

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta



**Technicko-ekonomické parametry bioethanolových
směsí**

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Vladimír Hönig, Ph.D. et Ph.D.

Autor práce: Bc. Kateřina Kaiserová

Praha 2020

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Kateřina Kaiserová

Zemědělská specializace
Obchod a podnikání s technikou

Název práce

Technicko-ekonomické parametry bioethanolových směsí

Název anglicky

Techno-economic parameters of bioethanol mixtures

Cíle práce

Cílem práce je analýza kvalitativních parametrů benzin-ethanolových směsí a jejich ekonomické zhodnocení.

Metodika

- prostudovat základní literaturu, normy, internetové odkazy a další prameny
- provést literární rešerši v oblasti motorových paliv
- provést vlastní analýzu a uvést nové případné teoretické předpoklady a názory
- experimentálně ověřit kvalitativní parametry ehanol-benzinových směsí a ekonomicky zhodnotit politiku spotřebních daní

Hypotézy

1. Bioethanol do 10 % objemu v benzínu zvyšuje tlak par.
2. Podmínkou konkurenceschopnosti E85 je úplné osvobození od spotřební daně.

Harmonogram

LS 2019 – zpracování teoretických východisek

ZS 2019 – experimentální analýzy a zpracování praktické části diplomové práce

LS 2020 – odevzdání diplomové práce

Doporučený rozsah práce

50

Klíčová slova

palivo, benzin, ropa, biopalivo, bioethanol

Doporučené zdroje informací

- BECKER, J., WITTMANN, C.: Bio-based production of chemicals, materials and fuels – *Corynebacterium glutamicum* as versatile cell factory, *Current Opinion in Biotechnology* 23/4 (2012), pp. 631–640.
- DUKULIS, I., PIRS, V., JESKO, Z., BIRKAVS, A., BIRZIETIS, G.: Development of Methodics for Testing Automobiles Operating on Biofuels. In: *Proceedings of the 8th International Scientific Conference 'Engineering for Rural Development'*. Latvia University of Agriculture, Jelgava (2009), pp. 148–155
- HÖNIG, V.: Cvičení z paliv a maziv. 2013, ČZU v Praze, ISBN 978-80-213-2384-1, 107 s.
- HÖNIG, V. Paliva a maziva. 2013, Paměťový nosič CD, Česká zemědělská univerzita v Praze, ISBN 978-80-213-2432-9, 564 s.
- JEVIČ, P., ŠEDIVÁ, Z.: Stav a požadavky na udržitelnou výrobu směsných a biogenních pohonných hmot. [Status Quo and Requirements for Sustainable Production of Blended and Biogenic Fuels]. Sborník přednášek a odborných prací vydaný k 10. mezinárodnímu semináři konanému 3. dubna 2012 jako odborná doprovodná akce 12. mezinárodního veletrhu zemědělské techniky TECHAGRO 2012. Praha: VÚZT, 2012, ISBN 978-80-86884-66-0. 121s.
- MATĚJOVSKÝ, V.: Automobilová paliva, Grada Publishing, a.s., Praha, 2005, 224s., ISBN 80-247-0,50-5.

Předběžný termín obhajoby

2019/2020 LS – TF

Vedoucí práce

doc. Ing. Vladimír Hönig, Ph.D. et Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra chemie

Elektronicky schváleno dne 20. 11. 2019

Ing. Matyáš Orsák, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 19. 2. 2020

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 04. 04. 2020

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: **Technicko-ekonomické parametry bioethanolových směsí** vypracovala samostatně a použila jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědoma, že odevzdáním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby. Jsem si vědoma, že moje diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí.

Jsem si vědoma že, na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

V Praze dne:

.....

Kateřina Kaiserová

Poděkování

Touto cestou bych ráda poděkovala svému vedoucímu doc. Ing. Vladimíru Hönigovi, Ph.D. et Ph.D. za jeho odborné vedení mé diplomové práce, za jeho ochotu, cenné rady a připomínky. Dále bych chtěla poděkovat celé mé rodině, která mě po celou dobu studia podporovala a dodávala mi sílu. Velké díky také patří mým blízkým přátelům a mému příteli. Nejvíce bych ale chtěla poděkovat mé mamince, bez které bych to nikdy nedokázala.

Abstrakt:

Diplomová práce se věnuje teoretickým východiskům vztahující se k bioethanolovým směsím od ropy až po výsledné směsi. První část je věnována ropě, její těžbě a zpracování na frakce. Další část popisuje legislativu EU a ČR vztahující se k palivům a hlavně k biopalivům. Jsou zde rozebrány pohonné hmoty, kde je největší část soustředěna na motorový benzin, jeho výrobu, vlastnosti a specifika. Dále se práce věnuje biopalivům, konkrétně bioethanolu, kde je popsána výroba, použití a vlastnosti.

Experimentální část se zabývá analýzou kvalitativních parametrů bioethanol-benzinových směsí a ekonomickou analýzou paliva E85 související se spotřební daní. Analýza kvalitativních parametrů ukázala, že směsi benzinu obsahující do 25 % obj. bioethanolu by neměly nijak zásadně ovlivnit spalování a chod motoru, avšak směsi s vyšším podílem bioethanolu již mohou mít zásadní vliv. Ekonomická analýza se zabývala vlivem spotřební daně na konkurenceschopnost paliva E85, kde se ukázalo, že palivo je i přes zvýšenou podporu ve formě vrácení daně z biosložky stále podkompenzováno. Jiné podpory pro konkurenceschopnost paliva nejsou.

Klíčová slova: ropa, palivo, benzin, biopalivo, bioethanol, ethanol, bioethanolové směsi, spotřební daň, tlak par, destilační křivka

Summary:

The diploma thesis deals with the theoretical background related to bioethanol mixtures from crude oil to the resulting mixtures. The first part is devoted to oil, its extraction and processing into fractions. The next part describes EU and Czech legislation related to fuels and mainly to biofuels. There are analyzed fuel, where the largest part is concentrated on gasoline, production of gasoline, properties and specifics. Furthermore, the work deals with biofuels, specifically bioethanol, where the production, use and properties are described.

Experimental part deals with analysis of qualitative parameters of bioethanol mixtures and economic analysis of fuel E85 related to excise tax. The analysis of qualitative parameters showed that gasoline blends containing up to 25% bioethanol by volume should not significantly affect combustion and engine operation, but blends with a higher bioethanol content may already have a major effect. The economic analysis looked at the effect of excise duty on the competitiveness of the E85 fuel, where it turned out that fuel was still undercompensated despite increased support in the form of a bio-component refund. There are no other support for fuel competitiveness.

Key words: oil, fuel, gasoline, biofuel, bioethanol, ethanol, bioethanol mixtures, excise duty, vapour pressure, distillation curve

Obsah

1. ÚVOD	- 1 -
2. Ropa	- 2 -
2.1. Vznik ropy	- 2 -
2.2. Složení ropy	- 4 -
2.3. Těžba ropy	- 4 -
2.4. Základní zpracování	- 6 -
3. Legislativa	- 7 -
3.1. Legislativa EU	- 8 -
3.1.1. Směrnice Evropského parlamentu a Rady 98/70/ES ze dne 13. října 1998 o jakosti benzínu a motorové nafty	- 8 -
3.1.2. Směrnice RED I	- 9 -
3.1.3. Směrnice RED II	- 10 -
3.2. Legislativa ČR	- 11 -
3.2.1. Zákon č. 311/2006 Sb. o pohonných hmotách	- 11 -
3.2.2. Zákon č. 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší	- 12 -
3.2.3. Nařízení vlády č. 189/2018 Sb. o kritériích udržitelnosti biopaliv a snižování emisí skleníkových plynů z pohonných hmot	- 12 -
3.2.4. Vyhláška č. 133/2010 o jakosti a evidenci pohonných hmot	- 14 -
4. Motorová paliva	- 14 -
4.1. Benzin	- 15 -
4.1.1. Výroba benzínu	- 16 -
4.1.2. Vlastnosti benzínu	- 20 -
4.2. Ostatní automobilová paliva	- 24 -
5. Biopaliva	- 25 -
5.1. Bioethanol	- 27 -
5.1.1. Výroba bioethanolu	- 28 -

5.1.2. Výhody a nevýhody	- 32 -
5.1.3. Směsi bioethanolu s benzinem.....	- 32 -
6. Cíl diplomové práce.....	- 35 -
7. Metodika	- 35 -
8. Výsledky měření.....	- 39 -
9. Ekonomická analýza.....	- 40 -
10. Diskuze	- 46 -
11. Závěr	- 56 -
Citovaná literatura.....	- 59 -
Seznam použitých zkratk	- 63 -
Seznam obrázků	- 64 -
Seznam tabulek	- 65 -
Seznam příloh	- 66 -

1. ÚVOD

V poslední době je nejdiskutovanějším tématem v oblasti motorových paliv obsah biosložky tedy bioethanolu v benzínu. V ČR je nejznámějším palivem E5 a začíná na trh pronikat palivo E10, čímž vzniká mnoho otázek. Např. jaký bude mít dopad na vozy (spotřeba automobilů, životnost motorů), proč se přidává biosložka do benzínu a zda je to nutné? V rámci této práce bude na několik podobných otázek odpovězeno.

Tématem diplomové práce je rozbor motorových paliv s důrazem na benzin a biopaliva, konkrétně bioethanol, s cílem analyzovat kvalitativní parametry bioethanol-benzinových směsí a ekonomické zhodnocení politiky spotřebních daní u paliva E85.

První část práce se zabývá hlavním zdrojem fosilních paliv, tedy ropou. Je zde popsán vznik ropy, těžba a zpracování ropy a získávání jednotlivých frakcí budoucích paliv. Další část literární rešerše se věnuje legislativě, která ovlivňuje trh s biopalivy v závislosti na ochraně životního prostředí. Jsou zde interpretovány nejdůležitější směrnice EU a jejich implementace v české legislativě. Další část je věnována motorovým palivům, kde největší část zastupuje benzin. Popsána je výroba benzínu a jeho nejdůležitější vlastnosti. Dále se práce zabývá biopalivy, kde je rozebrána problematika ohledně výroby bioethanolu, jeho výhody a nevýhody a popsání běžných bioethanolových směsí.

Praktická část práce se zabývá ekonomickou analýzou, která řeší problematiku spotřebních daní uvalených na vysokoprocentní směsi paliv, konkrétně na palivo E85. Je zde zhodnocena konkurenceschopnost zvoleného paliva a posouzení vlivu spotřební daně. Poslední část je věnována technické analýze, kde jsou experimentálně porovnány různé bioethanolové směsi pomocí destilační zkoušky a zkoušky tlaku par.

Práce je převážně čerpána z odborné literatury, odborných článků, webových stránek a dokumentů. Hodnoty pro ekonomické zhodnocení poskytl společnost ČEPRO, a.s.

2. Ropa

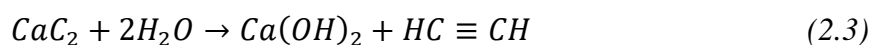
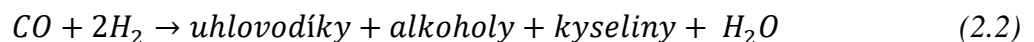
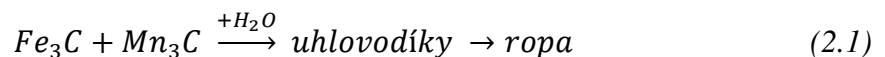
Jeden z nejznámějších neobnovitelných zdrojů na světě je zajiště ropu, olejovitá kapalina žluté až tmavohnědé barvy, která je lehčí než voda. Předpokládá se, že v roce 2020 vyvrcholí roční spotřeba ropy a dále bude trvale klesat z důvodu omezování jejího využití. Tyto názory se ale velmi liší. Dle Mezinárodní energetické agentury (IEA) klesne spotřeba ropy do roku 2040 o polovinu. Poptávka po ropě bude mít stále rostoucí charakter, ale pomalejším tempem. [1] [2]

2.1. Vznik ropy

Vznik ropy popisují 2 teorie, které si jsou vzájemně odporující, anorganická a organická. Obě teorie mají své silné a slabé stránky, ale anorganická teorie se v důsledku svých slabých stránek neujala.

Anorganická teorie

První hypotézy začaly vznikat v 19. století, kdy byly minimální informace o chemickém složení ropy. O tuto teorii se prosazoval hlavně Dimitrij Mendělejev, který laboratorními experimenty prokázal vznik uhlovodíků účinkem na karbidy některých kovů (2.1), reakcí oxidu uhelnatého s vodíkem (2.2) či vznik acetyleny (C₂H₂) rozkladem karbidu vápníku (2.3), viz následující rovnice: [3] [4]

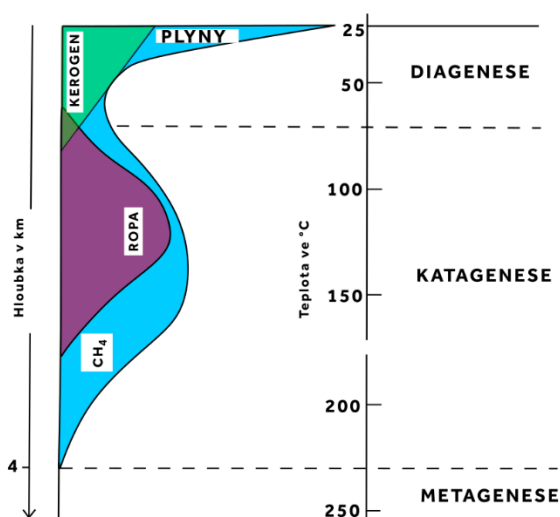


Další předpoklady, které utvrzovaly tuto teorii byl fakt, že naleziště ropy jsou i ve vyvřelých horninách po vulkanické činnosti. A v neposlední řadě kosmická teorie, která zakládá na poznacích, že atmosféra jiných planet je tvořena uhlovodíkovými plyny a vodíkem. [5]

Organická teorie

Dle vědců vznikla ropa z živočišných a rostlinných zbytků, tedy organické hmoty, kdy hlavním zdrojem byl plankton. Tyto odumřelé zbytky organismů se hromadily na dně moří, kde se rozkládaly a mísily s anorganickými látkami, z čehož vznikl tzv. sapropel neboli organický kal. Působením anaerobních bakterií docházelo k dalšímu rozkladu a odbourávání různých látek, které se odplavily a tím docházelo k hromadění nerozpustných sloučenin. Vlivem hromadění sedimentů docházelo k migraci organických látek, proto dnešní naleziště ropy nemohou být brána jako místa jejího vzniku. Poté docházelo ke stlačení již usazených látek, zmenšení pórů a k vytlačování vody a organických látek. Takto nahromaděný materiál se přeměňoval vlivem tepla a tlaku, kdy tato přeměna probíhala ve 3 fázích: diagenese, katagenese a metagenese (obrázek 2.1). [3] [5]

Obrázek 2.1 Schéma vývoje ropy [3]

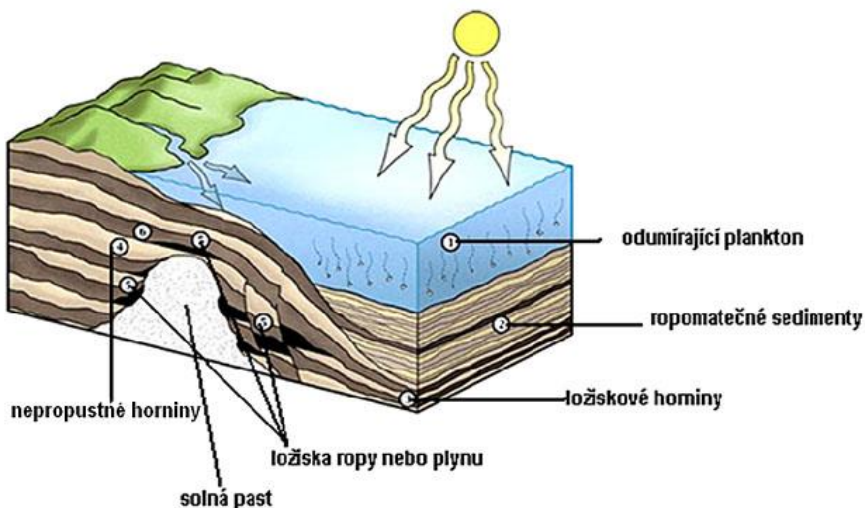


V první fázi přeměny (diagenese) vzniká tzv. kerogen. Tato vysokomolekulární tuhá nerozpustná organická hmota vznikala v důsledku mikrobiální činnosti a chemicko-fyzikálního působení. Obsahuje kolem 86 % organicky vázaného uhlíku.

Druhá fáze tzv. katagenese probíhá při vyšších teplotách a vyšším geostatickém tlaku. Dochází k přeměně nerozpustného kerogenu v organických rozpouštědlech na jednodušší látku bitumen, která je rozpustná v některých organických rozpouštědlech. Je to polotuhá směs sloučenin převážně uhlovodíkového charakteru. Chemickou přeměnou otevíráním kruhů cyklických sloučenin a odštěpováním fragmentů z uhlovodíkových řetězců je vytvořena ropa, která se dnes v některých případech těží. [3] [5]

Poslední vývojovou fází je metageneze, která probíhá při vysokých teplotách, přičemž se z kapalné fáze odlučuje plyn tzv. zemní plyn (methan – CH₄) a tím ložisko ropy zaniká. Celý proces vzniku ropy je velmi pomalý proces, jehož délka je odhadována zhruba na 100 milionů let. Zjednodušený pohled na vývoj je vidět na *obrázku 2.2*. [3] [5]

Obrázek 2.2 Vznik ropného ložiska [3]



2.2. Složení ropy

Přesné složení ropy nelze určit, neboť její sloučeniny jsou nesmírně složité a komplikované. Ropa je olejovitá hořlavá kapalina tvořená převážně směsí kapalných uhlovodíků, v nichž jsou rozpuštěny plynné i tuhé uhlovodíky a organické sloučeniny. [6]

Elementární složení:

- uhlík → 84-87 %;
- vodík → 11-14 %;
- kyslík → až 1 %;
- síra → až 4 %;
- dusík → až 1 %. [6]

2.3. Těžba ropy

Nalezení ropného ložiska je složitý proces, protože ropa se nachází pod povrchem Země v hloubce několika metrů až několika kilometrů (nejhlubší okolo 10 km). Nachází se v pórech propustných hornin, které jsou-li obklopené nepropustnými horninami, vytváří

ropné ložisko. K nalezení se používají různé kombinace metod, např. magnetometrická měření a seismické metody. [5]

K dobývání ropy z podzemí se používá vrtná souprava. Ze začátku se používalo nárazové vrtání, kde docházelo k odštěpování horniny (jako sekáč při úderu kladivem do dláta). Nevýhodou bylo nutné přerušování z důvodu odstranění nashromážděných úlomků horniny. V dnešní době se využívá rotačního vrtání. Rotační pohyb vykonává rotační stůl, pomocí něhož se přenáší otáčení na soustavy trubek, kterými se současně do vrtu pumpuje výplach. Tento výplach vynáší zpět k povrchu rozdrčené horninové úlomky. Oproti nárazovému vrtání je jeho výhodou, že nemusí být přerušován kvůli čištění vrtu. V posledních desetiletích se rozvíjí zejména vrtání na moři, kde se využívají vrtné plošiny či vrtné lodě. [3]

Metody těžby ropy:

- primární;
- sekundární;
- terciální.

