



Fyzikální vlastnosti kapalných paliv a biopaliv pro zážehové motory

Diplomová práce

Vedoucí práce:
Ing. Vojtěch Kumbár, Ph.D.

Vypracoval:
Bc. Lukáš Beránek

Brno 2016

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat Ing. Vojtěchu Kumbárovi Ph.D. za odborné vedení této diplomové práce, za cenné rady a připomínky, které mi velice pomohly při zpracování. Dále bych chtěl poděkovat svým blízkým za podporu při psaní této práce.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto práci: **Fyzikální vlastnosti kapalných paliv a biopaliv pro zážehové motory**

vypracoval samostatně a veškeré použité prameny a informace jsou uvedeny v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů, a v souladu s platnou *Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací*.

Jsem si vědom, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 Autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity o tom, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne 18. dubna 2016

Abstrakt

Teoretická část práce „Fyzikální vlastnosti kapalných paliv a biopaliv pro zážehové motory“ popisuje paliva pro spalovací zážehové motory, zabývá se vlastnostmi těchto paliv a jejich výrobou. Dále se zabývá podstatou hustoty, dynamické viskozity a měřením těchto veličin.

Experimentální část diplomové práce je zaměřena na měření teplotních závislostí dynamické viskozity a hustoty automobilového benzínu, bioetanolu a jejich směsí. Výsledky měření jsou zaznamenány v tabulkách a znázorněny v grafech. Byly vytvořeny matematické modely, které slouží k predikci fyzikálních vlastností paliv a jejich směsí.

Klíčová slova

Automobilový benzin, bioetanol, dynamická viskozita, hustota.

Abstract

The theoretical part of this thesis „Physical properties of liquid fuels and biofuels for petrol engines“ describes fuels for petrol engines, it deals with properties this fuels and their production. It deals with nature of density, dynamic viscosity and measuring this parameters.

Experimental part of this thesis is focused on measuring temperature dependence dynamic viscosity and density of gasoline, bioethanol and their mixtures. Results of the measuring are registred in tables and they are typified in graphs. Mathematical functions were found, which can be used for a convenient predictions of physical properties of gasoline, biofuels and their mixtures.

Keywords

Automotive gasoline, bioethanol, dynamic viscosity, density.

Obsah

1	Úvod	11
2	Cíl práce	12
3	Literární přehled	13
3.1	Ropa.....	13
3.1.1	Těžba ropy	13
3.1.2	Zpracování ropy.....	14
3.2	Automobilový benzin.....	16
3.2.1	Oktanové číslo	17
3.2.2	Aditiva automobilových benzinů	19
3.2.3	Legislativa	20
3.3	Biopaliva	21
3.3.1	Biopaliva první a druhé generace.....	21
3.3.2	Bioetanol.....	22
3.3.3	Palivo E85.....	24
3.4	Viskozita.....	25
3.4.1	Měření viskozity	27
3.4.1.1	<i>Pádový (tělískový) viskozimetr</i>	27
3.4.1.2	<i>Průtokový (kapilární) viskozimetr</i>	29
3.4.1.3	<i>Rotační viskozimetr</i>	30
3.5	Hustota	31
3.5.1	Měření hustoty	32
3.5.1.1	<i>Ponorné hustoměry</i>	32
3.5.1.2	<i>Mohr-Westfalovy váhy</i>	33
3.5.1.3	<i>Pyknometr</i>	34
4	Materiál a metodika	36
4.1	Zkoumané vzorky	36
4.2	Měření dynamické viskozity	36

4.2.1	Viskozimetr.....	36
4.2.2	Postup při měření viskozity	38
4.3	Měření hustoty.....	38
4.3.1	Hustoměr	38
4.3.2	Postup při měření hustoty	39
4.4	Kinematická viskozita, tekutost, smykové napětí.....	39
5	Výsledky a diskuse	41
5.1	Automobilový benzin N95, bioetanol a jejich směsi	41
5.2	Automobilový benzin N98, bioetanol a jejich směsi	47
6	Závěr	54
7	Literatura	56
8	Seznam obrázků	58
9	Seznam tabulek	60

1 Úvod

V současné době je naprostá většina automobilů poháněna spalovacím pístovým motorem. Tyto motory používají jako palivo nejčastěji automobilový benzin nebo motorovou naftu. Proto je velice důležité znát fyzikální vlastnosti těchto paliv v závislosti na teplotě, protože automobily jsou provozovány jak v zimě, tak i v létě, tedy za různých teplot. Dle současné legislativy je povinné do paliv přidávat podíl biosložky. To ovlivňuje fyzikální vlastnosti paliva.

Tato práce se zabývá palivy a biopalivy pro zážehové motory, proto se dále nebudu zabývat motorovou naftou, ale jen automobilovými benziny a kapalnými biopalivy pro zážehové motory. Hlavní parametry paliva, které jsou v této práci sledovány, jsou viskozita, hustota a smykové napětí.

Hustota paliva se v závislosti na teplotě mění a má vliv na provoz spalovacího motoru, protože je palivo ve spalovacím motoru měřeno objemově. Hustota paliva se nemění jen v závislosti na teplotě, ale také vlivem přítomnosti biosložky.

Dynamická viskozita paliva má také velký vliv na provoz spalovacího motoru. Jedná se především o vstřikování paliva, kdy palivo s vysokou viskozitou má horší atomizaci paliva. V důsledku špatné atomizace může docházet ke zhoršenému spalování. S přítomností podílu biopaliva se viskozita zvyšuje a je nutné znát, jak biosložka viskozitu ovlivňuje.

2 Cíl práce

Cílem této diplomové práce je zjistit fyzikální vlastnosti paliv a biopaliv pro zážehové motory v závislosti na teplotě. Práce je zaměřena na měření viskozity, hustoty a smykového napětí. Dále byly dopočítány hodnoty kinematické viskozity a tekutosti.

V teoretické části je popsána ropa, což je základní surovina pro výrobu automobilového benzínu. Je zde také popsáno, jak se ropa těží a následně zpracovává. V další části je popsán automobilový benzin, jeho vlastnosti, oktanové číslo, aditiva přidávaná do automobilového benzínu, která zlepšují jeho užité vlastnosti a také legislativní požadavky na automobilové benziny. Dále jsou popsána biopaliva a jejich výroba. Také jsou v teoretické části popsány základní fyzikální vlastnosti kapalin a způsoby jejich měření.

V praktické části byl vytvořen popis souboru vzorků automobilového benzínu a bioetanolu. Byly namíchány jednotlivé koncentrace, které jsou v současnosti používány nebo se plánují v nejbližší době zavést, dle požadavků Evropské unie. Dále byly měřeny fyzikální vlastnosti (dynamická viskozita, hustota, smykové napětí) těchto vzorků v závislosti na teplotě.

Výsledky měření jsou přehledně zapsány v tabulkách a byly vytvořeny grafy, které zachycují teplotní závislosti fyzikálních vlastností paliva. Dále byly navrženy matematické modely pro predikci chování paliv.

3 Literární přehled

3.1 Ropa

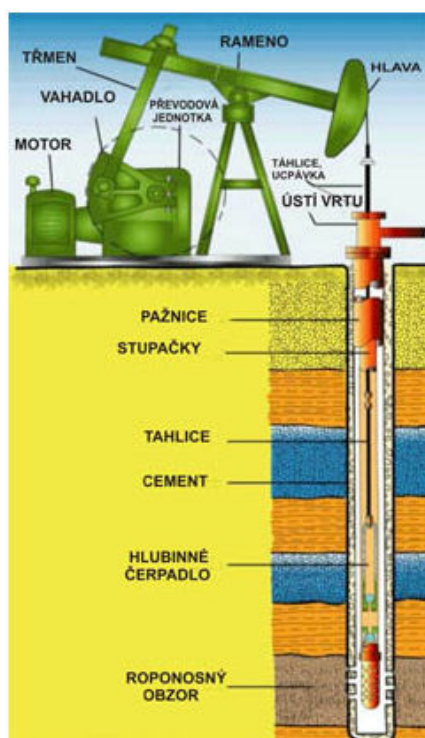
Ropa je kapalina, která má žlutou až temně černou barvu. Je to směs kapalných uhlovodíků. V ropě je obsaženo 80 až 85 % uhlíku, 10 až 15 % vodíku, 4 až 7 % síry a také malé množství dusíku. Ropa vznikla již před mnoha lety a je tedy fosilního původu. Hustota ropy se pohybuje v rozmezí od 0,73 až 1 t/m³. Ropa je základní surovina v petrochemickém průmyslu a vyrábí se z ní nejčastěji používaná paliva pro spalovací motory. Zásoby ropy jsou omezené a odhadují se na 30 až 50 let. (VLK, 2006)

Existují dvě teorie, jak ropa vznikla. První je anorganická teorie a druhá je organická teorie. Anorganická teorie tvrdí, že vznik uhlovodíku byl dán reakcí vody a karbidů kovů, dále reakcí vodíku s oxidem uhelnatým (Fischer-Tropschova reakce). Podle organické teorie vznikla ropa tak, že se rozložil organický materiál za působení tlaku, teploty a radioaktivního záření. Dnes se vědci přiklání spíše k organické teorii, ale někteří připouštějí obě dvě teorie, což by objasňovalo rozdílné složení ropy. (VLK, 2006)

3.1.1 Těžba ropy

Ropná ložiska se nachází jak na pevnině, tak pod hladinou moře. Ropa se nejčastěji nachází několik stovek metrů, někdy až kilometrů pod povrchem. Proto je nutné vyvrtat hlubinný vrt, kterým se poté dostává ropa na povrch. Pokud se těží ropa na moři, je nutné postavit vrtnou plošinu. Ta je nejčastěji postavena na 3 nohách, které jsou upevněny na pilotech v mořském dně. Existují také plovoucí vrtné plošiny, které se používají tam, kde je větší hloubka. Plovoucí vrtné plošiny jsou proti pohybu zabezpečené speciálním ukotvením ke dnu. (VLK, 2006)

Mezi základní metody těžby patří samotoková těžba a těžba hlubinným čerpadlem. Když se navrtá nové ložisko, často dochází k samotokové těžbě, kdy ropa samovolně vyvěrá na povrch. Když poklesne tlak v ložisku, přichází na řadu těžba pomocí hlubinného čerpadla. Nejčastěji se používá pístové čerpadlo, které je poháněno elektromotorem (obr. 1). (www.petroleum.cz)



Obr. 1 Kozlíkové hlubinné čerpadlo (www.petroleum.cz)

Samovolné vytékání ropy je označováno jako primární těžební metoda. Při poklesu tlaku se může tato těžba provádět pomocí stlačeného vzduchu (airlift) nebo pomocí stlačeného plynu (gaslift). Při použití stlačeného plynu nebo vzduchu se jednou stupačkou tlačí vzduch/plyn a druhou stupačkou nebo mezikružím se těží ropa. Primární metodou se dá vytěžit 20-35 % ropy. Zbytek ropy zůstane v pórech horniny. (www.petroleum.cz)

Druhotná metoda těžby udržuje ložiskovou energii na co nejvyšší úrovni. Při této metodě se používají zmíněná čerpadla nebo se používá zpětné tlačení plynu do plynové čepice. Tímto lze dosáhnout vytěžitelnosti až 50 %.

3.1.2 Zpracování ropy

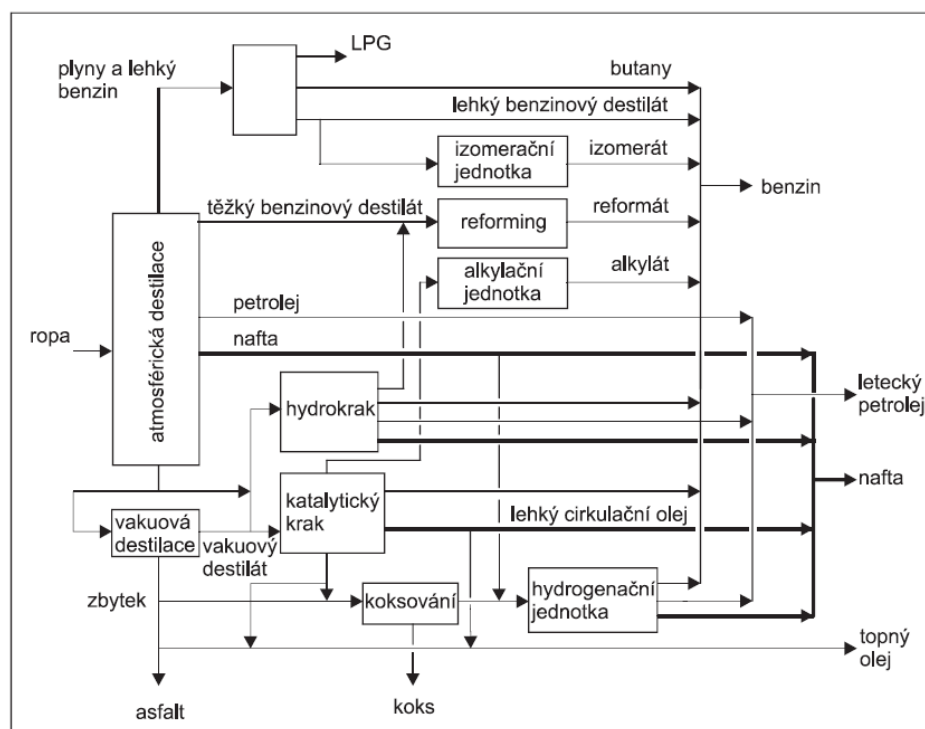
Ropa se zpracovává pomocí destilace, kdy se rozdělí na frakce podle bodu varu. Dříve používaná kotlová destilace je již minulostí. V současné době je ropa ohřívána v trubkových pecích pomocí vedení horkých spalin nebo soustavou trubek, které jsou ohřívány plamenem. Poté se ropa nastříká do atmosférické destilační kolony, kde probíhá destilační dělení. Následně se z hlavy kolony odeberou frakce a na dně zůstane tzv. mazut. Mazut se dále destiluje ve vakuové koloně, kde můžeme za pomoci snížení tlaku dosáhnout i snížení bodu varu a tím získat frakce, které by se při vysokých teplotách rozložily. Ve vakuové komoře pak zůstane už jen asphalt. (VLK, 2006)

Frakce z atmosférické destilační kolony (Vlk, 2006):

- plyny,
- benzinová frakce,
- petrolej,
- plynový olej,
- destilační zbytek (mazut).

Frakce z vakuové kolony:

- vakuový plynový olej,
- olejový destilát I,
- olejový destilát II,
- olejový destilát III,
- destilační zbytek (asfalt).



