	60,706	22200	nafta
8	42,937	22393	nafta
10	60,11	22623	nafta
13	40,9	24323	nafta
9	31,758	24823	benzín
22	54,325	25300	nafta
29	40,709	27125	nafta
36	36,741	31228	nafta

Hodnoty jsou v tabulkách 9 a 10 seřazeny dle kilometrických proběhů vzorků. Z naměřených dat je patrné, že změna viskozity není přímo úměrná délce kilometrického proběhu. To vyplývá z výše zmíněného, že viskozita je ovlivněna více parametry a není

tedy možno pro ní stanovit degradační křivku. Lze pouze vyhodnotit hodnoty, které nejsou v tolerančních mezích. Hodnota viskozity použitého oleje by se neměla odchýlit od viskozity nového oleje o 20%. Limitní hodnoty jsou dopočítány ve vzorcích 4,5,6 a 7.

$$\text{Dolní limitní hodnota kin. viskozity při } 100\text{ }^{\circ}\text{C} = 11,746 \cdot \frac{80}{100} = 9,4 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1} (4)$$

$$\text{Horní limitní hodnota kin. viskozity při } 100\text{ }^{\circ}\text{C} = 11,746 \cdot \frac{120}{100} = 14,1 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1} (5)$$

$$\text{Dolní limitní hodnota dyn. viskozity při } 40\text{ }^{\circ}\text{C} = 56,082 \cdot \frac{80}{100} = 44,86 \text{ MPa} \cdot \text{s} (6)$$

$$\text{Horní limitní hodnota dyn. viskozity při } 40\text{ }^{\circ}\text{C} = 56,082 \cdot \frac{120}{100} = 67,3 \text{ MPa} \cdot \text{s} (7)$$

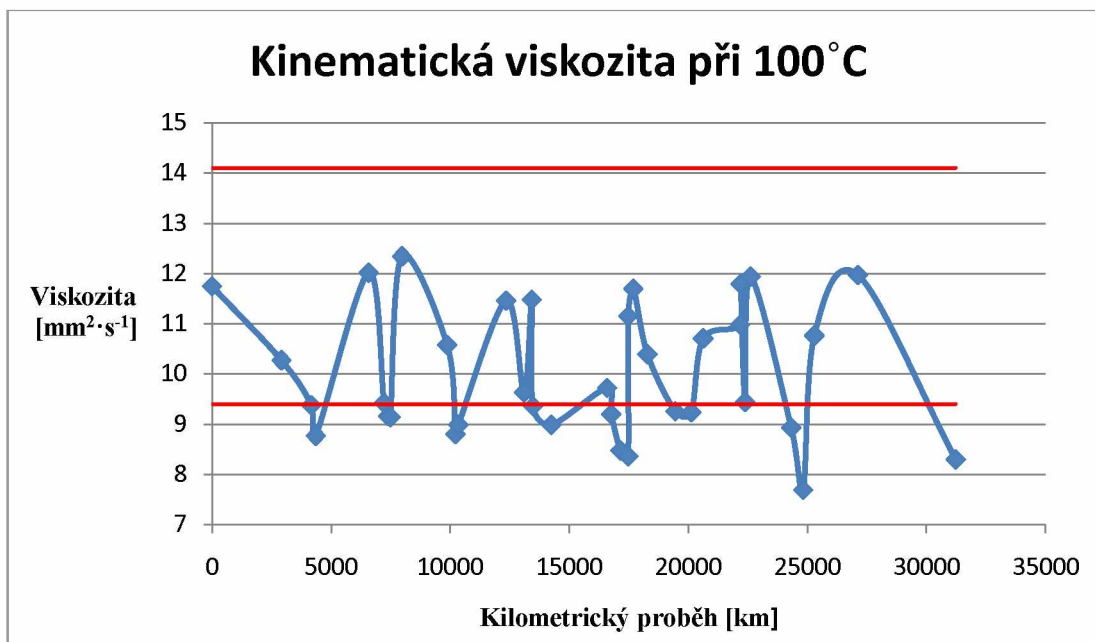
Hodnoty, které nejsou v toleranci, jsou v tabulkách 9 a 10 vyznačeny žlutě a červeně. Žlutě jsou označeny hodnoty, jenž již leží mimo toleranci, příliš se však od limitní hodnoty neliší. Červeně jsou označeny hodnoty, které leží hluboce pod hodnotami limitními, a olej s touto hodnotou viskozity by již delší dobu neměl být používán. Zajímavostí je, že ani jedna hodnota není nad horní limitní hodnotou, veškeré závadné hodnoty jsou pod dolní limitní hranicí. Z tabulky je možno vidět, že poklesem viskozity jsou výrazně postihnuty oleje ze zážehových motorů s malým kilometrickým nájezdem.

Vozidla se zážehovým motorem v kombinaci s malým kilometrickým proběhem jsou často používána na krátké trasy s častými studenými starty. Při startu jsou řídicí jednotkou z důvodu neznalosti polohy klikového hřídele (nedostatek dat ze snímačů) otevřeny všechny vstřikovací ventily. Toto palivo avšak nemůže být spáleno ve všech válcích najednou, v pracovně neaktivních válcích tedy část paliva ulpí na stěnách válců a dostává se dále do oleje. Dalším problémem studených startů je aktivování "sytiče". Tento pomyslný sytič je již plně v režii řídicí jednotky, projeví se zvýšenými otáčkami motoru, a je aktivní z důvodu rychlého zahřátí motoru do režimu, ve kterém spolehlivě pracuje jak motor, tak i emisní systémy. Při tomto režimu je opět vstřikováno více paliva, než je potřeba. Nespálené opět proniká do oleje.

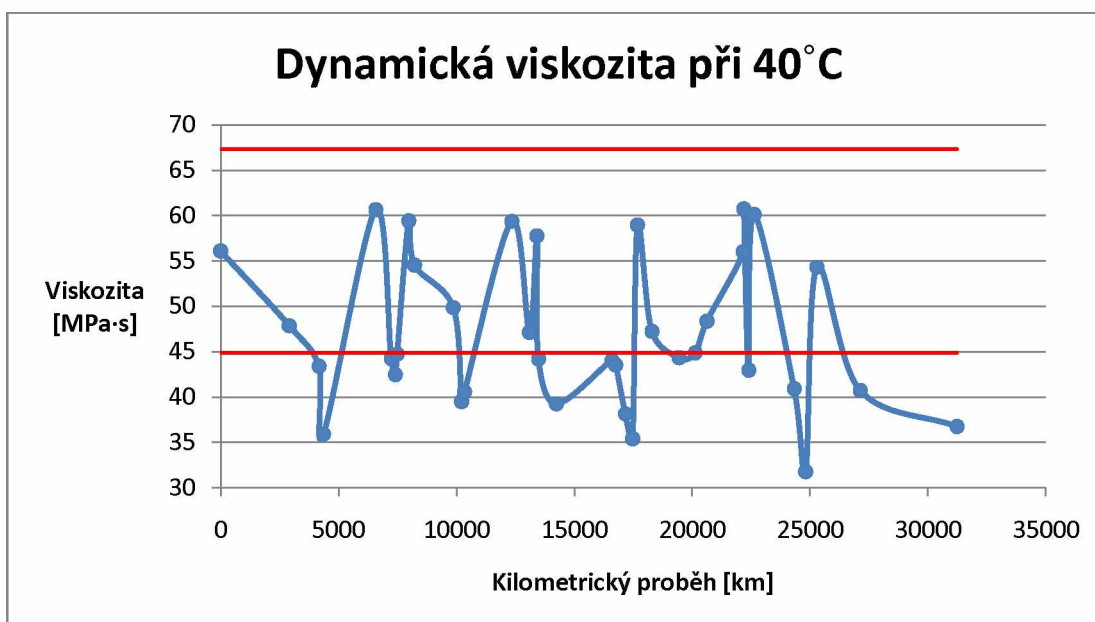
Druhým závěrem, který je možno vyvodit z tabulek, je snížení viskozity u vznětových motorů s vysokým kilometrickým proběhem. V tomto případě to je způsobeno přirozeným pronikáním paliva do olejové náplně. Zda za toto zvýšené pronikání paliva mohou regenerace částicového filtru, bude předmětem následujících



testů. Zde tedy vzniká první důkaz o nezpůsobilosti Long Life olejů plnit svou funkci po celou dobu stanovené životnosti a zároveň neschopnost palubní diagnostiky stanovit včas výměnu motorového oleje.



Graf 1: Hodnoty kinematické viskozity při 100°C u analyzovaných vzorků



Graf 2: Hodnoty dynamické viskozity při 40°C u analyzovaných vzorků

V grafech 1 a 2 jsou naměřené hodnoty pro lepší představivost zobrazeny v podobě grafů. Zde je již více než patrné, že pro viskozitu není možno stanovit degradační křivku a pouze z tohoto parametru tak stanovovat zbytkovou životnost. Dále jsou zde červenou čarou zobrazeny limitní hodnoty, jenž by viskozita neměla překročit.

### 3.4.2 Obsah paliva

Obsah paliva byl určen ze spekter v infračervené spektroskopii pomocí olejového analyzátoru.

Tabulka 11: Obsah paliva v analyzovaných vzorcích

Vzorek	Počet km	Obsah paliva [%hm]	Bod vzplanutí [°C]	Kin. viskozita 100°C [mm <sup>2</sup> ·s <sup>-1</sup> ]	Palivo
1	0	0	231,8	11,746	-
5	2917	4,3	184,6	10,267	benzín
23	4170	4,4	183,4	9,3744	benzín
17	4360	2,8	202,3	8,7656	benzín
7	6573	0,2	221,1	12,011	nafta
4	7227	2,6	212,2	9,42	nafta
21	7405	4,7	187,2	9,1561	benzín
28	7488	3,3	223,8	9,1406	nafta
2	7974	2,6	230,1	12,338	nafta
12	8225	1,8	194,1	10,575	benzín
6	9872	2,6	192,4	8,8	benzín
18	10227	5,6	173,2	8,9879	benzín
15	10350	0,4	212,8	11,46	benzín
30	12358	3,2	189,2	9,6278	benzín
24	13105	2,7	215,4	11,478	nafta
19	13422	2,1	202,1	9,3572	benzín
25	13477	3,6	198,2	8,987	benzín
3	14243	4,7	203,8	9,7207	nafta
14	16589	4,7	181,3	9,196	benzín
27	16761	4,9	197,1	8,4741	nafta
26	17160	7,5	191,6	8,3586	nafta
11	17478	5	169,4	11,153	benzín
20	17689	0,1	221,9	11,692	benzín
34	18290	6,5	205,4	10,392	nafta
35	19454	10,8	201,2	9,2522	nafta
16	20126	1,5	226,8	9,232	nafta
31	20632	2,3	213,7	10,702	nafta
32	22173	2,4	210,9	10,98	nafta
33	22200	3,1	214,5	11,789	nafta
8	22393	2,9	202,3	9,44	nafta
10	22623	0,1	224,8	11,935	nafta
13	24323	10,5	182,3	8,9275	nafta
9	24823	13,7	170	7,689	benzín
22	25300	1,1	226,8	10,759	nafta
29	27125	0,3	227,1	11,969	nafta
36	31228	9,1	209,6	8,296	nafta

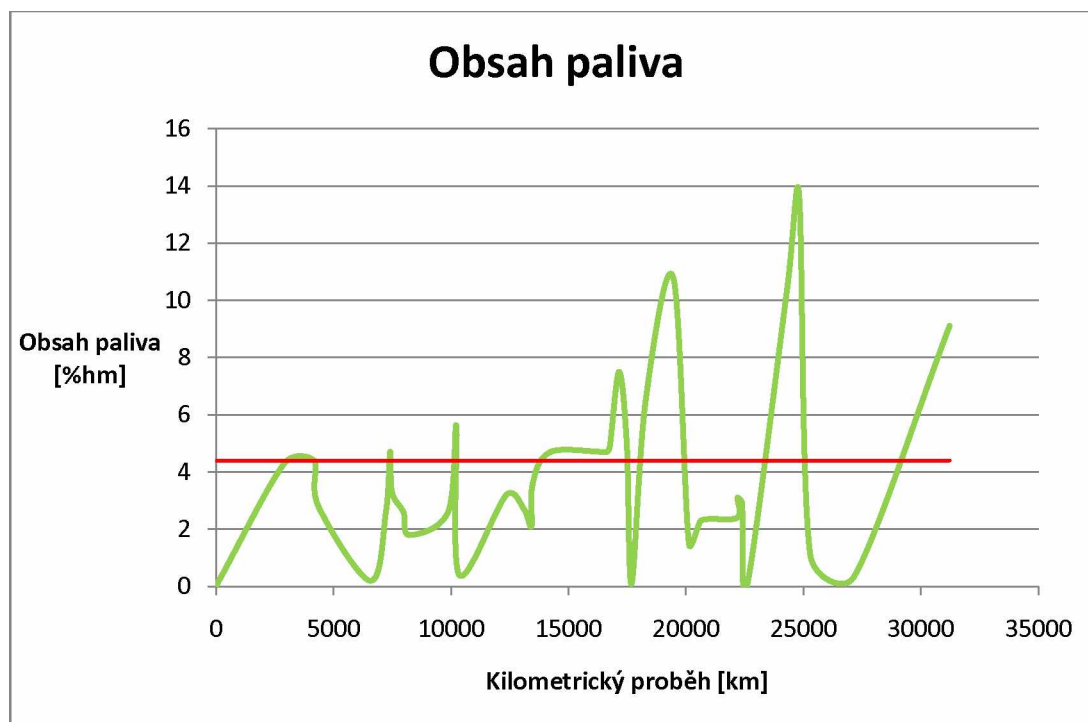
Hodnoty obsahu paliva byly pro kontrolu správnosti porovnány s bodem vzplanutí jednotlivých vzorků. Výsledky jsou zobrazeny v tabulce 11.

Limitní obsah paliva v hmotnostních procentech byl stanoven na začátku kapitoly 3.3 a to na hodnotu 4,4 %hm..

Z hodnot uvedených v tabulce 11, jenž jsou opět seřazeny od nejmenšího kilometrického proběhu k největšímu, je zřejmé, že obsah paliva stanovený metodou infračervené spektroskopie koresponduje s poklesem bodu vzplanutí použitého oleje. Zároveň jsou k těmto hodnotám přiřazeny příslušné hodnoty viskozity, aby bylo vidět, že obsah paliva má na pokles viskozity přímý vliv. Červeným polem jsou opět označeny hodnoty mimo toleranci.

V pěti případech je viskozita pod dolním limitem, zatímco obsah paliva přes limit není. Vysvětlení může být v dalších faktorech, které napomáhají k poklesu viskozity - obsah vody, obsah glykolu nebo úbytek modifikátorů viskozity.

Může dojít i k opačnému jevu - obsah paliva bude nadlimitní, viskozita ale nikoliv. To může být způsobeno vysokým obsahem sazí, které naopak působí jako zvyšovače viskozity.