Primární těžba využívá přirozeného tlaku (tlak zajišťuje zemní plyn) ložiska, kdy ropa přirozeně vyvěrá na zemský povrch. Tímto způsobem lze získat až 20 % ropy z ložiska, tato ropa se nazývá konvenční. Nekonvenční ropou je taková, která je získávána jinými způsoby těžby než tradičními metodami. Takovými zdroji bývají dehtové písky a ropné břidlice. Bohužel její těžba je finančně a energeticky náročná, proto tvoří zatím jen 5 % celkové produkce. V budoucnu by ale tyto zdroje mohly hrát větší úlohu, vzhledem k tomu, že zásoby ropy se snižují a jsou konečné. [6]

Sekundární těžba představuje postupy, které zvyšují vytěžitelnost ložiska o 25-35 %. Tato těžba nastupuje, když tlak v ložisku klesá a již nelze využít primární těžby. Mezi tyto postupy patří zpětné pumpování plynu či vody do ložiska.

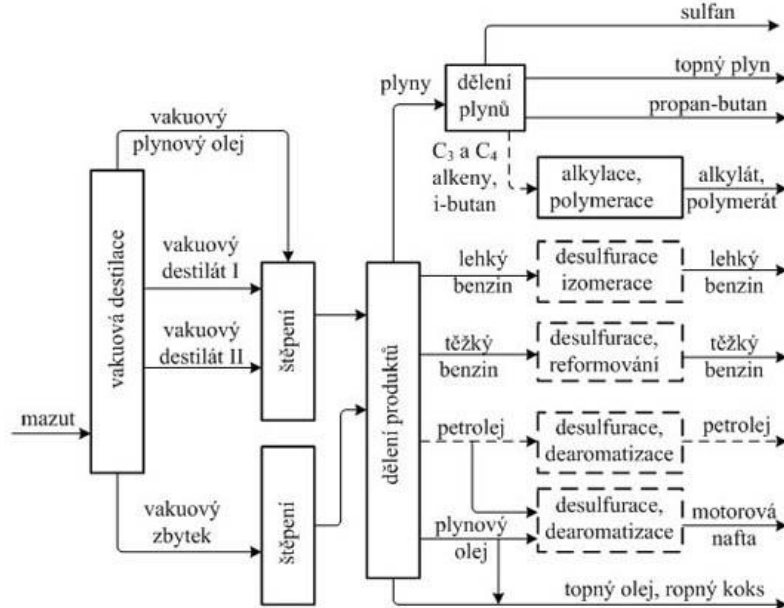
Terciální těžba nastává ve chvíli, kdy již sekundární nestačí, ale těžba je stále ekonomická. Principem je snížení viskozity zbývající ropy v ložisku pomocí horké vodní páry, která je vstříkována do ložiska, nebo zatlačení plynů (CO₂, dusíku, spalných plynů) do ložiska. Další variantou může být rozehrívání ropy zapálením části ložiska. Touto těžbou lze získat dalších 5-15 % ropy z naleziště. [6] [3]

2.4. Základní zpracování

Ropa v podobě, ve které se vytěží, nelze použít, musí být zpracována a zušlechtěna v rafinériích. Nejprve musí být ropa zbavena nežádoucích příměsí (odsolována) a také být odvodněna. Prvním stupněm zpracování dochází k rozdestilování na užší frakce dle bodu varu, které se poté zpracovávají samostatně, tento proces probíhá v destilační věži v rafinériích. Poté dochází k odsíření vzniklých frakcí, neboť jsou v současné době přísné požadavky na obsah síry v automobilových palivech. [5]

Destilace ropy probíhá ve 2 fázích, za atmosférického tlaku a při sníženém tlaku neboli ve vakuu, kdy při atmosférické destilaci vznikají motorová paliva a při destilaci ve vakuu vznikají olejové frakce. Rafinérie mají většinou ve svém vybavení štěpné procesy, kterými zbytky z atmosférické destilace přeměňují na pohonné hmoty, čemuž se říká krakování (viz obrázek 2.3). Zbytkem vakuové destilace je asphalt. Na přesném způsobu zpracování záleží, o jakou rafinérii se jedná. [1]

Obrázek 2.3 Schéma zpracování mazutu se štěpnými procesy [6]

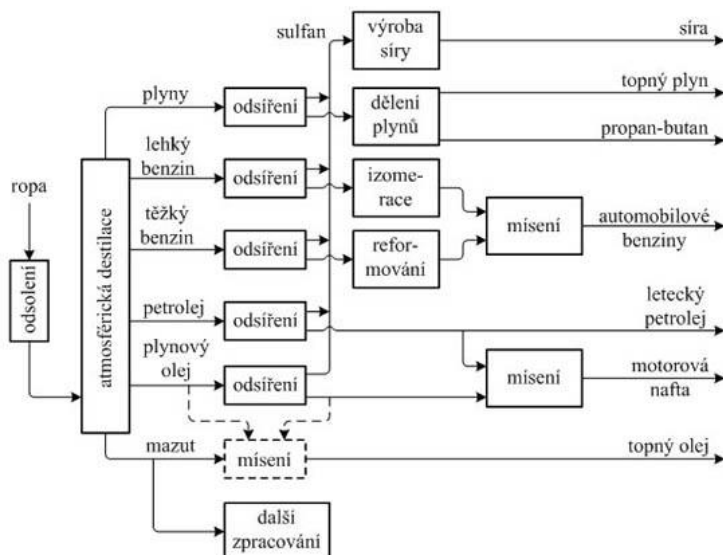


Atmosférická destilace ropy (viz obrázek 2.4):

- plynné uhlovodíky (teplota varu pod 5 °C);
- lehký benzin (teplota varu 30–85 °C);
- těžký benzin (teplota varu 85–190 °C);
- petrolej (teplota varu 190–270 °C);
- plynový olej (teplota varu 270–390 °C);
- vakuové destiláty (teplota varu 390–560 °C);
- destilační zbytek neboli mazut (teplota varu nad 560 °C).

Výsledkem zpracování ropy jsou vždy pohonné hmoty a dále dle typu rafinérie to jsou topné oleje, mazací prostředky, asfaltové výrobky a suroviny pro petrochemii. [5]

Obrázek 2.4 Blokové schéma palivářské rafinérie bez štěpných procesů [6]



3. Legislativa

Legislativa ČR se odvíjí od legislativy EU, neboť jako členský stát je vázána k implementaci jejich směrnic do svých zákonů. Existuje široká škála zákonů a vyhlášek, které souvisejí přímo s biopalivy a celkově pohonnými hmotami. ČR vytváří spoustu národních programů na základě doporučení od EU, od kterých se poté odvíjí politika v oblasti využívání obnovitelných zdrojů energie (OZE) a hlavně v oblasti snižování emisí. Evropská komise v roce 2018 vydala novou směrnici, pro kterou se vžila zkratka RED II. Nyní ČR musí implementovat tuto směrnici do svých zákonů a vytvořit návrh na program, který bude následovat postoje EU, které jsou v této směrnici zaneseny.

3.1.Legislativa EU

Je mnoho směrnic, které souvisí s ochranou životního prostředí a ty zároveň souvisí s legislativou ohledně biopaliv, neboť se většina směrnic prolíná a všechny členské státy jsou povinni je implementovat do svých právních předpisů. Pro příklad jsou to evropské předpisy:

- směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2016/2284 ze dne 14. prosince 2016 o snížení národních emisí některých látek znečišťujících ovzduší – touto směrnicí vyzývá členské státy k vytvoření Národního programu snižování emisí;
- rozhodnutí Evropského parlamentu a Rady č. 1386/2013/EU ze dne 20. listopadu 2013 o všeobecném akčním programu Unie pro životní prostředí na období do roku 2020 „Spokojený život v mezích naší planety“ – vytvoření 7. Akčního programu EU pro životní prostředí do roku 2020;
- směrnice Evropského parlamentu a Rady 2008/50/ES ze dne 21. května 2008 o kvalitě vnějšího ovzduší a čistším ovzduší pro Evropu;
- směrnice Evropského parlamentu a Rady č. 2001/81/ES ze dne 23. října 2001 o národních emisních stropích pro některé látky znečišťující ovzduší;
- směrnice Evropského parlamentu a Rady 2014/94/EU ze dne 22. října 2014 o zavádění infrastruktury pro alternativní paliva.

Dále budou popsány nejdůležitější směrnice v oblasti pohonných hmot.

3.1.1. Směrnice Evropského parlamentu a Rady 98/70/ES ze dne 13. října 1998 o jakosti benzínu a motorové nafty

Směrnice o jakosti benzínu a motorové nafty byla prvopočátkem ke zrušení olovnatých benzínů. Směrnice určuje enviromentální specifika pro paliva, tedy jakostní parametry, které jsou uvedeny i v technických normách, pro benzin v normě ČSN EN 228 (Motorová paliva-Bezolovnaté automobilové benziny-Technické požadavky a metody zkoušení), vybrané ukazatele jsou uvedeny v *tabulce 4.1*. Směrnice byla mnohokrát doplněna či částečně změněna dalšími směrnicemi. Část směrnice v roce 2009 změnila směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/30/ES ze dne 23. dubna 2009 o specifikaci benzínu a motorové nafty, která zavedla na trh benzin E10 s přídatkem až 10 % V/V ethanolu. [7]

3.1.2. Směrnice RED I

Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/28/ES ze dne 23. dubna 2009 o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů je známá především pod zkratkou RED I. Jedná se o nejdůležitější směrnici v oblasti snižování emisí skleníkových plynů. Cílem směrnice je zvýšení využívání energie z OZE, čímž ukládá povinnost jednotlivým členským zemím vytvořit program k docílení požadavků této směrnice. Jeden z nejučinějších nástrojů je využívání energie z OZE v dopravě, jimiž lze docílit snížení závislosti na ropě. Směrnici EU potvrdila cíl, který chce do roku 2020 splnit a to takový, že bude činit podíl energie z OZE na celkové spotřebě energie v EU 20 %. Zároveň určila každému členskému státu povinný minimální cíl v dopravě, který má být dosažen do roku 2020, že se bude podílet spotřeba biopaliv 10 % podílu na celkové spotřebě benzínu a nafty. Každý stát využívá jiných prostředků, jak tohoto cíle dosáhnout. Směrnice vyzývá také státy, aby podporovaly využívání energie z OZE a vytvořily program pro podporu biopaliv, jak biopaliv 1. generace tak i 2. generace. Pro ČR byla stanovena cílová hodnota podílu energie z OZE na celkové spotřebě energie do roku 2020 na 13 %. [8]

Směrnice udává i procenta úspor emisí skleníkových plynů při používání biopaliv. Tyto procenta jsou uvedeny níže v odstavci Nařízení vlády č. 189/2018, o kritériích udržitelnosti biopaliv. Pro rozvoj biopaliv byly určeny i přímé podpory pro vypěstované zemědělské suroviny na území EU, které byly využity na výrobu biopaliv, společná pravidla byla tvořena nařízením Rady EU č. 73/2009 ze dne 19. ledna 2009. [8]

Směrnice byla několikrát upravována a nejzásadnější změnou bylo využívání OZE v dopravě, neboť neměla takový účinek, který byl očekáván. Změnou prošel podíl na spotřebě biopaliv, který byl dán 10 %. Po analýzách se ukázala výroba biopaliv 1. generace jako negativní pro snižování emisí, neboť biopaliva 1. generace nesnižují emise, ale naopak výroba a pěstování energetických plodin mají ve finále vyšší emise CO₂ než fosilní paliva, která nahrazují. Z toho důvodu byla zavedena nová směrnice, která jen mírně upravuje desetiprocentní limit a to tak, že se biopaliva 1. generace mohou podílet jen 7 % z 10% limitu, zbytek 3 % musí tvořit elektromobilita, alternativní pohony a nebo biopaliva druhé či vyšší generace. [8]

3.1.3. Směrnice RED II

Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2018/2001 ze dne 11. prosince 2018 o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů, neboli RED II, je přepracovaná směrnice RED I, která udává cíle v oblasti snižování emisí do roku 2030. Cílem do roku 2030 je zvýšit podíl energie z OZE v rámci EU alespoň na 32 %. Předpokládá se, že elektromobilita bude do roku 2030 představovat značnou část energie z OZE v dopravě, čímž se klade důraz na členské státy, aby tento předpoklad více podporovaly. Dále je směrnicí kladen důraz na využívání pokročilých biopaliv, tedy biopaliv 2. generace a také již 3. generace (biopaliva vyrobená z řas a mikroorganismů). [9]

EU určuje úsporu emisí skleníkových plynů plynoucí z použití biopaliv z OZE nebiologického původu v dopravě na alespoň 70 % od roku 2021. Z hlediska využívání energie z OZE v odvětví dopravy se zvyšuje pro každý členský stát minimální povinný podíl na alespoň 14 % do roku 2030. Směrnice stanovuje, že v rámci minimálního podílu 14 % musí biopaliva 2. a 3. generace činit:

- alespoň 0,2 % do roku 2022;
- alespoň 1 % do roku 2025;
- alespoň 3,5 % do roku 2030. [9]

Dalším zásadním bodem je podíl biopaliv a paliv z biomasy vyrobených z potravinářských a krmných plodin (biopaliva 1. generace) na konečné spotřebě energie v dopravě, který nesmí být vyšší než o jeden procentní bod, než je podíl v roce 2020, který by měl být v tomto roce nanejvýš 7 %. Dále zakazuje výrobu biopaliv ze surovin získaných z půdy, která má vysokou hodnotu biologické rozmanitosti nebo velkou zásobu uhlíku. [9]

Poslední částí, kterou směrnice upravuje, je stanovení úspor emisí skleníkových plynů z využití biopaliv, které musí činit:

- alespoň 50 % u biopaliv vyráběných v zařízeních, jež byla v provozu 5. října 2015 nebo dříve;
- alespoň 60 % u biopaliv vyráběných v zařízeních, jejichž provoz byl zahájen od 6. října 2015 do 31. prosince 2020;
- alespoň 65 % u biopaliv vyráběných v zařízeních, jejichž provoz byl zahájen od 1. ledna 2021.

ČR musí do svých právních předpisů tuto směrnici zakomponovat do 30. června 2021. [9]

3.2. Legislativa ČR

Na základě výše zmíněných směrnic EU a dalších s tím souvisejících je vytvořena řada národních programů, které se snaží zakomponovat společné principy. Jedná se například o tyto programy: Víceletý program podpory dalšího uplatnění udržitelných biopaliv v dopravě na období 2015-2020, Národní akční plán pro obnovitelné zdroje, Akční plán pro biomasu v ČR na období 2012–2020, Národní program snižování emisí ČR, Strategie resortu ministerstva zemědělství s výhledem do roku 2030, Národní akční plán čisté mobility, Dopravní politika ČR pro období 2014-2020 s výhledem do roku 2050, Národní akční plán energetické účinnosti, Státní energetická koncepce ČR a další mnohé programy, které se vzájemně prolínají. Programy jsou řádně legislativně ukotveny. [10]

Nejzásadnějším programem v oblasti biopaliv je Víceletý program podpory dalšího uplatnění udržitelných biopaliv v dopravě na období 2015-2020. Hlavním cílem tohoto programu je postupně snížit emise z pohonných hmot o 6 % ve srovnání se základní hodnotou pro fosilní paliva do konce roku 2020 a zajistit v roce 2020 podíl alespoň 10 % konečné spotřeby energie v dopravě energií z OZE, neboli biopalivy a elektrickou energií. Jsou to cíle, které jsou v souladu s evropskou směrnicí RED I a FQD (Směrnice Evropské parlamentu a Rady 2009/30/ES, kterou se mění část směrnice 98/70/ES). [11]

3.2.1. Zákon č. 311/2006 Sb. o pohonných hmotách

Zákon č. 311/2006 Sb., o pohonných hmotách, ve znění pozdějších předpisů, zpracovává předpisy EU, kde upravuje požadavky na složení a jakost pohonných hmot (vymezené ve vyhlášce č. 133/2010), prodej a výdej pohonných hmot, registraci distributorů pohonných hmot a evidenci čerpacích a dobíjecích stanic. Zákon vymezuje pojem pohonné hmoty, pod kterými se rozumí motorový benzin, motorová nafta, směsné palivo a alternativní palivo (zejména biopaliva či jiné palivo z obnovitelných zdrojů, syntetické a parafinické palivo, stlačený zemní plyn vč. biomethanu, zkapalněný zemní plyn vč. biomethanu, zkapalněný ropný plyn, elektřina a vodík) určené k pohonu motoru vozidla nebo zvláštního vozidla. Zákon slouží pro zlepšení situace v kvalitě pohonných hmot, umožňuje České obchodní inspekci intenzivně kontrolovat jejich přepravu a eliminovat rizika s prodáváním tzv. pančovaných pohonných hmot. [12]

3.2.2. Zákon č. 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší

Zákon o ochraně ovzduší implementuje v největším měřítku evropskou směrnici RED I, vč. pozměňujících směrnic pomocí pozdějších předpisů, a mnoho dalších důležitých směrnic EU ohledně ochrany ovzduší, využití OZE apod. Zákon především upravuje přípustnou úroveň znečištění a znečišťování ovzduší, způsob posuzování a vyhodnocování, hlavní částí jsou nástroje ke snižování této úrovně, dále jsou uvedeny povinnosti osob a povinnost splnění kritérií udržitelnosti biopaliv (dané nařízením vlády č. 189/2018 Sb.). Tento zákon je důležitý z hlediska motorových paliv, protože dává povinnost zajistit dodavatelům motorového benzínu a motorové nafty minimální množství biopaliva, které musí být obsažené v těchto palivech, a to:

- a) ve výši 4,1 % objemových z celkového množství motorových benzinů přimíchaných do motorových benzinů;
- b) ve výši 6,0 % objemových z celkového množství motorové nafty přimíchaných do motorové nafty. [13]

Další povinností dodavatelů benzínu a nafty je povinnost snižovat emise skleníkových plynů. Dodavatel musí snížit tyto emise na jednotku energie obsaženou v pohonné hmotě pro dopravní účely ve srovnání se základní hodnotou emisí pro fosilní paliva, aby každoročně dosáhl snížení o 6 % do 31. prosince 2020 a v následujících letech. [13]

3.2.3. Nařízení vlády č. 189/2018 Sb. o kritériích udržitelnosti biopaliv a snižování emisí skleníkových plynů z pohonných hmot

Toto nařízení je jeden z nejdůležitějších dokumentů vztahující se k biopalivům a hlavně k úspoře emisí skleníkových plynů, čímž byla implementována důležitá směrnice RED I a další pozměňující směrnice s tím související. Hlavními body nařízení jsou, jak již název napovídá, kritéria udržitelnosti biopaliv, základní hodnoty produkce emisí skleníkových plynů pro fosilní paliva ($94,1 \text{ gCO}_{2\text{ekv}} \cdot \text{MJ}^{-1}$), způsoby výpočtu těchto emisí a požadavky na biopaliva, která mají nízký dopad v souvislosti s nepřímou změnou ve využívání půdy.

Biopaliva splňující kritéria udržitelnosti jsou ta, která:

- vykazují úsporu emisí skleníkových plynů (standardní hodnoty úspor ethanolu jsou uvedeny v *tabulce 3.1*);
- biomasa určena k jejich výrobě splňuje kritéria udržitelnosti tohoto nařízení;
- biomasa použita k jejich výrobě byla vypěstována s požadavky a normami podle společných pravidel pro režimy přímých podpor v rámci společné politiky EU. [14]

Úspora skleníkových plynů, která vznikla během úplného životního cyklu biopaliva v porovnání s fosilními palivy musí činit nejméně:

- 35 % do 31. prosince 2017 v případě biopaliv vyrobených ve zpracovatelském zařízení uvedeném do provozu do 5. října 2015 včetně;
- 50 % od 1. ledna 2018 v případě biopaliv vyrobených ve zpracovatelském zařízení uvedeném do provozu do 5. října 2015 včetně, nebo
- 60 % v případě biopaliv vyrobených ve zpracovatelském zařízení uvedeném do provozu po 5. říjnu 2015.