Obr. 2 Schéma destilace a zpracování frakcí (MATĚJOVSKÝ, 2005)

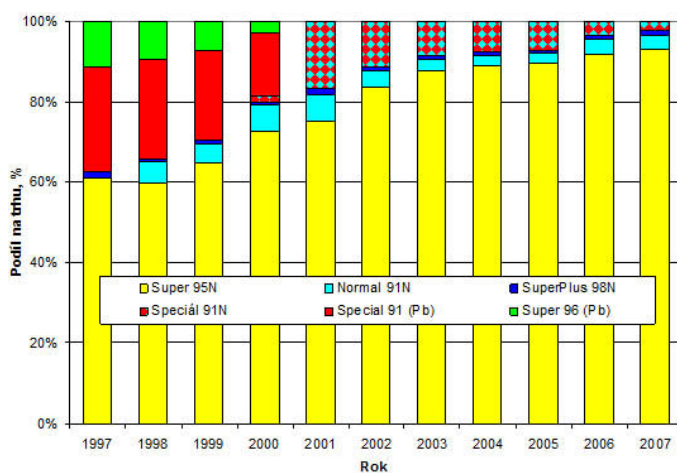
3.2 Automobilový benzin

Automobilový benzin je kapalná směs, která se skládá zejména z ropných uhlovodíků, které mají bod varu v rozmezí mezi 30 až 210 °C. Aby se automobilový benzin mohl používat jako palivo pro zážehové motory, musí splnit několik požadavků. Tyto požadavky můžeme rozdělit do skupin (www.cappo.cz):

- antidetonační charakteristiky (oktanové číslo),
- těkavostní parametry (tlak par, destilační křivka),
- chemické složení (obsah uhlovodíků, benzenu, síry, olefinů, bioetanolu, kyslíku),
- parametry charakterizující čistotu (obsah pryskyřic, oxidační stabilita),
- ostatní parametry (vzhled hustota).

Hodnoty těchto požadavků jsou zapsány v technické normě EN 228, která platí pro celou Evropu. Česká verze této normy je ČSN EN 228. Ta bude popsána dále.

V České republice i ve většině státech Evropské unie se prodává pouze bezolovnatý automobilový benzin. Číslo, které bývá na čerpacích stanicích, označuje minimální hodnotu oktanového čísla vybraného automobilového benzínu. Na benzinových stanicích se můžeme setkat s automobilovým benzinem natural 95 (super), u kterého je hodnota oktanového čísla minimálně 95. Tento typ automobilového benzínu je nejrozšířenější. Dalším typem je Normal, který má minimální hodnotu oktanového čísla 91 a také se můžeme setkat s automobilovým benzinem SuperPlus, který má oktanové číslo minimálně 98. (www.cappo.cz)

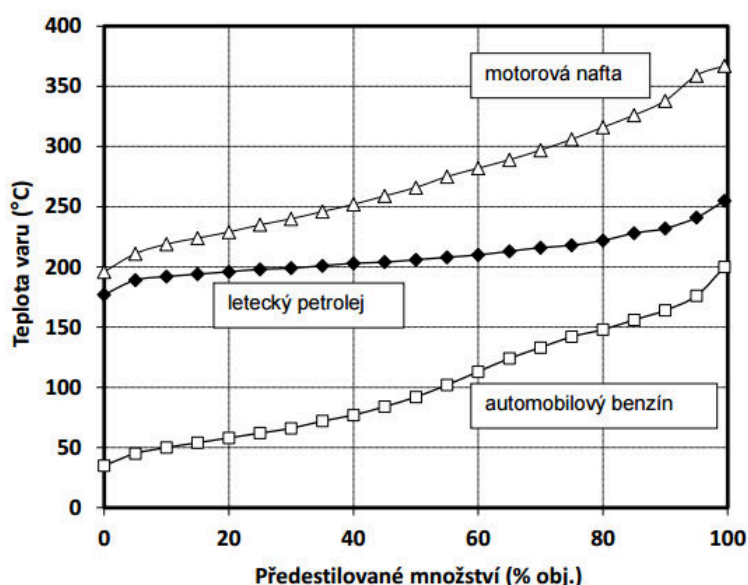


Obr. 3 Podíl jednotlivých druhů automobilových benzinů na trhu (www.petroleum.cz)

Na automobilové benziny jsou kladeny tyto základní požadavky (VLK, 2006):

- Dobrá odpařitelnost za nízkých teplot pro zajištění startovatelnosti.
- Nesmí obsahovat těžší frakční podíly (nad 210 °C), aby nedocházelo ke smývání olejového filmu na stěně válce a ředění oleje v motorové skříni.
- Malý obsah síry, která způsobuje korozi palivového systému, způsobuje pokles oktanového čísla automobilového benzínu a zvyšuje obsah škodlivin ve výfukových plynech motoru.
- Nesmí obsahovat pryskyřice, které způsobují zanášení trysek a usazují se v sacím potrubí a na sacím ventilu.
- Dlouhodobá stabilita zabezpečující nízké ztráty při skladování.

Je nutné, aby automobilové benziny obsahovaly pouze lehce odpařitelné frakce, aby byla zajištěna startovatelnost motoru. Nesmí obsahovat takové frakce, které mají bod varu nad 200 °C. Takové frakce by se neodpařily a ředily by olej v motoru. Zjištění, zda automobilový benzin obsahuje požadované frakce, se provádí destilační zkouškou. Při této zkoušce se získá destilační křivka. Počáteční teplota destilační křivky se určuje z požadavku na minimální ztrátu odparem při skladování. Při podmínkách v České republice je tato teplota 30 až 35 °C. V severských zemích je to teplota okolo 20 °C a naopak v tropických zemích je to 40 až 45 °C. (VLK, 2006)



Obr. 4 Srovnání destilační křivky automobilového benzínu, leteckého petroleje a motorové nafty (<http://utrapp.vscht.cz>)

3.2.1 Oktanové číslo

Oktanové číslo vyjadřuje antidetonační vlastnosti automobilového benzínu. Udává schopnost automobilového benzínu odolávat detonačnímu spalování. (ZEHNÁLEK,

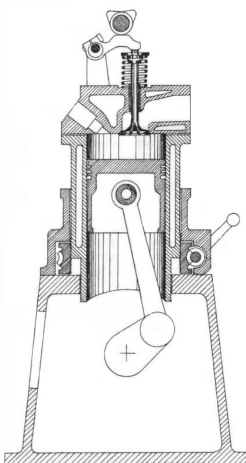
2005) Při detonačním hoření dochází ke vzplanutí směsi vzduchu a paliva, které má detonační charakter. Takto vzniklá tlaková vlna se ve válci šíří a dopadá na dno pístu a stěny válce a vyvolává nežádoucí rázy. Detonační hoření se projeví zvýšeným hlukem (někdy se hovoří o klepání motoru). Dalším nežádoucím účinkem detonačního hoření je větší přestup tepla do stěn spalovacího prostoru a dochází ke snížení výkonu motoru. Při delším trvání detonačního hoření může dojít k destrukci motoru. (VLK, 2006)

Oktanové číslo je vyjádřeno jako poměr dvou základních látek. Jedná se o izooktan (C_8H_{18}), který má oktanové číslo 100 a n-heptan (C_7H_{16}), který má oktanové číslo 0. Oktanové číslo tedy udává obsah izooktanu v procentech ve směsi izooktanu a n-heptanu. Pokud se tedy jedná o automobilový benzin s oktanovým číslem 98, znamená to, že má automobilový benzin stejné vlastnosti jako směs, která je tvořena 98 % izooktanu a 2 % n-heptanu. Automobilové benziny mohou mít i oktanové číslo s hodnotou vyšší než 100, to znamená, že daný automobilový benzin je ještě odolnější vůči detonačnímu hoření než čistý izooktan.

Pro zjištění oktanového čísla existují 2 metody, které se od sebe liší otáčkami, které mají zkušební stroje a také se liší některými provozními parametry. Jedná se o motorovou metodu zjištění oktanového čísla a výzkumnou metodu. (VLK, 2006)

Zjištění oktanového čísla pomocí motorové metody probíhá na zkušebním jednoválcovém motoru, který má možnost měnění kompresního poměru od 5 do 15. Při zkoušce jsou otáčky motoru nastaveny na 900 min^{-1} . Teplota přehřáté směsi vzduchu je $149 \text{ }^\circ\text{C}$, automatický proměnný předstih je 19° až 26° . Porovnává se klepání zkoušeného automobilového benzínu a směsi izooktanu a n-heptanu. Klepání se snímá elektromagneticky, elektronicky nebo z průhybu membrány tlakového snímače. Oktanové číslo zjištěné motorovou metodou je vždy o něco nižší než oktanové číslo zjištěné pomocí výzkumné metody. (VLK, 2006)

Číslo udávané na benzinových stanicích v České republice je zjištěno pomocí výzkumné metody. Zkouška probíhá při $600 \text{ otáčkách min}^{-1}$. Teplota přehřátého vzduchu je $52 \text{ }^\circ\text{C}$ a předstih zapalování je 13° .



Obr. 5 Jednoválcový zkušební motor s možností změny kompresního poměru pro zjištění oktanového čísla (www.autoznalosti.cz)

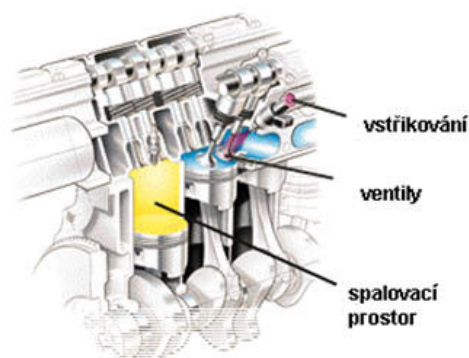
3.2.2 Aditiva automobilových benzinů

Aditiva se do automobilového benzínu přidávají z důvodu zlepšení užitečných vlastností. V dnešní době je velice rozšířené používání takzvaných multifunkčních „balíčků“, které jsou připraveny přímo na míru jednotlivým druhům paliv.

Použitá aditiva se dají rozdělit do následujících skupin (www.petroleum.cz):

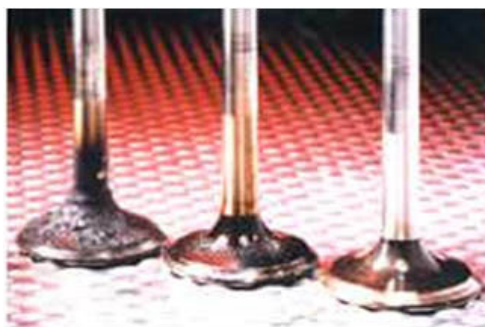
- zvyšovače oktanového čísla,
- detergenty,
- antioxidanty,
- inhibitory koroze,
- deaktivátory kovů,
- aditiva proti „zatloukání“ ventilových sedel,
- antiicing aditiva (zabraňují zamrznání vody v palivu),
- aditiva omezující růst oktanového požadavku,
- barviva.

Pokud se znečišťuje spalovací prostor, dochází nejen ke snížení výkonu motoru, ale také ke zvýšení emisní charakteristiky a zvýšení ekonomiky provozu. Dále dochází k nárůstu požadavků na oktanovou charakteristiku paliva. Ta je označována jako Octane Requirement Increase (ORI). Ke zvýšení oktanového nároku může dojít již po ujetí vzdálenosti 25 tisíc kilometrů. (www.petroleum.cz)



Obr. 6 Místa, kde se nejčastěji tvoří úsady (www.petroleum.cz)

Úsady, které vznikají zejména ve spalovacím prostoru, jsou tvořeny směsí anorganických a organických látek obsažených v palivu a motorovém oleji. Velký vliv na tvorbu úsad má zvýšený obsah olefinů, které se vyskytují v palivu. (www.petroleum.cz)



Obr. 7 Vliv detergentů v palivu: vlevo - bez použití aditiv, uprostřed - nedostatečné dávkování aditiva, vpravo - vhodné použití aditiva (www.petroleum.cz)

3.2.3 Legislativa

Legislativní požadavky na automobilové benziny v České republice jsou zapsány v normě ČSN EN 228. Přesný název normy je „Motorová paliva – Bezolovnaté automobilové benziny – Technické požadavky a metody zkoušení“.

Tato norma zahrnuje veškeré požadavky, které musí automobilový benzin splňovat, aby mohl být v České republice prodáván. Dále jsou v normě obsaženy požadavky na testování a zkoušení automobilových bezolovnatých benzinů. Norma platí pro použití bezolovnatých automobilových benzinů v zážehových motorech, které jsou určeny na provoz s bezolovnatými automobilovými benziny.

V příloze jsou specifikovány parametry, které musí splňovat automobilový benzin Normal, Super plus. Dále jsou specifikovány požadavky na obsah kovů, těkavost automobilového benzínu a požadavky na označení stojanů na čerpacích stanicích. Také jsou v normě uvedeny požadavky na štítky, kterými jsou označeny výdejní stojany.

Parametr	BA 95	BA 98
Oktanové číslo VM, min.	95	98
Oktanové číslo MM, min.	85	88
Vzhled	čirý a jasný	čirý a jasný
Hustota při 15°C - kg.m ⁻³	720 - 775	725 - 775
Obsah olova - mg/l, max.	5	5
Destilační zkouška		
- odpař. množství při 70°C - % (V/V), léto	20 - 48	20 - 48
- odpař. množství při 70 °C - % (V/V), zima	22 - 50	22 - 50
- odpař. množství při 100 °C - % (V/V)	46 - 71	46 - 71
- odpař. množství při 150°C - % (V/V), min.	75	75
- konec destilace - °C, max.	210	210
Tlak nasycených par - kPa, léto	45 - 60	45 - 60
Tlak nasycených par - kPa, zima	60 - 90	60 - 90
Index těkavosti (duben a říjen), max.	1150	1150
Oxidační stabilita - minuty, min.	360	360
Mechanické nečistoty a voda	nepřítomné	nepřítomné
Obsah síry - mg.kg ⁻¹	10	10
Obsah pryskyřic - mg.100cm ⁻³ , max.	5	5
Obsah benzenu - % (V/V), max.	1	1
Obsah aromátů - % (V/V), max.	35	35
Obsah olefinů - % (V/V), max.	18	18
Obsah kyslíku - % (M/M), min.	2,7	2,7
Obsah etanolu, max.	5	5

Obr. 8 Základní kvalitativní požadavky na automobilové benziny dle normy ČSN EN 228 (www.unipetrolrpa.cz)

3.3 Biopaliva

V důsledku toho, že lidstvo už více než sto let používá fosilní zdroje energie (ropa, zemní plyn, uhlí), dochází k úpadku životního prostředí. Dochází ke změně klimatu vlivem zvýšeného obsahu CO₂ v atmosféře. Objevuje se snaha nahradit tyto fosilní zdroje alternativními zdroji energie – obnovitelné zdroje. Ty by se získávaly z recentních zdrojů (zdroje, které stále vznikají – bioplyn, biomasa) a šetřily by životní prostředí. (VLK, 2006)

Biopaliva jsou rostlinné oleje nebo alkohol, které se získávají z biomasy.