Graf 3: Obsah paliva v analyzovaných vzorcích

Aby bylo dokázáno, že nárůst obsahu paliva není lineárně závislý na kilometrickém proběhu, a není tedy možné pro obsah paliva stanovit degradační křivku, jsou hodnoty zobrazeny do přehledného grafu 3. Limitní hodnota je opět označena červenou čarou. Stejně tak, jako v případě viskozity, bylo dosaženo limitních hodnot již v nízkém kilometrickém nájezdu. U vzorku č. 23 byla limitní hodnota dosažena při pouhých 4170 km. Obsah paliva u vzorku č. 5 sice nepřesáhl limitní mez, nicméně pouze o zanedbatelnou desetinu hmotnostního procenta a to při pouhých 2917 km. Vozidlo bylo s jistotou provozováno na velmi krátké trasy s častými starty. Druh provozu vozidla by tedy měl být hlavním faktorem při nastavování zbytkové životnosti nového oleje do řídicí jednotky motoru.

**Tabulka 12: Porovnání obsahu paliva s/ bez částicového filtru**

Vzorek	Počet km	Obsah paliva	DPF
7	6573	0,2	Ano
4	7227	2,6	Ano
28	7488	3,3	Ne
2	7974	2,6	Ne
24	13105	6,7	Ano
3	14243	7,7	Ne
27	16761	4,9	Ano
26	17160	7,5	Ano
34	18290	6,5	Ano
35	19454	10,8	Ano
16	20126	1,5	Ne
31	20632	2,3	Ano
32	22173	2,4	Ano
33	22200	3,1	Ne
8	22393	2,9	Ano
10	22623	0,1	Ano
13	24323	10,5	Ne
22	25300	2,1	Ano
29	27125	2,3	Ano
36	31228	9,1	Ano

Zajímavým srovnáním je obsah paliva v oleji u vozidel s instalovaným částicovým filtrem a vozidel bez tohoto zařízení (toto srovnání má smysl pouze u vznětových motorů). Většina vozidel, z nichž testované vzorky pochází, používá ke zvýšení teploty ve výfukovém potrubí a tím regeneraci filtru pevných částic dodatečné palivo, které je do spalovacího prostoru vstřikováváno na konci pracovního cyklu, a

nespálené tedy odchází spolu se spaliny pryč z prostoru válce. Toto nespálené palivo začne hořet až ve výfukovém potrubí, což má za následek nárůst teploty až k zápalné teplotě sazí uložených v částicovém filtru. Část takto vstříknutého paliva může ulpět na stěnách válců, což vede až ke kontaminaci oleje.

V tabulce 12 je vyobrazeno srovnání obsahu paliva v oleji u motorů s částicovým filtrem a bez něj. Zeleně jsou označeny vzorky z vozidel, jenž filtrem disponovala, žlutě vzorky z vozidel bez DPF. Z dat v tabulce 12 je patrné, že přítomnost částicového filtru nemá navzdory původnímu předpokladu zásadní vliv na obsah paliva.

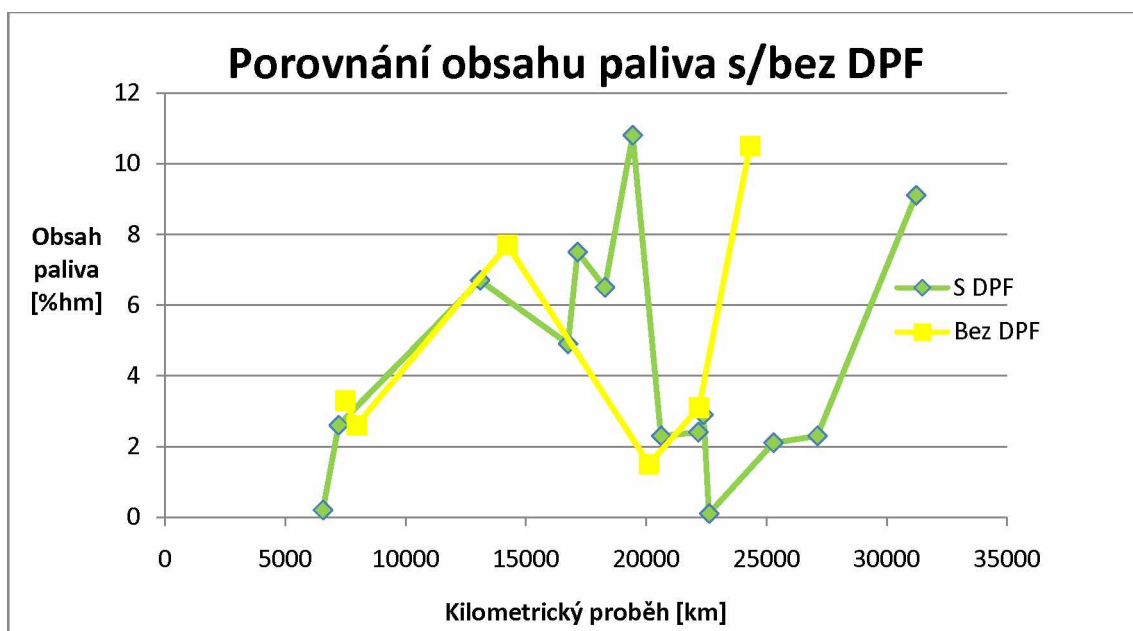
Celkem obtížně by se z výše uvedené tabulky dalo provést přesnější srovnání. Pro tento účel byla vytvořena tabulka 13, ve které je dopočítán celkový obsah paliva ze vzorků s a bez DPF, a vypočítán průměr pro jednotlivé kategorie. Tento průměr ovšem platí pro průměrný počet kilometrů ze vzorků od jednotlivých kategorií. Byl tedy dopočítán průměrný obsah paliva pro referenční počet najetých kilometrů 20000. V tomto ohledu vykazují vzorky pocházející z vozidel se zabudovaným částicovým filtrem daleko menší obsah paliva, než vzorky pocházející z vozidel bez těchto filtrů. Nutno dodat, že vzorků z obou kategorií byl nedostatek pro validní závěr, výsledky jsou tedy aplikovatelné pouze pro zkoušený soubor vzorků.

Obsah paliva u vzorků s a bez DPF v závislosti na najetých kilometrech je zobrazen v grafu 4. Ukázka spektra s vysokým obsahem paliva je na obrázku 16.

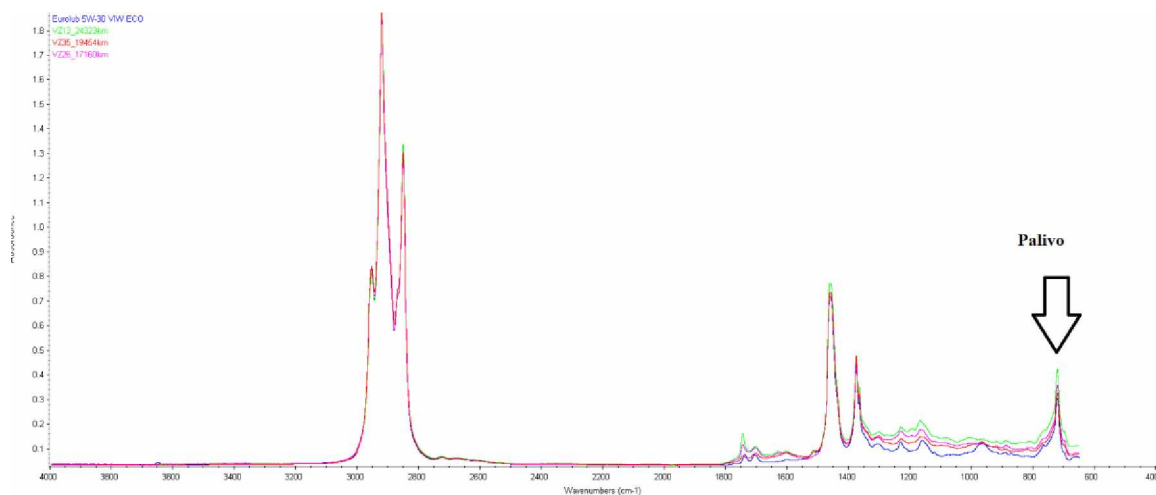
**Tabulka 13: Srovnání průměrného obsahu paliva pro vzorky s a bez DPF**

	S DPF	Bez DPF
Počet vzorků	14	6
Km celkem	270044	96354
Průměr km	19289	16059
Obsah paliva celkem	60,4	28,7
Průměr obsahu paliva	4,31	4,78
Dopočítáno pro 20000 km	4,47	5,95





Graf 4: Porovnání obsahu paliva s/bez DPF



Obrázek 16: Ukázka spektra s vysokým obsahem paliva [Autor]

### 3.4.3 Obsah oxidačních produktů

I tento parametr je stanovován ze spekter infračervené spektroskopie pomocí olejového analyzátoru. Obsah oxidačních produktů je závislý na chemických reakcích, které jsou způsobeny teplem a kontaktem s kyslíkem. Obsah oxidačních produktů by měl tedy být přímo závislý na stáří, respektive kilometrickém proběhu maziva.

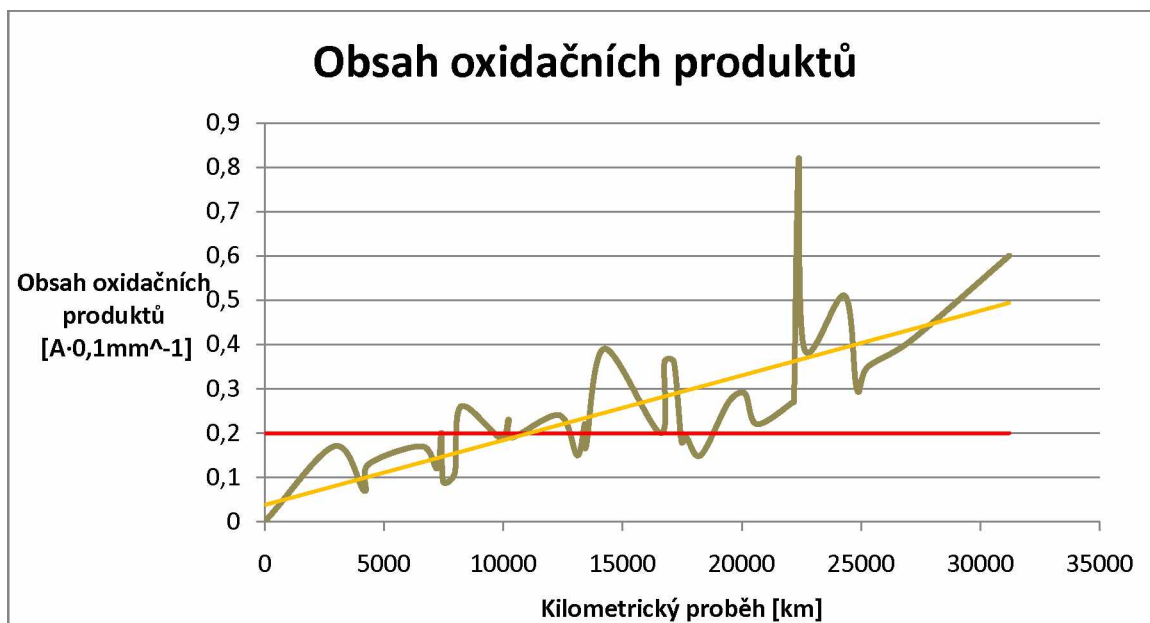
Tabulka 14: Obsah oxidačních produktů v analyzovaných vzorcích

Vzorek	Oxidační produkty [A·0,1mm <sup>-1</sup> ]	Počet km
1	0	0
5	0,17	2917
23	0,07	4170
17	0,13	4360
7	0,17	6573
4	0,12	7227
21	0,2	7405
28	0,09	7488
2	0,11	7974
12	0,26	8225
6	0,19	9872
18	0,23	10227
15	0,19	10350
30	0,24	12358
24	0,15	13105
19	0,22	13422
25	0,17	13477
3	0,39	14243
14	0,2	16589
27	0,36	16761
26	0,36	17160
11	0,18	17478
20	0,19	17689
34	0,15	18290
35	0,27	19454
16	0,29	20126
31	0,22	20632
32	0,27	22173
33	0,27	22200
8	0,82	22393
10	0,39	22623
13	0,51	24323
9	0,3	24823
22	0,35	25300
29	0,41	27125
36	0,6	31228

V tabulce 14 jsou seřazeny vzorky dle kilometrického proběhu. Limitní hodnota pro obsah oxidačních produktů je 0,20 A·0,1mm<sup>-1</sup>. Z hodnot zobrazených v tabulce je vidět, že mírný nárůst oxidačních produktů je patrný již od 8-10 tisíc kilometrů. To může

být způsobeno i nedokonalou výměnou použitého oleje za nový - nedodržení správného postupu má za následek přítomnost zůstatkového množství, které vysoce ovlivňuje parametry nové náplně.

Druhým závěrem, který je možný z naměřených hodnot vyvodit, je fakt, že žádný olej s kilometrickým proběhem převyšujícím 20000 kilometrů nemá hodnotu oxidačních produktů pod stanoveným limitem.



Graf 5: Obsah oxidačních produktů v analyzovaných vzorcích

Závislost obsahu oxidačních produktů na kilometrickém proběhu je zobrazena v grafu 5. Z této křivky složené z naměřených hodnot je již možné vytvořit degradační křivku pro obsah oxidačních produktů. Tato křivka platí pouze pro soubor měřených vzorků a není návrhem pro použití u všech typů použitých olejů. Pro toto stanovení by bylo zapotřebí více měřených vzorků, které by křivku zcela jistě upravily.

Stanovený obsah oxidačních produktů v závislosti na kilometrickém proběhu dává další důkaz o nezpůsobilosti Long Life olejů plnit požadovanou funkci po 30000 kilometrech.

#### 3.4.4 Obsah antioxidantů

Antioxidanty zpomalují v motorovém oleji reakci s kyslíkem a tím tvorbu oxidačních produktů, tedy produktů stárnutí. Infračervená spektroskopie je schopna stanovit pokles těchto produktů oproti původní hodnotě. Vyčerpání životnosti nastává při nulovém obsahu antioxidantů, avšak při hodnotách 20 % a menší z původní hodnoty dochází k daleko rychlejší oxidacím. Tato hodnota se tedy bere jako limitní.



Naměřené hodnoty antioxidantů jsou zobrazeny v tabulce 15.