Kritéria udržitelnosti biomasy určují, že biomasa nesmí pocházet z lesů a jiných zalesněných ploch, kde nejsou žádné viditelné známky lidské činnosti, dále z oblastí určených k účelům ochrany přírody nebo z vysoce biologicky rozmanitých travních porostů. [14]

Tabulka 3.1 Standardní hodnoty pro stanovení úspor emisí skleníkových [14]

Způsob výroby biopaliva	Úspory emisí skleníkových plynů [%]	Emise skleníkových plynů [gCO _{2ekv} ·MJ ⁻¹]
Ethanol z cukrové řepy	52	40
Ethanol z cukrové třtiny	71	24
Ethanol z pšeničné slámy	85	13
Ethanol z odpadního dřeva	74	22
Ethanol z pěstovaných dřevin	70	25

3.2.4. Vyhláška č. 133/2010 o jakosti a evidenci pohonných hmot

Vyhláška upravuje požadavky na složení a jakost pohonných hmot, způsob sledování a monitorování složení a jakosti pohonných hmot a také jejich evidenci. I tato vyhláška je zpracována v souladu s evropskými předpisy. Vyhláška specifikuje pohonné hmoty, které lze na území České republiky distribuovat. Motorový benzin vymezuje jako minerální oleje určené k pohonu spalovacích zážehových motorů, buď bez přídavku biopaliv nebo s přídavkem bioethanolu a s přídavkem bioetherů. Bioethanolem se rozumí ethanol obecně nebo zvláště denaturovaný, vyrobený z biomasy a uvedený pod kódem kombinované nomenklatury 2207 20 00. Nomenklatury jsou celní kódy zboží platné na území EU. Vyhláška také definuje palivo E85 jako směs minimálně 70 procent objemových bioethanolu s motorovým benzinem. Důležitou částí vyhlášky jsou požadavky na jakost, které musí odpovídat evropským normám, u motorového benzínu musí splňovat normu ČSN EN 228 a ukazatele jakosti, které jsou stanoveny v příloze této vyhlášky (vybrané ukazatele jsou uvedeny v *tabulce 4.1*). Požadovaná jakost paliva E85 je určena normou ČSN EN 15293 (vybrané ukazatele jsou uvedeny v *tabulce 5.1*).

U E85 se sledují následující ukazatele:

- vzhled;
- tlak par;
- obsah ethanolu;
- obsah methanolu a etherů;
- obsah vyšších alkoholů;
- obsah vody;
- obsah síry;
- obsah anorganických chloridů;
- kyselost;
- oxidační stabilita;
- hustota při 15 °C;
- elektrická vodivost. [15]

4. Motorová paliva

Motorová paliva jsou látky, které se používají k pohonu spalovacích motorů. Spalováním paliva dochází k přeměně tepelné energie na mechanickou energii. Palivo musí splňovat současně 3 kritéria, a to energetické, ekonomické a ekologické. Dle skupenství se dělí motorová paliva na kapalná a plynná. [4]

V důsledku stále rostoucí dopravy na celém světě je třeba vyvíjet nová paliva, která jsou šetrná k životnímu prostředí. Mimo klasická motorová paliva (benzin, nafta) jsou nyní ve velké míře již využívána i alternativní paliva a biopaliva.

Motorová paliva lze shrnout do několika skupin:

- automobilové benziny;
- motorová nafta;
- petrolej;
- zkapalněné ropné plyny – LPG;
- stlačený zemní plyn – CNG;
- zkapalněný zemní plyn – LNG;
- metylestery mastných kyselin a jejich směsi s motorovou naftou;
- alkoholy – methanol, ethanol;
- vodík;
- bioplyn. [4]

Pro každé palivo jsou jiné charakteristické vlastnosti. Fyzikální vlastnosti a chemické složení jednotlivých druhů paliv se nachází v *příloze 1*.

4.1. Benzin

Benzin je palivo využívané pro pohon zážehových motorů. První zážehové motory byly vyrobeny kolem roku 1870. Motory pracují na tzv. Ottově cyklu, což je spalovací cyklus čtyřdobého spalovacího motoru. K provozu zážehového motoru je potřeba určitého poměru vzduchu a paliva, kdy ideální poměr je 14,8 kg vzduchu na 1 kg paliva. Benzin je směs uhlovodíků se 4-10 atomy uhlíku v molekule s bodem varu 30–210 °C. [4]

Složení benzínu dle typu uhlovodíků:

- a) n-alkany (normální alkany) – nerozvětvené nasycené uhlovodíky, které mají nízká oktanová čísla;
- b) i-alkany (isoalkany) – rozvětvené nasycené uhlovodíky, které mají vysoká oktanová čísla;
- c) alkeny (olefiny) – nerozvětvené i rozvětvené uhlovodíky, které mají průměrná oktanová čísla, jsou schopny vytvářet lepivé úsady v motoru, čímž jsou rizikovou skupinou;
- d) nafteny – cyklické nasycené uhlovodíky, které mají průměrná oktanová čísla;
- e) aromáty – cyklické nasycené uhlovodíky, které mají vysoká oktanová čísla, jejichž obsah v benzínu je legislativně limitován na max. 35 %, neboť mají sklon k tvorbě sazí. [4]

4.1.1. Výroba benzínu

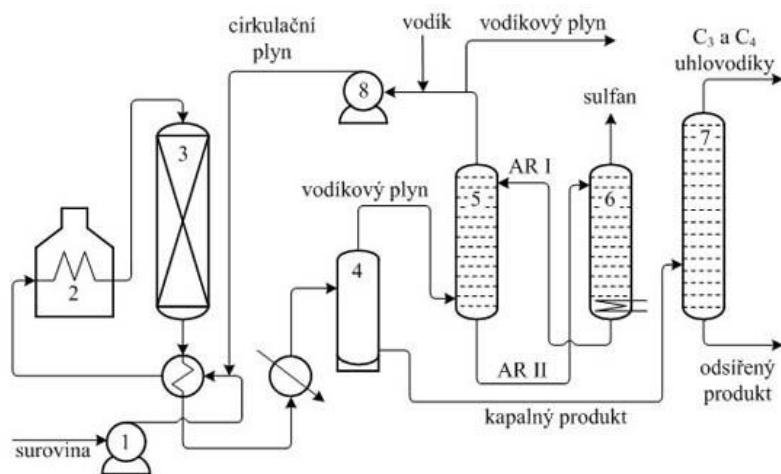
Po atmosférické destilaci, kde došlo k oddělení jednotlivých frakcí, nastupuje zpracování každé frakce zvlášť. V případě výroby benzínu se zpracovávají lehké a těžké benziny, které jsou různými způsoby upravovány. Výsledkem všech úprav musí být motorový benzin požadované jakosti, kterou určuje norma ČSN EN 228. Z níže uvedených procesů se postupně stává automobilový benzin

Hydrogenační rafinace

Do první úpravy se zahrnuje odsíření obou složek, neboť sírné sloučeniny jsou nežádoucí složkou paliv, protože při jejich spalování vzniká oxid siřičitý, který poškozují životní prostředí. Odsíření se týká všech vzniklých frakcí po destilaci ropy. V důsledku legislativního tlaku má tato úprava vyšší význam a je na ni kladen velký důraz. Dle normy ČSN EN 228 je maximální hodnota síry v motorovém benzínu 10 mg/kg. [3]

Odstranění síry ze sírných sloučenin dochází při hydrogenační rafinaci jinak řečeno hydrodesulfuraci, mimo to dochází také k odstraňování dusíku ze sloučenin dusíku (hydrodenitrogenace), k odstraňování kyslíku ze sloučenin obsahující kyslík (deoxidace) a někdy hydrogenaci alkenů, zda-li jsou přítomny v surovině. Hydrogenační rafinace je katalytický proces, který probíhá na bifunkčních katalyzátorech, které jsou v reaktorech s pevným ložem. Surovina se smíchá s vodíkem, přehřívá se na reakční teplotu a je vedena do reaktoru, kde proběhnou požadované reakce. Po ochlazení a snížení tlaku v separátoru se uvolní vodíkový plyn, který se vede do absorbéru a zde se z něj „vypere“ sulfan a další kyselé plyny. Kapalný produkt ze separátoru je veden do frakční kolony, kde se již odsířený produkt zbaví uhlovodíkových plynů. Tento proces je znázorněn na *obrázku 4.1*. Výtěžek odsířeného produktu se pohybuje mezi 94-99 % hm. Vzhledem k tomu, že se dále obě frakce upravují katalyzátory, dochází k odsíření na obsah síry pod 1 mg/kg. Je to z důvodu, že sírné sloučeniny jsou katalytickým jedem pro katalytický proces. [3]

Obrázek 4.1 Schéma hydrogenační rafinace benzinu [5]

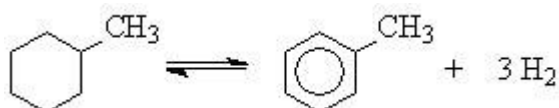


1 - nástřikové čerpadlo, 2 - trubková pec, 3 - hydrorafinační reaktor, 4 - separátor vodíku, 5 - absorbér, 6 - regenerátor, 7 - frakční kolona, 8 - vodíkový kompresor, AR I - absorpční roztok, AR II - absorpční roztok se sulfanem

Reformování

Reformování je jeden ze základních procesů při výrobě vysokooktanových benzinů. Jedná se o katalytický proces, který zvětšuje oktanové číslo (OČ) těžkých benzinových frakcí, neboť těžké benziny mají nízké oktanové číslo (okolo 40–60). Zvětšení OČ je proces změny struktury uhlovdíků (C₇-C₁₁) probíhající v přítomnosti katalyzátoru a vodíku, který zabraňuje nežádoucím koksotvorným reakcím. Vodík se nespotřebává, ale naopak při reformování vzniká. Jako katalyzátory se používají dimetalické katalyzátory, které obsahují platinu a rhenium. K reformingu dochází při teplotách 490–540 °C a obvykle při tlaku 0,4-2,4 MPa. Čím vyšší teplota, tím se získá reformát s větším OČ, přičemž ale klesá jeho výtěžek. Na obrázku 4.2 je zobrazena jedna z reakcí, která probíhá při reformování, a to dehydrogenace, která je velmi rychlá a vede ke značnému poklesu teploty. V příloze 2 jsou dále zobrazeny pro příklad další reakce reformování. [3] [5]

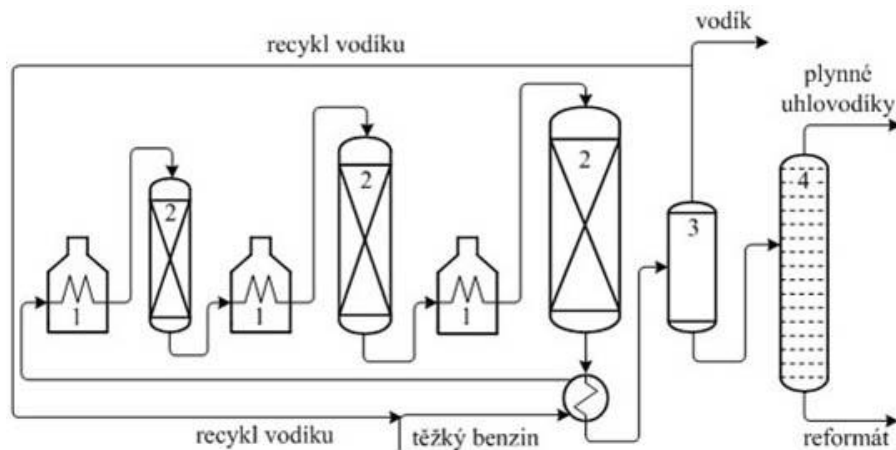
Obrázek 4.2 Dehydrogenace alkylcyklohexanů na aromáty [5]



Dle způsobu regenerace se reformingové jednotky dělí na kontinuální, cyklické a semi-regenerativní. Zjednodušené schéma semiregenerativní jednotky znázorňuje obrázek 4.3.

V každém reaktoru probíhá jiný proces (dehydrogenace cykloalkanů na aromáty, dehydrocyklizace alkanů a hydrokrakování), čímž se docílí požadovaného zvýšení OČ. Tyto jednotky jsou levnější, ale při regeneraci katalyzátoru musí být odstaveny. [3] [5]

Obrázek 4.3 Schéma semiregenerativního katalytického reformingu [5]

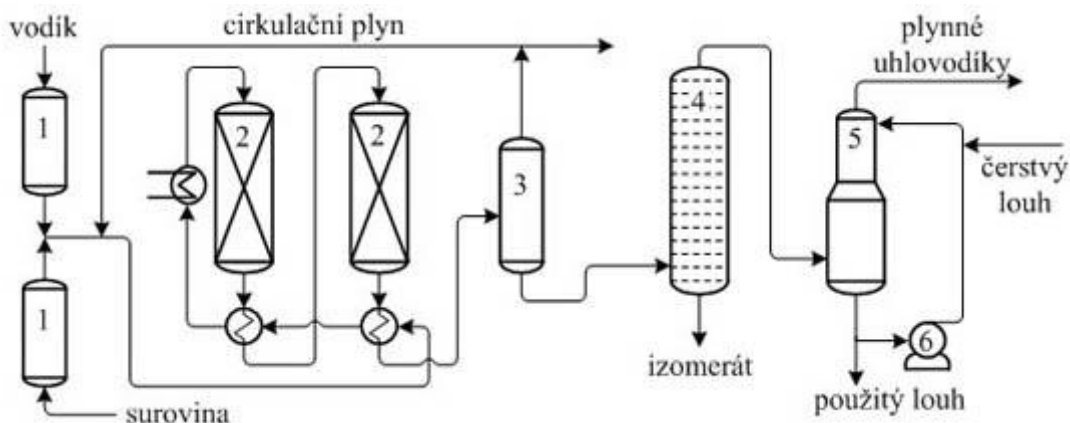


1 - pec, 2 - reaktor, 3 - separátor vodíku, 4 – stabilizátor

Izomerace

Izomerace je také katalytický proces zvyšování OČ, ale tentokrát lehkého benzínu. Při tomto procesu se mění uspořádání atomů v molekule, přičemž se nemění druh a počet atomů, které molekulu tvoří. Provádí se za přítomnosti vodíku pod velkým tlakem 1,5-3,2 MPa, neboť velký tlak potlačuje vznik uhlíkatých úsad na katalyzátoru a prodlužuje tak jeho životnost. Spotřeba vodíku je malá, závisí však na obsahu benzenu v surovině. Při jednom průchodu suroviny katalyzátorem nelze přeměnit všechny n-alkany (C_5 a C_6) na odpovídající izoalkany, neboť izomerační reakce jsou vratné. Surovina k izomeraci obsahuje malé množství benzenu, který se při izomeraci likviduje, načež je tato reakce žádoucí, protože obsah benzenu je v benzinech limitován na max 1 % obj. dle ČSN EN 228, jelikož patří mezi karcinogeny. K izomeraci se používají bifunkční katalyzátory z pevného nosiče, na kterém je nanesen vzácný kov (nejčastěji platina) zajišťující hydrogenační aktivitu katalyzátoru. Reakční teplota závisí na bázi katalyzátoru a pohybuje se od 130–300 °C. Z ekonomických důvodů se často využívá izomerace bez recyklace n-alkanů, zjednodušené schéma tohoto procesu je znázorněno na obrázku 4.4. Z hlediska zvyšování OČ je lepší využít izomeraci s recyklací n-alkanů, neboť tímto procesem lze získat izomerát s vyšším OČ. [5] [3]

Obrázek 4.4 Zjednodušené schéma izomerace bez recyklace n-alkanů [5]

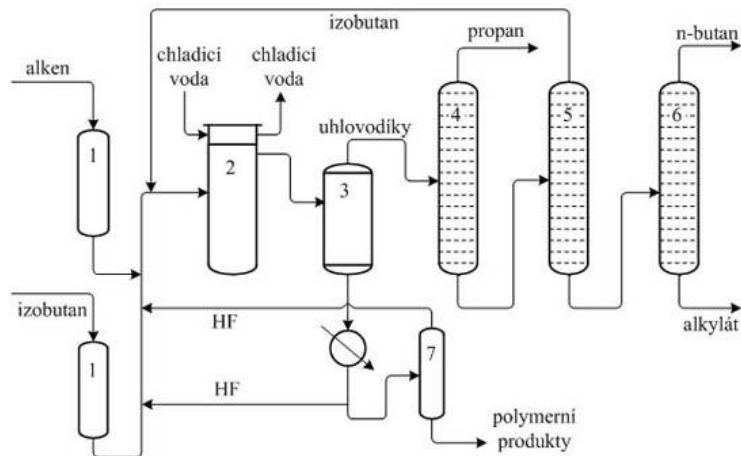


1 - sušič, 2 - reaktor, 3 - separátor cirkulačního plynu, 4 - stabilizátor, 5 - pračka, 6 – čerpadlo

Alkylace

Alkylace představuje náhradu dříve používané polymerace, která představovala jednu z prvních metod pro zvyšování OČ. Při krakování ropných frakcí vznikají také plynné nasycené a nenasycené uhlovodíky, které lze pomocí alkylace přeměnit na kapalné produkty s velkým OČ. Jedná se opět o katalytický proces, kde se jako katalyzátor používá kyselina fluorovodíková či kyselina sírová. V závislosti na použití kyseliny se mění reakční teplota, která bývá do 38 °C, přitom čím nižší teplota, tím se získá produkt s větším OČ. Reakční tlak naopak závisí na udržitelnosti uhlovodíků v kapalném stavu, který je kolem 1 MPa. K výrobě alkylátu dochází reakcí alkanů s alkeny, kdy se vychází z uhlovodíků C₄, tedy z izobutanu a buténu. Z důvodu legislativního tlaku na snižování aromátů v automobilových benzinech je výroba alkylátů rok od roku významnější, přesto je nejdražší technologií oproti předchozím. Schéma alkylace s kyselinou fluorovodíkovou znázorňuje *obrázek 4.5*. [4] [5]

Obrázek 4.5 Schéma alkylace katalyzované kyselinou fluorovodíkovou [5]

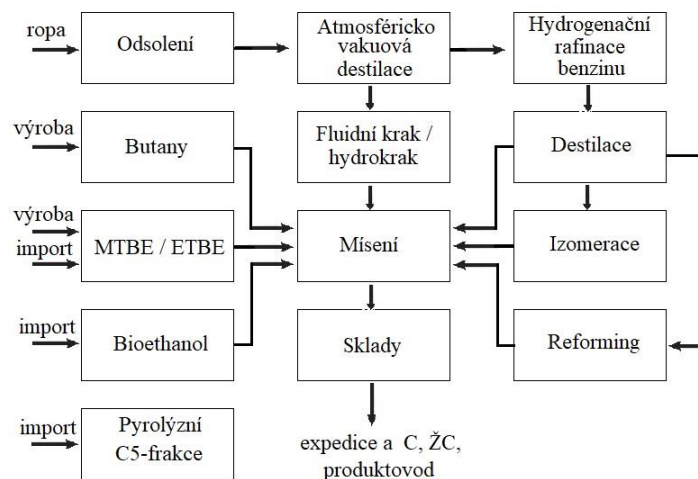


1 - sušič, 2 - reaktor, 3 - separátor, 4 - depropanizér, 5 - deizobutanizér, 6 - debutanizér, 7 - regenerátor kyseliny fluorovodíkové