3.3.1 Biopaliva první a druhé generace

Pro výrobu biopaliv první generace se používá biomasa, která má konkurenční využití ve výrobě krmiv či potravin. Do biopaliv první generace můžeme zařadit bioetanol vyrobený z cukrové řepy, obilí, kukuřice, cukrové třtiny, škrobu, rostlin-

ných odpadů. Dále se mezi biopaliva první generace řadí metylester řepkového oleje, který je vyrobený z řepky olejné, metylester mastných kyselin, který je vyrobený z vylisovaných olejních rostlin, biobutanol, který se vyrábí katalytickou konverzí bioetanolu. (www.ekoporadny.cz)

Biopaliva druhé generace jsou vyráběna z biomasy, která není potravinářského původu. Jedná se zejména o lesní biomasu včetně těžebních zbytků, zemědělský odpad (kukuřičné a řepkové zbytky, seno, sláma), energetické rostliny (šťovík, čirok, křídlatka) či biologický odpad z domácností. Ze zmíněných surovin se vyrábějí biopaliva jako bioetanol, metanol, biobutanol. (www.ekoporadny.cz)

Plodiny druhé generace mají podstatně vyšší transformační potenciál na biopalivo než plodiny první generace. Ovšem nevýhodou je složitější a náročnější technologický proces. Z plodin druhé generace lze z pěti tun biomasy vyrobit zhruba 1 tunu biopaliva. Konverzní poměr je tedy 5:1. Z důvodu složitých technologií na výrobu biopaliva z plodin druhé generace se dá očekávat jejich zavedení do komerčního provozu až v horizontu deseti let. (www.ekoporadny.cz)

3.3.2 Bioetanol

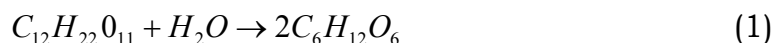
Bioetanol neboli biolh je kapalina, která je vyrobena z biomasy pomocí alkoholového kvašení. Nejčastější surovinou pro výrobu bioetanolu jsou plodiny, které obsahují větší množství sacharidů a škrobu. Mezi takové plodiny patří cukrová řepa, cukrová třtina, kukuřice, obilí či brambory. (www.autolexikon.cz) Bioetanol se dá také vyrábět z obilovin. Výhodou těchto obilovin je, že kladou menší nároky na pěstování než potravinářské obiloviny. (JEVIČ, ŠEDIVÁ, 2004)

Bioetanol je obnovitelný zdroj energie, který dává motoru vyšší dynamiku, protože má vyšší oktanové číslo než automobilový benzin. Také je šetrnější k životnímu prostředí, protože se při jeho spalování produkuje méně škodlivých emisí (CO_2 , CO, NO_x , CH). (KUMBÁR, DOSTÁL, 2014)

Veličina	Nafta	Benzin	Bioethanol
Hustota (při 15 °C), kg m^{-3}	~ 830	~ 750	794
Výhřevnost, kWh kg^{-1}	11,8	12	7,44
Hmot. podíl kyslíku, %	< 0,6	< 2,7	34,7
Oktanové číslo VM	-	91-100	108
Cetanové číslo	> 51	-	7

Obr. 9 Porovnání vlastností automobilového benzínu, motorové nafty a bioetanolu (www.chemicke-listy.cz)

Proces výroby bioetanolu je založen na fermentaci (kvašení). Proces kvašení probíhá anaerobně (bez přístupu vzduchu). Avšak je dobré na začátku kvasného procesu kvasné médium provzdušnit, což je příznivé pro nárůst buněk. Nejjednodušší je výroba bioetanolu z cukrové třtiny a cukrové řepy. V těchto surovinách je obsažena sacharosa, kterou lze přeměnit na jednoduché cukry. Jednoduché cukry pak lze lehce oddělit a fermentovat. Fermentaci lze chemicky vyjádřit:

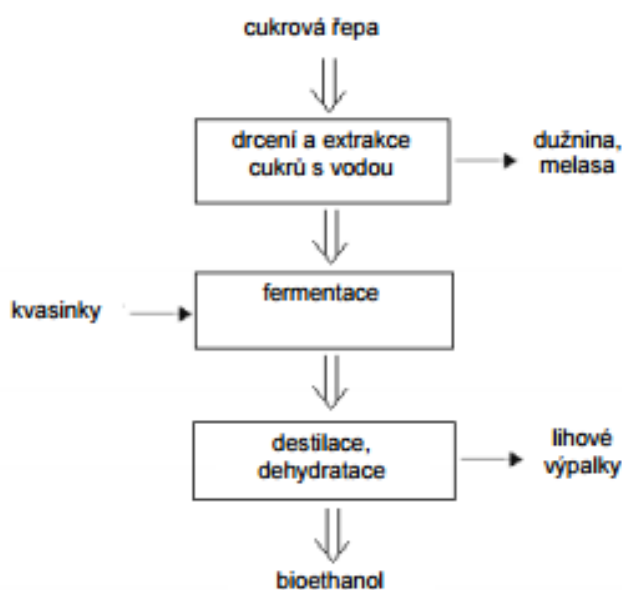


Dalším krokem je kvašení, které probíhá ve fermentoru. Při tomto kvašení jsou sacharidy konvertovány kvasinkami. Při konvertaci vzniká bioetanol a oxid uhličitý:



Aby kvašení probíhalo správně, musí se dodržet správná teplota prostředí (27-32 °C) a správné pH (4-6). Dalším krokem je destilace, kde se oddělí destilát od destilačního zbytku. Po destilaci je další operací rafinace, při které se odstraní vedlejší produkty fermentace. Po provedení všech zmíněných operací se získá rafinovaný bioetanol, který obsahuje 95,5 % hmotnosti etanolu a 4,5 % vody. Pro použití bioetanolu ve vozidlových motorech je nutné tuto vodu odstranit. K tomu se používají molekulární síta. (www.cukr-listy.cz)

Limitujícím faktorem při výrobě biopaliv jsou náklady na výrobu bezvodného etanolu a energetické náklady na výrobu enzymů používaných ve fermentačních procesech. (LICHTFOUSE, 2010)



Obr. 10 Schéma výroby bioetanolu z cukrové třtiny/řepy (www.chemicke-listy.cz)

Surovina	Produkční potenciál bioetanolu (l.t ⁻¹)	Surovina	Produkční potenciál bioetanolu (l.t ⁻¹)
Cukrová třtina	70	Kukuřice	360
Cukrová řepa	110	Rýže	430
Batata	125	Ječmen	250
Brambory	110	Pšenice	340
Cassava	180	Sladký čirok	60
Celulózová biomasa			280

Obr. 11 Množství potenciální výroby etanolu z jednotlivých surovin (www.cukr-listy.cz)

3.3.3 Palivo E85

Mezi směsi s vysokým obsahem etanolu patří palivo E85, které je složeno z 85 % etanolu a 15 % automobilového benzínu. Pro provoz vozidla na toto palivo musí být motor vozidla upraven. Takto upravená vozidla jsou označena zkratkou FFV (Flexi Fuel Vehicle). Taková vozidla mohou spalovat jak automobilový benzin, tak i paliva složená z automobilového benzínu a bioetanolu až do 85 % podílu bioetanolu. Řídící jednotka vozidla sbírá data ze sondy ve výfuku a podle koncentrace kyslíku upravuje dávkování paliva, předstih zážehu a další seřizovací parametry motoru. (www.chemicke-listy.cz)

Palivo E85 se dá po drobné úpravě motoru používat i v obyčejném zážehovém motoru. Je nutné provést přenastavení řídicí jednotky motoru, kde se prodlouží doba vstřiku paliva. Cena této přestavby se pohybuje v rozmezí 5-15 tisíc Kč. (www.chemicke-listy.cz)

Mezi výhody tohoto paliva můžeme zařadit (<http://point-s.cz>):

- Nižší cena z důvodu osvobození od spotřební daně.
- Vozidla, která mají v technickém průkazu zapsaný pohon na E85, jsou osvobozena od silniční daně.
- U silnějších motorů nárůst výkonu a zlepšení jeho průběhu z důvodu vyššího oktánového čísla.
- Při přestavbě motoru na palivo E85 není nutno zapisovat do technického průkazu.

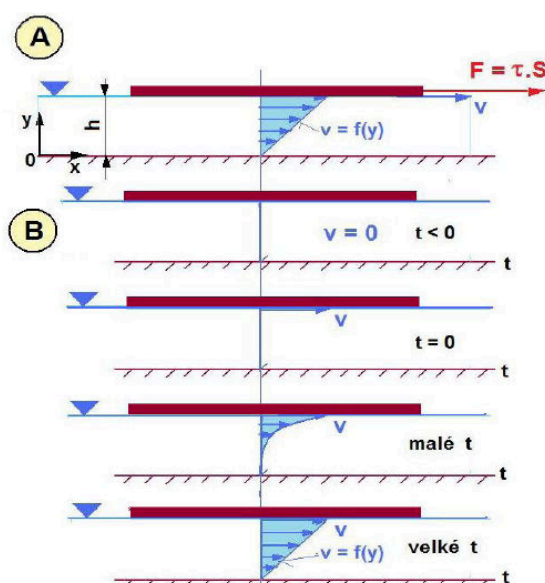
Mezi nevýhody paliva E85 patří:

- Nízký počet čerpacích stanic, které nabízejí palivo E85.
- Zhoršený start za nízkých teplot.
- U starších typů vozidel (favorit, felicie) dochází při přestavbě ke snížení výkonu.

3.4 Viskozita

Viskozita (vnitřní tření) je fyzikální veličina, která je užívána pro fyzikální popis tekutin. Udává poměr mezi tečným napětím a změnou rychlosti v závislosti na vzdálenosti sousedních vrstev při proudění kapaliny.

V ideální tekutině se předpokládá, že v ní neexistuje smykové – tečné napětí. Avšak pro skutečnou kapalinu toto platí pouze v případě, že se nepohybuje. Pokud tekutina není v klidu, ale proudí, a jednotlivé molekuly jsou v pohybu, a sousední vrstvy mají různou rychlost, na jejich rozhraní dochází ke tření a vzniká smykové napětí. Příčinou vzniku tření a smykového napětí je viskozita. Pro laminární proudění (proudnice jsou rovnoběžné, kapalina se nepromíchává) Newton formuloval zákon, podle kterého je napětí v kapalině úměrné dynamické vazkosti a gradientu rychlosti. (JANALÍK, 2010)



Obr. 12 Vznik smykového napětí v tekutině (JANALÍK, 2010)

Kapalina se nachází mezi dvěma rovnoběžnými deskami, kde spodní deska se nepohybuje a vrchní deska plave na hladině. Horní deska má plochu S a pohybuje se po hladině, která má výšku h (obr. 12 A). Horní deska se v čase $t=0$ uvede do pohybu ve směru osy x rychlostí $v=\text{konst.}$ Dále předpokládáme, že částice tekutiny se vzhledem k pevné desce nepohybují. (JANALÍK, 2010)

Časem se zvyšuje hybnost tekutiny a vytvoří se rychlostní profil (obr. 12 B). Postupem času vznikne úplný rychlostní profil.

Při vzniku úplného rychlostního profilu je potřebná síla pro pohyb desky definovaná Newtonem dána podle rovnice:

$$F = \tau \cdot S = \eta \frac{v}{h} S \quad (3)$$

Ze vztahu (3) si vyjádříme τ :

$$\tau = \eta \frac{v}{h} \quad (4)$$

Rovnici (4) lze zapsat v diferenciálním tvaru:

$$\tau = \eta \frac{dv}{dy} = \eta D \quad (5)$$

kde η je dynamická viskozita [Pa.s] a D je gradient rychlosti [s^{-1}].

Předchozí rovnice vyjadřuje Newtonův zákon viskozity. Je z ní patrné, že smykové napětí je úměrné gradientu rychlosti a dynamické viskozitě. Kapaliny, které se řídí podle toho zákona, se nazývají newtonovské kapaliny. Pokud se tekutina podle tohoto zákona nechová, jedná se o ne-newtonovskou tekutinu (např. vyšší polymery, suspenze). (JANALÍK, 2010)

Z praktických důvodů byla zavedena kinematická viskozita, která se vypočítá podle vztahu:

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \quad (6)$$

kde ν je kinematická viskozita ($m^2 \cdot s^{-1}$), η je dynamická viskozita (Pa.s), ρ je hustota ($kg \cdot m^{-3}$). Jednotka kinematické viskozity je $m^2 s^{-1}$.

Viskozita tekutin se měří pomocí viskozimetrů. U většiny známých tekutin lze viskozitu zjistit z tabulek. V tabulkách jsou tekutiny zapsány i v závislosti na tlaku a teplotě. S rostoucím tlakem viskozita roste a s rostoucí teplotou viskozita klesá.

S pojmem dynamická viskozita souvisí tekutost. Je to převrácená hodnota dynamické viskozity. Tekutost je schopnost látky téct, to znamená, že částice kapaliny se vůči sobě mohou pohybovat.

Vztah pro výpočet tekutosti je:

$$\varphi = \frac{1}{\eta} \quad (7)$$

kde φ je tekutost ($m \cdot s \cdot kg^{-1}$), η je dynamická viskozita (Pa.s). Jednotka tekutosti je $(Pa \cdot s)^{-1}$ nebo $m \cdot s \cdot kg^{-1}$.

3.4.1 Měření viskozity

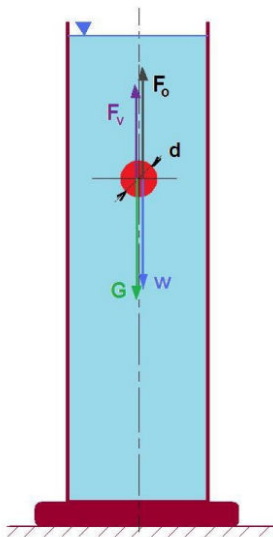
Viskozimetr je zařízení sloužící ke zjištění viskozity kapaliny. Vyskytuje se v několika různých konstrukcích. Existují dva základní principy činnosti viskozimetru. V prvním případě se pohybuje kapalina v přístroji, v druhém případě se pohybuje samotný přístroj v kapalině. Mezi nejpoužívanější přístroje pro zjištění viskozity patří pádový (tělískový) viskozimetr, průtokový (kapilární) viskozimetr a rotační viskozimetr.

3.4.1.1 Pádový (tělískový) viskozimetr

Pádové viskozimetry jsou založeny na principu tělíška padajícího kapalinou. Nejčastěji se jedná o hladkou kuličku. Měří se čas padání kuličky a to buď ve svislé, nebo šikmé trubici. Čas padání tělíška je úměrný viskozitě dané kapaliny. Tělískové viskozimetry mohou být použity jen pro newtonovské kapaliny.

Mezi tělískové viskozimetry patří Stokesův viskozimetr, bublinkový viskozimetr (kulička je nahrazena bublinkou, která stoupá vzhůru), Höpplerův viskozimetr, reoviskozimetr s tlačnou kuličkou, viskozimetr s elektromagneticky ovládanou kuličkou a pístový viskozimetr.