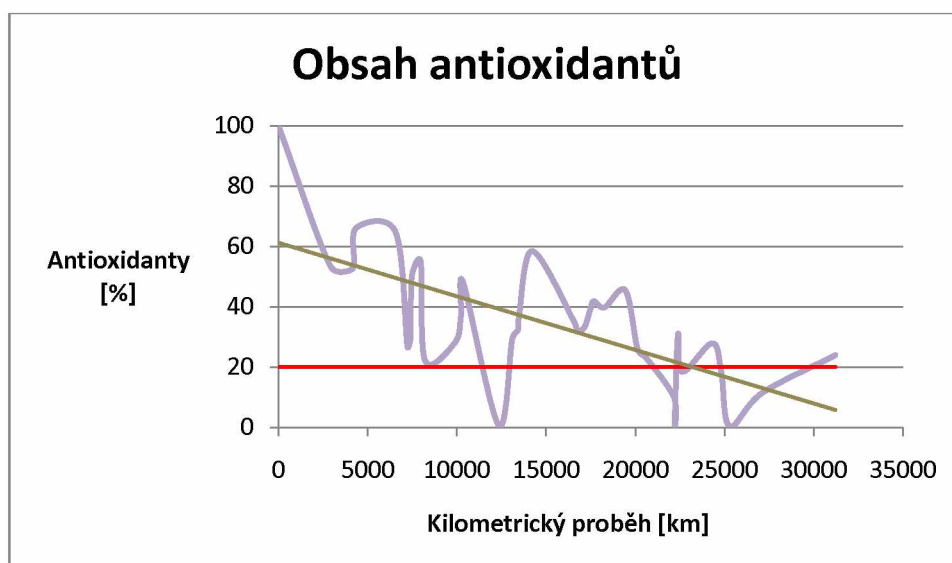
**Tabulka 15: Obsah antioxidantů u analyzovaných vzorků**

Vzorek	Antioxidanty [%]	Počet km
1	100	0
5	53,5	2917
23	52,8	4170
17	66,1	4360
7	64,7	6573
4	26,8	7227
21	29,6	7405
28	50,1	7488
2	55	7974
12	22,2	8225
6	27,9	9872
18	36,7	10227
15	48	10350
30	0,7	12358
24	29,3	13105
19	32,3	13422
25	36,5	13477
3	58,5	14243
14	34,8	16589
27	31,8	16761
26	33,3	17160
11	38,9	17478
20	41,8	17689
34	39,8	18290
35	45,4	19454
16	26,1	20126
31	22,9	20632
32	10	22173
33	0	22200
8	30,7	22393
10	18,4	22623
13	27,9	24323
9	18,5	24823
22	0,3	25300
29	11,4	27125
36	24	31228

Z naměřených hodnot uvedených v tabulce 15 je možno vyvodit závěr, že až na výjimky dochází k vyčerpání životnosti po 20000 kilometrech. Exponenciální charakter úbytku antioxidantů v první části životnosti můžeme opět vysvětlit kontaminací

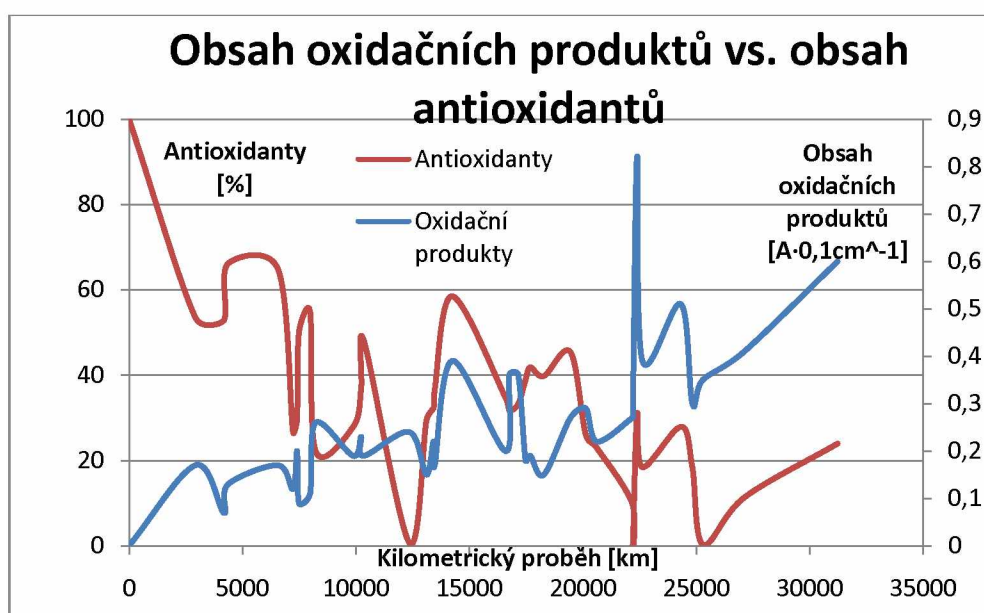
starou olejovou náplní, která nebyla dokonale odstraněna. To se projeví i u degradační křivky pro naměřené hodnoty zobrazené v grafu 6, která místo začátku v blízkosti 100 % antioxidantů začíná nad hranicí 60 %. Limitní hodnoty jsou opět označeny červenou čarou.

Jev nedokonalé výměny náplně je možno co nejvíce eliminovat zahřátím motoru na provozní teplotu bezprostředně před výměnou a následnou dlouho dobou, po kterou dochází k jeho vytékání z motoru. Ještě vhodnější alternativou je odsátí olejové náplně, neboť dojde i k odsátí zbytků, které by zůstaly v prohlubních spodního víka motoru.



Graf 6: Obsah antioxidantů u analyzovaných vzorků

Zajímavé je srovnání obsahu oxidačních produktů s obsahem antioxidantů. Obsah antioxidantů dle očekávání klesá se zvyšujícím se obsahem oxidačních produktů.



Graf 7: Obsah oxidačních produktů vs. obsah antioxidantů

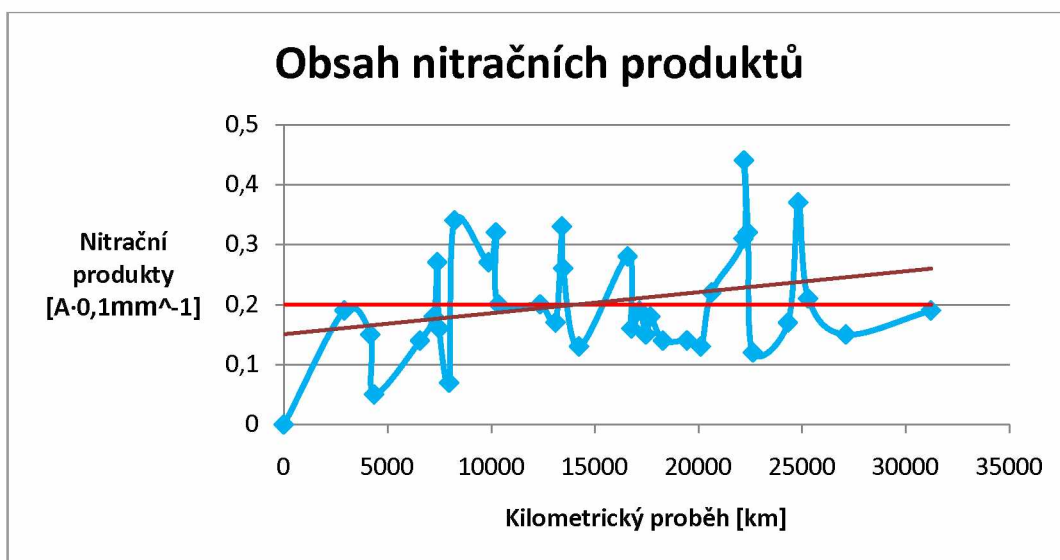
### 3.4.5 Obsah nitračních produktů

Nitrační produkty stanovuje opět olejový analyzátor ze spekter naměřených infračervenou spektroskopií. Výsledné hodnoty jsou uvedeny v tabulce 16. Hodnoty, jenž leží na hranici limitní hodnoty, jsou označeny žlutou výplní. Hodnoty vysoce nad limitem jsou označeny červeně.

Tabulka 16: Obsah nitračních produktů

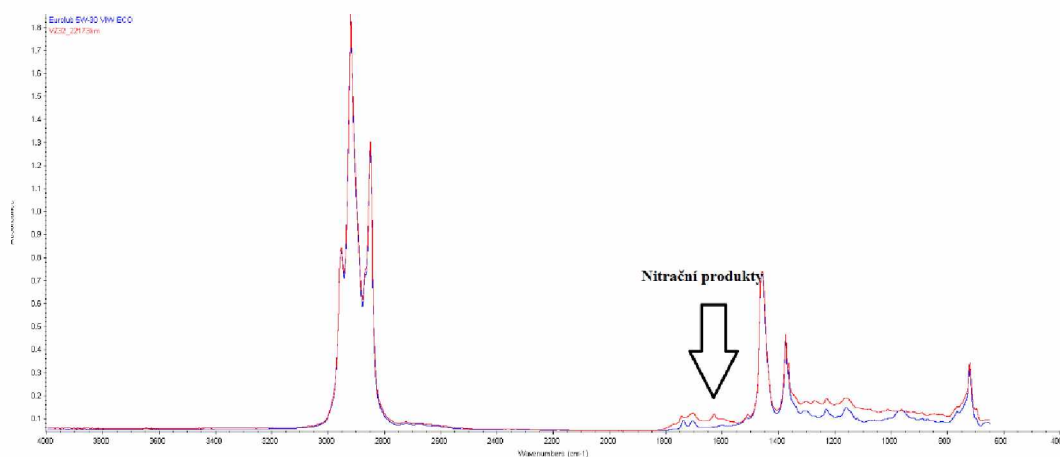
Vzorek	Nitrační produkty [ $A \cdot 0,1\text{mm}^{-1}$ ]	Počet km	Palivo
1	0	0	
5	0,19	2917	benzín
23	0,15	4170	benzín
17	0,05	4360	benzín
7	0,14	6573	nafta
4	0,18	7227	nafta
21	0,27	7405	benzín
28	0,16	7488	nafta
2	0,07	7974	nafta
12	0,34	8225	benzín
6	0,27	9872	benzín
18	0,32	10227	benzín
15	0,2	10350	benzín
30	0,2	12358	benzín
24	0,17	13105	nafta
19	0,33	13422	benzín
25	0,26	13477	benzín
3	0,13	14243	nafta
14	0,28	16589	benzín
27	0,16	16761	nafta
26	0,19	17160	nafta
11	0,15	17478	benzín
20	0,18	17689	benzín
34	0,14	18290	nafta
35	0,14	19454	nafta
16	0,13	20126	nafta
31	0,22	20632	nafta
32	0,31	22173	nafta
33	0,44	22200	nafta
8	0,32	22393	nafta
10	0,12	22623	nafta
13	0,17	24323	nafta
9	0,37	24823	benzín
22	0,21	25300	nafta
29	0,15	27125	nafta
36	0,19	31228	nafta

Limitní hodnotou pro obsah nitračních produktů je, stejně jako pro oxidační produkty,  $0,20 \text{ A} \cdot 0,1 \text{ mm}^{-1}$ . Do tabulky byl pro zajímavost přidán druh paliva, jímž byl poháněn daný motor, ze kterého vzorek oleje pochází. Zde je vidět zajímavost, která z výsledků vyplývá. Zvýšeným obsahem nitračních produktů jsou postihnuté více oleje ze zážehových motorů. To je s největší pravděpodobností způsobeno vyšší spalovací teplotou oproti motoru vznětovému. Teplota má přímý vliv na rychlost oxidace, respektive tvorbu nitračních produktů. Tento výsledek je v rozporu s předpokladem, který odhadoval vyšší tvorbu nitračních produktů u vznětových motorů díky vysoké hodnotě  $\lambda$ , respektive vysokému přebytku vzduchu ve směsi, která se ve vznětovém motoru spaluje. Oleje vznětových motorů mají zvýšený obsah nitračních produktů až od hodnoty 20000 kilometrického proběhu.



Graf 8: Obsah nitračních produktů u analyzovaných vzorků

Degradační křivka obsahu nitračních produktů v závislosti na ujetých kilometrech opět nevychází z předpokládaného počátku. Jedním z důvodů je znovu ovlivnění zbytkem staré náplně, která zůstala v motoru po výměně. Druhým je nedostatek vzorků s nájездem 1 - 1000 km. Vyšší počet vzorků by opět určitě ovlivnil výslednou rovnici degradační křivky.



Obrázek 17: Ukázka spektra s obsahem nitračních produktů [Autor]

### 3.4.6 Obsah sazí

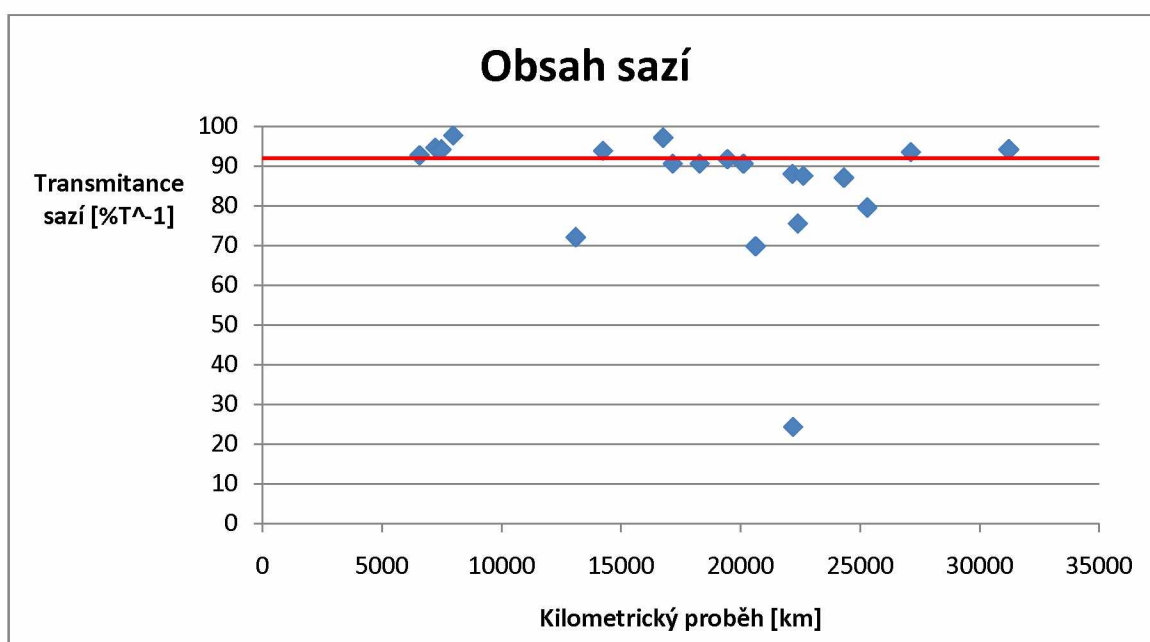
Stanovení obsahu sazí má smysl pouze u vzorků pocházejících ze vznětových motorů. Metodou infračervené spektroskopie je možno stanovit obsah sazí a to transmittančně, jak již bylo zmíněno na začátku kapitoly 3.3.

Tabulka 17: Obsah sazí u měřených vzorků

Vzorek	Počet km	Saze [%T <sup>-1</sup> ]	DPF
7	6573	92,7	Ne
4	7227	94,6	Ne
28	7488	94,1	Ano
2	7974	97,7	Ano
24	13105	72	Ano
3	14243	93,8	Ano
27	16761	97,1	Ano
26	17160	90,6	Ne
34	18290	90,6	Ano
35	19454	91,7	Ano
16	20126	90,6	Ano
31	20632	69,8	Ano
32	22173	88	Ano
33	22200	24,3	Ne
8	22393	75,5	Ano
10	22623	87,5	Ne
13	24323	87	Ano
22	25300	79,5	Ano
29	27125	93,5	Ne
36	31228	94,1	Ano

Vliv sazí na viskozitu oleje začíná již při jejich dvouprocentním obsahu. Mezní hodnota, jenž by obsah sazí neměl překročit, je 5 %hm.. U vozidel vybavených EGR, což jsou dnes prodávána vozidla až na výjimky téměř všechna, je tento limit zvýšen na 8 %hm.. Hodnota, pod kterou by obsah sazí neměl klesnout při měření pomocí infračervené spektroskopie, je 92 %hm.. Obsah sazí u měřených vzorků v závislosti na najetých kilometrech je zobrazen v tabulce 17.