4.1.2. Vlastnosti benzínu

Motorové benziny se připravují mísením komponent, které vznikají výše popsanými procesy, zároveň mísením s dalšími přísadami, aby se získal benzín o požadované jakosti, a to zejména požadovaném OČ, tlaku par, obsahu olova, síry a dalších normovaných vlastnostech. Tyto požadavky na jakost jsou dány evropskou normou ČSN EN 228, vybrané ukazatele jakosti udává *tabulka 4.1*. Příprava benzínu je zobrazena na *obrázku 4.6*. [1]

Obrázek 4.6 Schéma výroby automobilového benzínu [3]



Tabulka 4.1 Vybrané ukazatele jakosti dle ČSN EN 228 [16]

Ukazatel	Jednotka	Bezolovnatý motorový benzin E5		Bezolovnatý motorový benzin E10	
		Mezní hodnoty		Mezní hodnoty	
		min.	max.	min.	max.
Hustota při 15 °C	kg·m ⁻³	720	775	720	775
Oktanové číslo		95	-	95	-
Destilace:					
Odpařené množství při 70 °C (E70)					
třída A	% (V/V)	20	48	22	50
třída C1 a D	% (V/V)	22	50	24	52
Odpařené množství při 100 °C (E100)	% (V/V)	46	71	46	72
Odpařené množství při 150 °C (E150)	% (V/V)	75	-	75	-
Konec destilace	°C	-	210	-	210
Obsah síry	mg·kg ⁻¹	-	10	-	10
Obsah olova	mg·l ⁻¹	-	5	-	5
Obsah bioethanolu	% (V/V)	-	5	-	10
Obsah kyslíku	% (m/m)	-	2,7	-	3,7
Benzen	% (V/V)	-	1	-	1

Oktanové číslo

Hlavním jakostním parametrem benzínu je oktanové číslo, které vyjadřuje antidetonační odolnost paliva neboli odolnost vůči klepání. Klepání je zapříčiněno samovznícením části nebo celého objemu směsi palivo/vzduch, což snižuje účinnost využití energie paliva, čímž dochází ke snížení výkonu motoru a zvýšení spotřeby paliva. Hodnoty OČ se pohybují od 0 do 100 a jsou definovány pomocí 2 uhlovodíků, které mají podobný bod varu, ale odlišné chování při spalování v motoru. Ke stanovení OČ se používají 2 metody: výzkumná metoda a motorová metoda. [5]

Uhlovodíky:

- izooktan (2,2,4-trimethylpentan), který reprezentuje uhlovodíky málo náchylné ke klepání s OČ=100;
- n-heptan, který reprezentuje uhlovodíky velmi náchylné ke klepání s OČ=0. [5]

Destilační křivka

Destilační křivka (obrázek 4.7) vyjadřuje teplotní rozmezí (body varu), v jakém benzin či jiná pohonná hmota destiluje. Charakterizuje benzin z hlediska těkavosti neboli odpařitelnosti. Destilace probíhá v normované aparatuře, kdy z baňky se destiluje benzin, v odměrném válci se zachytává předdestilovaná kapalina, a přitom se zaznamenává teplota par v závislosti na předdestilovaném množství. Je jedním z nejdůležitějších ukazatelů jakosti benzínu, díky němuž lze usuzovat a předvídat některé funkční projevy benzínu v motoru, např. znehodnocení benzínu naftou. [4] [17]

- Teplota začátku destilace (30-35 °C):

ovlivňuje ztráty odparem při manipulaci s palivem (čerpání a skladování), je závislá na klimatických podmínkách a ročním období.

- Desetiprocentní bod T10 (70-90 °C):

teplota, při které se předdestiluje 10 % objemu paliva. Ovlivňuje startovatelnost studeného motoru, tedy schopnost paliva vytvořit dostatečný podíl par i ve studeném sacím potrubí,

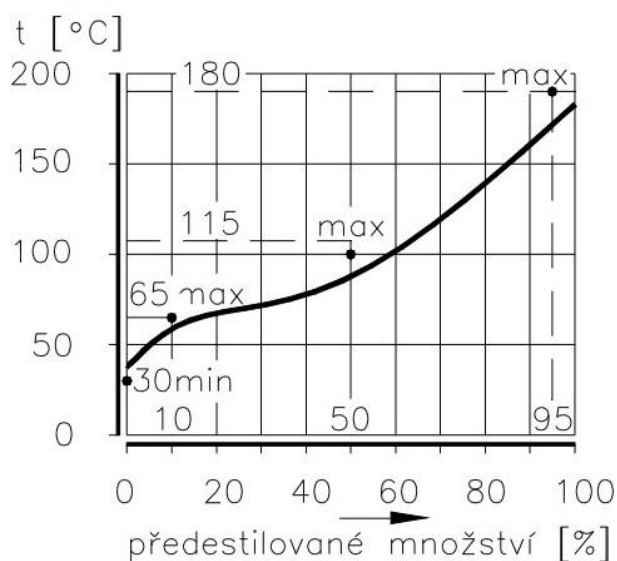
aby se směs zapálila jiskrou, zpravidla bývá 65-70 °C.

- Padesátiprocentní bod T50 (95-115 °C) – teplota, při které se předdestiluje 50 % objemu paliva. Na tomto bodu závisí rychlost ohřívání motoru po studeném startu, tedy rychlost rozjezdu vozidla a také ovlivňuje akcelerační vlastnosti.

- Konec destilační křivky T95 (175-180 °C) – teplota, do které se smí předdestilovat 95 % objemu paliva. Charakterizuje obsah těžších podílů s bodem varu nad 200 °C, které se neodpaří dokonale, neboť hůře hoří, což ovlivňuje účinnost vyhoření paliva ve válci motoru. Maximální teplota konce destilace je omezena na 210 °C, čímž je zajištěno shoření veškerého paliva. Těžké koncové podíly se podílejí na tvorbě úsad, neboť se neodpaří, zůstávají ve formě kapek a kondenzují na stěnách válce, kde se rozpustí ve vrstvě oleje a tím snižují jeho viskozitu. [4] [17]

Průběh destilační křivky tedy vyjadřuje kvalitu daného benzínu. Norma ČSN EN 228 určuje standardní rozsahy odpařeného množství pro určité teploty. Při teplotě 70 °C (značí

Obrázek 4.7 Destilační křivka benzínu [17]



se jako E70) by mělo být odpařeno 22-50 % objemu, při teplotě 100 °C (E100) zhruba 46-71 % objemu a při teplotě 150 °C (E150) min. 75 % objemu. Tyto hodnoty úzce souvisí s výše popsány body, neboť tyto rozsahy ovlivňují schopnosti motoru a účinnost vyhoření paliva. [18]

Tlak par

Jedná se o tlak benzinových par, kdy je za určité teploty v rovnováze plynná a kapalná fáze. Neboli nejnižší tlak, při kterém může látka existovat v kapalně fázi a zároveň nejvyšší tlak, při kterém se látka vyskytuje v plynném stavu. Tlak par charakterizuje těkavost benzínu, která je určena normou ČSN EN 228. Těkavost závisí na okolní teplotě. Zkouška tlaku par probíhá v uzavřené nádobě při necelých 38 °C dle Reida (RVP). Dle hodnot lze usuzovat startovací schopnost motorů v zimě, ale také obtíže v palivovém systému, které může palivo způsobit. Motor snáze startuje, je-li vyšší tlak, který je hlavně potřeba v zimě. V létě naopak je požadován nižší tlak, aby se minimalizovalo odpařené množství benzinů do ovzduší. [1] [19]

Na základě změn venkovních teplot a v souvislosti s bodem varu benzínu se rozlišují 3 druhy benzínu - letní (třída A v období 1.5.-30.9.), zimní (třída D v období 1.11.-31.3.) a přechodový (třída C1 v období 1.4.-30.4. a 1.10.-31.10.), tyto třídy se odlišují např. v tlaku par, které jsou v zimním období výrazně vyšší. Mezní hodnoty tlaku par jsou zobrazeny v *tabulce 4.2.* [1]

Tabulka 4.2 Požadavky na těkavost [16]

Vlastnost	Jednotka	Třída					
		Třída A		Třída C1		Třída D	
		min.	max.	min.	max.	min.	max.
Tlak par	kPa	45	60	50	80	60	90

Mísitelnost složek

Všechny druhy benzínu jsou vzájemně dobře mísitelné. Stejně tomu tak je ohledně mísení s biopalivy, konkrétně s bioethanolem. Dle zákona č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší je povinnost přimíchávat do motorových benzinů minimální množství biopaliva ve výši 4,1 % objemových z celkového množství motorových benzinů. Tento požadavek vznikl na základě snahy snížit emise skleníkových plynů o 3,5 % do roku 2020 ve srovnání s použitím

klasických paliv z fosilních zdrojů. Z toho důvodu je nejčastějším typem motorových benzinů na čerpacích stanicích benzin E5 (benzin 95 %, ethanol 5 %), postupně bude tento automobilový benzin nahrazován novým, a to E10 (benzin 90 %, ethanol 10 %) s rozdílným obsahem biosložky tedy bioethanolu, aby byly splňovány povinné normy emisí. [13] [20]

4.2. Ostatní automobilová paliva

Motorová nafta

Motorová nafta je další z frakcí při zpracování ropy. Lze ji zařadit z hlediska výroby mezi střední ropné destiláty, která vzniká mísením petroleje a plynového oleje. Je to tedy směs kapalných uhlovodíků (převážně s 10-22 uhlíky), která má bod varu okolo 150-370 °C. Jako palivo se využívá pro vznětové motory (Dieselovy motory). Naftu charakterizuje oproti benzinu cetanové číslo (CČ), které vyjadřuje náchylnost motorové nafty k tvrdému chodu motoru neboli schopnost nafty ke vzněcování. CČ je také definováno pomocí 2 uhlovodíků:

- cetan (n-hecádekan, $C_{16}H_{34}$), který reprezentuje uhlovodíky málo náchylné k tvrdému chodu, CČ=100;
- 1-metylnaftalen ($C_{11}H_{10}$), který reprezentuje uhlovodíky velmi náchylné k tvrdému chodu, CČ=0.

Požadavky na motorovou naftu jsou dány normou ČSN EN 590. [1] [5]

LPG

LPG (liquefied petroleum gas-zkapalněný ropný plyn) je zkapalněná směs propanu a butanu převážně se 3 a 4 uhlíky v molekule. Je to vysoce těkavá hořlavá kapalina, která je nerozpustná ve vodě a má specifický zápach. Původ má stejný jako benzin a nafta v ropě, ale získat se dá i ze zemního plynu jako kapalná frakce oddělená od metanu v průběhu těžby. LPG je těžší než vzduch, což může být problém při úniku, neboť se tento plyn shromažďuje v okolí a nedojde k samovolnému odvětrání. Další nevýhodou paliva je proměnlivá kvalita plynu, vyšší spotřeba oproti benzinu a nutnost přestavby automobilu. Jako palivo je hojně využíváno pro své ekologické vlastnosti, ale také má nesporné ekonomické výhody. Mezi ekologické výhody lze zařadit nízké emise CO a CO₂, mezi ekonomické např. levnější palivo než benzin, velká dostupnost na čerpacích stanicích a vyšší životnost motoru. Požadavky na LPG jsou dány evropskou normou ČSN EN 589. [21] [22]

CNG

CNG (compressed natural gas) je stlačený zemní plyn. Zemní plyn je bezbarvý, hořlavý a se vzduchem vybuchující, skládající se ze 70-90 % methanu. Zemní plyn dodávaný do sítě ale musí obsahovat alespoň 85 % methanu. Jako palivo má mnoho výhod, pro příklad to je vysoká odolnost vůči klepání, nízké emise skleníkových plynů či nižší cena. Výhodou oproti LPG je jeho stálá kvalita. Jedná se o neobnovitelný zdroj energie, což je nevýhodou tohoto paliva. Je lehčí než vzduch, čímž se při úniku rozptýlí do okolí. Požadavky na kvalitu CNG jsou dány normou ČSN EN ISO 13443. Automobily jezdící na CNG musí být pro toto palivo upraveny, čímž se zvyšuje hmotnost vozidla. [4] [23]

LNG

LNG (liquified natural gas) je zkapalněný zemní plyn. Jedná se o namodralou bezbarvou kapalinu bez zápachu, tvořenou methanem z 90-100 %. Výhodou LNG je menší objem palivových nádrží, neboť má cca 600krát menší objem než CNG, dále vysoká energetická hustota, která je srovnatelná s palivy z ropy. Ale značnou nevýhodou je nutnost jeho uchování za velmi nízkých teplot, což je ekonomicky i technologicky náročné. Stejně jako u CNG a LPG i zde musí být vozidla speciálně upravena. Požadavky na LNG jsou dány normou ČSN EN ISO 16903. [4] [24]

5. Biopaliva

Z neustále rostoucí poptávky po palivech, z obavy budoucího vyčerpání ropy a v neposlední řadě z hlediska snižování emisí skleníkových plynů jsou na trhu již řadu let alternativní paliva, do kterých spadají i biopaliva. Biopaliva jsou charakterizována jako kapalná či plynná paliva vyráběná z obnovitelných zdrojů neboli z biomasy. Biomasa je hmota biologického původu, tedy veškerá organická hmota na Zemi, počínaje rostlinami, dále jsou to živočichové, produkce organické hmoty apod. Za zdroj energie se považují hlavně pro svou schopnost využívat slunečního záření k fotosyntéze a následné přeměny za přítomnosti oxidu uhličitého na energeticky bohaté sloučeniny. Biomasa se stává skladem uhlíku, který je získáván fotosyntézou z CO_2 . Spálením biomasy se uhlík dostává do atmosféry, ze které je zpět uložen do rostlinné tkáně, což představuje koloběh, který má pozitivní dopad na ekosystém. Biomasu můžeme rozdělit dle následujících kategorií:

- biomasa záměrně pěstovaná;
- biomasa odpadní. [25]

Výroba biopaliv z biomasy je zobrazena v příloze 3.

a) Biomasa záměrně pěstovaná

Předností této biomasy je snadný výsev, krátká vegetační doba a také možnost využití i pro energetické účely. K tomuto účelu slouží především obiloviny, okopaniny a olejniny, též sem lze zařadit rychlerostoucí dřeviny. Biopaliva z této kategorie jsou tzv. biopaliva 1. generace, kromě výroby z rychlerostoucích dřevin. Biomasu můžeme rozdělit na 3 základní skupiny:

- fytomasa s vysokým obsahem lignocelulózy – energetické dřeviny (vrby, topoly, olše, akáty atd.) a obiloviny (pšenice, tritikale);
- fytomasa olejnatých plodin – řepka olejka, slunečnice, len, sója;
- fytomasa s vysokým obsahem cukrů a škrobu – brambory, cukrová řepa, cukrová třtina, kukuřice, obilí – zrno. [4]

b) Biomasa odpadní

Do této kategorie spadá široký sortiment, převážně se jedná o odpady z rostlinné výroby, z živočišné výroby, ze zpracování dřeva a z lesní produkce, odpady z potravinářského průmyslu, odpady z komunálního hospodářství a kaly z odpadních vod. Biopaliva vyrobená z odpadní biomasy se nazývají biopaliva 2. generace. [4]

Mezi biopaliva se dle evropské směrnice 2009/28/ES řadí:

- bioethanol – vyrobený z biomasy či biologického rozkladu odpadů;
- bionafta – methylester vyrobený z rostlinného či živočišného oleje;
- biomethanol – vyrobený z biomasy;
- biodimethylether – vyrobený z biomasy;
- bioplyn – vyrobený z biomasy nebo z biologického rozkladu odpadů;
- bio-ETBE – je ethyl-terc.-butyl-ether vyrobený z bioethanolu;
- bio-MTBE – je methyl-terc.-butyl-ether vyrobený z biomethanolu;
- bio-TAEE – je terc.-amyl-ethyl-ether vyrobený z bioethanolu;
- biobutanol – vyrobený z biomasy;
- čistý rostlinný olej – vyrobený z olejnatých rostlin, surový nebo rafinovaný, ale bez chemických úprav;
- motorová nafta vyrobená Fischer-Tropschovou syntézou – syntetický uhlovodík nebo směs syntetických uhlovodíků vyrobená z biomasy;

- hydrogenačně upravený rostlinný olej – upravený pomocí vodíku za tepla;
- vodík – vyrobený z biomasy nebo biologického rozkladu odpadů. [8]

5.1. Bioethanol

Pod pojmem bioethanol se rozumí ethanol (ethylakohol - C_2H_5OH), laicky nazývaný líh, což je čirá bezbarvá kapalina a řadí se mezi nejnižší alkoholy. Pro palivářské účely se využívá buď jako náhrada benzínu palivem s vysokým obsahem bioethanolu či jako povinná složka benzínu jejím přimícháváním, též lze využít i jako palivo pro vznětové motory, ale zatím se nepoužívá. V čisté formě nelze bioethanol použít v konvenčních motorech, nýbrž jsou vyžadovány speciální motory na čistý bioethanol. Dle ČSN EN 228 lze přimíchávat biosložku do 5 % bez úpravy palivového systému starších vozidel, do novějších typů vozidel lze bez úpravy přimíchávat i 10 % biosložky. Bioethanol je palivo s vysokým OČ, čímž nahradil olovo jako oktanové čidlo v benzínu. Vyrobit bioethanol lze 2 způsoby, alkoholovým kvašením či chemickým procesem. Jako zdroje škrobu a sacharidů, které jsou přeměňovány kvašením na alkohol, se využívají obiloviny (převážně kukuřice), cukrová řepa či třtina, brambory a v posledních letech také lignocelulózní suroviny (odpadní fytomasa, komunální odpad apod.). [4] [26]

Požadavky na kvalitu bioethanolu, který je určen k použití do automobilových benzinů, jsou dány normou ČSN EN 15376 (*tabulka 5.1*). Ethanol musí být bezvodý a musí být denaturován.