Předpokládáme, že koule o průměru d a hustotě ρ_k se pohybuje v kapalině o hustotě ρ_v a dynamické viskozitě η rychlostí w (sedimentační nebo pádová rychlost). Na kouli působí několik sil a to síla vztaková F_v , síla odporová F_o a síla tíhová F_g . Jednotlivé síly jsou znázorněny na obrázku 13. (JANALÍK, 2010)



Obr. 13 Schéma sil při pohybu kuličky (JANALÍK, 2010)

Pro rovnováhu sil platí:

$$F_g = F_v + F_o \quad (8)$$

kde:

$$F_g = \frac{\pi d^3}{6} g \rho_k; F_v = \frac{\pi d^3}{6} g \rho_v; F_o = c_x \frac{\pi d^2}{4} \frac{w^2}{2} \rho_k \quad (9)$$

Po dosazení dostaneme:

$$\frac{\pi d^3}{6} g \rho_k = \frac{\pi d^3}{6} g \rho_v + c_x \frac{\pi d^2}{4} \frac{w^2}{2} \rho_k \quad (10)$$

Vyjádříme pádovou rychlost:

$$w = \sqrt{\frac{4d(\rho_k - \rho_v)g}{3c_x \rho_k}} \quad (11)$$

Definujeme Re:

$$\text{Re} = \frac{wd}{\nu} = \frac{wd\rho_v}{\eta} \quad (12)$$

Pokud je Reynoldsovo číslo ≤ 1 , pak jde o laminární obtékání koule a podle Stokesa je součinitel odporu dán vztahem:

$$c_x = \frac{24}{\text{Re}} \quad (13)$$

Když použijeme poslední 2 rovnice a rovnici pro odporovou sílu, dostaneme Stokesův vztah:

$$F_o = 6\pi\eta r w = 3\pi\eta d w \quad (14)$$

Z rovnic (10) a (14) dostaneme po úpravách rovnici pro dynamickou viskozitu:

$$\eta = \frac{d^2(\rho_k - \rho_v)g}{18w} = \frac{2r^2(\rho_k - \rho_v)g}{9w} \quad (15)$$

Rychlost kuličky budeme měřit jako dráhu za čas:

$$w = \frac{L}{\tau} \quad (16)$$

Dosadíme rovnici (16) do rovnice (15) a dostaneme vztah:

$$\eta = \frac{d^2(\rho_k - \rho_v)g}{18L} \tau = \frac{2r^2(\rho_k - \rho_v)g}{9L} \tau = k(\rho_k - \rho_v)\tau \quad (17)$$

kde k je konstanta viskozimetru.

3.4.1.2 Průtokový (kapilární) viskozimetr

Princip měření viskozity pomocí kapilárního viskozimetru vychází z Hagen – Poiseuilleova zákona. Tento zákon platí pro laminární proudění tekutiny, které proudí v trubici, která má kruhový průřez.

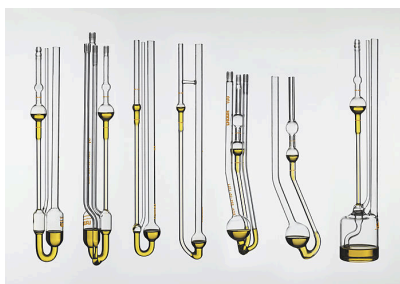
Nejčastější provedení kapilárních viskozimetrů je s konstantním tlakovým spádem. U takových viskozimetrů měříme objemový průtok kapaliny. V tomto případě se tlakový spád vytváří sloupcem kapaliny, kterou měříme. Výška sloupce se mění v několika polohách, nebo tlakem na hladinu. Kapalina z viskozimetru vytéká buď do volného prostoru nebo vytéká do prostředí (Ubbelohdovo provedení), které je vyplněno kapalinou (Ostwaldovo provedení). Nejdůležitějším místem u průtokových viskozimetrů je samotná kapilára a její usazení do přístroje. U kapiláry musíme znát přesný průměr a její délku. (JANALÍK, 2010)

Pro dynamickou viskozitu vycházející z Hagen – Poiseuilleova zákona platí rovnice:

$$\eta = \frac{\pi R^4}{8 QL} \Delta p = \frac{\pi R^4 \tau}{8 VL} \Delta p \quad (18)$$

kde R je poloměr kapiláry, L je délka kapiláry, Q je objemový průtok za jednotku času, τ je čas výtoku kapaliny, V je objem proteklé kapaliny a Δp je tlakový rozdíl.

Mezi kapilární viskozimetry patří kapilární viskozimetr přetlakový, Ostwaldův viskozimetr, Ubbelohdův viskozimetr, Vogel – Ossagův viskozimetr a kapilární viskozimetr s pístem.

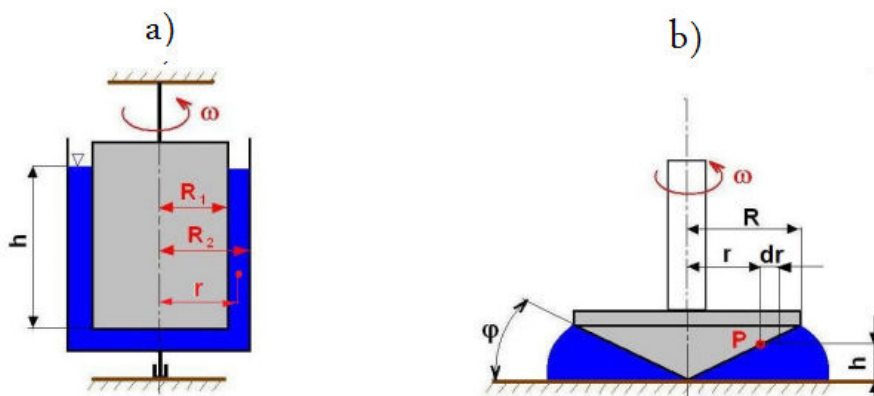


Obr. 14 Ukázka skleněných kapilárních viskozimetrů (www.centec.cz)

3.4.1.3 Rotační viskozimetr

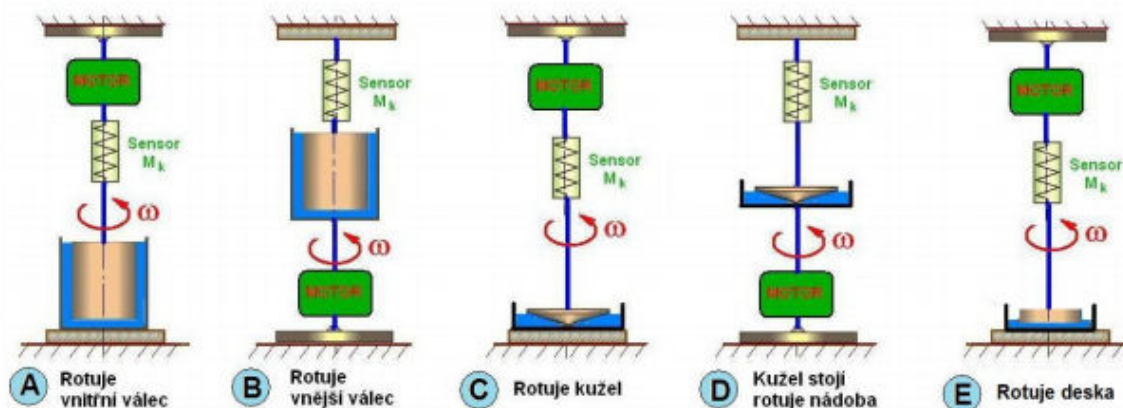
Princip zjišťování viskozity pomocí rotačních viskozimetrů je založen na určení velikosti síly potřebné pro otáčení tělískem, které je ponořeno v kapalině. Toto tělísko má nejčastěji tvar kužele nebo válce. Rotační viskozimetr umožňuje měření jak newtonovských kapalin, tak i ne-newtonovských kapalin, protože tento viskozimetr umí měřit úhel pootočení, který je závislý na tom, jak rychle se otáčí. (JANUŠ, 2012)

Rozlišujeme dva základní typy rotačních viskozimetrů. První je viskozimetr, který má sousedé válce a druhý je typu kužel-deska (obr. 15). Popřípadě se ještě používá provedení se dvěma rotujícími deskami.



Obr. 15 Rotační viskozimetr: a) sousedé válce; b) kužel-deska (JANALÍK, 2010)

Rotační viskozimetry existují v mnoha různých provedeních v závislosti na tom, který váleček koná pohyb a který je v klidu. V případě viskozimetru typu kužel-deska záleží na tom, jestli koná pohyb deska nebo kužel.



Obr. 16 Znázornění provedení rotačních viskozimetrů (JANALÍK, 2010)

V případě měření viskozity pomocí viskozimetru, který má sousedé válce, je kapalina mezi těmito dvěma válci. Jeden z válců se uvede do pohybu a měří se moment

síly, který působí na válec. Pokud známe poloměry válců R_1 a R_2 , dále známe úhlovou rychlost ω , výšku smýkané vrstvy h a moment síly M , pak můžeme vypočítat dynamickou viskozitu pomocí vztahu:

$$\eta = \frac{M}{2\pi h \omega} \left[\frac{1}{R_1^2} - \frac{1}{R_2^2} \right] \quad (19)$$

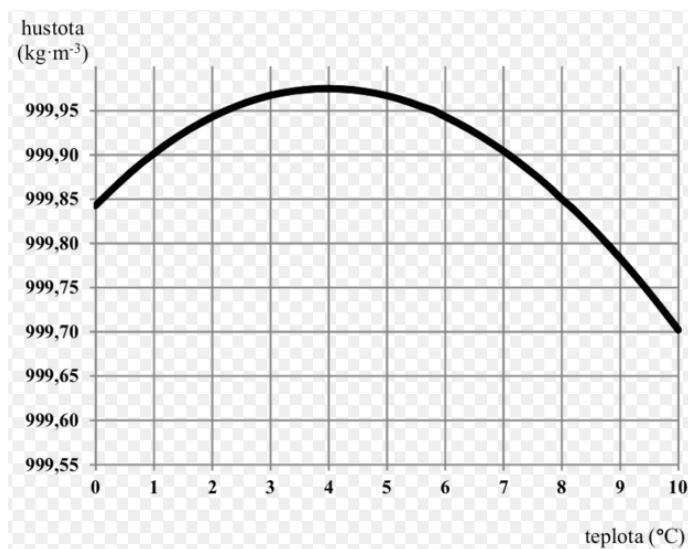
V případě použití viskozimetru typu kužel-deska se dynamická viskozita vypočítá podle vztahu:

$$\eta = \frac{3M\varphi}{2\pi R^3 \omega} \quad (20)$$

kde M je moment síly, φ je úhel štěrbin v radiánech, R je poloměr podstavy kužele a ω je úhlová rychlost.

3.5 Hustota

Hustota látky je fyzikální veličina, která vyjadřuje vztah mezi hmotností a objemem. Hustota se také označuje jako měrná hmotnost. Hustota kapalin je závislá na teplotě, protože je definována objemem a objem je závislý na teplotě. S rostoucí teplotou se hustota kapalin snižuje. Jedinou výjimkou je voda, u které dochází ke zvyšování hustoty do své maximální hodnoty při 4 °C. Poté se zvyšující se teplotou hustota klesá (obr. 17). Tento jev se nazývá teplotní anomálie vody. Důsledkem tohoto jevu je, že led má menší hustotu než voda a proto plave na hladině.



Obr. 17 Teplotní závislost hustoty vody (<http://fyzikalnipokusy.cz>)

Pravou hustotu látky můžeme definovat jako podíl hmotnosti látky M a jejího objemu V :

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (21)$$

Převrácená hodnota hustoty je známa jako měrný objem. Lze ji vypočítat ze vzta-
hu:

$$v' = \frac{1}{\rho} \quad (22)$$

Relativní hustotu látky můžeme definovat jako poměr hmotnosti objemu látky za určité teploty k hmotnosti stejného objemu vody při dané teplotě. Měření probíhá za atmosférického tlaku. Nejvíce se používá relativní hustota látky, která se měří při 20 °C vztažené k hustotě vody při 20 °C (d_{20}^{20}) nebo 4 °C (d_4^{20}). Vztah mezi relativní a pravou hustotou lze najít v Českém lékopise viz tabulka 1. (<http://lat.zshk.cz>)

Tab. 1 Převodní vztah mezi relativní a pravou hustotou (<http://lat.zshk.cz>)

$\rho_{20} = 0,998203 \cdot d_{20}^{20}$	$d_{20}^{20} = 1,00180 \cdot \rho_{20}$
$\rho_{20} = 0,999972 \cdot d_4^{20}$	$d_4^{20} = 1,00003 \cdot \rho_{20}$
$d_4^{20} = 0,998230 \cdot d_{20}^{20}$	

V mezinárodní soustavě SI je jednotkou hustoty kg/m^3 . Často se však používá odvozená jednotka g/cm^3 . Kromě těchto běžných jednotek se také můžeme setkat s jednotkami g/ml ($1\text{g/ml}=1\text{g/cm}^3$) nebo kg/l .

3.5.1 Měření hustoty

Pro měření hustoty existuje několik druhů přístrojů. Rozdělují se podle požadavků na rychlost a podle přesnosti stanovení hustoty. Rozdělujeme dva základní principy pro měření hustoty. První je založen na principu vztlaku tělesa v kapalině. Mezi takové hustoměry patří ponorné hustoměry a Mohr-Westfalovy váhy. Druhý princip spočívá v přesném vážení předem definovaného objemu kapaliny. Na tomto principu je založeno stanovení hustoty pyknometrem. (<http://lat.zshk.cz>)

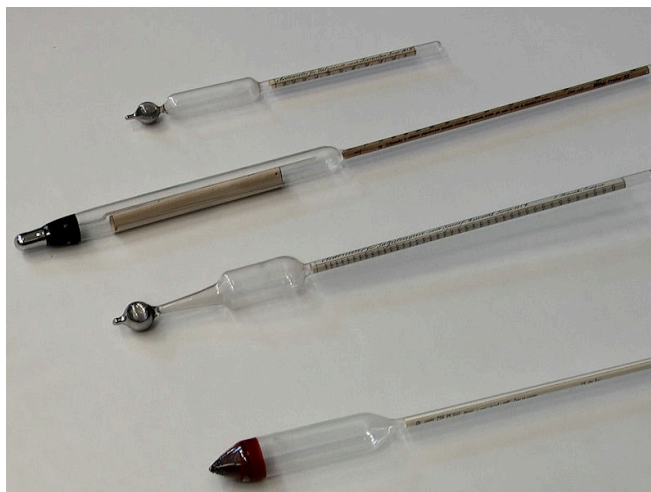
3.5.1.1 Ponorné hustoměry

Ponorné hustoměry jsou vyrobeny nejčastěji ze skla. Mají tvar zatavené trubice a v dolní části jsou rozšířené v baňku. V baňce se nachází závaží, které má předem definovanou hmotnost. Vrchní zúžená část obsahuje stupnici. Ve dně hustoměru je

zabudován rtuťový teploměr, protože měření hustoty se musí provádět při určité teplotě. (<http://lat.zshk.cz>)

Samotný proces zjištění hustoty probíhá tak, že se hustoměr ponoří do kádinky s předem připravenou kapalinou. Hustoměr je nadnášen takovou vztlakovou silou, která se rovná hmotnosti objemu kapaliny vytlačené. Princip tohoto měření hustoty vychází z Archimédova zákona. Výsledná hustota se odečte ze stupnice hustoměru. Čím nižší má kapalina hustotu, tím více se hustoměr ponoří.