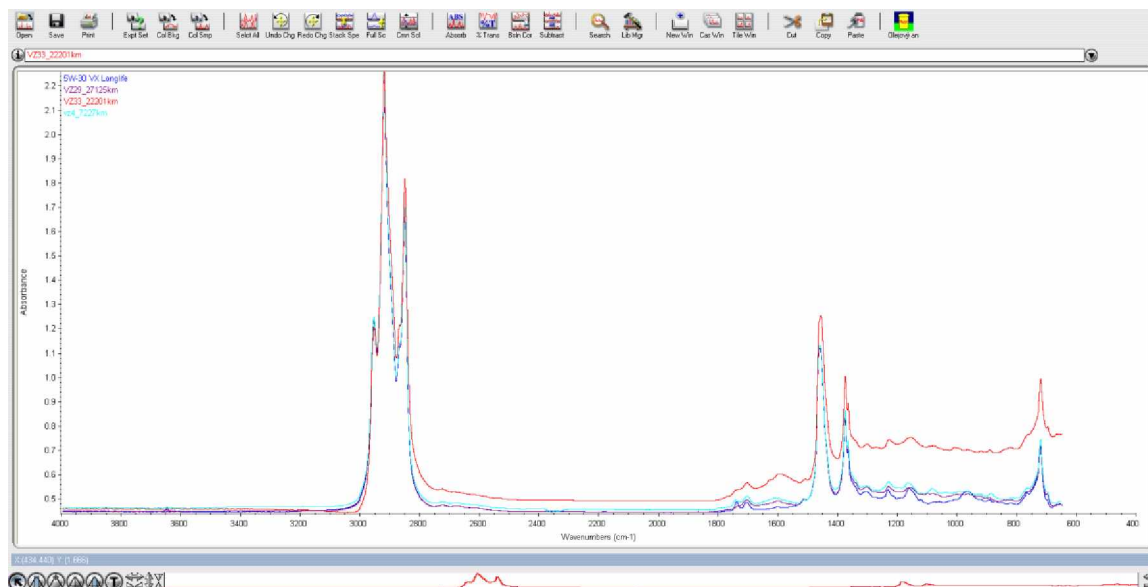
Naměřené hodnoty obsahu sazí uvedené v tabulce 17 ukazují, že nadlimitní obsah sazí se projevuje od druhé poloviny předpokládané životnosti 30000 km. Vzorky, u nichž byl nadlimitní obsah sazí naměřen, jsou označeny červeným polem. Přehledněji je obsah sazí znázorněn v grafu 9.



Graf 9: Obsah sazí u měřených vzorků

U vzorku č. 33 bylo naměřeno 76,7 %hm. sazí v měřeném vzorku. Měření bylo několikrát opakováno, neboť bylo pochybováno o správnosti jeho výsledku. Opakovaná měření potvrdila správnost předchozích výsledků, hodnota je tedy validní, ač těžko uvěřitelná. Spektrum vzorku 33 je zobrazeno na obrázku 18. Pro srovnání jsou zde přiložena spektra oleje nového a dvou dalších vzorků, ve kterých je zvýšený obsah sazí. V případě, že zkoušený vzorek obsahuje saze, je naměřené IČ spektrum v oblasti  $2000\text{ cm}^{-1}$  posunuté oproti spektru standardu k nižším hodnotám T.





Obrázek 18: Spektrum vzorku 33 s vysokým obsahem sazí<sup>[Autor]</sup>

Dalším ne až tak zjevným výsledkem, který je možno z tabulky vyčíst, je závislost obsahu sazí na typu emisního systému. Vzorky 2, 27 a 36 jsou vozidla spadající do koncernu Volkswagen, konkrétně Audi A6, Volkswagen Passat a Škoda Octavia. Tyto vozidla jsou osazeny generací motorů, jenž k recirkulaci výfukových plynů využívají tzv. nízkotlakého EGR systému. Výhoda tohoto systému je ta, že spaliny, které se vracejí zpět do sacího traktu motoru, jsou odebírány až za částicovým filtrem. Jsou tedy zbaveny sazí a neznečišťují sací potrubí motorů. Fakt, že spaliny se do motoru vracejí "čisté", je promítnut i do obsahu sazí ve zkoušených olejích. Vzorky z těchto tří motorů patří do čtveřice vzorků s nejmenším obsahem sazí ze zkoušeného souboru vzorků. Opět tedy docházíme k výsledku, že obsah kontaminantů v motorovém oleji je individuální záležitostí pro jednotlivé druhy vozidel.

Druhým závěrem je stejně jako v předchozích případech fakt, že funkce palubní diagnostiky v oblasti stanovení zbytkové životnosti je nedostačující.

### 3.5 Vyhodnocení zbytkové životnosti

Pro vyhodnocení zbytkové životnosti je potřeba přihlédnout ke všem naměřeným parametrům a na základě jejich hodnot zbytkovou životnost stanovovat. Je zbytečné stanovovat zbytkovou životnost u vzorků, jejichž alespoň jeden parametr překračuje stanovenou mezní hodnotu. Všechny analyzované vzorky jsou spolu s naměřenými parametry uvedeny v tabulce 18.

Tabulka 18: Naměřené parametry u jednotlivých vorků

Vzorek	Viskozita	Palivo	Oxidační produkty	Nitrační produkty	Antioxidanty	Saze
Jednotka	[mm <sup>2</sup> ·s <sup>-1</sup> ]	[%hm]	[A·0,1mm <sup>-1</sup> ]	[A·0,1mm <sup>-1</sup> ]	%	% T <sup>-1</sup>
5	10,267	4,3	0,17	0,19	53,5	-
23	9,3744	4,4	0,07	0,15	52,8	-
17	8,7656	2,8	0,13	0,05	66,1	-
7	12,011	0,2	0,17	0,14	64,7	92,7
4	9,42	2,6	0,12	0,18	26,8	94,6
21	9,1561	4,7	0,2	0,27	29,6	-
28	9,1406	3,3	0,09	0,16	50,1	94,1
2	12,338	2,6	0,11	0,07	55	97,7
6	10,575	1,8	0,26	0,34	22,2	-
18	8,8	2,6	0,19	0,27	27,9	-
15	8,9879	5,6	0,23	0,32	36,7	-
30	11,46	0,4	0,19	0,2	48	-
24	9,6278	3,2	0,24	0,2	0,7	-
19	11,478	2,7	0,15	0,17	29,3	-
25	9,3572	2,1	0,22	0,33	32,3	-
3	8,987	3,6	0,17	0,26	36,5	93,8
14	9,7207	4,7	0,39	0,13	58,5	-
27	9,196	4,7	0,2	0,28	34,8	97,1
26	8,4741	4,9	0,36	0,16	31,8	90,6
11	8,3586	7,5	0,36	0,19	33,3	-
12	11,153	5	0,18	0,15	38,9	-
20	11,692	0,1	0,19	0,18	41,8	-
34	10,392	6,5	0,15	0,14	39,8	90,6
35	9,2522	10,8	0,27	0,14	45,4	91,7
16	9,232	1,5	0,29	0,13	26,1	90,6
31	10,702	2,3	0,22	0,22	22,9	69,8
32	10,98	2,4	0,27	0,31	10	88
33	11,789	3,1	0,27	0,44	0	24,3
8	9,44	2,9	0,82	0,32	30,7	75,5
10	11,935	0,1	0,39	0,12	18,4	87,5
13	8,9275	10,5	0,51	0,17	27,9	87
9	7,689	13,7	0,3	0,37	18,5	-
22	10,759	1,1	0,35	0,21	0,3	79,5
29	11,969	0,3	0,41	0,15	11,4	93,5
36	8,296	9,1	0,6	0,19	24	94,1

Vzorky, jejichž alespoň jeden parametr překračuje limitní hodnotu, jsou spolu se závadnými hodnotami označeny v tabulce 18 červeným polem. U těchto vzorků nemá smysl stanovovat zbytkovou životnost.



Vzorky, jejichž všechny hodnoty jsou nižší než hodnoty limitní, jsou označeny zeleným polem a je možné stanovit jejich zbytkovou životnost. Zároveň jsou u těchto vzorků žlutým polem označeny ty hodnoty, které sice leží pod hodnotami limitními, avšak jsou těmto hodnotám velmi blízko.

Stanovení zbytkové životnosti má tedy význam u vzorků 2, 5, 7, 19 a 20. V případě, že budeme předpokládat lineární postup degradace naměřených parametrů, a porovnáme jej s doposud najetými kilometry, je možné stanovit zbytkovou kilometrickou životnost, než dojde k dosažení limitní hodnoty. Pro výše uvedené vzorky byla dopočítána zbytková životnost z nejhoršího naměřeného parametru (předpoklad u těchto parametrů je ten, že jako první dosáhnou limitní hodnoty). Výsledky vypočítané zbytkové životnosti jsou uvedeny v tabulce 19.

Tabulka 19: Zbytková životnost nezávadných vzorků

Vzorek	Počet km	Nejhorší parametr	Hodnota	Limit	Zbytek	Zbytková životnost v km
5	2917	Palivo	4,3	4,4	0,1	<b>66</b>
7	6573	Saze	92,7	92	0,7	<b>630</b>
2	7974	Antioxidanty	55	20	35	<b>6202</b>
19	13422	Antioxidanty	29,3	20	9,3	<b>1740</b>
20	17689	Oxidační produkty	0,19	0,2	0,01	<b>931</b>

Stanovení zbytkové životnosti provedené v tabulce 19 ukazuje, že záležitost zbytkové životnosti je zcela individuální pro každý druh vozidla a jeho provoz, a nelze ho v žádném případě zobecnit. I největší zbytková životnost stanovená u vzorku 2 ukazuje, že maximální životnost takto provozovaného oleje bude 14-15 tisíc kilometrů, což je polovina od původně předpokládané životnosti 30 tisíc kilometrů. Toto tvrzení jen dokládá výsledky naměřené a uvedené v předchozích tabulkách, které poukazovaly na vyčerpání životnosti již začátkem druhé poloviny životnosti přepokládané.

### 3.6 Porovnání zbytkových životností

V této kapitole bude porovnána vypočtená zbytková životnost se zbytkovou životností stanovenou palubní diagnostikou. Při výměně motorového oleje byla z řídicí jednotky vyčtena hodnota zbytkové životnosti, je proto tedy možné tento krok učinit a zjistit, zda palubní diagnostika plní v oblasti stanovení okamžiku výměny oleje řádně svou funkci. Toto srovnání je uvedené v tabulce 20.

U některých vzorků byla indikována nutnost výměny, ale to na základě časového hlediska, které není řídicí jednotkou nijak upravováno. Tento parametr tedy v tabulce 20 zohledňován není, je brán v úvahu pouze zbytkový kilometrický proběh.

Tabulka 20: Porovnání stanovených životnosti

Vzorek	Nájezd [km]	Životnost z palubní diag [km]	Vypočítaná životnost [km]
5	2917	22600	66
23	4170	23200	Překročení limitních hodnot
17	4360	24700	Překročení limitních hodnot
7	6573	22000	630
4	7227	22600	Překročení limitních hodnot
21	7405	21700	Překročení limitních hodnot
28	7488	22500	Překročení limitních hodnot
2	7974	20200	6202
12	8225	21100	Překročení limitních hodnot
6	9872	17200	Překročení limitních hodnot
18	10227	19700	Překročení limitních hodnot
15	10350	18500	Překročení limitních hodnot
30	12358	17600	Překročení limitních hodnot
24	13105	16400	Překročení limitních hodnot
19	13422	16000	1740
25	13477	15700	Překročení limitních hodnot
3	14243	14200	Překročení limitních hodnot
14	16589	12800	Překročení limitních hodnot
27	16761	13200	Překročení limitních hodnot
26	17160	10800	Překročení limitních hodnot
11	17478	11200	Překročení limitních hodnot
20	17689	12300	931
34	18290	9800	Překročení limitních hodnot
35	19454	7500	Překročení limitních hodnot
16	20126	Indikace servisu na základě km	Překročení limitních hodnot
31	20632	8800	Překročení limitních hodnot
32	22173	Indikace servisu na základě km	Překročení limitních hodnot
33	22200	6200	Překročení limitních hodnot
8	22393	2500	Překročení limitních hodnot
10	22623	6100	Překročení limitních hodnot
13	24323	Indikace servisu na základě km	Překročení limitních hodnot
9	24823	Indikace servisu na základě km	Překročení limitních hodnot
22	25300	Indikace servisu na základě km	Překročení limitních hodnot
29	27125	Indikace servisu na základě km	Překročení limitních hodnot
36	31228	Indikace servisu na základě km	Překročení limitních hodnot

V tabulce 20 je vidět srovnání životností určených palubní diagnostikou a životností stanovenou z naměřených hodnot. Ve všech případech je stanovení zbytkové životnosti palubní diagnostikou nedostačující. Lze také vidět, že k indikaci nutnosti servisu dochází až po proběhu 20 tisíc kilometrů, což lze opět hodnotit jako nedostatečné.

## 4. Expertní stanovení životnosti

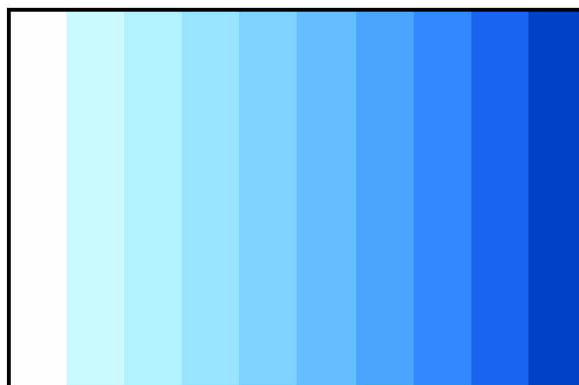
Jak již bylo zmíněno na začátku 3. kapitoly, vyhodnocení zbytkové životnosti by měl provádět vyškolený expert. Pokud však vezmeme finanční nákladnost práce tohoto experta spolu s cenou zkoušek nutných pro stanovení vybraných parametrů, a srovnáme ji s cenou potřebnou k výměně olejové náplně, vyjde nám stanovování zbytkové životnosti jako ekonomicky nerentabilní, minimálně u silničních vozidel, kde se obsah olejové náplně pohybuje v řádech jednotek litrů. S výhodou by částka za rozhodovací práci technika šla eliminovat systémem, který by určil zbytkovou životnost sám. Doposud vyvíjené systémy byly schopny pracovat pouze se dvěma stavy - vyhovuje a nevyhovuje.

V případě životnosti oleje tedy bylo možno systémem pouze určit, zda parametr nepřekračuje limitní hodnoty a životnost tedy existuje, nebo naopak limitní hodnoty jsou překročeny a zbytková životnost neexistuje.

### 4.1 Fuzzy logika

Klasická logika je dvojhodnotová - ano či ne, 1 nebo 0, pravda nebo nepravda. Často bývá tato logika označována jako ostrá, a to díky povaze jednotlivých výroků. Tato logika je vhodná například pro matematiku. Lidská logika avšak pracuje s neostrými hranicemi - ta voda je teplá/studená (jaká teplota je hranicí pro přechod teplé a studené?).