Tabulka 5.1 Požadavky na bioethanol určený do motorových benzinů dle ČSN EN 15376 [27]

Vlastnosti	Jednotka	Mezní hodnoty	
		min.	max.
Vzhled		Čirý, bez zákalů a sedlin	
Obsah ethanolu před denaturací	% (V/V)		98,7
Obsah vody	% (V/V)		0,3
Hustota	$kg \cdot m^{-3}$	791	
Obsah ethanolu po denaturaci	% (V/V)	95,6	
Obsah volných kyselin	% (V/V)		0,007
Odparek	mg/100 ml		10
Obsah vyšších alkoholů	% (m/m)		2,0
Obsah methanolu	% (m/m)		1,0
Obsah anorganických chloridů	$mg \cdot dm^{-3}$		20
Síra	$mg \cdot kg^{-1}$		10

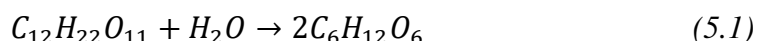
5.1.1. Výroba bioethanolu

Výroba bioethanolu je založena na procesu kvašení, který se též nazývá fermentační proces. Převážně se jedná o anaerobní proces (bez přístupu vzduchu), kdy kvasinky obsahují enzymy, jimiž přeměňují rostlinné sacharidy na ethanol a oxid uhličitý za vzniku tepla a energie. Další fází výroby je destilace a odvodnění. K odvodnění musí dojít, neboť by se při smísení bioethanolu a benzínu vyloučila voda a vznikl by zákal, který by negativně ovlivnil palivovou soustavu. Dle druhu biomasy, z které se vyrábí bioethanol, lze výrobu rozčlenit na 3 skupiny:

- výroba z biomasy obsahující jednoduché cukry;
- výroba z biomasy obsahující škrob;
- výroba z lignocelulozové biomasy. [28]

Výroba z biomasy obsahující jednoduché cukry

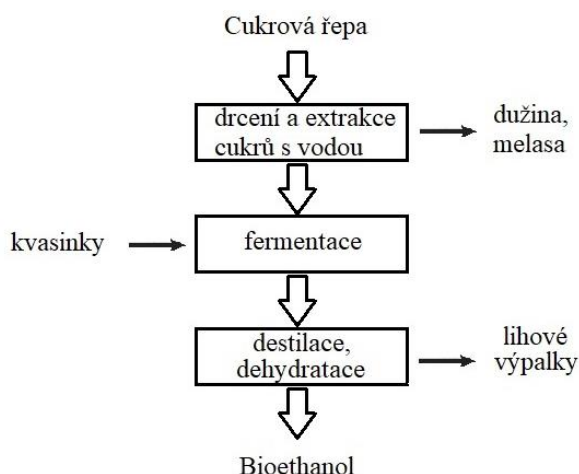
Pro výrobu bioethanolu se využívá cukrová řepa či třtina (*obrázek 5.1*), neboť je jejich zpracování nejjednodušší, protože obsahují sacharózu, která se přemění na jednoduché cukry (*5.1*) a ty se pak dají snadno oddělit a fermentovat. Přestože je tato výroba jednoduchá a v našich podmínkách se cukrová řepa jeví jako nejvýnosnější plodina, dává se přednost obilovinám pro mnohé důvody. Patří k nim již zavedená technologie sklizně a skladování, relativní agrotechnická nenáročnost, vznikající přebytky a hlavním předpokladem je pěstování hustě setých obilovin. [28]



Sacharóza \rightarrow fruktóza + glukóza

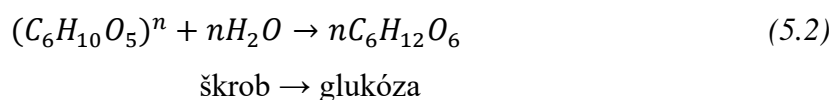
Před samotnou fermentací je surovina rozmělněna a cukry jsou pomocí vypírky vodou odděleny, odpadem je pak dužnina a melasa, kterou lze též použít k fermentaci. Fermentace, destilace a dehydratace probíhají obdobně jako při výrobě bioethanolu z obilovin. [28]

Obrázek 5.1 Blokové schéma výroby bioethanolu z biomasy obsah. jednoduché cukry [28]

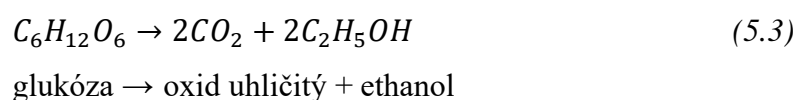


Výroba z biomasy obsahující škrob

Pro výrobu bioethanolu se také využívá biomasa obsahující škrob (obrázek 5.2), do této skupiny patří obiloviny (převážně kukuřice) a brambory, přičemž obiloviny mají větší zastoupení. Prvním procesem výroby bioethanolu z obilovin je mechanická úprava, do které spadá mletí zrna, které se provádí buď za mokra či za sucha, čímž se surovina zpřístupní pro působení enzymů. Odpadem této úpravy jsou vláknité slupky zrn a stébla. Dalším procesem je příprava zápar, kdy dochází k bobtnání a zmazovatění zrn škrobu, který je poté postupně přeměněn působením enzymů nebo kyselou hydrolyzou na zkvasitelnou glukózu (5.2). [4]



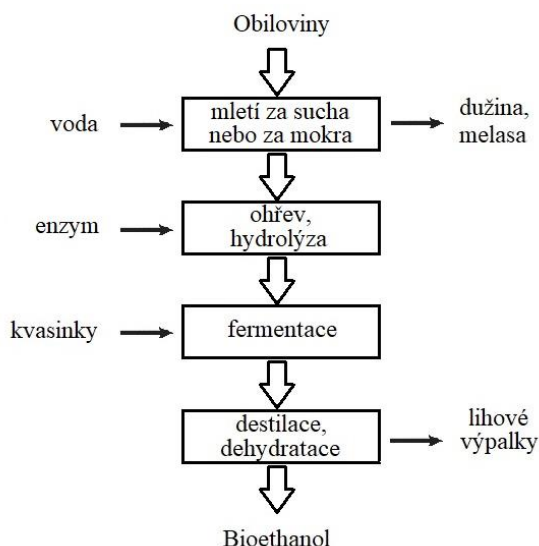
Poté již následuje proces kvašení ve fermentoru, při kterém jsou zkvašovány kvasinkami vzniklé sacharidy (glukóza), čímž vzniká bioethanol a oxid uhličitý (5.3). Při fermentaci je nutné dodržet vhodné pH (4-6) a odpovídající teplotu prostředí (27-32 °C), aby byla dodržena stabilita procesu. Z celého prokvašeného objemu lze získat max 13 % ethanolu, jen výjimečně bylo dosaženo větší lihovosti. Při procesu kvašení vzniká mnoho vedlejších produktů, které komplikují následný destilační proces a zároveň snižují výtěžek ethanolu, může se jednat o glycerol, organické kyseliny, vyšší alkohol, estery apod. [4]



Dalším procesem je destilace, při které dochází k oddělení ethanolu a destilačního zbytku, který je tvořen obilnými výpalky (zbytek zápary). Destilace rovněž odstraňuje vedlejší produkty výše vyjmenované, které mohou nepříznivě ovlivnit palivový systém vozidel. Výsledkem destilace je tzv. rafinovaný bioethanol, azeotropní směs ethanolu a vody, obsahující 95,5 % hmotnosti ethanolu a zbytek je tvořen vodou.

Jak již bylo výše zmíněno musí vzniklý bioethanol projít procesem dehydratace čili odvodnění. K odvodnění lze použít mnoho metod, např. odvodňování pomocí kapalin, tuhými látkami, destilací za nízkého tlaku, membránovými odvodňovacími procesy či v současné době nejpoužívanější odvodňování molekulárními sítí, nazývanými se zeolity. [4]

Obrázek 5.2 Blokové schéma výroby bioethanolu z biomasy obsahující škrob [28]



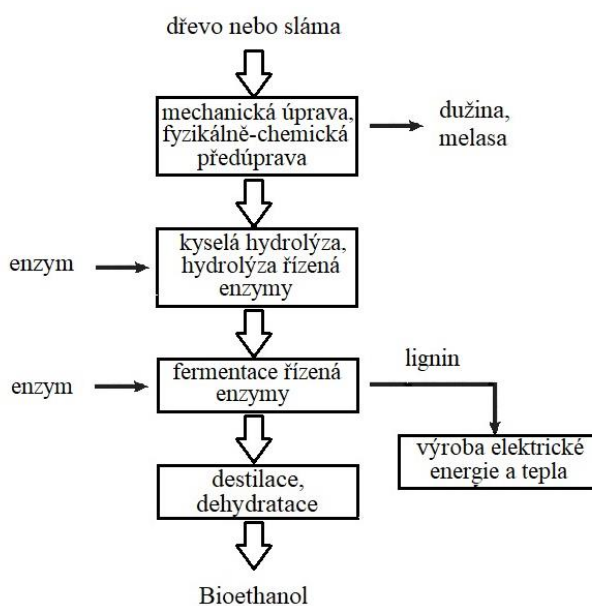
Výroba z lignocelulozové biomasy

Výroba bioethanolu z lignocelulozové biomasy je poměrně komplikovaná technologie, která je stále předmětem výzkumů, ale již se využívá, neboť se touto metodou získává bioethanol 2. generace, čímž je využíván odpadní materiál nebo materiál, který nemá potravinářské využití, a zároveň jsou menší nároky na pěstování energetických plodin. Hlavním zdrojem uhlíku a energie je celulóza. Na bázi celulózy a lignocelulózy je řada surovin, patří sem převážně: dřevo a odpad z jeho zpracování (dřevní štěpka, piliny), rychlerostoucí dřeviny, zemědělský odpad (obilná a kukuřičná sláma, oklasky), komunální odpad či odpadní papír. Značnou nevýhodu výroby přináší fakt, že nelze celulózu přímo využít jako zdroj uhlíku a energie pro mikroorganismy, které produkují ethanol, nýbrž je

potřeba celulózu přeměnit na zkvasitelné cukry. Tato přeměna je poměrně komplikovaná a energeticky náročná, což výrobu velmi prodražuje. [29]

Výroba bioethanolu je v zásadě podobná jako při výrobě bioethanolu 1. generace, tedy z biomasy obsahující škrob či jednoduché cukry. Sestává se z hydrolýzy celulózy a následné fermentace, destilace a dehydratace. Před samotnou výrobou musí dojít k mechanické úpravě a následnému fyzikálně-chemickému rozrušení lignocelulóзовé matrice, při které je odstraněna většinová část ligninu, hydrolyzována celulóza a hemicelulóza a také je snížen stupeň polymerace a krystalinita celulózy. Kdyby lignin nebyl odstraněn, spolu s krystalinitou celulózy by znemožnil následnou enzymovou hydrolýzu. Jelikož je tento proces úpravy náročný a nákladný, neumožňuje masivní využití této výroby, ale snížením nákladů a využitím vedlejších produktů lze tuto výrobu značně rozšířit. Existuje druhý způsob výroby, který se liší tím, že proces enzymové hydrolýzy probíhá současně s procesem fermentace, kdy dochází ke značné úspoře času a ke zpracování ligninu dochází při fermentaci. I tato metoda má své nevýhody, které spočívají v problematice recyklace mikroorganismů a enzymů po fermentaci. Výroba je schématicky znázorněna na obrázku 5.3. [29]

Obrázek 5.3 Blokové schéma výroby bioethanolu z lignocelulóзовé biomasy [28]



5.1.2. Výhody a nevýhody

Každá paliva mají své výhody a nevýhody, u bioethanolu tomu není jinak.

Výhody:

- vysoké oktanové číslo—okolo 108 → vyšší odolnost vůči klepání;
- vysoké výparné teplo, které napomáhá ke snížení teplot ve spalovacím prostoru, vnitřnímu chlazení motoru a ochlazení palivové směsi;
- vyšší výkon díky vyššímu naplnění válců palivovou směsí;
- nižší produkce oxidu uhelnatého, oxidů dusíku a méně nespálených uhlovodíků, což znamená nižší emise skleníkových plynů;
- velmi dobrá mísitelnost s benzinem v jakémkoliv poměru;
- obnovitelný zdroj energie. [4]

Nevýhody:

- menší výhřevnost → $28 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ v porovnání s benzinem ($43,5 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$);
- větší spotřeba při stejném výkonovém zatížení při porovnání s benzinem;
- neustálá absorpce vodní páry z ovzduší způsobená vysokou citlivostí vůči vodě;
- legislativní omezení, které stanovuje maximální hranici vázaného kyslíku v palivu na 2,7 % hm. kyslíku v benzinech, což odpovídá 10 % V/V;
- větší opotřebení motoru;
- menší odpařivost, která má za následek potíže se studeným startem;
- nutná úprava palivové soustavy (vstřikovacího zařízení), aby byl umožněn 1,5krát vyšší hmotnostní průtok paliva;
- produkováné škodliviny – aldehydy, peroxy-alcetylnitrát;
- při výrobě bioethanolu 1. generace → využívání zemědělské půdy. [4]

5.1.3. Směsi bioethanolu s benzinem

Bioethanol lze mísit v jakémkoliv poměru s benzinem. Největší využití mají směsi s nízkým obsahem bioethanolu, neboť tyto paliva lze využít ve vozidlech bez speciální úpravy. Publikace se liší v tom, do jakého poměru lze mísit obě složky, aniž by to ovlivňovalo chod motoru, některé tvrdí 15 % a jiné zase 20 %. Nízkoprocentuální směsi nemají přímo svou normu a tak jsou dány normou ČSN EN 228, která určuje maximální podíl biosložky v automobilovém benzínu, v EU se jedná o směsi E5 a E10. Nízkoprocentuální přidávání bioethanolu jen mírně mění parametry automobilového benzínu, čímž není potřeba žádná

úprava spalovacího motoru. Dalším využitím jsou směsi s vysokým obsahem bioethanolu, do kterých se zahrnuje palivo E85, které již vyžaduje speciálně upravený motor. V současné době se v EU jiné směsi nevyužívají, ale po světě lze najít různou škálu směsí (*tabulka 5.2*). [28]

Tabulka 5.2 Běžně používané směsi bioethanolu a benzínu ve světě [23]

Označení	E5	E10	E15	E25	E85	E100
Max obj. % ethanolu	5	10	15	20-25	70-85	100
Příklady zemí	EU, Jižní Amerika	EU, USA, Austrálie, Jižní Amerika	USA	Brazílie	EU, USA	Brazílie

E5 je automobilový benzin známý především jako Natural 95. Je to směs 5 % bioethanolu a 95 % benzínu. Je to běžně využívané palivo, které lze použít pro všechny zážehové motory. E5 má v EU největší zastoupení, přičemž bude nahrazováno E10.

E10 je novější typ směsi, kdy obsahuje 90 % benzínu a 10 % bioethanolu. Norma ČSN EN 228 umožňuje vyšší procento biosložky do 10 % obj., ale lze ji použít jen u novějších typů vozů, protože starší vozy nemají čidla, která upravují vstříkovanou směs. Čím vyšší je podíl bioethanolu v benzínu, tím nižší je tlak par, který poté ovlivňuje start vozidla. [28]

E85

E85 je vysokoprocentní směs obsahující 70-85 % bioethanolu v závislosti na ročním období a zbytek tvoří automobilový benzin. Jedná se o palivo, které je alternativou k běžným benzinům. Palivo mohou spalovat speciální vozidla, která jsou označována jako „Flexi Fuel Vehicle“. Tato vozidla mohou jezdit jak na klasický benzin, tak i na bioethanolové palivo rozdílného podílu bioethanolu, ale max do 85 %. Jsou vybaveny senzorem zaznamenávajícím obsah ethanolu v benzínu a následně regulují spalování. Palivo mohou spalovat i běžná vozidla, ale musí dojít k přestavbě řídicí jednotky motoru (zvětšení vstříkované dávky) z důvodu nízké výhřevnosti paliva. Požadavky na palivo E85 stanovuje norma ČSN EN 15293. [30]

Důležitou charakteristikou pro zážehový motor je tlak par. Bioethanol sám o sobě má nízký tlak par a velké výparné teplo, proto se za nízkých teplot velmi obtížně odpařuje. Z toho důvodu je povoleno přidávat k ethanolu až 30 % V/V benzínu, čímž se zajistí dobrá startovatelnost vozidel. Velkou výhodou E85 je nižší produkce oxidu uhličitého a dalších skleníkových plynů oproti běžným benzinům. Palivo se díky vlastnostem ethanolu vyznačuje vysokou odolností proti klepání, protože má vysoké OČ. Výčet vybraných vlastností je zobrazen v *tabulce 5.3*. [30]

Tabulka 5.3 Vybrané vlastnosti E85 dle ČSN EN 15293 [30]

Vlastnost	Jednotka	Meze	
		min.	max.
Oktanové číslo	°C	95	-
Obsah vody	% (V/V)	-	0,3
Obsah methanolu	% (V/V)	-	1,0
Obsah ethanolu	% (V/V)	75/70*	85
Obsah benzínu	% (V/V)	14	22/30*
Tlak par	kPa	35/50*	60/100*
Konec destilace	°C	-	210

*letní/zimní

6. Cíl diplomové práce

Cílem diplomové práce je technická a ekonomická analýza. Technická analýza spočívá v experimentálním ověření a porovnání kvalitativní parametrů bioethanol-benzinových směsí a posouzení jejich vlivů. Ekonomická analýza má ekonomicky zhodnotit politiku spotřebních daní po změně spotřební daně v roce 2017, vliv této daně na biopaliva v průběhu let 2017-2019, konkrétně na palivo E85 a porovnat s roky 2015 a 2016. Dále posoudit vývoj ve splňování požadavků EU na snižování emisí a navrhnout další možné alternativy k docílení požadovaných podílů energie z OZE v dopravě.

Hypotézy:

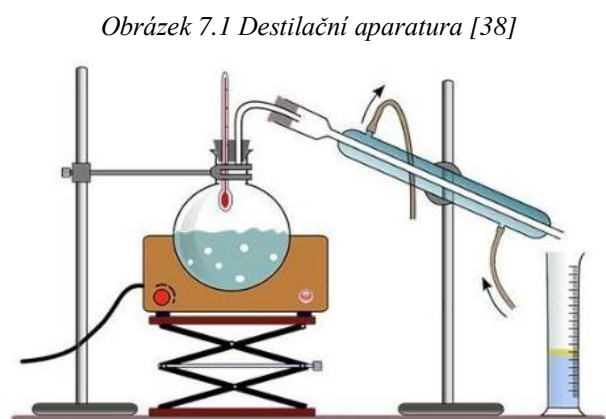
- 1) Podmínkou konkurenceschopnosti E85 je úplné osvobození od spotřební daně.
- 2) Bioethanol do 10 % objemu v benzínu zvyšuje tlak par.

7. Metodika

Metodikou této diplomové práce je prostudování základní literatury, norem, internetových odkazů a dalších pramenů. Provést literární rešerši v oblasti motorových paliv, provést vlastní analýzu a uvést nové případné teoretické předpoklady a názory. Experimentálně ověřit kvalitativní parametry bioethanol-benzinových směsí a ekonomicky zhodnotit politiku spotřebních daní. Měření probíhalo v laboratoři fakulty agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů ČZU v Praze.

Destilace

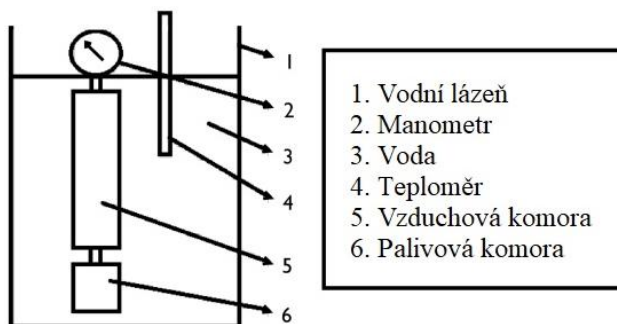
Destilační zkouška se provádí dle normy ČSN EN ISO 3405 na destilační aparatuře (obrázek 7.1) s trubicí chladiče. Zkouška probíhá ve frakční baňce, kde je 100 ml vzorku zahříváno. Vzniklé páry jsou ochlazovány v trubicí chladiče a poté je kondenzát odveden do odměrného válce, kdy se současně zaznamenává teplota par. Zaznamenávají se předestilované mililitry (po 5 ml) a teploty od doby, kdy se předestilovala první kapka až po dobu, kdy bylo dosaženo konce destilace (teploměr se zastaví a začne klesat).



Tlak par

Zkouška se provádí dle normy ČSN EN 13016-1 na přístroji dle Reida (obrázek 7.2). K přístroji je připevněn manometr, kterým se odečítá tlak par. Měření se provádí při teplotě 37,8 °C v uzavřené nádobě, přístroj je naplněn vzorkem v poměru vzduch:kapalina 4:1 a poté ponořen do vodní lázně. [19]

Obrázek 7.2 Aparatura dle Reida [39]



Ekonomická analýza

Pro výpočet vlivu politiky spotřební daně na palivo E85 byly použity následující vzorce. Vzorce představují rozšířenou metodiku výpočtů úrovně kompenzace z „Víceletého programu podpory dalšího uplatnění udržitelných biopaliv v dopravě na období 2015-2020“. Vývoj cen benzínu a E85 byl získán díky společnosti Čepro a.s. (příloha 4 a 5).