Ponorné hustoměry nepatří mezi přístroje, které by určily přesnou hodnotu hustoty kapaliny. Jedná se spíše o hodnotu orientační. Aby bylo měření hustoty přesnější, vyrábějí se ponorné hustoměry v sadách, kde jednotlivé hustoměry mají stupnici jen pro úzké spektrum hustoty. Tyto sady jsou často používány pro specifické účely, například se často používají v lihovarnictví (lihoměry), kde se jimi stanovuje hustota etanolu. Podobné využití je v cukrovarech, kde se označují jako cukroměry. (<http://lat.zshk.cz>)



Obr. 18 Ukázka provedení ponorných hustoměrů (<http://lat.zshk.cz>)

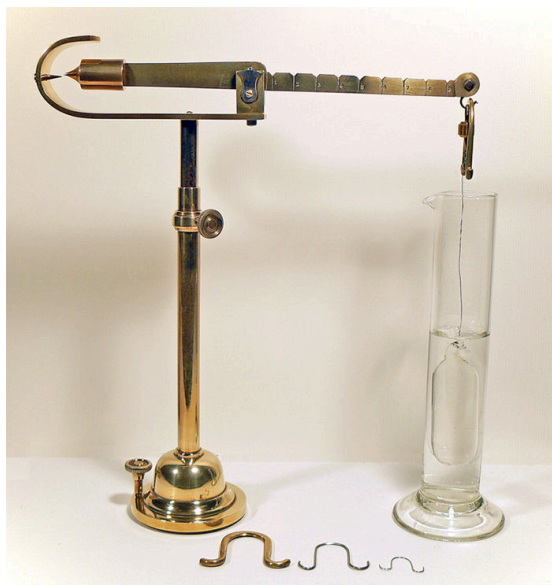
3.5.1.2 *Mohr-Westfalovy váhy*

Mohr-westfalovy váhy jsou konstruovány jako nerovnoramenná páková váha. Delší rameno je rozděleno na 9 dílků a na desátý díl se zavěsí závěsné zařízení (háček). Závěsný háček je umístěn na konci vahadla. Na konci ramene se také nachází posuvné závaží, které se používá na vyvážení nulové polohy. Hustota kapaliny se určuje pomocí tělesa, které má definovanou hmotnost a je nadlehčováno vztlakovou silou kapaliny. Pomocí Mohrových vah se dá hustota určit s přesností na 4 desetinná místa. (<http://lat.zshk.cz>)

Při měření se umístí vahadlo na stojan tak, aby břity vahadla zapadly do břitů stojanu. K měření je určeno skleněné tělísko, které je vyplněno zátěží a je zavěšeno pomocí platinového drátku. Tělísko musí být dokonale čisté, aby byla zachována jeho kalibrovaná hmotnost. Vzniklá vztlaková síla se vyrovnává pomocí závaží, kte-

rá mají různou hmotnost. Vyvažování je závislé na použití zářezů v různých vzdálenostech. Čím blíže k ose je závaží umístěno, tím je vyvažovací účinnost menší.

V první řadě je nutné provést kalibraci, která se provádí pomocí kapaliny, u které známe hustotu. Tělíčko se ponoří do připravené kapaliny a závaží se na váhách rozloží tak, aby rozmístění odpovídalo známé hustotě kapaliny. Poté vyrovnáme váhy do rovnovážné polohy pomocí posuvného závaží. Ke kalibraci vah se nejčastěji používá čištěná voda. (<http://lat.zshk.cz>)



Obr. 19 Mohrová váha (www.lecompendium.com)

3.5.1.3 Pyknometr

Pyknometr je zařízení sloužící k měření hustoty, které je vyrobené ze skla a má tvar baňky se zábrusovou zátkou. Na zátce je vyznačená ryska, která určuje přesný objem kapaliny, která je v nádobě. Dále pyknometr obsahuje středovou kapiláru, která odvádí přebytečnou kapalinu při naplnění pyknometru. Každý pyknometr musí mít svoji zátku, zátky se nedají zaměňovat. Pokud je zátku poškozena, je nefunkční celý pyknometr a nedá se použít.

Měření pomocí pyknometru je přesné vážení předem určeného objemu kapaliny při zachování konstantní teploty. Nejčastěji má měřená kapalina teplotu 20 °C.

Aby bylo měření pyknometrem přesné, musí se dodržet určité zásady (<http://lat.zshk.cz>):

1. Pyknometr musí být před naplněním dokonale čistý a dokonale suchý.
2. Kapalina v pyknometru musí být v takovém objemu, jaký udává ryska.
3. Kapalina v pyknometru musí mít definovanou teplotu.

Pro dosažení dokonalé čistoty pyknometru se nejčastěji používá chromsírová směs. Pak se pyknometr důkladně omyje čištěnou vodou a dokonale se vysuší. Při

čištění pyknometru je vhodné používat rukavice, aby se nečistoty z pokožky nedostaly na přístroj. (<http://lat.zshk.cz>)

Při samotném měření se nejprve dokonale čistý pyknometr zváží na analytických vahách (P1). V dalším kroku se pyknometr naplní čišťenou vodou tak, aby na stěnách nezůstali žádné vzduchové bublinky. Vloží se zátka, do které se nasaje kapalina. Pomocí středové kapiláry se odstraní přebytečná kapalina a hladina se nastaví podle rysky. Poté se celý pyknometr vloží do temperační lázně na 30 minut, aby se dosáhlo teploty 20 °C. Po 30 minutách se pyknometr vyndá z lázně a dokonale se osuší. Opět se zváží i s kapalinou uvnitř (P2). Když odečteme hmotnosti plného a prázdného pyknometru (P2-P1), získáme vodné číslo pyknometru. V dalším kroku se voda vylije, přístroj se dokonale osuší (propláchně se koncentrovaným ethanolem a pak etherem a nechá se odpařit) a naplní se požadovanou kapalinou. Naplnění se provede stejným postupem jako naplnění vodou a opět se dá pyknometr na 30 minut do temperační lázně. Po vyjmutí a osušení se zváží (P3). Rozdíl hmotností P3-P1 je hmotnost definovaného objemu kapaliny. (<http://lat.zshk.cz>)

Relativní hustota kapaliny se pak určí:

$$d_{20}^{20} = \frac{P3 - P1}{P2 - P1} \quad (23)$$

Pravá hustota kapaliny se určí podle vztahu:

$$\rho = \frac{P3 - P1}{V} \quad (24)$$

kde V je objem kapaliny v pyknometru.

Přesnost určení hodnoty hustoty závisí zejména na vyčištění pyknometru a na přesnosti vážení.



Obr. 20 Pyknometr (www.kavalier.cz)

4 Materiál a metodika

4.1 Zkoumané vzorky

K měření fyzikálních vlastností paliv a biopaliv pro zážehové motory byl použit čistý bioetanol a čisté automobilové benziny natural 95 a natural 98, které byly poskytnuty laboratoří firmy Čepro a.s.. Z každého automobilového benzínu bylo vytvořeno 5 vzorků s různým obsahem bioetanolu (viz tab. 2). Jednotlivé vzorky byly zchlazeny na teplotu $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ a postupně zahřívány na teplotu $40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Během zahřívání se měřila dynamická viskozita, hustota a smykové napětí. Vzorky byly vybrány tak, aby reprezentovaly koncentrace, které jsou nebo v nejbližší době budou používány. Měřily se vlastnosti čistého automobilového benzínu, čistého bioetanolu, E4,1, což je povinný obsah bioložky v automobilovém benzínu v současné době, E10, což bude povinný obsah bioložky v automobilovém benzínu do roku 2020 a E85, který se dá v současnosti běžně natankovat, ale motor musí být na toto palivo přizpůsobený.

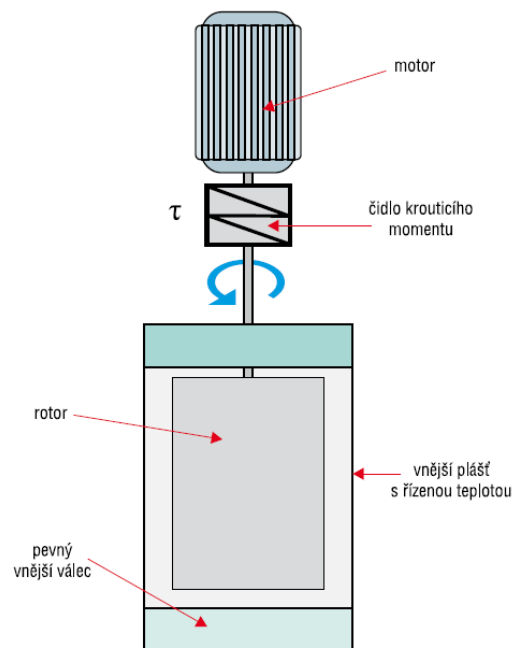
Tab. 2 Složení jednotlivých vzorků

Vzorek	Podíl bioetanolu (% objemu)	Podíl benzínu (% objemu)
E0	0	100
E4,1	4,1	95,9
E10	10	90
E85	85	15
E100	100	0

4.2 Měření dynamické viskozity

4.2.1 Viskozimetr

K měření dynamické viskozity byl použit rotační viskozimetr DV2T. Tento viskozimetr měří kroutící moment vřetene, který je nutný k překonání odporu kapaliny, které je ponořeno v kapalině. Na základě výpočtů viskozimetru lze výslednou hodnotu dynamické viskozity odečíst z displeje přístroje. Tento viskozimetr zobrazuje viskozitu, teplotu, smykovou rychlost, smykové napětí a rychlost otáčení. Je opatřen 5ti palcovým barevným displejem, z kterého lze přehledně odečíst všechny údaje.



Obr. 21 Schéma rotačního viskozimetru (KUMBÁR V., POLCAR A., VOTAVA J., 2015)

Technické údaje viskozimetru DV2T:

- Rozsahy měření:

DV2TLV: 1 – 6 000 000 mPa.s

DV2TRV: 100 – 40 000 000 mPa.s

DV2THA: 200 – 80 000 000 mPa.s

DV2THB: 800 – 320 000 000 mPa.s

- Rozlišení:

Adaptér pro nízkou viskozitu: 0,01

Viskozita < 10 000 mPa.s: 0,1

Viskozita > 10 000 mPa.s: 1

- Počet otáček: 1- 200 min⁻¹
- Přesnost: ±1,0 %
- Opakovatelnost: ±0,2 %



Obr. 22 Viskozimetr DV2T (www.synpo.cz)

4.2.2 Postup při měření viskozity

Při měření bylo použito vřeteno 18 (podle Brookfielda), které se dá použít pro kapaliny s nízkou viskozitou (například námi zkoumané vzorky). Nachystali jsme si vzorky paliv (dle tab. 2) a dali jsme je do mrazáku. Po vychlazení vzorků na $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ jsme umístili kyvetu s připraveným vzorkem do prostoru viskozimetru na ohřívač. Vložili jsme do nádoby se vzorkem vřeteno a nastavili otáčky viskozimetru, které odpovídaly smykové rychlosti 200 s^{-1} . Změřili jsme dynamickou viskozitu při $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ a zapnuli jsme zahřívání. Po ohřátí vzorku o $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ jsme vždy odečetli hodnotu dynamické viskozity. Měření probíhalo až do teploty $40\text{ }^{\circ}\text{C}$, kdy jsme zahřívání přerušili. Stejný postup jsme opakovali u všech připravených směsí. Zaznamenané výsledky byly přehledně zapsány do tabulek a poté v programu Excel zpracovány grafy.

4.3 Měření hustoty

4.3.1 Hustoměr

Pro měření hustoty byl použit přenosný digitální hustoměr Densito 30 PX od firmy Mettler Toledo. Tento hustoměr disponuje speciální stupnicí pro měření ropných produktů. Tento přístroj funguje na principu oscilující trubice. Je také schopný měřit přesnou teplotu. Při měření hustoty se vzorkovací trubice ponoří do měřené kapaliny a měření je spuštěno automaticky. Během několika sekund se na displeji přístroje objeví naměřená hustota. Přístroj obsahuje pumpu, která je schopna regulovat rychlost nasávání. Také je možné velmi viskózní vzorky vstříknout externí stříkačkou do speciálního otvoru. Hustoměr je vybaven automatickou teplotní kompenzací. Přístroj se kalibruje na vzduch nebo na vodu.

Technické údaje hustoměru Densito 30 XP:

- Rozsah měření: 0 – 2 g.cm⁻³
- Rozlišení: 0,0001 g.cm⁻³
- Přesnost: 0,001 g.cm⁻³



Obr. 23 Hustoměr Densito 30 XP (www.keison.co.uk)

4.3.2 Postup při měření hustoty

Postup měření hustoty byl podobný jako měření viskozity. Opět jsme si nachystali vzorky směsí automobilového benzínu a bioetanolu a dali jsme je do mrazáku zchladit. Po dosažení požadované teploty jsme vzorek z mrazáku vytáhli a položili na ohřívací. Při teplotě -10 °C jsme provedli první měření hustoty. Poté jsme vzorek začali ohřívat a vždy při ohřátí vzorku o 10 °C jsme provedli měření hustoty. Tímto způsobem jsme prováděli měření až do dosažení teploty 40 °C. Tímto způsobem jsme provedli měření všech připravených vzorků.

4.4 Kinematická viskozita, tekutost, smykové napětí

Pokud známe dynamickou viskozitu a hustotu, můžeme dopočítat další parametry. Můžeme spočítat kinematickou viskozitu, tekutost, a pokud známe rychlost deformace (smykovou rychlost), můžeme spočítat i smykové napětí.

Hodnotu kinematické viskozity dopočítame podle vzorce 6. Tekutost vypočítáme podle rovnice 7. Velikost smykového napětí lze dopočítat dle vztahu:

$$\tau = \eta\gamma \quad (25)$$

kde τ je smykové napětí (Pa), η je dynamická viskozita (Pa.s), γ je rychlost deformace (s^{-1}).

5 Výsledky a diskuse

5.1 Automobilový benzin N95, bioetanol a jejich směsi

Se směsmi automobilového benzínu N95 a bioetanolu v koncentracích 0 %, 4,1 %, 10 %, 85 % a 100 % objemových procent etanolu bylo provedeno měření dynamické viskozity v závislosti na teplotě od -10 °C do 40 °C s krokem 5 °C. V následující tabulce 3 jsou zaznamenány naměřené hodnoty.