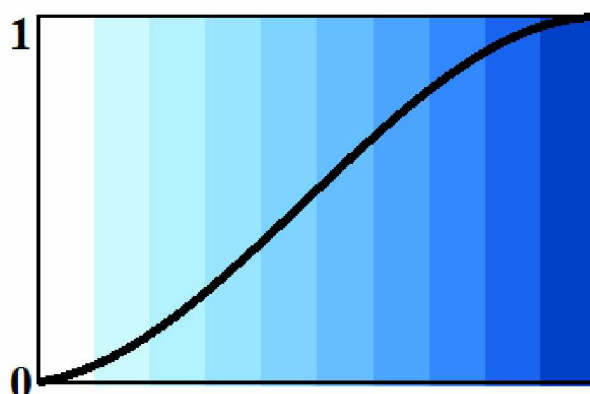
Nevýhody ostré logiky jsou patrné z obrázku 19. Která z barev je modrá? Všechny? Pouze jedna?



Obrázek 19: Příklad nevýhody ostré logiky<sup>[Autor]</sup>

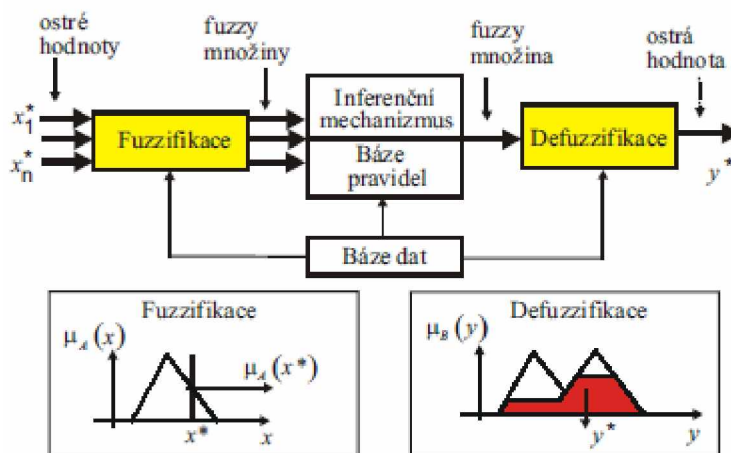
Řešení výše uvedených nevýhod je možno provést pomocí Fuzzy logiky. Fuzzy znamená v překladu mlhavý, neostrý. Jak je tedy z překladu patrné, Fuzzy logika bude pracovat s jinými než ostrými hodnotami. Princip funkce této umělé inteligence spočívá v zavedení takzvaného stupně příslušnosti prvku k množině, který může nabývat jakýchkoliv hodnot z intervalu 0-1, nikoliv pouze těchto dvou hodnot.

Toto tvrzení je možné demonstrovat opět na obrázku 19, respektive na obrázku 20, který je o vhodnou funkci příslušnosti doplněn. Pomocí funkce příslušnosti je stanoveno, na kolik který pruh modré barvy spadá do množiny "Modrá".



Obrázek 20: Příklad funkce příslušnosti<sup>[Autor]</sup>

Princip funkce Fuzzy logiky je tedy následovný. Ostrá vstupní hodnota je převedena na Fuzzy množinu, která určí pravdivostní hodnotu výroku. To se děje pomocí funkcí příslušnosti. Tato operace se nazývá Fuzzifikace. Funkce příslušnosti se mohou různě prolínat, překrývat. Jejich vyhodnocení obstarává báze pravidel, kterou je nutné stanovit v závislosti na stanovených funkcích příslušnosti a požadovaných výsledcích. Jednotlivá pravidla jsou tvořena logickými operátory "If", "And" a "Or". Tyto operace již spadají pod Defuzzifikaci, kdy je fuzzy množina zpět převedena na ostrou výslednou hodnotu. Tento princip je uveden na obrázku 21<sup>[38][39]</sup>.



Obrázek 21: Princip Fuzzy logiky<sup>[39]</sup>

To samé platí v oboru zbytkové životnosti použitého oleje. V případě použití ostré logiky je jediná použitelná otázka následující: Je ten olej ještě dobrý? Ano. Ale jak moc je dobrý? Jak dlouho ho ještě mohu používat? To jsou otázky, na které pomocí ostré

logiky odpovědět nedokážeme. Proto se Fuzzy logika jeví jako vhodný nástroj pro stanovování zbytkové životnosti motorového oleje.

Není náplní této diplomové práce popsat funkci Fuzzy logiky. Je to samostatný vědní obor, pro jehož popsání je třeba více než jednu diplomovou práci. Účelem této práce je zjistit, zda by šla Fuzzy logika využít v oblasti určování zbytkové životnosti oleje.

## 4.2 Fuzzy program pro stanovení zbytkové životnosti

Fuzzy editor je součástí programu Matlab. V tomto editoru je již připraveno uživatelské prostředí pro ovládání, je tedy potřeba "pouze" vhodně stanovit funkce příslušnosti a vytvořit bázi pravidel.

Tento fuzzy program pro stanovování zbytkové životnosti je spíše pokusem, zda by takto stanovovaná zbytková životnost stanovovat šla. Pro exaktní stanovování životnosti by bylo potřeba pracovat s vícero parametry, stejně tak jako tomu bylo při vyhodnocování v praktické části této diplomové práce.

Pro zjednodušení programu tedy byly vybrány tři nejdůležitější parametry - viskozita, obsah paliva a obsah oxidačních produktů. Limitní hodnoty byly stanoveny stejně jako při vyhodnocování naměřených vzorků. Hodnoty jsou pro připomenutí uvedeny v tabulce 21.

Tabulka 21: Limitní hodnoty vybraných parametrů pro fuzzy systém

Parametr	Limitní hodnota	Jednotka
Viskozita kinematická při 100 °C	<9,4 a >14,1	mm <sup>2</sup> ·s <sup>-1</sup>
Obsah paliva	>4,4	%hm
Obsah oxidačních produktů	>0,20	A·0,1mm <sup>-1</sup>

Zbytková životnost se tedy bude stanovovat až do limitních hodnot vybraných parametrů uvedených v tabulce 21. Nejvyšší životnost bude vyhodnocena v případě, že viskozita vzorku bude mít hodnotu viskozity nového oleje, obsah paliva bude nulový, stejně tak jako obsah oxidačních produktů. Životnost dále bude klesat s rostoucí hodnotou vybraných parametrů. Jakmile dojde k překročení byť jednoho z parametrů, musí systém vyhodnotit zbytkovou životnost jako nulovou. Životnost se bude počítat od výrobcem deklarované životnosti, tedy 30000 km. Funkce příslušnosti je potřeba stanovit pro každý hodnotící parametr zvlášť.

## **Viskozita**

Pro viskozitu bylo stanoveno pět funkcí příslušnosti. Vzhledem k povaze možných hodnot u viskozity je nutnost použít pět funkcí příslušnosti. Dvě funkce typu Trapmf pro překročení limitních hodnot označeny jako "Málo viskózní" a "Příliš viskózní". Hodnoty 1 tato funkce nabude při poklesu pod limitní hodnotu  $9,4 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$  respektive překročení přes  $14,1 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ . Dále je zde funkce opět typu Trapmf označující viskozitu jako "Skvělá", která nabývá hodnoty 1 pouze pro hodnotu viskozity shodnou s hodnotou nového oleje, tedy  $11,8 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ . Zbývající dvě funkce typu Trimf jsou určeny pro pokles, respektive růst od ideální hodnoty. Jsou označeny jako "Nižší" a "Vyšší", jejich funkční hodnoty se rovnají jedné v hodnotě ideální viskozity a postupně klesají k nule až do limitních hodnot. Funkce příslušnosti pro parametr viskozita jsou zobrazeny na obrázku 22.

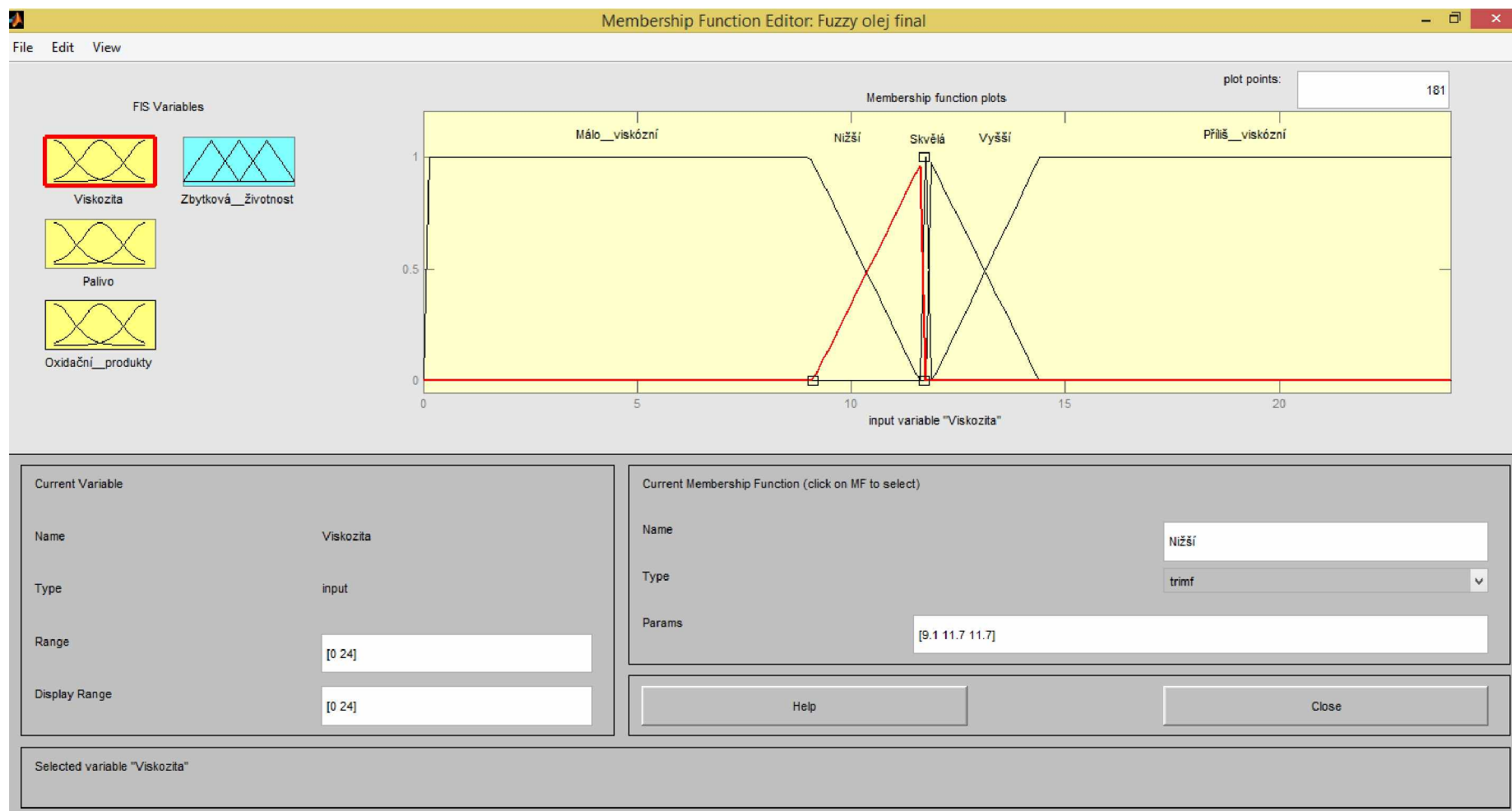
## **Obsah paliva**

Pro obsah paliva není stanovení funkcí příslušností tak složité jako pro viskozitu, neboť funkční funkce příslušnosti má smysl stanovovat pouze od nulového obsahu do limitní hodnoty  $4,4 \text{ \%hm.}$ . Pro nulový obsah a maximální životnost je zde funkce s názvem "Nic", která nabývá funkční hodnoty 1 při nulovém obsahu paliva. Dále jsou zde funkce typu Trimf s názvy "Málo", "Středně" a "Hodně", které postupně definují obsah paliva charakteristicky pro jejich názvy až do limitní hodnoty. Pro nulovou životnost je zde funkce typu Trapmf s názvem "Nad limit", která nabývá své maximální funkční hodnoty při obsahu paliva  $>4,4 \text{ \%hm.}$  Funkce jsou zobrazeny na obrázku 23.

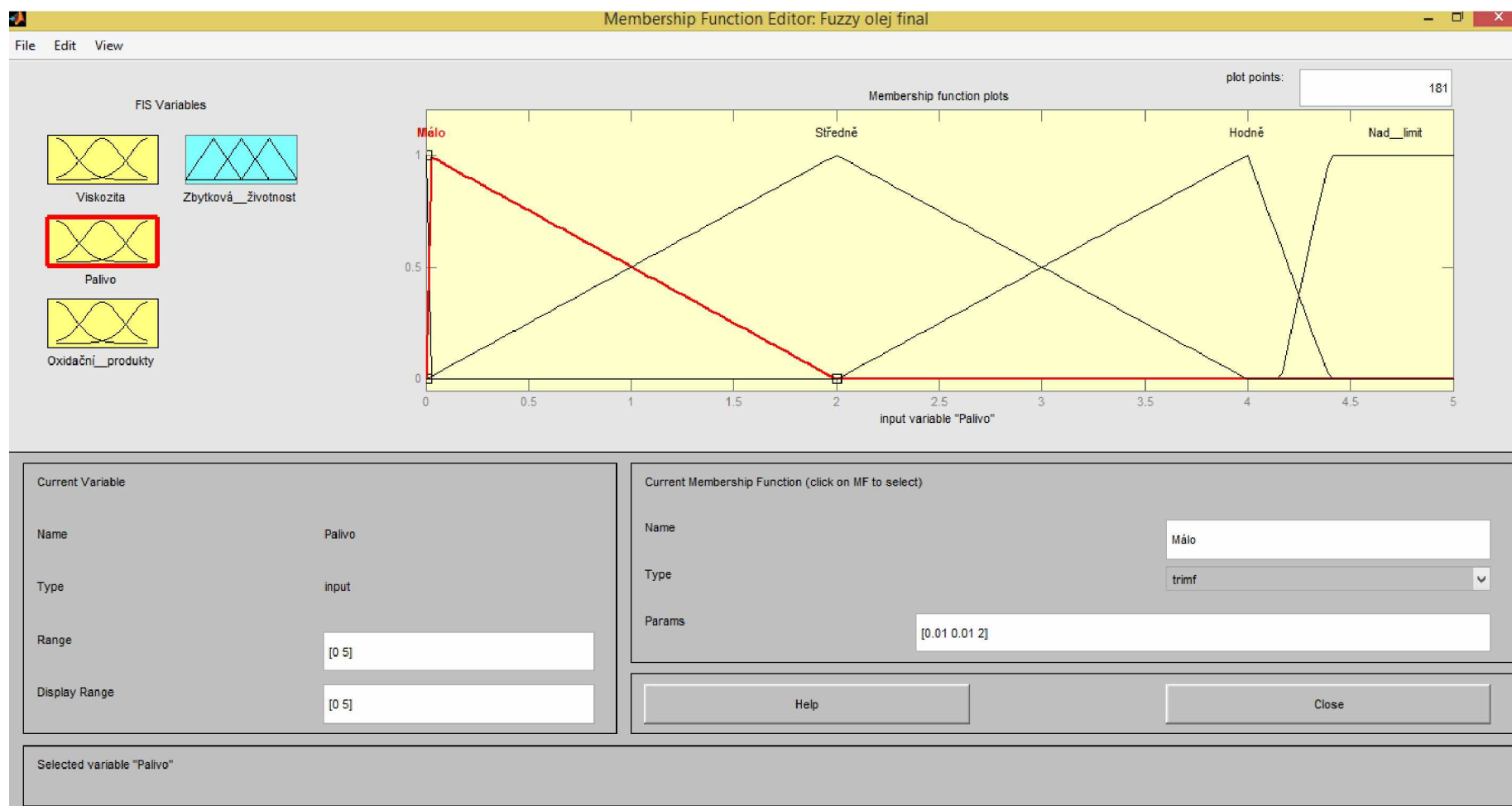
## **Obsah oxidačních produktů**

Funkce příslušnosti pro obsah oxidačních produktů mají podobný charakter jako obsah paliva. Opět je zde funkce "Žádné" pro nulový obsah paliva. Tyto zdánlivě těžce dosažitelné funkce jsou velice důležité pro vygenerování maximální životnosti při zadání vstupních hodnot souhlasných s hodnotami nového oleje.