Použité vzorce:

$$Et = Etf - \left(\frac{Ta \cdot Xe}{100} \right) \quad \text{kde: } Et - \text{spotřební daň [Kč} \cdot \text{l}^{-1}\text{];}$$

Etf – spotřební daň na fosilní složku [Kč·l⁻¹];

Ta – výše daňové úspory směsného paliva [Kč·l⁻¹];

Xe – objemový podíl biosložky ve směsném palivu [% V/V].

$$C = Ta - Ns \quad \text{kde: } C - \text{vypočtená úroveň kompenzace [Kč} \cdot \text{l}^{-1}\text{];}$$

Ta – výše uplatňované daňové úlevy směsného paliva Kč·l⁻¹;

Ns – potřebná podpora směsného paliva [Kč·l⁻¹].

$$Ns = \frac{Ub - Uf}{Cb} \quad \text{kde: } Ns - \text{potřebná podpora směsného paliva [Kč} \cdot \text{l}^{-1}\text{];}$$

Ub – náklady na využívání směsného paliva [Kč·100 km⁻¹];

Uf – náklady na využívání fosilního paliva [Kč·100 km⁻¹].

$$U_f = P_f \times C_f + VM_f$$

kde: U_f – náklady na využívání směsného paliva [Kč·100 km⁻¹];
 P_f – cena fosilního paliva [Kč·l⁻¹];
 C_f – spotřeba fosilního paliva [l·100 km⁻¹];
 VM_f – náklady na údržbu vozidla jezdící na fosilní palivo [Kč·100 km⁻¹].

$$U_b = (P_b + T_a + P_m) \cdot C_b + VM_b$$

kde: U_b – náklady na využívání směsného paliva [Kč·100 km⁻¹];
 P_b – cena směsného paliva [Kč·l⁻¹];
 T_a – výše uplatňované daňové úlevy směsného paliva [Kč·l⁻¹];
 P_m – cenová spotřebitelská motivace u směs. paliva [Kč·l⁻¹];
 C_b – spotřeba směsného paliva [l·100 km⁻¹];
 VM_b – náklady na údržbu vozidla jezdící na směsné palivo [Kč·100 km⁻¹].

$$P_m = k_p + k_s$$

kde: P_m – cenová spotřebitelská motivace u směs. paliva [Kč·l⁻¹];
 k_p – koeficient vyšší ceny vozidel poháněných na E85;
 k_s – koeficient zvýšeného požadavku na skladování i dobu použitelnosti s ohledem na možné rozfázování paliva při nízkých teplotách.

$$VM_f = \frac{P_e \cdot 100}{E_f}$$

kde: VM_f – náklady na údržbu vozidla jezdící na fosilní palivo [Kč/100 km];
 P_e – cena výměny oleje;
 E_f – četnost výměny oleje u vozidla jezdícího na fosilní palivo dána vzdáleností ujeté na jednu náplň.

$$VMb = \frac{Pe \cdot 100}{Eb}$$

kde: VMb – náklady na údržbu vozidla jezdící na směsné palivo

[Kč·100 km⁻¹];

Pe – cena výměny oleje;

Eb – četnost výměny oleje u vozidla jezdícího na směsné palivo dána vzdáleností ujeté na jednu náplň.

$$Cb = Cf \cdot k_{85}$$

kde: Cb – spotřeba směsného paliva [l·100 km⁻¹];

Cf – spotřeba fosilního paliva [l·100 km⁻¹];

k₈₅ – koeficient nárůstu spotřeby u směsného paliva.

$$k_{85} = \frac{CVf \cdot 100}{CVe \cdot Xe + CVf \cdot (100 - Xe)}$$

kde: k₈₅ – koeficient nárůstu spotřeby u směsného paliva;

CVf – výhřevnost benzínu [MJ·l⁻¹];

CVe – výhřevnost čistého ethanolu jako paliva [MJ·l⁻¹];

Xe – podíl biosložky ve směsném palivu [% V/V]. [31].

8. Výsledky měření

Analyzovány byly směsi benzínu a bioethanolu s podílem bioethanolu: 5, 10, 15, 20, 25, 50 a 85 %, včetně čistého benzínu. Pro vytvoření směsí byl použit zimní vzorek benzínu. Výsledné hodnoty zkoušky tlaku par zobrazuje *tabulka 8.1* a destilační zkoušky *tabulka 8.2*.

Tabulka 8.1 Naměřené hodnoty tlaku par

	Čistý benzin	E5	E10	E15	E20	E25	E50	E85
Tlak par [kPa]	75,2	83,7	78,6	76,4	75,8	73,7	63,6	38,6

Z *tabulky 8.1* je patrné, že s vyšším podílem bioethanolu v benzínu postupně klesá tlak par, přičemž u nízkoprocentních směsí se naopak tlak par zvyšuje.

Tabulka 8.2 Naměřené hodnoty destilace

Objem [%]	Teplota [°C]							
	Čistý benzin	E5	E10	E15	E20	E25	E50	E85
ZD	33,6	34,2	34,2	34,1	35,4	36,7	40,4	52,3
5	46,7	46,6	48,6	49,2	50,6	50,9	57,9	71,1
10	54,3	51,1	52,8	53,7	54,8	55,7	63,2	74,8
15	60,3	54,5	56,1	57,2	58,5	59,3	67,3	76,1
20	66,7	57,5	59,4	60,6	61,9	63,00	70,4	76,7
30	81,8	66,3	66,0	66,7	68,0	68,9	73,7	77,1
40	97,9	90,6	71,7	71,6	72,1	72,7	75,2	77,4
50	105,6	104,8	98,8	75,9	74,7	74,7	76,2	77,6
60	111,5	110,6	110,9	106,8	78,3	76,3	76,8	77,7
70	116,8	117,7	117,1	115,8	111,9	94,6	77,5	77,8
80	130,5	129,2	127,6	125,6	124,6	122,2	78,0	78,1
85	143,7	141,3	138,8	136,4	135,0	132,4	78,9	78,2
90	159,8	159,4	157,5	156,3	154,2	152,2	113,9	78,3
95	167,9	167,8	167,5	166,9	166,7	166,4	161,1	78,8
KD	198,6	196,7	195,9	194,7	194,1	193,3	188,6	79,3

Z *tabulky 8.2* je zřejmé, že vyšší podíl bioethanolu v benzínu zásadně ovlivňuje průběh destilace. S vyšším podílem bioethanolu v benzínu stoupá bod varu, tedy začátek destilace, ale postupně se snižuje teplota, při které celá směs destiluje.

9. Ekonomická analýza

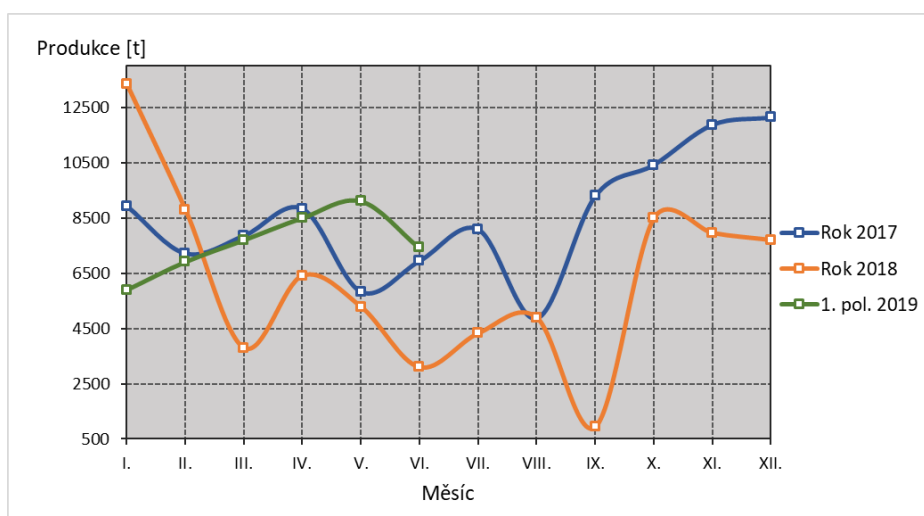
V červenci roku 2017 se změnila sazba vratky pro vysokoprocentní směsi bioethanolu s benzinem, tedy pro palivo E85. Zákonem č. 382/2015 Sb. došlo ke změně spotřebního zákona č. 353/2003 Sb., o spotřebních daních, kterým se zvedla podpora formou vrácení daně z původních 10 230 Kč/1000 litrů bioethanolu v biopalivu na 10 970 Kč/1000 litrů. Z toho důvodu je potřeba zjistit, jaký vliv má tato skutečnost na vývoj konkurenceschopnosti biopaliva, neboť od roku 2016 došlo k velkému útlumu v prodeji paliva E85. Na tento fakt mělo velký dopad zavedení minimálního zdanění biosložky (v roce 2016) a snížení podpor pro biopaliva, čímž se stala vysokoprocentní biopaliva nekonkurenceschopná. Vývoj spotřební daně u vysokoprocentních směsí zobrazuje *tabulka 9.1*. K určení potřebné podpory a výši kompenzace za roky 2017-2019 je třeba zjistit náklady na využívání směsného a fosilního paliva.

Tabulka 9.1 Vývoj spotřební daně vysokoprocentních biopaliv v období 2015-2020 [32]

Produkt	Spotřební daň [Kč·l ⁻¹]			Rozdíl oproti období do roku 2016	
	do roku 2016	2016 až 30.6.2017	1.7. 2017	2016 až 30.6.2017	Od 1.7.2017
Vratka za 1 l ethanolu	12,84	10,23	10,97	-2,61	-1,87
Vratka za 0,85 l ethanolu	10,91	8,70	9,32	-2,21	-1,59
E85	1,93	4,14	3,52	2,21	1,59

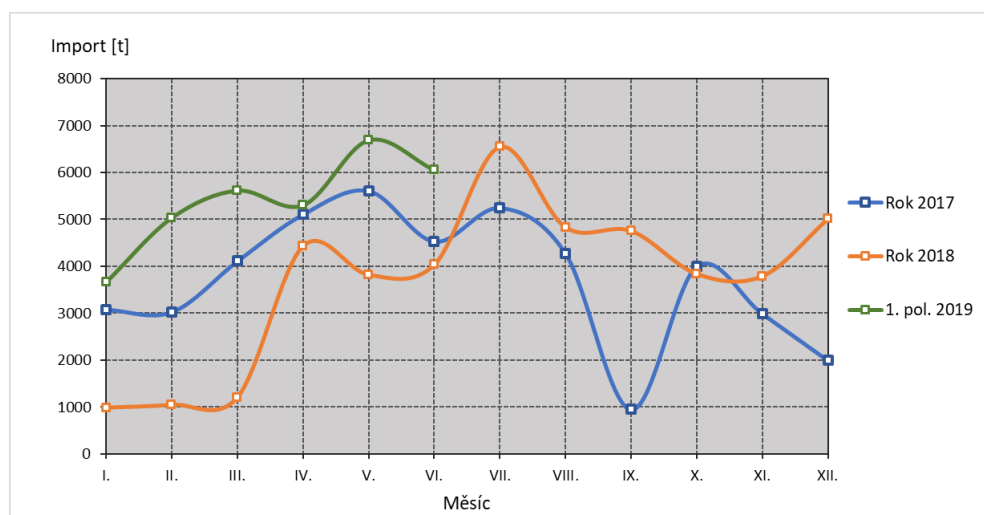
Obrázek 9.1 zobrazuje produkci bioethanolu v letech 2017 až do 1. poloviny 2019 (data za 2. polovinu roku 2019 nejsou k dispozici), na kterém lze vidět, že po změně spotřební daně bylo velké očekávání ve vyšší poptávce, která ale nenastala, načež museli producenti bioethanolu reagovat a v roce 2018 prudce produkce bioethanolu klesla. Vývoj v produkci druhé poloviny roku 2018 lze přičítat vyššímu zájmu o bioethanol v zahraničí z důvodu zavádění biopaliva E10.

Obrázek 9.1 Produkce bioethanolu v letech 2017-1. pol. 2019 [33]

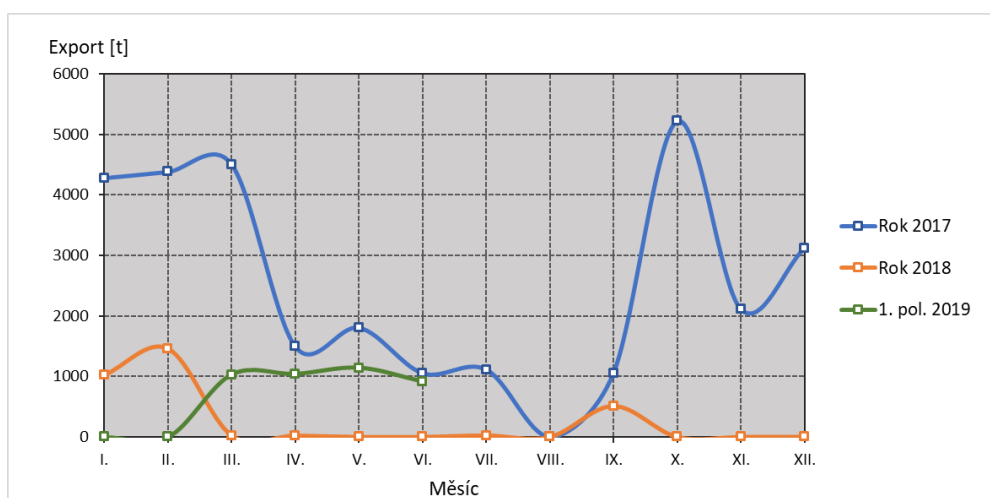


Od produkce se poté odvíjí i následující grafy, které vyjadřují import *obrázek 9.2*, export *obrázek 9.3* a spotřebu *obrázek 9.4* bioethanolu. V druhé polovině roku 2017 byl zásadní průlom, kdy import bioethanolu byl minimální, neboť nebyl tak velký zájem, ale naopak export prudce stoupl. Rok 2018 vyjadřuje minimální až nulový export bioethanolu do zahraničí, neboť produkce byla nízká a veškeré množství bylo spotřebováno v ČR, naopak spotřeba byla vyšší, což se vykompenzovalo importem. V roce 2019 nastává okamžik, kdy zvýšená spotřeba si žádá zvýšenou produkci a větší import. Díky zvýšení produkce dochází v průběhu roku 2019 také k exportu.

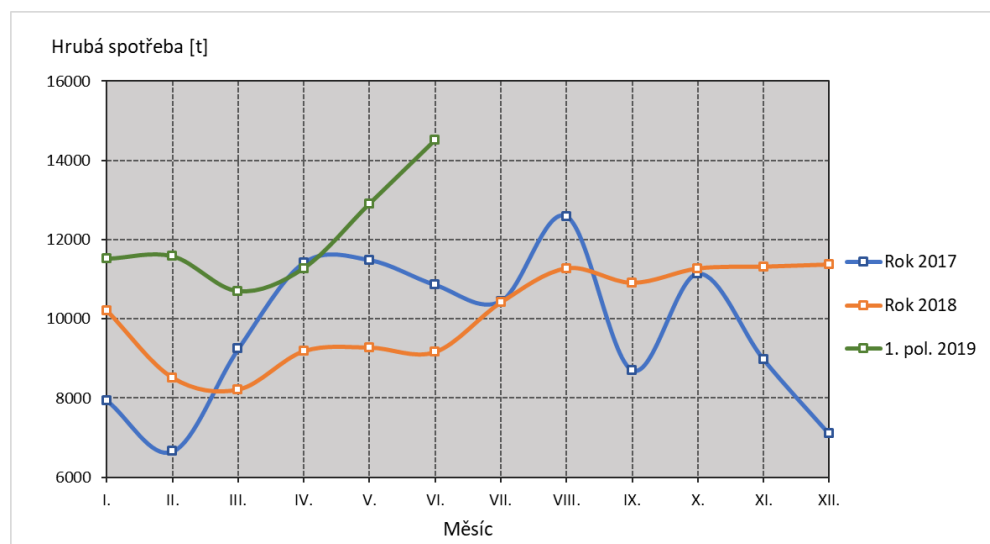
Obrázek 9.2 Vývoj importu bioethanolu v letech 2017-1. pol. 2019 [33]



Obrázek 9.3 Vývoj exportu bioethanolu v letech 2017-1. pol. 2019 [33]

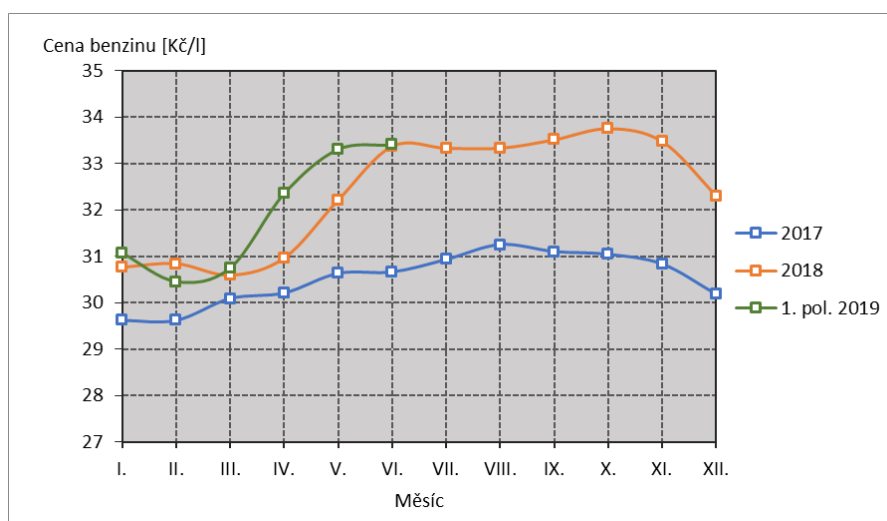


Obrázek 9.4 Vývoj hrubé spotřeby bioethanolu v letech 2017-1. pol. 2019 [33]

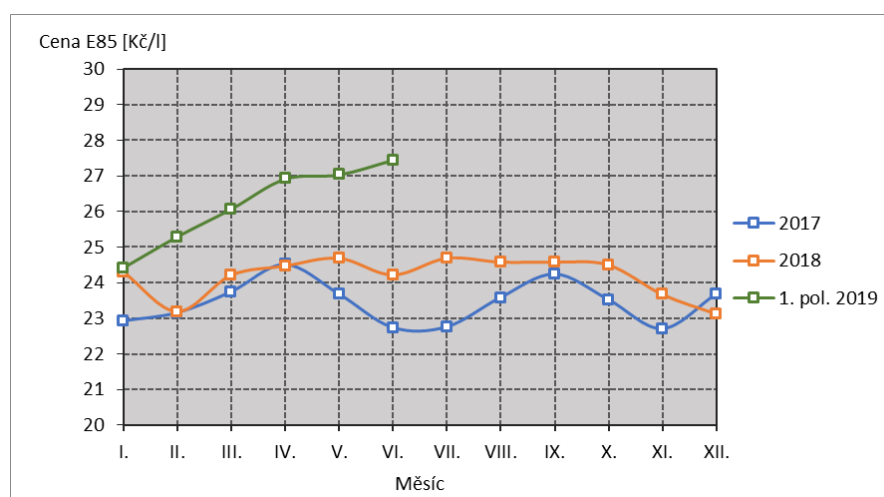


Pro posouzení vlivu spotřební daně na E85 je důležitým hlediskem, kromě výše spotřební daně na fosilní palivo (12 840 Kč/1000 litrů), vývoj cen benzínu a paliva E85. Vývoj cen je zobrazen na *obrázcích 9.5 a 9.6*. Cena obou paliv je závislá na celosvětovém vývoji cen ropy, zároveň palivo E85 se odvíjí od cen bioethanolu. Na *obrázku 9.6* je vidět, že ceny E85 jsou téměř stále stejné, kromě roku 2019, kdy došlo k rapidnímu růstu v důsledku zvyšování cen bioethanolu a benzínu. Cena paliva E85 se odvíjí také od složitější výroby bioethanolu, než je výroba samotného benzínu. V důsledku vysokého podílu bioethanolu roste cena směsného paliva, neboť je jeho výroba dražší, a zároveň, vlivem nižší výhřevnosti bioethanolu, roste i spotřeba směsného paliva.