Tab. 3 Teplotní závislost dynamické viskozity automobilového benzínu N95, bioetanolu a jejich směsí

Teplota [°C]	Dynamická viskozita [mPa.s]				
	N95	E4,1	E10	E85	Etanol
-10	0,71	0,76	0,76	1,21	1,25
-5	0,67	0,74	0,72	1,18	1,23
0	0,65	0,70	0,69	1,12	1,21
5	0,63	0,67	0,67	1,09	1,10
10	0,59	0,66	0,65	1,01	1,08
15	0,59	0,65	0,64	1,00	1,06
20	0,58	0,64	0,64	0,95	0,95
25	0,58	0,63	0,64	0,93	0,90
30	0,56	0,61	0,63	0,89	0,85
35	0,53	0,60	0,61	0,83	0,82
40	0,53	0,58	0,60	0,83	0,77

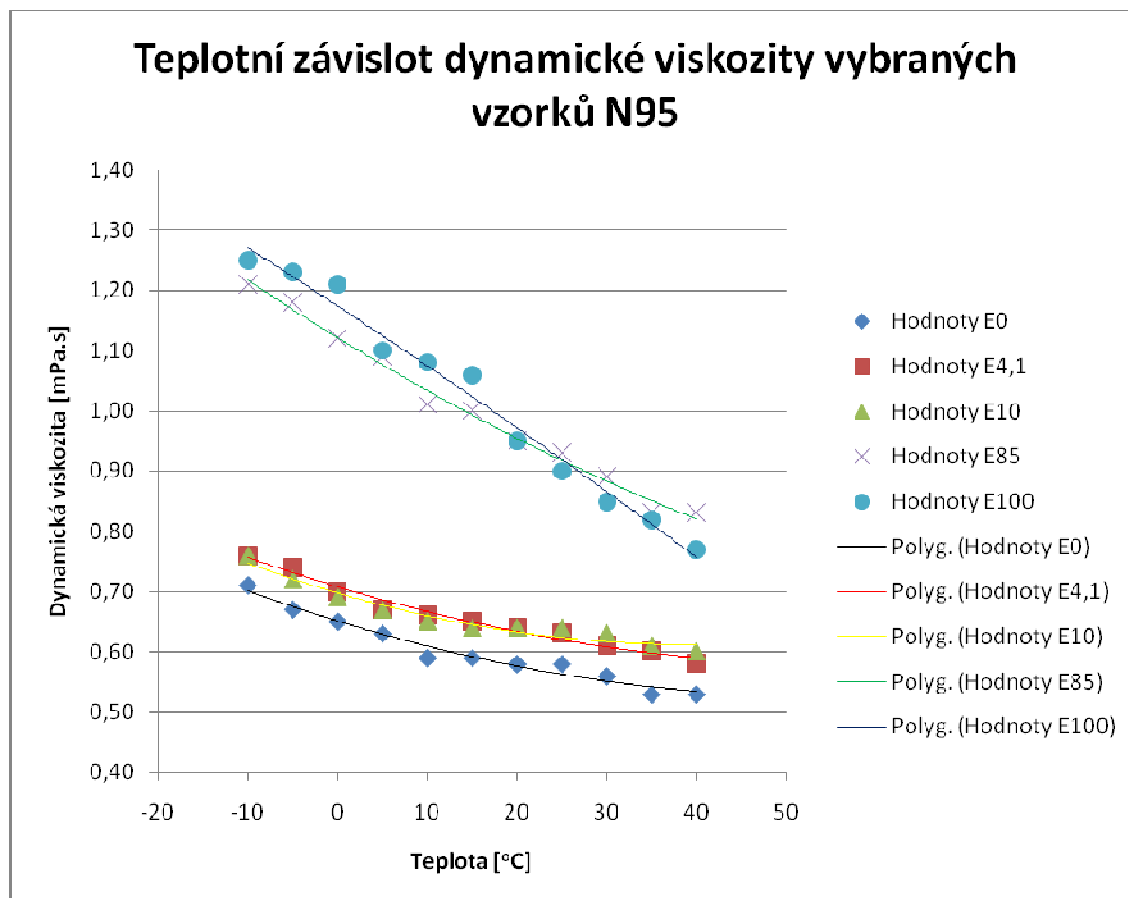
V následujícím grafu (obr. 24) je graficky znázorněna teplotní závislost dynamické viskozity jednotlivých vzorků. Naměřené hodnoty byly proloženy polynomem 2. stupně a byl použit vztah:

$$f(x) = a_2x^2 + a_1x + a_0 \quad (26)$$

V našem případě byla rovnice upravena do tvaru:

$$\eta(t) = a_2t^2 + a_1t + a_0 \quad (27)$$

kde η je dynamická viskozita (Pa.s), t je teplota (°C).



Obr. 24 Teplotní závislost dynamické viskozity automobilového benzínu N95, bioetanolu a jejich směsí

Přesnost polynomických funkcí byla určena koeficientem determinace R^2 . Hodnoty konstant rovnic ze vztahu (27) i hodnoty koeficientů determinace R^2 jednotlivých vzorků jsou zapsány v následující tabulce 4.

Tab. 4 Hodnoty konstant rovnic polynomu 2. stupně a koeficient determinace

Vzorek	a_2 [mPa.s.°C ⁻²]	a_1 [mPa.s.°C ⁻¹]	a_0 [mPa.s]	R^2
E0	0,00004	-0,0046	0,6510	0,9682
E4,1	0,00004	-0,0045	0,7071	0,9776
E10	0,00006	-0,0044	0,6983	0,9538
E85	0,00004	-0,0092	1,1218	0,9902
E100	-0,00002	-0,0098	1,1745	0,9828

Z naměřených hodnot vyplývá, že dynamická viskozita s rostoucí teplotou klesá. Teplotní závislost viskozity není lineární, ale polynomická. Zároveň je z provedeného měření patrné, že viskozita směsi roste s přidáním bioložky, tedy

bioetanolu. Nejvyšší viskozitu má čistý bioetanol při teplotě $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ a to $1,25\text{ mPa}\cdot\text{s}$. Při jeho zahřátí na $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ viskozita poklesne na hodnotu $0,77\text{ mPa}\cdot\text{s}$, což je pokles o $38,4\%$ oproti viskozitě při $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Naopak nejmenší závislost viskozity na teplotě pozorujeme u čistého automobilového benzínu N95, kde byla naměřená viskozita $0,71\text{ mPa}\cdot\text{s}$ při $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $0,53\text{ mPa}\cdot\text{s}$ při $40\text{ }^{\circ}\text{C}$, což představuje pokles o $25,4\%$.

Obdobné měření jako při měření viskozity proběhlo pro měření hustoty. Zkoumala se hustota stejných vzorků automobilového benzínu a bioetanolu. Rozdíl byl pouze v tom, že krok pro měření byl po $10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Naměřené hodnoty hustoty jednotlivých vzorků v závislosti na teplotě jsou uvedeny v následující tabulce 5.

Tab. 5 Teplotní závislost hustoty směsi automobilového benzínu N95 a bioetanolu

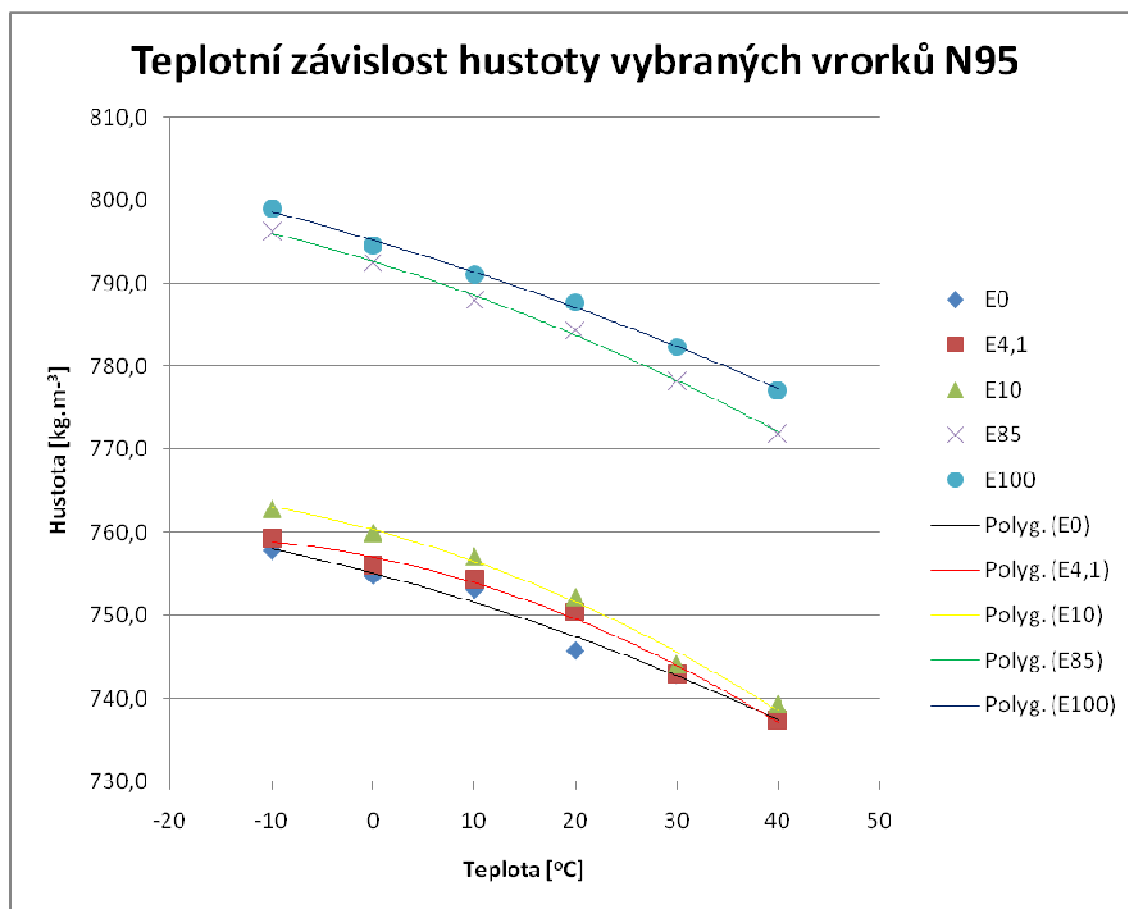
Teplota [$^{\circ}\text{C}$]	Hustota [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]				
	N95	E4,1	E10	E85	Etanol
-10	757,8	759,3	762,9	796,3	799,0
0	754,8	756,1	760,0	792,5	794,6
10	753,1	754,4	757,1	788,0	791,1
20	745,8	750,4	752,2	784,4	787,7
30	742,9	743,0	744,1	778,3	782,4
40	737,5	737,3	739,3	771,9	777,1

V následujícím grafu (obr. 25) je graficky znázorněna teplotní závislost hustoty jednotlivých vzorků. Naměřené hodnoty byly proloženy polynomem 2. stupně a byl použit vztah 26.

V našem případě byla rovnice upravena do tvaru:

$$\rho(t) = a_2 t^2 + a_1 t + a_0 \quad (28)$$

kde ρ je hustota ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$), t je teplota ($^{\circ}\text{C}$).



Obr. 25 Teplotní závislost hustoty automobilového benzínu N95, bioetanolu a jejich směsí

Přesnost polynomičských funkcí byla určena koeficientem determinace R^2 . Hodnoty konstant rovnic ze vztahu (28) i hodnoty koeficientů determinace R^2 jednotlivých vzorků jsou zapsány v následující tabulce 6.

Tab. 6 Hodnoty konstant rovnic polynomu 2. stupně a koeficient determinace

Vzorek	a_2 [kg·m ⁻³ ·°C ⁻²]	a_1 [kg·m ⁻³ ·°C ⁻¹]	a_0 [kg·m ⁻³]	R^2
E0	-0,0030	-0,3229	755,04	0,9830
E4,1	-0,0063	-0,2489	757,07	0,9918
E10	-0,0054	-0,3251	760,27	0,9914
E85	-0,0054	-0,3251	760,27	0,9914
E100	-0,0021	-0,3645	795,20	0,9970

Z provedeného měření bylo zjištěno, že nejvyšší hustotu má čistý bioetanol při -10 °C a to 799 kg·m⁻³. Při ohřátí etanolu na teplotu 40 °C jeho hustota klesla na hodnotu 777,1 kg·m⁻³, což představuje pokles o 2,7 % oproti hustotě při -10 °C. Nejvyšší teplotní závislost hustoty byla zjištěná u vzorku E85. Rozdíl mezi hustotou při 40 °C představoval pokles o 3,1 % oproti hustotě měřené při -10 °C. Z grafu

je patrné, že hustota s rostoucí teplotou klesá, a naopak hustota roste se zvyšujícím se obsahem bioložky.

Dle vztahů (6) a (7) byli dopočítány hodnoty kinematické viskozity a tekutosti. Dynamická viskozita, hustota a smykové napětí bylo naměřeno. Všechny tyto hodnoty byly přehledně uspořádány do tabulek.

Tab. 7 Sledované fyzikální vlastnosti čistého automobilového benzínu N95

Vzorek	Teplota [°C]	Dynamická viskozita [mPa.s]	Hustota [kg.m ⁻³]	Kinematická viskozita [mm ² .s ⁻¹]	Tekutost [m.s.kg ⁻¹]	Smykové napětí [mPa]
E0	-10	0,71	757,8	0,94	1,41	142
	-5	0,67	/	/	1,49	134
	0	0,65	754,8	0,86	1,54	130
	5	0,63	/	/	1,59	126
	10	0,59	753,1	0,78	1,69	118
	15	0,59	/	/	1,69	118
	20	0,58	745,8	0,78	1,72	116
	25	0,58	/	/	1,72	116
	30	0,56	742,9	0,75	1,79	112
	35	0,53	/	/	1,89	106
	40	0,53	737,5	0,72	1,89	106

Tab. 8 Sledované fyzikální vlastnosti směsi E4,1

Vzorek	Teplota [°C]	Dynamická viskozita [mPa.s]	Hustota [kg.m ⁻³]	Kinematická viskozita [mm ² .s ⁻¹]	Tekutost [m.s.kg ⁻¹]	Smykové napětí [mPa]
E4,1	-10	0,76	759,3	1,00	1,32	152
	-5	0,74	/	/	1,35	148
	0	0,70	756,1	0,93	1,43	140
	5	0,67	/	/	1,49	134
	10	0,66	754,4	0,87	1,52	132
	15	0,65	/	/	1,54	130
	20	0,64	750,4	0,85	1,56	128
	25	0,63	/	/	1,59	126
	30	0,61	743,0	0,82	1,64	122
	35	0,60	/	/	1,67	120
	40	0,58	737,3	0,79	1,72	116

Tab. 9 Sledované fyzikální vlastnosti směsi E10

Vzorek	Teplota [°C]	Dynamická viskozita [mPa.s]	Hustota [kg.m ⁻³]	Kinematická viskozita [mm ² .s ⁻¹]	Tekutost [m.s.kg ⁻¹]	Smykové napětí [mPa]
E10	-10	0,76	762,9	1,00	1,32	152
	-5	0,72	/	/	1,39	144
	0	0,69	760,0	0,91	1,45	138
	5	0,67	/	/	1,49	134
	10	0,65	757,1	0,86	1,54	130
	15	0,64	/	/	1,56	128
	20	0,64	752,2	0,85	1,56	128
	25	0,64	/	/	1,56	128
	30	0,63	744,1	0,85	1,59	126
	35	0,61	/	/	1,64	122
	40	0,60	739,3	0,81	1,67	120

Tab. 10 Sledované fyzikální vlastnosti směsi E85

Vzorek	Teplota [°C]	Dynamická viskozita [mPa.s]	Hustota [kg.m ⁻³]	Kinematická viskozita [mm ² .s ⁻¹]	Tekutost [m.s.kg ⁻¹]	Smykové napětí [mPa]
E85	-10	1,21	796,3	1,52	0,83	242
	-5	1,18	/	/	0,85	236
	0	1,12	792,5	1,41	0,89	224
	5	1,09	/	/	0,92	218
	10	1,01	788,0	1,28	0,99	202
	15	1,00	/	/	1,00	200
	20	0,95	784,4	1,21	1,05	190
	25	0,93	/	/	1,08	186
	30	0,89	778,3	1,14	1,12	178
	35	0,83	/	/	1,20	166
	40	0,83	771,9	1,08	1,20	166