Dále jsou zde shodně jako pro obsah paliva stanoveny funkce charakterizující obsah oxidačních produktů, konkrétně funkce "Málo", "Středně" a "Hodně" opět určující obsah charakteristicky podle svého názvu. Funkcí "Přes limit" se dosáhne při překročení limitní hodnoty  $0,20 \text{ A} \cdot 0,1 \text{ mm}^{-1}$ . Funkce charakterizující překročení limitní hodnoty jsou nezbytné pro stanovení nulové zbytkové životnosti při překročení této hodnoty jedním z parametrů. Funkce jsou zobrazeny na obrázku 24.

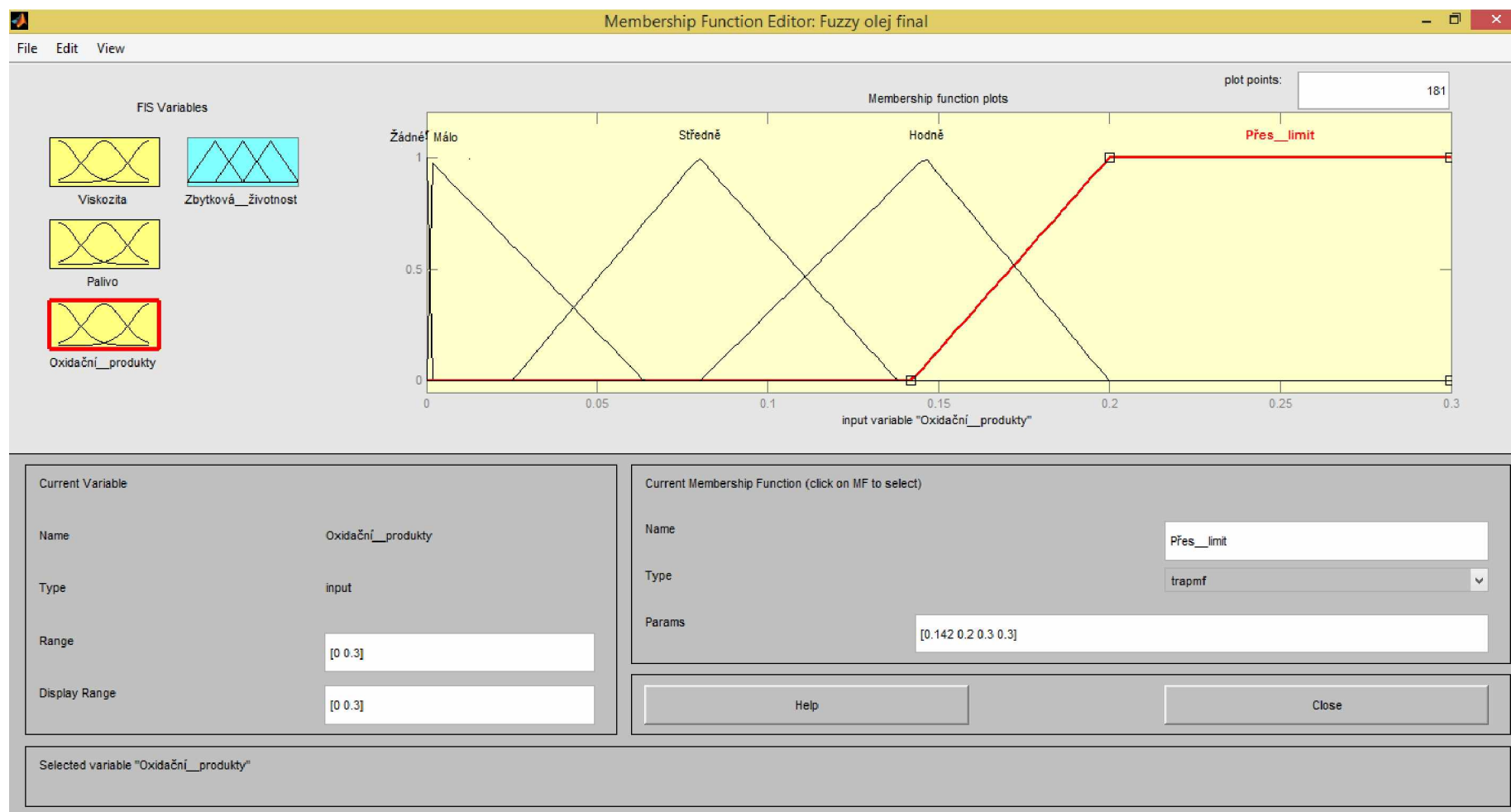


Obrázek 22: Funkce příslušnosti pro viskozitu<sup>[Autor]</sup>



Obrázek 23: Funkce příslušnosti pro obsah paliva<sup>[Autor]</sup>





Obrázek 24: Funkce příslušnosti pro obsah oxidačních produktů<sup>[Autor]</sup>

Výše byly popsány funkce příslušnosti vstupních parametrů pro hodnocení životnosti. Jak je patrné z přiložených obrázků, každá z funkcí příslušnosti má vymezený interval, ve kterém postupně nabývá různých funkčních hodnot dle toho, jak náležitě svoji povahou do tohoto intervalu spadá. Funkce se pro správnou funkci Fuzzy logiky prolínají. Tento výše popsáný proces, při kterém dochází ke převodu ostré vstupní hodnoty na neostrou, se nazývá Fuzzyfikace.

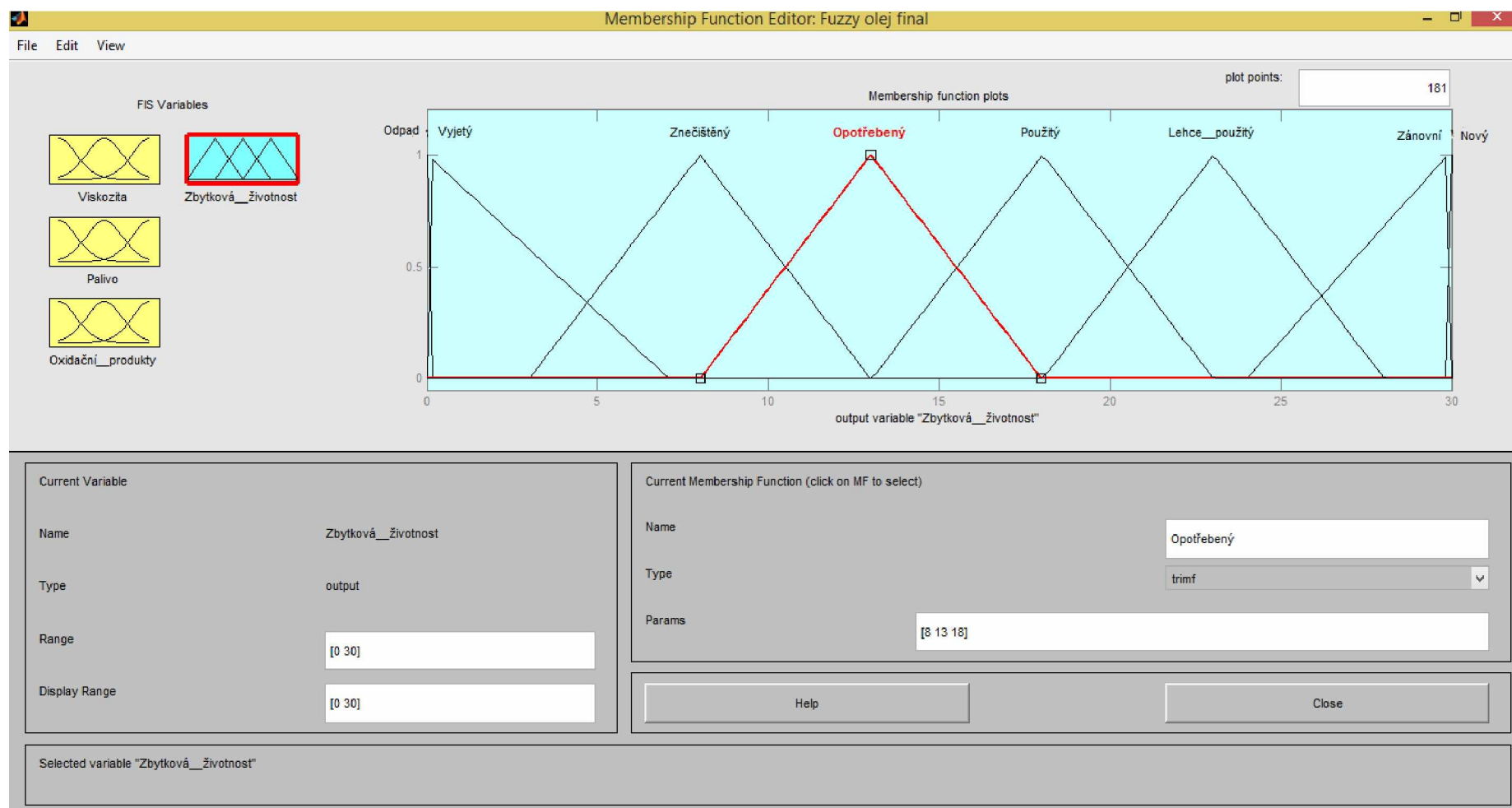
Dále je potřeba popsat výstupní funkce příslušnosti, které bude Fuzzy logika používat při zpětném převodu neostré hodnoty na ostrou výstupní hodnotu. V našem případě bude výstupní hodnotou počet kilometrů, které můžeme na olej ještě najet.

Výstupní funkce příslušnosti byly stanoveny následovně: "Nový", "Zánovní", "Lehce použitý", "Použitý", "Opotřebený", "Znečištěný", "Vyjetý" a "Odpad". Funkce jsou zmíněny sestupně dle kvality. Počet výstupních funkcí příslušnosti je větší, než funkcí vstupních. Důvodem k tomu je velký počet možných kombinací vstupních funkcí a tím pádem velkého počtu možných výstupů. Pro správnou funkci Fuzzy logiky je tedy i třeba stanovit větší počet výstupních funkcí příslušnosti. Stanovené výstupní funkce příslušnosti jsou zobrazeny na obrázku 25.

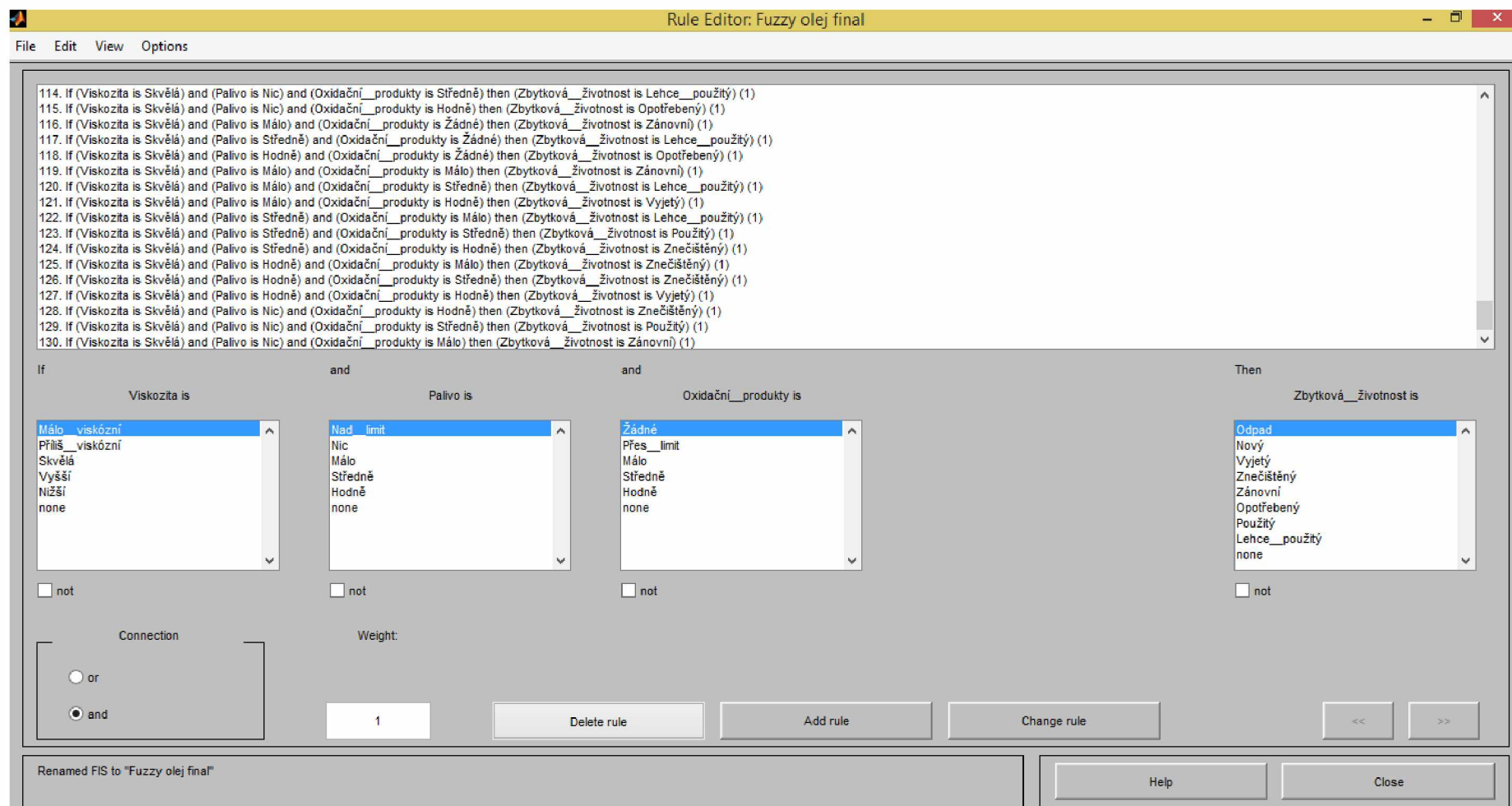
#### **4.2.1 Báze pravidel**

Aby bylo možno přiřadit vstupním funkcím příslušnosti jejich funkce výstupní, je nutné vhodně vyplnit bázi pravidel jednotlivými pravidly. Ty jsou sestavovány pomocí logických spojek "AND", "OR" a "THEN", případě klasifikátorem "NOT".