Obrázek 9.5 Vývoj cen benzínu v letech 2017-1. pol. 2019



Obrázek 9.6 Vývoj cen paliva E85 v letech 2017-1. pol. 2019



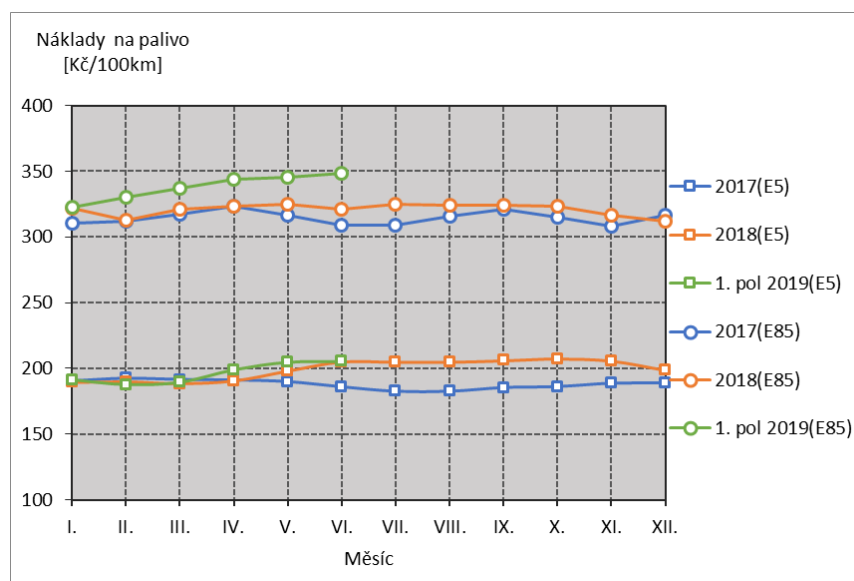
Z důvodu vyšší spotřeby paliva ve vozidlech jezdící na E85 jsou negativně ovlivněny náklady na využívání těchto vozidel. Průměrná spotřeba benzínu činí $6 \text{ l} \cdot 100 \text{ km}^{-1}$, z důvodu rozdílných výhřevností (bioethanol = $21 \text{ MJ} \cdot \text{l}^{-1}$, benzin = $32 \text{ MJ} \cdot \text{l}^{-1}$) se musí zjistit koeficient nárůstu spotřeby u směsného paliva ($k_{85} = 1,41$), aby se určila spotřeba paliva E85, která po výpočtu činí $8,48 \text{ l} \cdot 100 \text{ km}^{-1}$. Dalším faktorem ovlivňující náklady jsou náklady na údržbu, na výměnu oleje, neboť u směsného paliva dochází k dřívějším výměnám. Běžně je výměna po 30 000 km, u vozidla spalující E85 po 15 000 km. Cena této výměny byla určena na 1 500 Kč. Zvýšené náklady jsou také spojeny s nutnou úpravou motorů vozidel, resp. náklady na pořízení speciálního vozidla, které umožňuje spalovat vysokoprocentní směsi $k_p = 1,10$. Vzhledem k velké citlivosti bioethanolu s vodou se musí započítat i vyšší požadavky na skladování s ohledem na možné rozfázování paliva, které je určeno pomocí

koeficientu $k_s = 0,42$. Tyto náklady jsou zobrazeny na *obrázku 9.7*, kde je fosilní palivo vyjádřeno jako benzin E5.

Shrnutí dat k výpočtům:

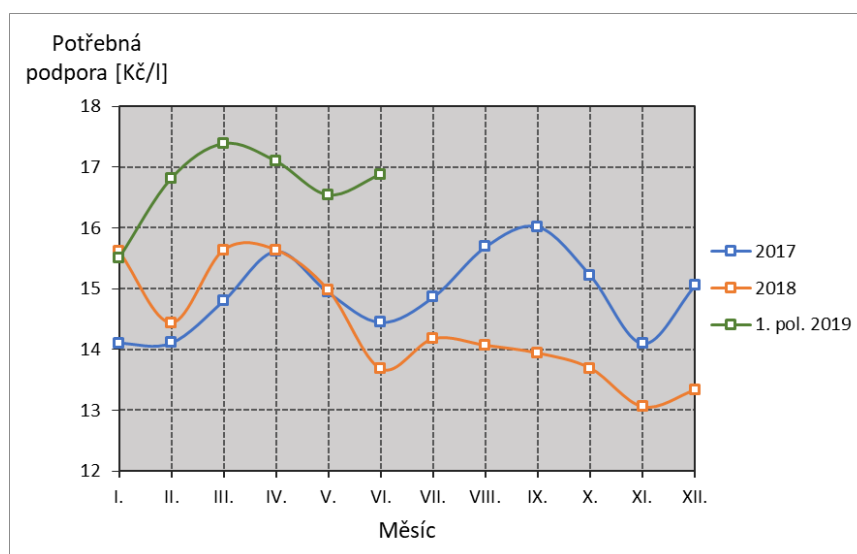
CVf	=	32 MJ·l ⁻¹ ;	kp	=	1,1;
CVe	=	21 MJ·l ⁻¹ ;	ks	=	0,42;
k ₈₅	=	1,41;	Pm	=	1,52;
Cf	=	6 l·100 km ⁻¹ ;	Ta	=	10,97 Kč·l ⁻¹ ;
Cb	=	8,48 l·100 km ⁻¹ ;	Etf	=	12,84 Kč·l ⁻¹ ;
Ef	=	30 000 km;	VMf	=	5 Kč·100 km ⁻¹ ;
Eb	=	15 000 km;	VMb	=	10 Kč·100 km ⁻¹ .
Pe	=	1 500 Kč;			

Obrázek 9.7 Náklady na využívání fosilního a směšného paliva v letech 2017-1. pol. 2019

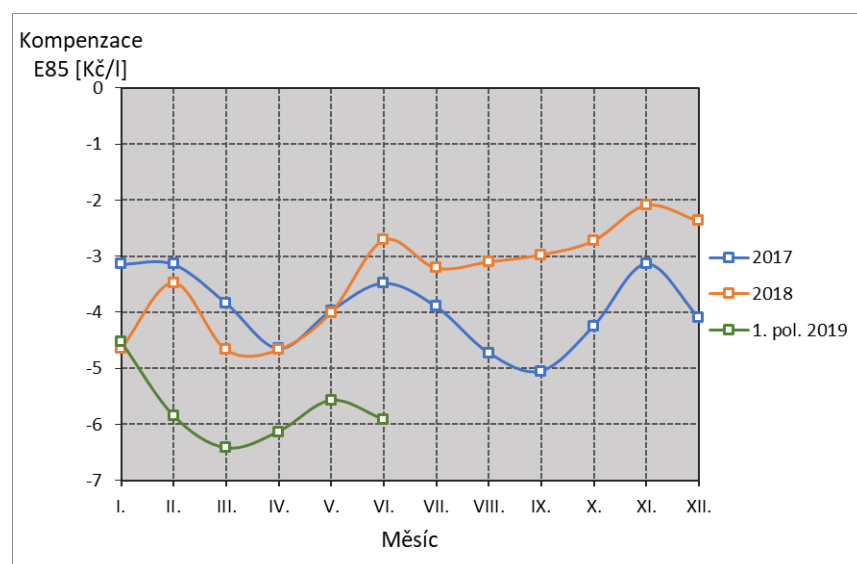


Po zjištění nákladů na využívání směšného a fosilního paliva lze určit potřebnou podporu pro směšné palivo, v tomto případě paliva E85. Vypočtenou potřebnou podporu zobrazuje *obrázek 9.8*. Na grafu si lze všimnout, že zvýšení cen E85 v roce 2019 velmi ovlivnilo výši potřebné podpory. Naopak v roce 2017 je vidět vliv cen benzínu, které byly podstatně vyšší, což zapříčinilo snížení podpory. Na *obrázku 9.9* je zobrazena míra kompenzace, kladné hodnoty vyjadřují překompensaci a záporné hodnoty podkompensaci. V tomto případě se jedná ve všech letech o míru podkompensace, která se odvíjí od potřebné podpory (potřebná podpora je vyšší než výše daňové úlevy).

Obrázek 9.8 Vypočtená potřeba podpory bioethanolu E85 v letech 2017-1. pol. 2019



Obrázek 9.9 Úroveň kompenzace E85 v letech 2017-1. pol. 2019



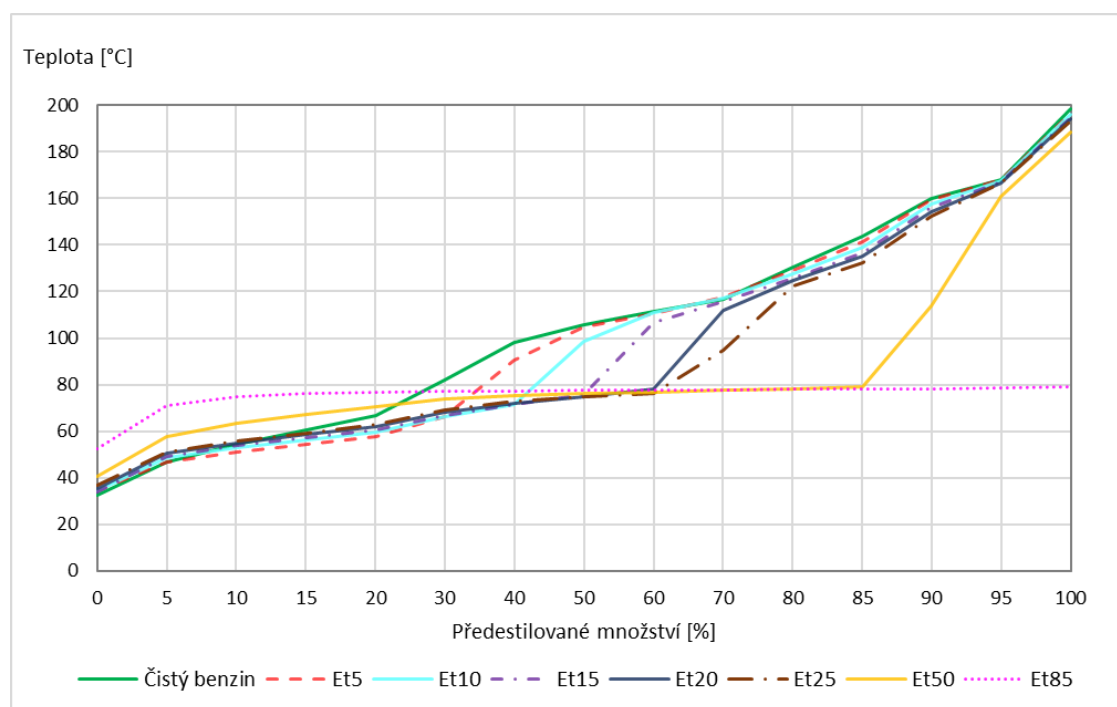
10. Diskuze

Experimentální měření

K nejdůležitějším kvalitativním parametrům benzínu patří destilační zkouška, neboť lze z průběhu jednotlivých částí usuzovat různé projevy motoru. Rozmezí teplot, při kterých benzin destiluje, se pohybuje od 30-210 °C. *Obrázek 10.1* porovnává destilační křivky všech měřených vzorků. Z grafu je patrné, že přidání bioethanolu do benzínu způsobí změnu v destilační křivce. Největších změn je dosahováno v bodě T50, v kterém všechny vzorky vykazují změnu oproti čistému benzínu. Nejméně významných změn dosahuje vzorek E5, který téměř kopíruje křivku čistého benzínu. Z grafu lze vyčíst, že do podílu 25 % bioethanolu je téměř totožná destilační křivka, přičemž dochází kolem teplot 70-115 °C ke změnám (bod T50), které při vyšších teplotách odezní. Směsi do 25 % podílu bioethanolu by tedy neměly mít zásadní vliv na spalování, přičemž by mohlo docházet k horšímu ohřívání motoru po studeném startu, tedy k pomalejšímu rozjezdu.

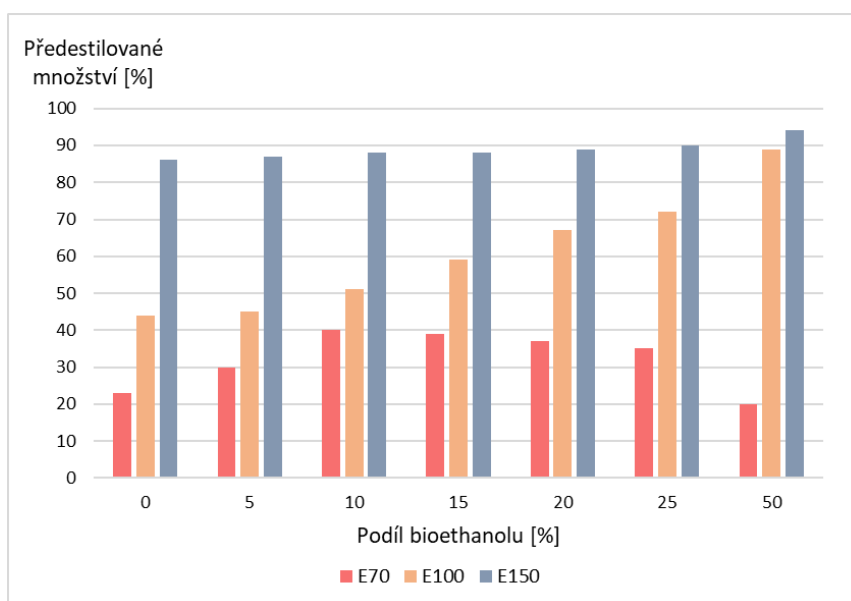
Naopak k zásadním změnám destilační křivky dochází u vysokoprocenních směsí. Vzorek E50 dosahoval změn u všech částí křivky, což může mít již zásadní vliv na spalování a na chod motoru. Nejzásadnější změnou je nízká teplota v bodě T50, která by měla optimálně dosahovat kolem 100 °C, aby byla dosažena optimální rychlost zahřívání motoru a provozní teplota. Tento vzorek destiloval při necelých 80 °C až do 85 % predestilovaného množství, kdy poté došlo k rapidní změně křivky a konec destilace byl téměř totožný s ostatními. Vzorek E85 vybočuje v celé délce křivky. Vzorek, kde 85 % tvoří bioethanol, vykazuje po celou dobu destilace stejnou teplotu, kromě začátku destilace. Teplota, při které vzorek po celou dobu destiloval, byla téměř 80 °C. Tento jev má zásadní vliv na spalování, proto nelze doporučit spalovat toto palivo bez úpravy vozidla.

Obrázek 10.1 Destilační křivka všech měřených směsí vč. čistého benzínu



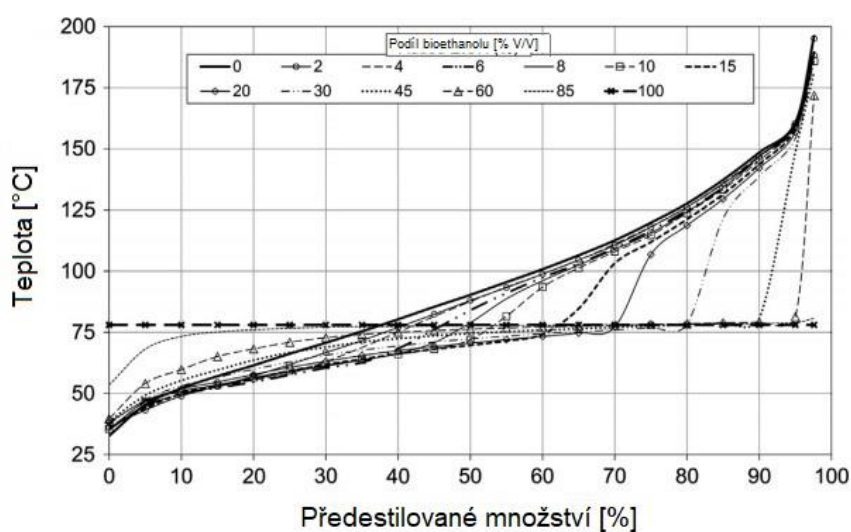
Změny předestilovaného množství dle podílu bioethanolu v benzínu při teplotách 70 °C, 100 °C a 150 °C (E70, E100, E150 dle ČSN EN 228) zobrazuje obrázek 10.2. Neboť destilace vzorku Et85 probíhá téměř celou dobu při teplotě 80 °C, není na tento vzorek brán zřetel v následujícím porovnání vzorků při destilaci. Při E70 se všechny hodnoty pohybují v předepsaném rozsahu, pouze vzorek Et50 je velmi na hraně minima 20 % předestilovaného množství. Tento jev by mohl mít vliv na startovatelnost studeného motoru. Do 25 % obj. bioethanolu se zvyšuje odpařený objem oproti čistému benzínu, tedy že lehčí frakce jsou těkavější a to se projevuje i zvýšeným tlakem par. Důvodem je, že bioethanol a benzin tvoří azeotropy s nižším bodem varu. Při teplotě E100 je vidět, že s vyšším podílem bioethanolu v benzínu je směs těkavější než čistý benzin, tedy že se zvyšuje předestilované množství u všech vzorků. Vyšší koncentrace bioethanolu (nad 25 % obj.) již přesahují rozsah daný normou (71 % předestilovaného množství), což může mít za následek tvorbu ledu v systému sání vzduchu. Vzorky při teplotě E150 vykazovaly největší shody, kde došlo jen k mírnému zvýšení hodnot. Z toho vyplývá, že bioethanol v benzínu nejvíce ovlivňuje destilační křivku právě kolem hodnot E70 a E100.

Obrázek 10.2 Vliv bioethanolu na benzin při teplotě E70, E100 a E150

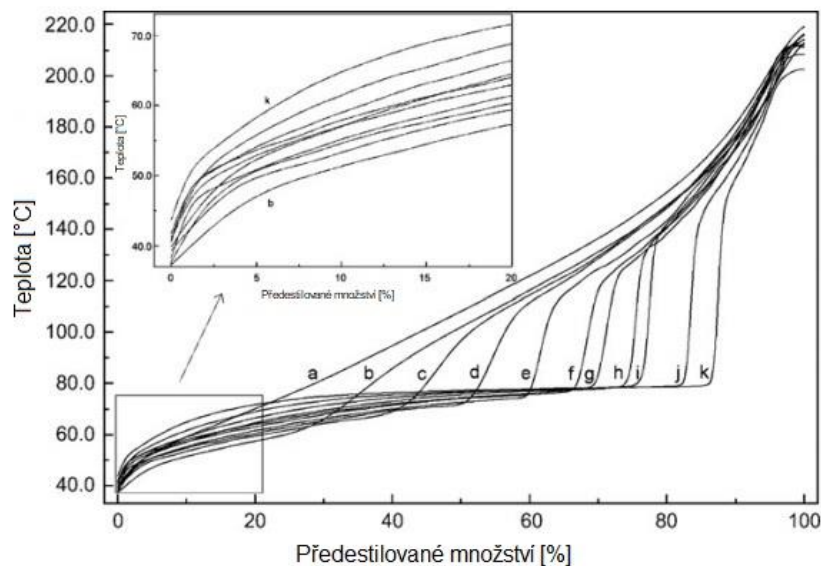


Naměřené vzorky byly porovnány s experimenty již dříve provedenými. *Obrázek 10.3* představuje měření L. M. Rodríguez-Ántóna a kol. z roku 2012 [34] a *obrázek 10.4* měření H. G. Alemy a kol. z roku 2008 [35]. Obě měření vykazují podobné hodnoty jako výše zmíněné měření (viz *obrázek 10.1*). Odchytky jsou především kvůli odlišnému základovému benzínu, který byl použit pro mísení s bioethanolem. Z obou měření lze vyčíst, že i zde dochází k největším změnám destilační křivky kolem teploty E70 a bodu T50. Na *obrázku 10.3* je také vidět velká změna průběhu destilační křivky pro směsi s podílem bioethanolu vyšším než 40 % obj. Z toho lze usoudit, že vysoký podíl bioethanolu v benzínu ovlivňuje zásadně destilační křivku, tedy jeho odpařitelnost.