Tab. 11 Sledované fyzikální vlastnosti čistého bioetanolu

Vzorek	Teplota [°C]	Dynamická viskozita [mPa.s]	Hustota [kg.m ⁻³]	Kinematická viskozita [mm ² .s ⁻¹]	Tekutost [m.s.kg ⁻¹]	Smykové napětí [mPa]
E100	-10	1,25	799,0	1,56	0,80	250
	-5	1,23	/	/	0,81	246
	0	1,21	794,6	1,52	0,83	242
	5	1,10	/	/	0,91	220
	10	1,08	791,1	1,37	0,93	216
	15	1,06	/	/	0,94	212
	20	0,95	787,7	1,21	1,05	190
	25	0,90	/	/	1,11	180
	30	0,85	782,4	1,09	1,18	170
	35	0,82	/	/	1,22	164
	40	0,77	777,1	0,99	1,30	154

5.2 Automobilový benzin N98, bioetanol a jejich směsi

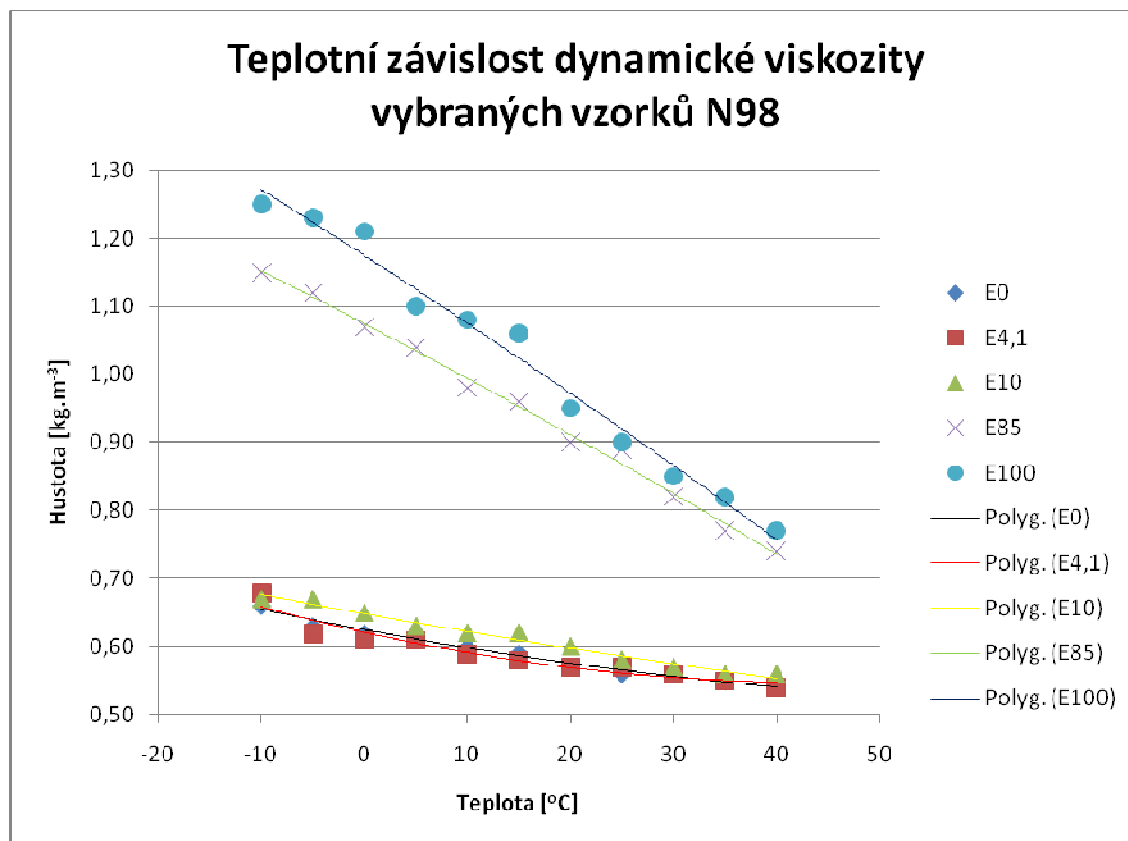
Obdobné měření jako v předchozím případě bylo provedeno u směsí automobilového benzínu N98 a bioetanolu. Postup měření byl naprosto shodný. Byly připraveny vzorky se stejnými koncentracemi jako v předchozím případě. Daly se zchladit do mrazáku a při postupném zahřívání bylo provedeno měření. V následující tabulce 12 byly zaznamenány naměřené hodnoty dynamické viskozity.

Tab. 12 Teplotní závislost dynamické viskozity automobilového benzínu N98, bioetanolu a jejich směsí

Teplota [°C]	Dynamická viskozita [mPa.s]				
	N98	E4,1	E10	E85	Etanol
-10	0,66	0,68	0,67	1,15	1,25
-5	0,63	0,62	0,67	1,12	1,23
0	0,62	0,61	0,65	1,07	1,21
5	0,62	0,61	0,63	1,04	1,10
10	0,60	0,59	0,62	0,98	1,08
15	0,59	0,58	0,62	0,96	1,06
20	0,57	0,57	0,60	0,90	0,95
25	0,56	0,57	0,58	0,89	0,90
30	0,56	0,56	0,57	0,82	0,85
35	0,55	0,55	0,56	0,77	0,82
40	0,54	0,54	0,56	0,74	0,77

V následujícím grafu (obr. 26) je graficky znázorněna teplotní závislost dynamické viskozity jednotlivých vzorků. Naměřené hodnoty byly proloženy polynomem 2. stupně a byl použit vztah 26.

V našem případě byla rovnice upravena do tvaru podle vztahu 27.



Obr. 26 Teplotní závislost dynamické viskozity automobilového benzínu N98, bioetanolu a jejich směsí

Přesnost polynomických funkcí byla určena koeficientem determinace R^2 . Hodnoty konstant rovnic ze vztahu (27) i hodnoty koeficientů determinace R^2 jednotlivých vzorků jsou zapsány v následující tabulce 13.

Tab. 13 Hodnoty konstant rovnic polynomu 2. stupně a koeficient determinace

Vzorek	a_2 [mPa.s.°C ⁻²]	a_1 [mPa.s.°C ⁻¹]	a_0 [mPa.s]	R^2
E0	0,000020	-0,0028	0,6245	0,9790
E4,1	0,000040	-0,0034	0,6217	0,9277
E10	0,000008	-0,0027	0,6484	0,9787
E85	-0,000010	-0,0079	1,0743	0,9943
E100	-0,000020	-0,0098	1,1745	0,9828

Měřením bylo opět zjištěno, že dynamická viskozita s rostoucí teplotou klesá. Teplotní závislost je stejně jako v případě automobilového benzínu N95 polynomická. Z provedeného měření vyplývá, že s přidáním bioložky do automobilového benzínu N 98 dynamická viskozita roste. Nejvyšší dynamickou viskozitu má čistý bioetanol při -10 °C, a to 1,25 mPa.s. Naproti tomu při 40 °C má viskozitu 0,77 mPa.s, což představuje pokles o 34 %. Nejmenší rozdíl vykazuje čistý automobilový benzin N98. Rozdíl mezi viskozitou při -10 °C, která má hodnotu 0,66 mPa.s a viskozitou při 40 °C, která má hodnotu 0,54 mPa.s, činí pokles o 18,2 %.

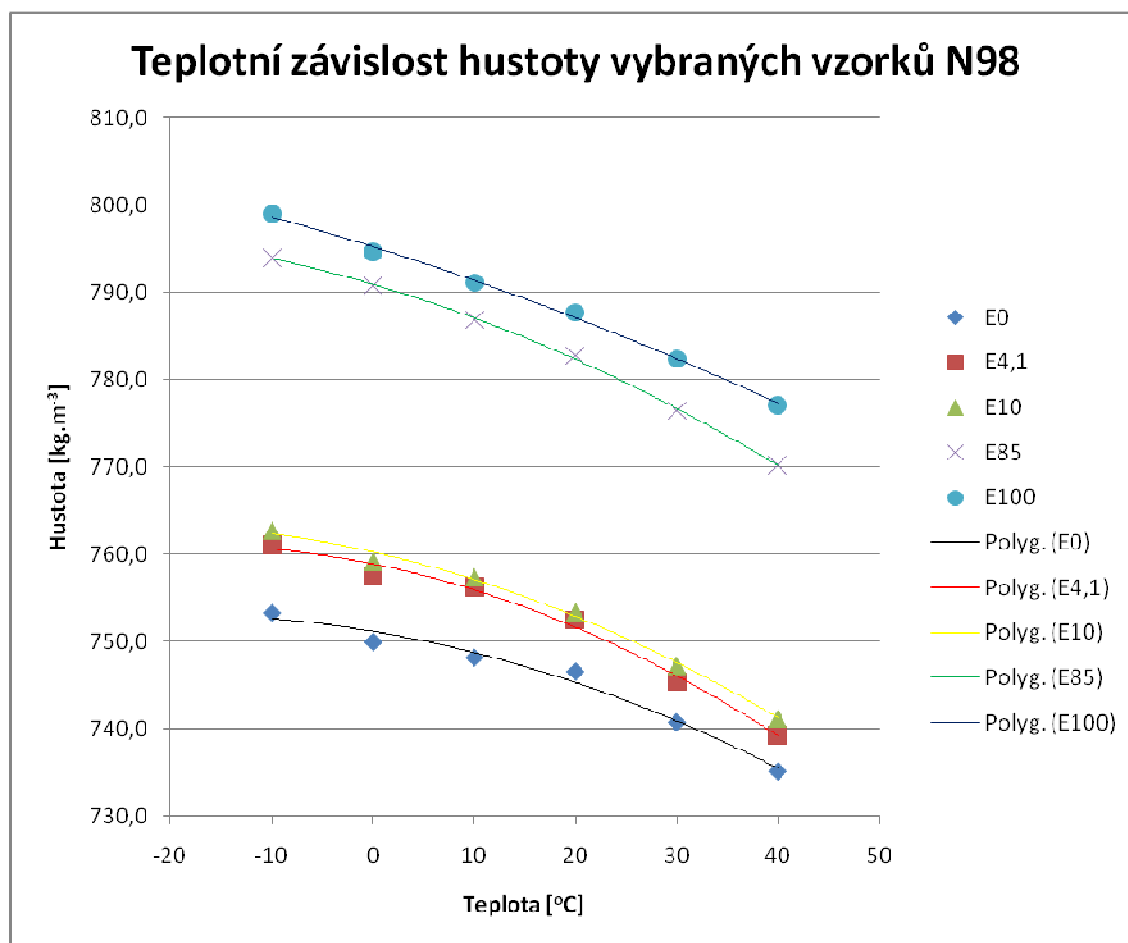
V další části bylo provedeno měření hustoty vzorků složených z automobilového benzínu N 98 a bioetanolu. Měření opět probíhalo stejně jako předchozí měření hustoty. Vzorky byly zchlazeny na požadovanou teplotu a následně ohřívány. S krokem 10 °C byla měřena a odečítána hustota jednotlivých vzorků. Hodnoty naměřené hustoty jsou zaznamenány v následující tabulce 14.

Tab. 14 Teplotní závislost hustoty automobilového benzínu N98, bioetanolu a jejich směsí

Teplota, [°C]	Hustota [kg.m ⁻³]				
	N98	E4,1	E10	E85	Etanol
-10	753,3	761,1	762,8	794,0	799,0
0	750,0	757,6	759,2	790,8	794,6
10	748,2	756,3	757,4	786,9	791,1
20	746,6	752,5	753,4	782,8	787,7
30	740,8	745,4	747,3	776,5	782,4
40	735,2	739,3	741,2	770,2	777,1

V následujícím grafu (obr. 27) je graficky znázorněna teplotní závislost hustoty jednotlivých vzorků. Naměřené hodnoty byly proloženy polynomem 2. stupně a byl použit vztah 26.

V našem případě byla rovnice upravena do tvaru jako ve vztahu 28.



Obr. 27 Teplotní závislost hustoty automobilového benzínu N98, bioetanolu a jejich směsí

Přesnost polynomických funkcí byla určena koeficientem determinace R^2 . Hodnoty konstant rovnic ze vztahu (28) i hodnoty koeficientů determinace R^2 jednotlivých vzorků jsou zapsány v následující tabulce 15.

Tab. 15 Hodnoty konstant rovnic polynomu 2. stupně a koeficient determinace

Vzorek	a_2 [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{°C}^{-2}$]	a_1 [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{°C}^{-1}$]	a_0 [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	R^2
E0	-0,0049	-0,1947	751,14	0,9822
E4,1	-0,0065	-0,2329	758,87	0,9903
E10	-0,0053	-0,2629	760,23	0,9945
E85	-0,0045	-0,3398	790,95	0,9992
E100	-0,0021	-0,3645	795,2	0,997

Podle očekávání měření potvrdilo, že se stoupající teplotou hustota klesá. Stejně jako při měření směsí automobilového benzínu N95 a bioetanolu se potvrdilo, že se vzrůstajícím podílem biožky roste i hustota. Z naměřených hodnot lze vyčíst, že největší hustotu má čistý bioetanol, a to při -10 °C a hustota je $799\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Při 40 °C má bioetanol hustotu $777,1\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, což je pokles o 2,7 % oproti hustotě při -10 °C . Nejvyšší teplotní závislost hustoty vykazuje vzorek E85, který má hustotu $794\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ při -10 °C a $770,2\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ při 40 °C , což je rozdíl 3 %. Naopak nejmenší závislost hustoty na teplotě má čistý automobilový benzin N98. Při teplotě -10 °C má hustotu $753,3\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ a při 40 °C má hustotu $735,2\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, což je pokles o 2,4 %.

Dle vztahů (6) a (7) byly dopočítány hodnoty kinematické viskozity a tekutosti. Dynamická viskozita, hustota a smykové napětí bylo naměřeno. Všechny tyto hodnoty byly přehledně uspořádány do tabulek.