Celkem bylo nutné použít 130 pravidel, z nichž velká část jsou určena pro vyhodnocení maximální životnosti 30 tisíc kilometrů a vyhodnocení nulové zbytkové životnosti. Ukázka těchto pravidel je zobrazena na obrázku 26.



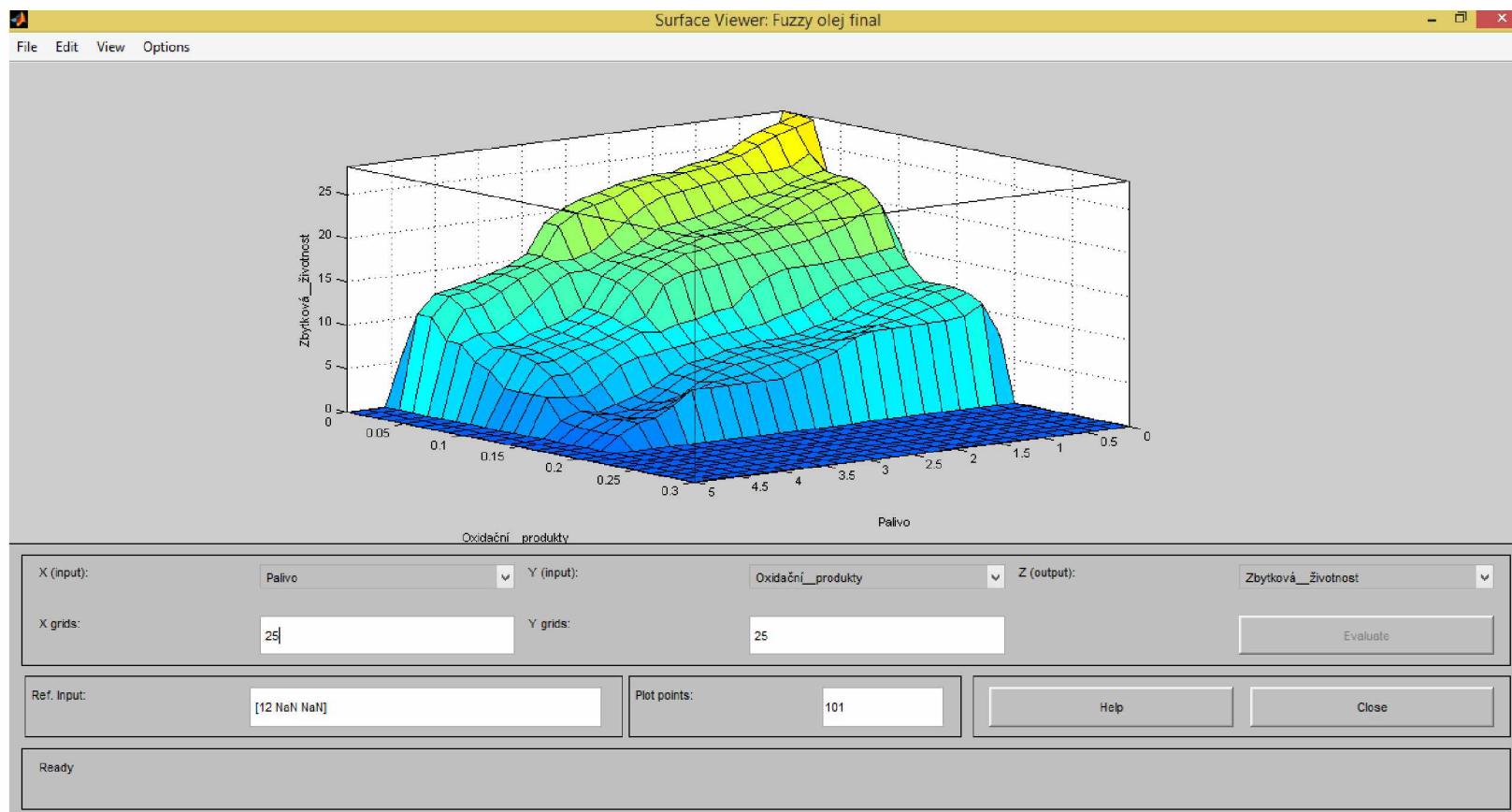
Obrázek 25: Výstupní funkce příslušnosti <sup>[Autor]</sup>



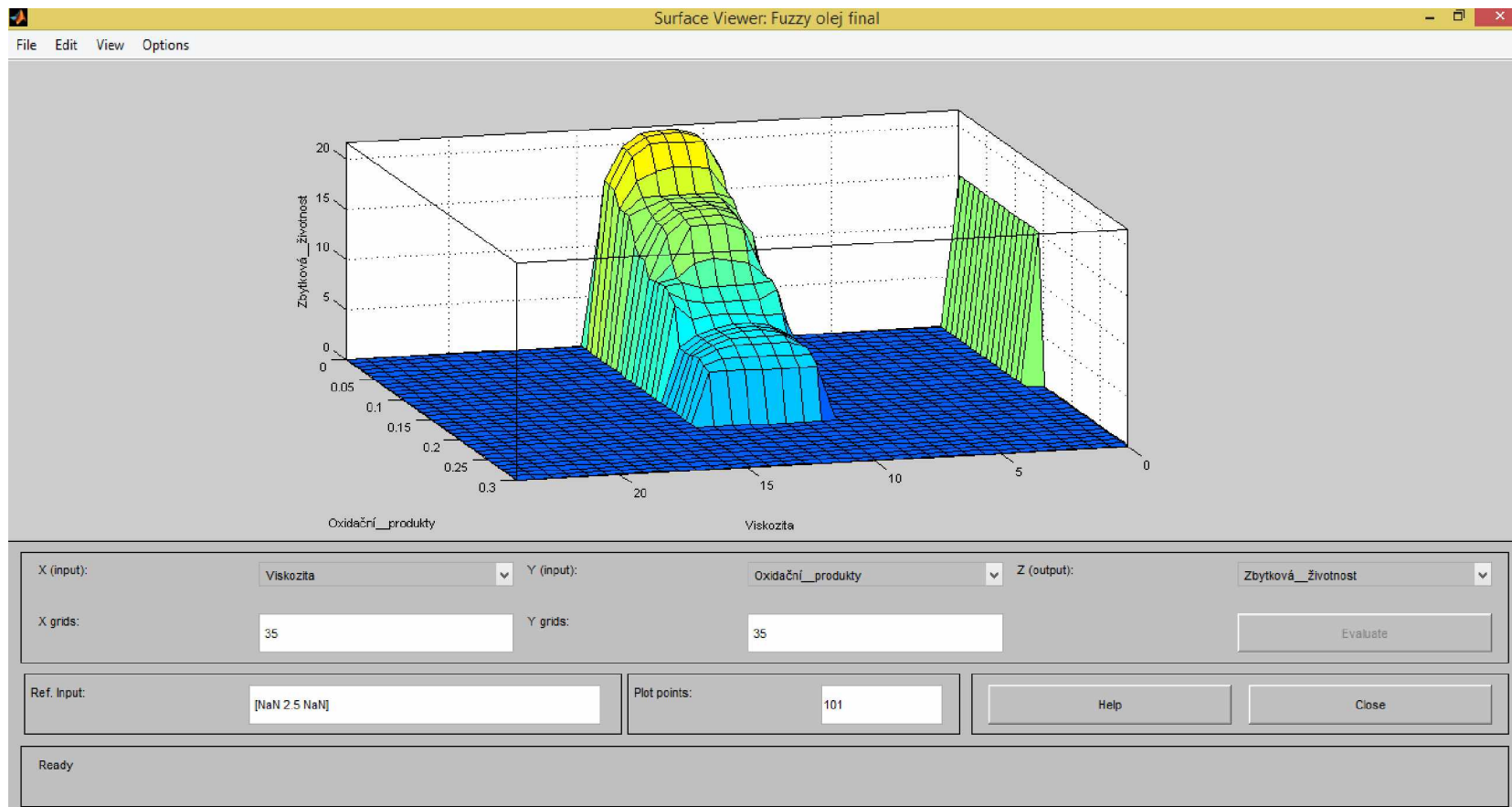
Obrázek 26: Báze pravidel fuzzy logiky<sup>[Autor]</sup>

### 4.2.2 Řídící plochy

Řídící plochou je nazýváno grafické zobrazení nelineární funkce mezi jednotlivými vstupními parametry. Pojem řídící plochy byl zaveden až v teorii fuzzy systémů a je vhodný pro přehledné hledání vhodných pravidel a funkcí příslušnosti. Příklad řídících ploch je zobrazen na obrázcích 27 a 28.



Obrázek 27: Řídící plocha paliva a oxidačních produktů<sup>[Autor]</sup>



Obrázek 28: Řídicí plocha viskozity a oxidačních produktů [Autor]

### 4.2.3 Uživatelské prostředí

Uživatelské prostředí je již předpřipraveno v programu Matlab. Přehledně lze nastavovat hodnoty jednotlivých parametrů pomocí kurzoru, případně je možné zadat naměřené hodnoty do okna "Input". Jsou zde vidět jednotlivá pravidla spolu s funkcemi příslušnosti a grafickým zobrazením funkční hodnoty, kterou funkce zrovna má v místě, kam je posunut kurzor. Uživatelské prostředí je zobrazeno na obrázku 29.



Obrázek 29: Uživatelské prostředí<sup>[Autor]</sup>

#### 4.2.4 Ukázka funkce fuzzy programu pro stanovení zbytkové životnosti motorového oleje

Níže jsou ukázky funkce vytvořeného fuzzy programu pro stanovení zbytkové životnosti motorového oleje. Po zadání vstupních naměřených hodnot ze vzorku motorového oleje systém dopočítá zbytkovou životnost pro tento vzorek. Hodnoty jsou zobrazovány v tisících kilometrech, zobrazovanou hodnotu je tedy potřeba pro správný výsledek vynásobit tisícem.



Obrázek 30: Ukázka funkce - životnost 30000 km<sup>[Autor]</sup>

Na obrázku 30 je zobrazen stav, při kterém program vyhodnotí zbytkovou životnost 30000 km. Stav nastane při zadání hodnot shodných s hodnotami nového oleje, tedy dynamická viskozita při 100 °C  $11,8 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ , obsah paliva 0 %hm a obsah oxidačních produktů  $0 \text{ A} \cdot 0,1 \text{ mm}^{-1}$ .





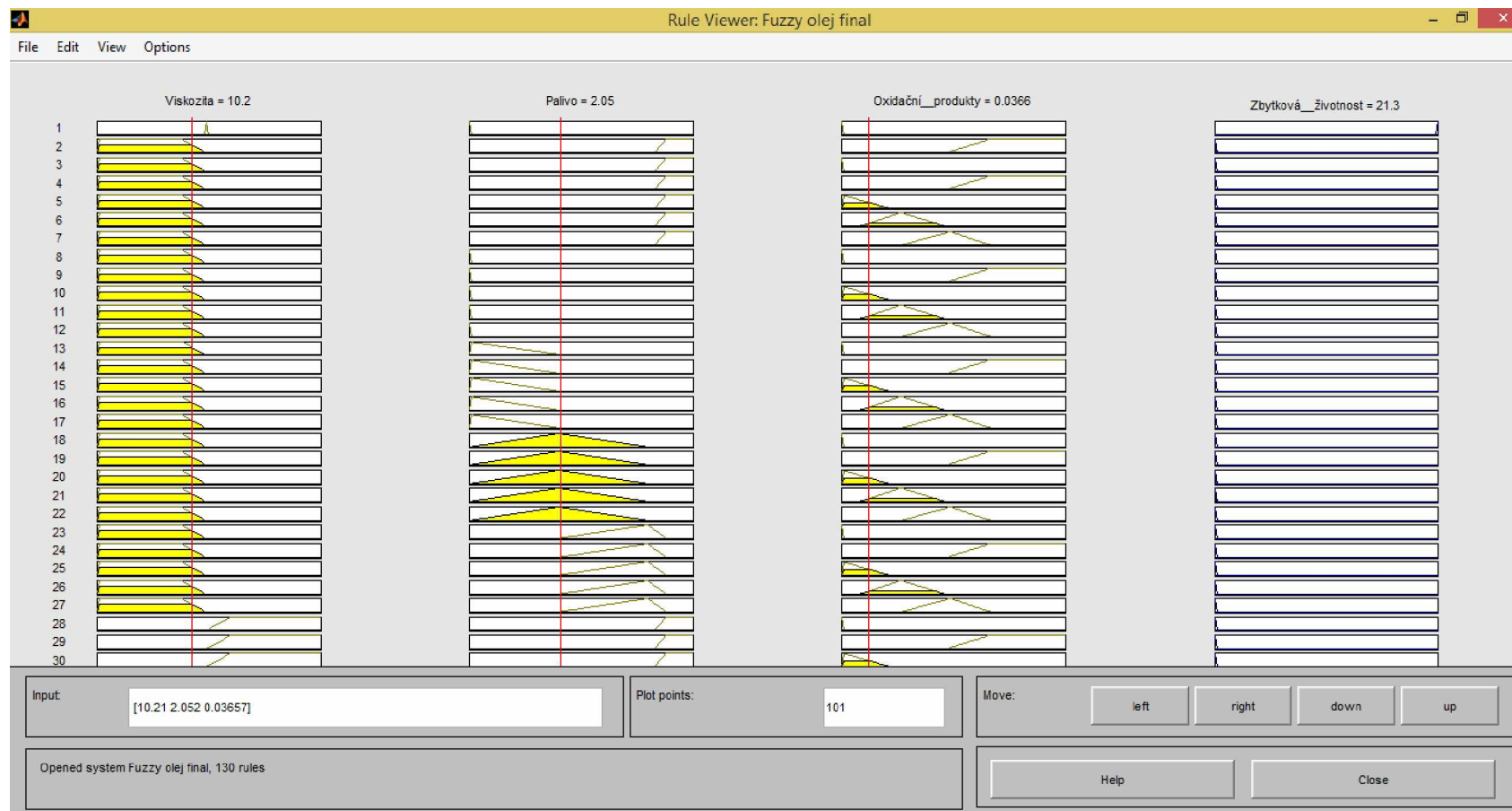
**Obrázek 31: Ukázka funkce - životnost 0 km (palivo)<sup>[Autor]</sup>**

Na obrázku 31 je naopak zobrazen stav nulové zbytkové životnosti. Tohoto stavu je dosaženo překročením kteréhokoliv z parametrů přes svou limitní hodnotu, zde konkrétně je překročena limitní hodnota u parametru "Palivo". Tento stav je zachycen i na obrázku 32, tentokrát pro parametr "Viskozita".



Obrázek 32: Ukázka funkce - životnost 0 km (viskozita)<sup>[Autor]</sup>

Na následujících obrázcích 33 a 34 je vidět postupný pokles zbytkové životnosti, který je fuzzy logikou generován.



Obrázek 33: Ukázka funkce - zbytková životnost 21300 km<sup>[Autor]</sup>



**Obrázek 34:** Ukázka funkce - zbytková životnost 3900 km<sup>[Autor]</sup>

Na obrázku 34 je patrná nízká zbytková životnost. Způsobeno to je přiblížením parametrů ke svým limitním hodnotám. Je tedy možné prohlásit, že fuzzy logika funguje dle očekávání a správně generuje zbytkovou životnost použitého motorového oleje.