Tab. 16 Sledované fyzikální vlastnosti čistého automobilového benzínu N98

Vzorek	Teplota [°C]	Dynamická viskozita [$\text{mPa}\cdot\text{s}$]	Hustota [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	Kinematická viskozita [$\text{mm}^2\cdot\text{s}^{-1}$]	Tekutost [$\text{m}\cdot\text{s}\cdot\text{kg}^{-1}$]	Smykové napětí [mPa]
E0	-10	0,66	753,3	0,88	1,52	142
	-5	0,63	/	/	1,59	134
	0	0,62	750,0	0,83	1,61	130
	5	0,62	/	/	1,61	126
	10	0,60	748,2	0,80	1,67	118
	15	0,59	/	/	1,69	118
	20	0,57	746,6	0,76	1,75	116
	25	0,56	/	/	1,79	116
	30	0,56	740,8	0,76	1,79	112
	35	0,55	/	/	1,82	106
	40	0,54	735,2	0,73	1,85	106

Tab. 17 Sledované fyzikální vlastnosti směsi E4,1

Vzorek	Teplota [°C]	Dynamická viskozita [mPa.s]	Hustota [kg.m ⁻³]	Kinematická viskozita [mm ² .s ⁻¹]	Tekutost [m.s.kg ⁻¹]	Smykové napětí [mPa]
E4,1	-10	0,68	761,1	0,89	1,47	136
	-5	0,62	/	/	1,61	124
	0	0,61	757,6	0,81	1,64	122
	5	0,61	/	/	1,64	122
	10	0,59	756,3	0,78	1,69	118
	15	0,58	/	/	1,72	116
	20	0,57	752,5	0,76	1,75	114
	25	0,57	/	/	1,75	114
	30	0,56	745,4	0,75	1,79	112
	35	0,55	/	/	1,82	110
	40	0,54	739,3	0,73	1,85	108

Tab. 18 Sledované fyzikální vlastnosti směsi E10

Vzorek	Teplota [°C]	Dynamická viskozita [mPa.s]	Hustota [kg.m ⁻³]	Kinematická viskozita [mm ² .s ⁻¹]	Tekutost [m.s.kg ⁻¹]	Smykové napětí [mPa]
E10	-10	0,67	762,8	0,88	1,49	134
	-5	0,67	/	/	1,49	134
	0	0,65	759,2	0,86	1,54	130
	5	0,63	/	/	1,59	126
	10	0,62	757,4	0,82	1,61	124
	15	0,62	/	/	1,61	124
	20	0,60	753,4	0,80	1,67	120
	25	0,58	/	/	1,72	116
	30	0,57	747,3	0,76	1,75	114
	35	0,56	/	/	1,79	112
	40	0,56	741,2	0,76	1,79	112

Tab. 19 Sledované fyzikální vlastnosti směsi E85

Vzorek	Teplota [°C]	Dynamická viskozita [mPa.s]	Hustota [kg.m ⁻³]	Kinematická viskozita [mm ² .s ⁻¹]	Tekutost [m.s.kg ⁻¹]	Smykové napětí [mPa]
E85	-10	1,15	794,0	1,45	0,87	230
	-5	1,12	/	/	0,89	224
	0	1,07	790,8	1,35	0,93	214
	5	1,04	/	/	0,96	208
	10	0,98	786,9	1,25	1,02	196
	15	0,96	/	/	1,04	192
	20	0,90	782,8	1,15	1,11	180
	25	0,89	/	/	1,12	178
	30	0,82	776,5	1,06	1,22	164
	35	0,77	/	/	1,30	154
	40	0,74	770,2	0,96	1,35	148

Tab. 20 Sledované fyzikální vlastnosti čistého bioetanolu

Vzorek	Teplota [°C]	Dynamická viskozita [mPa.s]	Hustota [kg.m ⁻³]	Kinematická viskozita [mm ² .s ⁻¹]	Tekutost [m.s.kg ⁻¹]	Smykové napětí [mPa]
E100	-10	1,25	799,0	1,56	0,80	250
	-5	1,23	/	/	0,81	246
	0	1,21	794,6	1,52	0,83	242
	5	1,10	/	/	0,91	220
	10	1,08	791,1	1,37	0,93	216
	15	1,06	/	/	0,94	212
	20	0,95	787,7	1,21	1,05	190
	25	0,90	/	/	1,11	180
	30	0,85	782,4	1,09	1,18	170
	35	0,82	/	/	1,22	164
	40	0,77	777,1	0,99	1,30	154

6 Závěr

Tato diplomová práce zkoumala fyzikální vlastnosti paliv a biopaliv pro zážehové motory. Jednalo se o automobilový benzin N95, automobilový benzin N98 a bioetanol a jejich směsi. Byly namíchány směsi automobilového benzínu N95 s bioetanolem a směsi automobilového benzínu N98 s bioetanolem a to v koncentracích 4,1 %, 10 %, 85 %. Byla změřena dynamická viskozita, hustota, a smykové napětí čistých automobilových benzinů, čistého bioetanolu a připravených směsí.

Měření bylo provedeno v návaznosti na stále se zvyšující nároky na snižování emisí ve výfukových plynech. Snížení emisí se dá dosáhnout právě přidáním biosložky do automobilového paliva. Byla vydána evropská směrnice, která zavazuje všechny státy Evropské unie dosáhnout do roku 2020 10 % podíl biopaliv v celkové spotřebě v dopravě. U paliv pro zážehové motory je nejčastěji přidávanou biosložkou do automobilového benzínu bioetanol, který se nejčastěji vyrábí z cukrové řepy.

Z důvodu přidání biosložky do automobilového benzínu se mění fyzikální vlastnosti těchto směsí. Je tedy nutné znát tyto vlastnosti, abychom věděli, jestli se taková směs automobilového benzínu a bioetanolu dá používat v motorech, aniž by došlo k jeho poškození.

U automobilového benzínu, bioetanolu a jejich směsí byla změřena dynamická viskozita pomocí rotačního viskozimetru DV2T, hustota pomocí hustoměru Densito 30 XP a smykové napětí. Měření probíhalo v rozmezí teplot $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ s krokem $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ v případě měření dynamické viskozity a smykového napětí a $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ v případě měření hustoty. Z naměřených hodnot byly dále dopočítány hodnoty kinematické viskozity a tekutosti.

Z provedeného měření vyplývá, že dynamická viskozita, kinematická viskozita, hustota i smykové napětí s rostoucí teplotou klesají. Jedinou veličinou, která se stoupající teplotou roste, je tekutost. S rostoucím podílem biosložky v automobilovém benzínu se dynamická viskozita i hustota zvyšovaly. Jediná veličina, která se stoupajícím podílem obsahu biosložky klesala, byla tekutost.

Z hlediska vhodnosti použití zkoumaných vzorků v zážehových motorech bylo použito porovnání s normou ČSN EN 228. Podle této normy by se měla hustota vzorků při teplotě $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ pohybovat v rozmezí 720 až $775\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ (platí pro automobilový benzin N95). Bohužel hustota při teplotě $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ nebyla naměřena, ale byla zjištěna hustota při teplotě $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pomocí interpolace však můžeme zjistit hustotu při $15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Po provedené interpolaci zjistíme, že dle normy vyhovují vzorky E0, E4,1 a E10. Vzorky E85 a E100 dle normy nevyhovují. Pro automobilový benzin N98 by se dle normy ČSN EN 228 hustota při $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ měla pohybovat v rozmezí 725 až $775\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Při porovnání normy a naměřených hodnot zjistíme, že vyhovují vzorky E0, E4,1 a E10. Naopak vzorky E85 a E100 dle dané normy nevyhovují.

Teplotní závislosti dynamické viskozity a hustoty byly modelovány podle polynomu druhého stupně. Koeficienty determinace daných polynomických funkcí se

pohybovaly mezi hodnotami 0,9277 až 0,9992, což představuje vysokou přesnost matematických modelů.

7 Literatura

1. HROMÁDKO J., HROMÁDKO J., MILER P., HÖNIG V., ŠTĚRBA P., 2009: *Využití bioethanolu jako paliva ve spalovacích motorech*. Databáze online [2016-08-02]. Dostupné na: http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2011_02_122-128.pdf
2. HROMÁDKO J., HROMÁDKO J., MILER P., HÖNIG V., ŠTĚRBA P., 2010: *Výroba bioetanolu*. Databáze online [2016-08-02]. Dostupné na: http://www.cukr-listy.cz/on_line/2010/PDF/267-271.PDF
3. JANALÍK J., 2010: *Viskozita tekutin a jejich měření*. Skripta VŠB – TU Ostrava, 66 s.
4. JANUŠ P., 2012, *Nejistoty měření dynamické viskozity*. Diplomová práce, VUT v Brně, Brno, 75 s.
5. JEVIČ P., ŠEDIVÁ Z., 2004: *Biopaliva, methylestery a směsná paliva*, Výzkumný ústav zemědělské techniky pod koordinací a gescí Sdružení pro výrobu bionafty, Praha, 162 s. ISBN 80-903271-5-X
6. KUMBÁR V., DOSTÁL P., 2014: *Temperature dependence density and kinematic viscosity of petrol, bioethanol and their blends*, Pakistan journal of agricultural science, sv. 51, č. 1, s. 175 – 179. ISSN 0552-9034
7. KUMBÁR V., POLCAR A., VOTAVA J., 2015: *Fyzikální a mechanické vlastnosti směsí bioetanolu a benzínu*. Databáze online [2016-25-02]. Dostupné na: http://www.cukr-listy.cz/on_line/2015/PDF/112-116.pdf
8. LICHTFOUSE E., 2010: *Biodiversity, biofuels, agroforestry and conservation agriculture*, New York, 391 s. ISBN 978-90-481-9512-1
9. MATĚJOVSKÝ V., 2005: *Automobilová paliva*, Grada Publishing, Praha, 224 s. ISBN 80-247-0350-5
10. SAJDL J., 2015: *Bioetanol*. Databáze online [cit. 2016-08-02]. Dostupné na: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/bioetanol/>
11. VLK F., 2006: *Paliva a maziva motorových vozidel*, František Vlk, Brno, 376 s. ISBN 80-239-6461-5
12. ZEHNÁLEK J., 2005: *Chemie, paliva, maziva*, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, Brno, 176 s. ISBN 80-7157-900-9
13. ČSN EN 228, 2013: *Motorová paliva – Bezolovnaté automobilové benziny - Technické požadavky a metody zkoušení*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 24 s.
14. *Aditivace automobilového benzínu*. Databáze online [cit. 2016-01-02]. Dostupné na: <http://www.petroleum.cz/vyrobky/benzin-aditivace.aspx>
15. *Alternativní paliva – etanol 85*. Databáze online [cit. 2016-12-02] Dostupné na: <http://point-s.cz/novinky/alternativni-paliva-etanol-e85/>

16. *Automobilový benzin*. Databáze online [cit. 2016-16-01]. Dostupné na: <http://www.cappo.cz/res/archive/000067.pdf?seek=1333112071>
17. *Bezolovnaté automobilové benziny*. Databáze online [cit. 2016-05-02]. Dostupné na: <http://www.unipetrolrpa.cz/CS/nabidka-produktu/rafinerske-produkty/motorova-paliva/Stranky/bezolovnate-automobilove-benziny.aspx>
18. *Destilační zkouška paliv*. Databáze online [cit. 2016-20-01]. Dostupné na: <http://utrap.vscht.cz/files/uzel/0022643/215.1.1-Destila%C4%8Dn%C3%AD%20zkou%C5%A1ka.pdf>
19. *Ekoporadny*. Databáze online [cit. 2016-07-02]. Dostupné na: <http://www.ekoporadny.cz/faq/co-jsou-to-biopativa-prvni-a-druhe-generace-jaky-je-mezi-nimi-rozdil.htm>
20. *Hopeho experiment – anomálie vody*. Databáze online [2016-20-02]. Dostupné na: <http://fyzikalnipokusy.cz/1656/hopeho-experiment:-anomalie-vody>
21. *Lauda viskozimetry*. Databáze online [cit. 2016-15-02]. Dostupné na: <http://www.centec.cz/clanky-viskozimetry.html>
22. *Měření hustoty*. Databáze online [2016-22-02]. Dostupné na: <http://lat.zshk.cz/vyuka/mereni-hustoty.aspx>
23. *Oktanové číslo*. Databáze online [cit. 2016-22-01]. Dostupné na: <http://www.autoznanosti.cz/index.php/palivo-olej-tekutiny/46-oktanove-cislo.html>
24. *Těžba ropy*. Databáze online [cit. 2016-14-01]. Dostupné na: <http://www.petroleum.cz/ropa/tezba-ropy.aspx>
25. *Trh automobilového benzínu v ČR*. Databáze online [cit. 2016-20-01]. Dostupné na: <http://www.petroleum.cz/vyroby/benzin-trh.aspx>

8 Seznam obrázků

Obr. 1	Kozlíkové hlubinné čerpadlo	14
Obr. 2	Schéma destilace a zpracování frakcí	15
Obr. 3	Podíl jednotlivých druhů automobilových benzinů na trhu	16
Obr. 4	Srovnání destilační křivky automobilového benzínu, leteckého petroleje a motorové nafty	17
Obr. 5	Jednoválcový zkušební motor s možností změny kompresního poměru pro zjištění oktanového čísla	19
Obr. 6	Místa, kde se nejčastěji tvoří úsady	20
Obr. 7	Vliv detergentů v palivu	20
Obr. 8	Základní kvalitativní požadavky na automobilové benziny dle normy ČSN EN 228	21
Obr. 9	Porovnání vlastností automobilového benzínu, motorové nafty a bioetanolu	22
Obr. 10	Schéma výroby bioetanolu z cukrové třtiny/řepy	23
Obr. 11	Množství potenciální výroby etalonu z jednotlivých surovin	24
Obr. 12	Vznik smykového napětí v tekutině	25
Obr. 13	Schéma sil při pohybu kuličky	27
Obr. 14	Ukázka skleněných kapilárních viskozimetrů	29
Obr. 15	Rotační viskozimetr: a) sousé válce; b) kužel-deska	30
Obr. 16	Znázornění provedení rotačních viskozimetrů	30
Obr. 17	Teplotní závislost hustoty vody	31
Obr. 18	Ukázka provedení ponorných hustoměrů	33
Obr. 19	Mohrovy váhy	34
Obr. 20	Pyknometr	35
Obr. 21	Schéma rotačního viskozimetru	37

Obr. 22	Viskozimetr DV2T	38
Obr. 23	Hustoměr Densito 30 XP	39
Obr. 24	Teplotní závislost dynamické viskozity automobilového benzínu N95, bioetanolu a jejich směsí	42
Obr. 25	Teplotní závislost hustoty automobilového benzínu N95, bioetanolu a jejich směsí	44
Obr. 26	Teplotní závislost dynamické viskozity automobilového benzínu N98, bioetanolu a jejich směsí	48
Obr. 27	Teplotní závislost hustoty automobilového benzínu N98, bioetanolu a jejich směsí	50

9 Seznam tabulek

Tab. 1	Převodní vztah mezi relativní a pravou hustotou	32
Tab. 2	Složení jednotlivých vzorků	36
Tab. 3	Teplotní závislost dynamické viskozity automobilového benzínu N95, bioetanolu a jejich směsí	41
Tab. 4	Hodnoty konstant rovnic polynomu 2. stupně a koeficient determinace	42
Tab. 5	Teplotní závislost hustoty směsí automobilového benzínu N95 a bioetanolu	43
Tab. 6	Hodnoty konstant rovnic polynomu 2. stupně a koeficient determinace	44
Tab. 7	Sledované fyzikální vlastnosti čistého automobilového benzínu N95	45
Tab. 8	Sledované fyzikální vlastnosti směsi E4,1	45
Tab. 9	Sledované fyzikální vlastnosti směsi E10	46
Tab. 10	Sledované fyzikální vlastnosti směsi E85	46
Tab. 11	Sledované fyzikální vlastnosti čistého bioetanolu	47
Tab. 12	Teplotní závislost dynamické viskozity automobilového benzínu N98, bioetanolu a jejich směsí	47
Tab. 13	Hodnoty konstant rovnic polynomu 2. stupně a koeficient determinace	49
Tab. 14	Teplotní závislost hustoty automobilového benzínu N98, bioetanolu a jejich směsí	49
Tab. 15	Hodnoty konstant rovnic polynomu 2. stupně a koeficient determinace	51
Tab. 16	Sledované fyzikální vlastnosti čistého automobilového benzínu N98	51
Tab. 17	Sledované fyzikální vlastnosti směsi E4,1	52

Tab. 18	Sledované fyzikální vlastnosti směsi E10	52
Tab. 19	Sledované fyzikální vlastnosti směsi E85	53
Tab. 20	Sledované fyzikální vlastnosti čistého bioetanolu	53