## 5. Závěr

Cílem této diplomové práce bylo z naměřených parametrů vyhodnotit zbytkovou životnost použitých motorových Long Life olejů ze silničních vozidel a ověřit, zda je možné tyto oleje provozovat po deklarovanou životnost 30 tisíc kilometrů bez překročení limitních parametrů. Překročení těchto parametrů má nežádoucí vliv na mazání, jehož kvalita se dále projevuje na životnosti motoru a jeho komponent. Používáním Long Life olejů a tím prodlužováním servisních intervalů sledují výrobci automobilů aktuální trendy v oblasti snižování provozních nákladů motorových vozidel z hlediska spotřebitele, ale i snižování ekologické zatížitelnosti z hlediska recyklace oleje použitého.

V první polovině praktické části byly hodnoceny vzorky použitého motorového oleje typu Long-Life viskozitní třídy 5W30 pocházející ze silničních motorových vozidel. Tyto vzorky komplexně pokrývaly životnostní nájezd od 2000 km až po 31000 km, pocházely jak ze vznětových, tak zážehových motorů vozidel různého stáří. V případě vzorků ze vznětových motorů byla zohledněna přítomnost částicového filtru.

U těchto vzorků byla příslušnými zkouškami stanovována viskozita, obsah paliva, obsah oxidačních produktů, obsah nitračních produktů, zbytkový obsah antioxidantů a obsah sazí. Překvapením bylo, že i u vzorků s velice nízkým nájezdem kilometrů bylo zjištěno překročení některých z parametrů. To jen potvrzuje tvrzení, že vyhodnocení životnosti by mělo být komplexním posouzením vícero naměřených parametrů, a nikoliv hodnocení životnosti dle jednoho naměřeného parametru.

Na závěr první části bylo provedeno srovnání stanovené zbytkové životnosti s životností deklarovanou palubní diagnostikou ve vozidlech. Toto srovnání ukázalo, že funkce palubní diagnostiky je nedostatečná a měl by být přehodnocen způsob vyhodnocení, se kterým palubní diagnostika v silničním vozidle pracuje. Měřením a vyhodnocením kvalitativních parametrů motorového oleje bylo prokázáno, že i v těch nejlepších případech dochází k překročení limitních hodnot těchto parametrů do 15 tisíc kilometrického proběhu, což je polovina předpokládané životnosti 30 tisíc kilometrů. To bylo potvrzeno dopočítáním zbytkové životnosti u vzorků, jenž měly všechny měřitelné parametry pod limitními hodnotami. Na základě naměřených výsledků je tedy doporučeno zkrátit výměnný interval oleje na 15 - 20 tisíc kilometrů, a to za předpokladu ideálních podmínek provozu vozidla.

Výše zmíněný fakt o nezpůsobilosti Long Life olejů plnit svou funkci 30 tisíc kilometrů je potvrzením studie<sup>42</sup>, ve které bylo dosaženo stejných výsledků a závěrů, jako v této diplomové práci.

V druhé polovině praktické části této diplomové práce byl vyvinut program umělé inteligence pracující s Fuzzy logikou, který je schopný po zadání naměřených hodnot stanovit zbytkovou životnost motorového oleje, a tím nahradit rozhodovací práci expertního pracovníka. Toto nahrazení má výhodu ve finanční úspoře za práci technika, a tedy transformuje stanovování zbytkové životnosti motorového oleje do oblasti finančně rentabilní.

Tento program by mohl být s výhodou implementován do softwarové aplikace měřících zařízení typu infračervené spektroskopie, pomocí kterých se vybrané parametry měří, a která by tím pádem mohla stanovovat zbytkovou životnost sama.

Dalším možným způsobem implementace by mohlo být spojení Fuzzy logiky s vhodným snímačem kvality motorového oleje. Tento snímač by měřil vybrané parametry přímo v motoru a zabudovaná Fuzzy logika by kontinuálně stanovovala zbytkovou životnost v závislosti na množství degradačních produktů. Tato zpráva by byla odesílána do řídicí jednotky motoru, která by prostřednictvím palubní diagnostiky informovala řidiče o nutnosti výměny motorového oleje.

Poslední možností využití již zabíhá do oblasti tzv. Průmyslu 4.0. Naměřená data jsou spolu s ostatními provozními daty live odesílána do centrální sítě, do které má přístup příslušný servis, který zákazníka včas upozorní na zhoršující se parametry. Tento způsob vzdálené diagnostiky vozidel již s výhodou funguje, nebyl by tedy problém do něj implementovat i Fuzzy diagnostiku pro vyhodnocení zbytkové životnosti motorových olejů.

Výše byla nastíněna budoucnost hodnocení životnosti motorového oleje, která by se nemusela omezovat pouze na "obyčejnou" Fuzzy logiku - dalším možným zkvalitněním by mohlo být použití Fuzzy neuronové sítě, která by mohla zohledňovat vyhodnocení i podle historie dosavadního používání vozidla, či například zahrnout lidský faktor v podobě řidiče, který má samozřejmě svým způsobem používání vozidla vliv na zbytkovou životnost provozovaného oleje.

## 6. Seznam literatury

- [1] *Automotive handbook*. 6th rev. and extendeded. London: Professional Engineering Pub., 2004. ISBN 1-86058-474-8.
- [2] BARTZ, Wilfried J. *Engineoils and automotive lubrication*. New York: Marcel Dekker, c1993. Mechanical engineering, 80. ISBN 0-8247-8807-9.
- [3] VLK, František. *Paliva a maziva motorových vozidel*. Brno: František Vlk, 2006. ISBN 80-239-6461-5.
- [4] STRAKA, Bedřich. *Motorové oleje a tribotechnická diagnostika naftových motorů*. Praha: NADAS, 1986.
- [5] LEUGNER, Tex. *Thepractical handbook of machinery lubrication*. 2nd ed. S.l.: Oil City Press, 2000.
- [6] HRDLIČKA, Zdeněk. *Automobilové kapaliny: [motorové a převodové oleje, chladicí a brzdové kapaliny, ostatní náplně, přehled výrobků a nejznámějších firem, vzájemná zaměnitelnost olejů]*. Praha: Grada, 1996. ISBN 80-7169-332-4.
- [7] *Porovnání klasifikací automobilových motorových olejů* [online]. [cit. 2018-12-08]. Dostupné z: <https://www.oleje.cz/clanek/Porovnani-klasifikaci-automobilovych-motorovych-oleju>
- [8] ČERNÝ, Jaroslav. *Když se řekne základové oleje* [online]. [cit. 2018-12-15]. Dostupné z: <https://www.oleje.cz/clanek/Kdyz-se-rekne--zakladove-oleje>
- [9] ČERNÝ, Jaroslav. *Vlastnosti motorových olejů - Detergenty a disperzanty* [online]. [cit. 2018-12-15]. Dostupné z: <https://www.oleje.cz/clanek/Vlastnosti-motorovych-oleju--Detergenty-a-disperzanty>
- [10] BARKUSKY, Frank, Libor JUHA, Saša BAJT, Armin BAYER, Christian PETH, Ryszard SOBIERAJSKI a Klaus MANN. *Direct structuring of solids by EUV radiation from a table-top laser produced plasma source* [online]. In: . 2009-5-7, 73610D- [cit. 2018-12-18]. DOI: 10.1117/12.822243. Dostupné z: <http://proceedings.spiedigitallibrary.org/proceeding.aspx?doi=10.1117/12.822243>
- [11] Autoexpert 11, Časopis, ročník 2006, Technologie, Motorové oleje, Voda a glykol v oleji.
- [12] Autoexpert 10, Časopis, ročník 2006, Technologie, Motorové oleje, Palivo v oleji.
- [13] Autoexpert 7-8, Časopis, ročník 2006, Technologie, Motorové oleje, Nečistoty a saze v motorovém oleji.

- [14] Autoexpert 12, Časopis, ročník 2006, Technologie, Motorové oleje, Otěrové kovy
- [15] ČERNÝ, Jaroslav. *Diagnostika olejů při prodloužených servisních intervalech automobilů* [online]. [cit. 2019-01-09]. Dostupné z: <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-22014/diagnostika-oleju-pri-prodlouzenych-servisnich-intervalech-automobilu.html>
- [16] FITCH, Bennett. *Oil Analysis Explained* [online]. [cit. 2019-01-24]. Dostupné z: <https://www.machinerylubrication.com/Read/29598/oil-analysis-report>
- [17] HOLLOWAY, Michael. *The Oil Analysis Handbook* [online]. [cit. 2019-02-01]. Dostupné z: [http://www.certifiedlabs.com/certified/vContent/4/documents/general/Oil\\_Analysis\\_Handbook.pdf](http://www.certifiedlabs.com/certified/vContent/4/documents/general/Oil_Analysis_Handbook.pdf)
- [18] *Understanding the SAE Motor Oil Viscosity Standard* [online]. [cit. 2019-02-07]. Dostupné z: [https://www.jcmotors.com/images/understanding\\_motor\\_oil\\_viscosity.pdf](https://www.jcmotors.com/images/understanding_motor_oil_viscosity.pdf)
- [19] *Viscosity and viscosity grades* [online]. [cit. 2019-02-07]. Dostupné z: <http://www.mototribology.com/articles/viscosity-viscosity-grades/>
- [20] *Air temperature chart of viscosity grades* [online]. [cit. 2019-02-08]. Dostupné z: [https://jdparts.deere.com/partsmkt/document/english/pmac/5565\\_fb\\_Plus5015W40\\_0W40.htm](https://jdparts.deere.com/partsmkt/document/english/pmac/5565_fb_Plus5015W40_0W40.htm)
- [21] *SAE viscosity grades* [online]. [cit. 2019-02-14]. Dostupné z: <https://wiki.anton-paar.com/en/sae-viscosity-grades/>
- [22] *ACEA EUROPEAN OIL SEQUENCES* [online]. [cit. 2019-02-25]. Dostupné z: [https://www.acea.be/uploads/news\\_documents/ACEA\\_European\\_oil\\_sequences\\_2016.pdf](https://www.acea.be/uploads/news_documents/ACEA_European_oil_sequences_2016.pdf)
- [23] *Engine oil* [online]. [cit. 2019-03-01]. Dostupné z: <https://wiki.anton-paar.com/en/engine-oil/>
- [24] *Proven performance for turbochargers* [online]. [cit. 2019-03-05]. Dostupné z: <https://mobiloil.com/en/article/why-the-mobil-advantage/mobil-1-performance/mobil-1-turbocharged-engines>
- [25] *Properties of Lubricating Oil* [online]. [cit. 2019-03-14]. Dostupné z: <http://what-when-how.com/automobile/properties-of-lubricating-oil-automobile/>



- [26] SAJDL, Jan. *Kapková zkouška oleje* [online]. [cit. 2019-03-14]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/kapkova-zkouska-oleje/>
- [27] WRIGHT, Jeremy. *Benefits of FTIR Oil Analysis* [online]. [cit. 2019-03-16]. Dostupné z: <https://www.machinerylubrication.com/Read/30205/ftir-oil-analysis>
- [28] VAN DE VOORT, F. R. *Demystifying and Understanding Lubricants* [online]. [cit. 2019-03-16]. Dostupné z: <https://www.machinerylubrication.com/Read/997/understand-lubricants>
- [29] CHE MAT, Sharzali, Mohamad IDROAS, Yew TEOH a Mohd HAMID. Physicochemical, Performance, Combustion and Emission Characteristics of MelaleucaCajuputi Oil-Refined Palm Oil Hybrid Biofuel Blend. *Energies* [online]. 2018, 11(11) [cit. 2019-03-17]. DOI: 10.3390/en11113146. ISSN 1996-1073. Dostupné z: <http://www.mdpi.com/1996-1073/11/11/3146>
- [30] CHÝLKOVÁ, Jaromíra, Renáta ŠELEŠOVSKÁ a Markéta TOMÁŠKOVÁ. *Ekoanalýza I*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2013. ISBN 978-80-7395-600-4.
- [31] *EUROLUB WIV ECO 5W/30* [online]. [cit. 2018-11-15]. Dostupné z: [https://assets.ctfassets.net/kznjnmjn6augk/6x71vz5Y9aw8IQa2uKOU0W/41bcf10bc89c51a737ae86bf267e180c/WIV\\_ECO\\_5W-30\\_PDS\\_GB.pdf](https://assets.ctfassets.net/kznjnmjn6augk/6x71vz5Y9aw8IQa2uKOU0W/41bcf10bc89c51a737ae86bf267e180c/WIV_ECO_5W-30_PDS_GB.pdf)
- [32] MAREK, Vladislav. *Prodloužené intervaly výměny olejů v provozu osobních automobilů* [online]. [cit. 2019-03-18]. Dostupné z: <https://www.oleje.cz/clanek/Prodlouzene-intervaly-vymeny-oleju-v-provozu-osobnich-automobilu>
- [33] NICULESCU, R, V IORGA-SIMĂN, A TRICĂ a A CLENCI. Study on the engine oil's wear based on the flash point. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* [online]. 2016, 147 [cit. 2019-03-21]. DOI: 10.1088/1757-899X/147/1/012124. ISSN 1757-8981. Dostupné z: <http://stacks.iop.org/1757-899X/147/i=1/a=012124?key=crossref.44f02c2d8f04df5d881362f8d25b22e1>
- [34] *Oxidation of gas engine oils* [online]. [cit. 2019-03-24]. Dostupné z: [https://en.oelcheck.com/wiki/Oxidation\\_of\\_gas\\_engine\\_oils](https://en.oelcheck.com/wiki/Oxidation_of_gas_engine_oils)
- [35] *Lubricant Oxidation Analysis and Control* [online]. [cit. 2019-04-03]. Dostupné z: <https://www.machinerylubrication.com/Read/14/lubricant-oxidation>
- [36] *Antioxidant Monitoring of Gas Engine Oils* [online]. [cit. 2019-04-06]. Dostupné z: <https://www.machinerylubrication.com/Read/28747/antioxidant-monitoring-gas-engines>

- [37]TROYER, Drew. *Get Ready for More Soot In Engine Oil* [online]. [cit. 2019-04-08]. Dostupné z: <https://www.machinerylubrication.com/Read/51/soot-oil-engine>
- [38]DRIANKOV, Dimiter, Hans HELLENDORRN a M. REINFRANK. *Anintroduction to fuzzy control*. New York: Springer-Verlag, c1993. ISBN 3-540-56362-8.
- [39]JURA, Pavel. *Základy fuzzy logiky pro řízení a modelování*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Nakladatelství VUTUM, 2003. ISBN 80-214-2261-0.
- [40]GLANDT, C.A. a W.G. CHAPMAN. The Effect of Water Dissolution on Oil Viscosity. *SPE Reservoir Engineering* [online]. 2013, 10(01), 59-64 [cit. 2019-05-09]. DOI: 10.2118/24631-PA. ISSN 0885-9248.
- [41] WEI, Lei, et al. Oil change interval evaluation of civilian cars in urban traffic condition. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*, 2018, 1350650118809772.
- [42] KRAL, Jan, Branislav KONECNY, Jan KRAL, Kamil MADAC, Gabriel FEDORKO a Vierošlav MOLNAR. Degradation and chemical change of longlife oils following intensive use in automobile engines. *Measurement* [online]. 2014, **50**, 34-42 [cit. 2019-05-13]. DOI: 10.1016/j.measurement.2013.12.034. ISSN 02632241. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0263224113006556>