Obrázek 10.3 Destilační křivka z měření v roce 2013 [34]



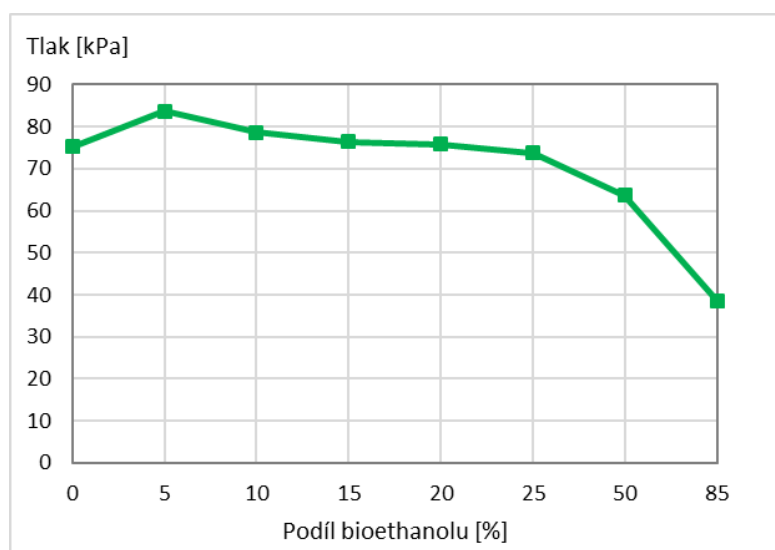
Obrázek 10.4 Destilační křivka z měření v roce 2008 [35]



Podíl bioethanolu: a=0 %, b=5 %, c=10 %, d=15 %, e=20 %, f=25 %, g=30 %, h=35 %, i=40 %, j=50 %, k=60 %

Dalším důležitým kvalitativním parametrem u benzinů je tlak par, na kterém závisí bod varu. Na *obrázku 10.5* je vidět průběh tlaku par v závislosti na podílu bioethanolu v benzínu. Z grafu je patrné, že tlak par benzínu obsahujícího do 25 % obj. bioethanolu odpovídá téměř tlaku par čistého benzínu. Zároveň směsi s 5 a 10 % bioethanolu naopak vykazují vyšší tlak par než benzin bez bioethanolu, i přestože samotný bioethanol má nízký tlak par. Tento jev vzniká z důvodu, že směs vytváří nový azeotrop. Azeotrop je směs dvou látek, kterou již nelze pomocí destilace rozdělit, neboť složení kapaliny a par se rovná. To je i důvodem, proč nelze při výrobě bioethanolu samotnou destilací oddělit zbytek vody a musí být odvodňován jinými způsoby. Proto je nutné při přípravě směsi s nízkým obsahem bioethanolu počítat s nárůstem tlaku par a při mísení mít základový benzin s nižší těkavostí, aby nedocházelo k vyšším ztrátám paliva vlivem odparu. Z tohoto hlediska lze říci, že směsi benzínu obsahujícího do 25 % obj. bioethanolu by neměly mít zásadní vliv na chod motoru a na startování v zimě, avšak u směsi s 5% podílem bioethanolu může docházet k větším ztrátám paliva odparem hlavně v létě.

Obrázek 10.5 Tlak par benzínu v závislosti na podílu bioethanolu

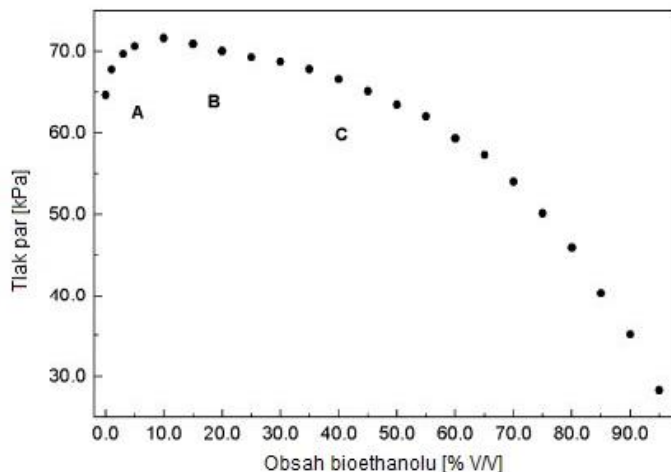


Při porovnání čistého benzínu a ostatních směsí vykazuje největších změn vzorek E85. Na grafu je patrný zásadní pokles tlaku par při vyšších koncentracích bioethanolu. Vzorek E85 se pohybuje na hranici min. tlaku par pro letní směs, avšak pod hranicí min. tlaku pro letní benzin (45 kPa). I tento důvod přispívá k nutnosti úpravy vozu, aby bylo dosaženo optimální startovatelnosti např. startování přes benzin, neboť v zimním období může dojít k problému se startováním. Důvodem je i vyžadovaná optimalizace poměru palivo/vzduch, které běžné automobily neumožňují. Protože směs obsahuje vysoký podíl bioethanolu, který má sám o sobě nízký tlak par, čímž výslednou směs ovlivňuje, je třeba tento tlak zvýšit např. pomocí benzinových složek s nízkým bodem varu C₃-C₅. Tyto složky mají dostatečně velkou těkavost, přičemž u klasického benzínu jsou spíše nežádoucí. Proto při vytváření vysokoprocenťálních směsí se musí použít benzin s vyšší těkavostí, aby byl dosažen požadovaný tlak par, hlavně v zimním období, kdy je třeba vyššího tlaku.

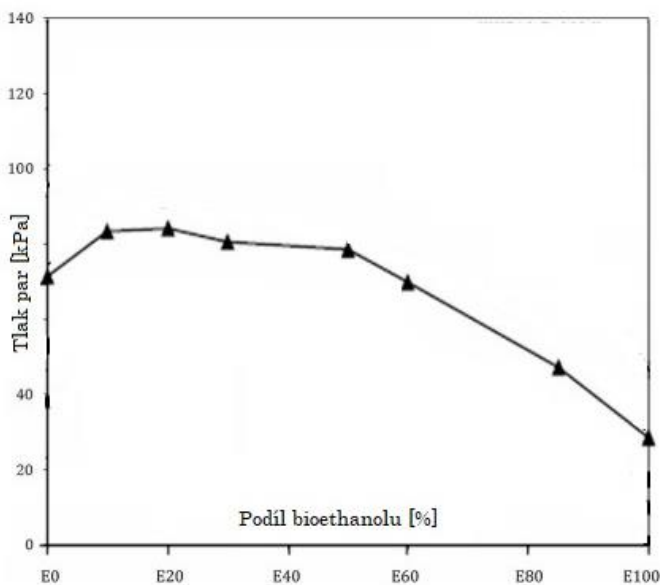
Naměřený tlak par je porovnán s tlakem par dříve naměřených vzorků, a to s experimentem H. G. Alemy a kol. z roku 2008 (*obrázek 10.6*) a experimentem N. Al-Esawihho a kol. z roku 2018 (*obrázek 10.7*). Průběhy obou měření jsou dosti podobné jako měření výše popsané (*obrázek 10.5*). Avšak je zde malá odchylka v hodnotách, přičemž důvodem může být, že základový benzin vykazoval rozdílný poměr uhlovodíkových složek, které poté ovlivňují výsledný tlak par. I při těchto měřeních dochází k navýšení tlaku par benzínu s narůstajícím podílem bioethanolu. Přičemž u těchto měření dochází k navýšení tlaku par až do 45 % obj. bioethanolu. Avšak benzin s 85 % obj. bioethanolu vykazuje velmi

podobné hodnoty jako měření výše popsané, a to těsně kolem min. limitu tlaku par pro letní směs paliva E85.

Obrázek 10.6 Tlak par z měření v roce 2008 [35]



Obrázek 10.7 Tlak par z měření v roce 2018 [36]



Ekonomická analýza

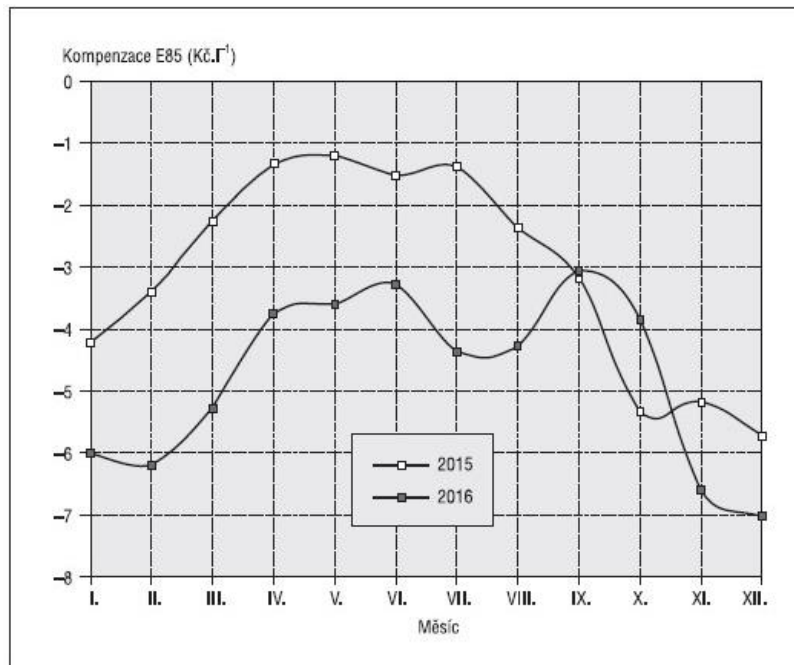
Dle ekonomické analýzy lze říci, že úroveň kompenzace není dostatečná pro udržení paliva E85 konkurenceschopným. Při posuzování vlivů na ceny paliva E85 hraje největší roli cena bioethanolu. Cenu navyšuje hlavně složitější výroba bioethanolu, která je dražší. Tomu lze přisuzovat rapidní nárůst v roce 2019, kdy dle burzy v Rotterdamu došlo k navýšení cen bioethanolu (příloha 6). Příčinou zvýšení cen také může být zavádění biopaliv 2. generace ve větší míře, přičemž jejich výroba je nákladnější oproti biopalivům 1. generace, u kterých dochází k omezování výroby. Dalším předpokladem je větší míra

poptávky po bioethanolu, z důvodu většího využívání bioethanolu jako příměsí ve fosilních palivech (motorové benziny E5, E10). Ve srovnání s fosilním palivem je stále palivo E85 levnější, ale zároveň náklady na využívání paliva jsou mnohem vyšší, což negativně ovlivňuje využívání paliva. Náklady se odvíjí od vyšší spotřeby paliva, nákladů na údržbu vozidla, ceny paliva a na cenové spotřebitelské motivaci. Vyšší spotřeba je zapříčiněna nižší výhřevností paliva ($21 \text{ MJ}\cdot\text{l}^{-1}$) oproti benzínu ($32 \text{ MJ}\cdot\text{l}^{-1}$). Výměna oleje musí být prováděna častěji než u vozidel na benzin, neboť při spalování paliva E85 vznikají kyselé složky, které se poté dostávají do oleje. Z tohoto důvodu je doporučována častější výměna, čímž dochází k nárůstu nákladů. Protože na palivo E85 nemohou jezdit běžná vozidla, ale pouze upravená či speciální vozidla, což negativně ovlivňuje motivaci k pořízení takového vozu (vyšší ceny), je tato skutečnost součástí nákladů na využívání paliva. Dalším negativním faktorem je schopnost bioethanolu absorbovat vodu, čímž by mohlo dojít k rozfázování paliva při nízkých teplotách. Proto je zvýšený požadavek na jeho skladování a dobu použitelnosti.

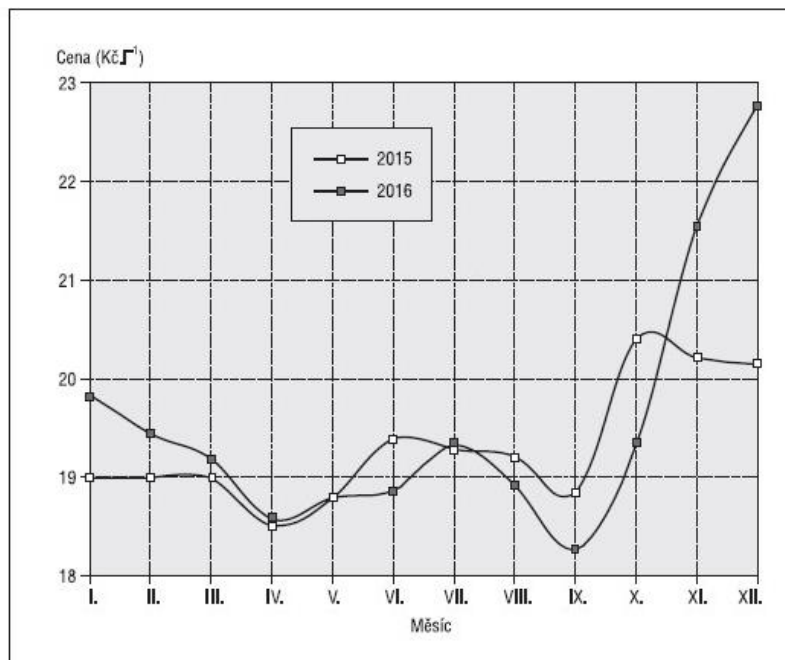
I přes zvýšení podpory ve smyslu většího vrácení daně z podílu biosložky, vychází vysoká míra podkompensace. Vrácení daně je určeno pro osoby uvádějící biopaliva do volného daňového oběhu (tedy distributoři paliv či někteří výrobci biopaliv). Ve srovnání s roky 2015 a 2016 (*obrázek 10.8*) je úroveň podkompensace v letech 2017 a 2018 lehce nižší, ale ceny paliva E85 mezitím velmi vzrostly (roky 2015 a 2016 zobrazuje *obrázek 10.9*). Protože od roku 2016, kdy se zavedla minimální spotřební daň na biosložku ve vysokoprocentních směsích biopaliv, došlo k úpadku v poptávce po palivu E85, by měla nastat změna daňového zvýhodnění. K rozšíření těchto směsí nemůže dojít bez dostatečných a účinných podpor ze strany státu. Bohužel zvýšení vratky daně nebyl účinný a efektivní krok, neboť nevedl ke snížení cen biopaliv. Zásadním se může zdát i fakt, že je podpora cílená jen pro distributory těchto paliv, ale bez existující poptávky od spotřebitelů nemůže existovat nabídka, což velmi ovlivňuje trh s palivem E85. Efektivním způsobem by mělo být úplné očištění biosložky od spotřební daně, tedy nulová spotřební daň u biosložky ve vysokoprocentních směsných palivech. Přičemž by se tato podpora nemusela zdát jako dostatečná, protože provozní náklady na užívání vozidel na E85 budou vždy výrazně vyšší, i přestože speciální vozidla „flexifuel“ jsou osvobozena od silniční daně. K docílení rozšíření využívání těchto paliv by mohl přispět přímý program na podporu, např. podpora pro koupi těchto vozů určitou dotací vč. nulové spotřební daně na biosložku, jako motivace pro spotřebitele. Nebo určitá modifikace programu „zelená nafta“, která by provozovatelům

vozidel na E85 mohla přinést úlevu od spotřební daně ve formě vrácení daně po koupi pohonných hmot, která by byla zúčtována jednou za měsíc.

Obrázek 10.8 Úroveň kompenzace bioethanolu E85 v letech 2015 a 2016 [31]



Obrázek 10.9 Vývoj ceny bioethanolu E85 v letech 2015 a 2016 [31]



ČR je nucena v rámci EU k nahrazení fosilních paliv biopalivy ve výši 10 % do roku 2020. Aby mohla tento závazek splnit, musí určitým způsobem biopaliva podporovat. ČR je jedním z posledních států, který tento závazek stále nesplnil, dle Ministerstva průmyslu a obchodu činil v roce 2018 podíl OZE v dopravě zatím pouhých 7 %. [37] Jedním z nástrojů státu, kterým se snaží tento cíl splnit, je povinný podíl biosložky v motorových benzinech a motorový naftě, který činí 4,1 % V/V z celkového objemu motorových benzinů a 6,0 % V/V u nafty. Vzhledem k situaci na trhu s benzinem a bioethanolem, kdy je v největší míře zastoupeno palivo E5 s obsahem bioethanolu do 5 % V/V, není pozitivní výhled ke splnění požadavků od EU. Dle vývoje legislativy dochází k postupné výměně paliva E5 za palivo E10 s podílem 10 % bioethanolu, které výsledný podíl zvýší, ale ne dostatečně. Z tohoto hlediska je nutností vykompenzovat tento rozdíl vyšší podporou výroby a prodeje vysokoprocenních směsí biopaliv, které by zaručily podstatné zvýšení podílu biopaliv na celkové spotřebě pohonných hmot.

Výsledkem analýzy je zjištění, že palivo E85 je nadále silně podkompenzováno, což ovlivňuje situaci na českém trhu, kde toto palivo chybí. V ČR se najde velmi málo čerpacích stanic, které by palivo E85 nabízely. V 1. polovině roku 2019 došlo na trhu k ještě větší podkompenzaci. Výrazně se zvýšila cena bioethanolu jako suroviny, která vedla spolu s dlouhodobou podkompenzací k výraznému zvýšení cen za palivo E85. Z toho vyplývá, že pro udržení konkurenceschopnosti paliva E85 je zásadním krokem osvobození biopaliva od spotřební daně, vytvoření doprovodného programu pro podporu využívání biopaliva spotřebiteli k navýšení poptávky a vytvoření pobídky pro distributory ke zvýšení nabídky. Hlavní návrh spočívá v rozvoji sítě čerpacích stanic nabízejících E85, podporou distributorů ke zvýšení jejich zájmu prodávat biopaliva, jak již bylo řečeno osvobozením od spotřební daně a další podporou, např. ve formě určité dotace při zavedení biopaliva E85 do prodeje, neboť nejistota v oblasti podpor neprospívá trhu. Doporučením pro získání větší důvěry spotřebitelů k biopalivům je informování veřejnosti ohledně faktů, výhod a nevýhod provozování vozidla na biopalivo pomocí kampaní a vzbudit zájem spotřebitelů např. pomocí prvních dvou let osvobození od placení modrých zón při pořízení vozidla flexifuel či po úpravě vozidla apod. Dalším možným krokem by přicházelo v úvahu rozšíření vozového parku automobilek auty flexifuel, protože stále není na trhu dostatek automobilek, které by nabízely tento typ vozů.

Odpovědi na hypotézy:

- 1) Bioethanol do 10 % objemu v benzínu zvyšuje tlak par. Nejvyššího tlaku dosahuje při 5 % obj. bioethanolu, a to z důvodu vzniku nového azeotropu. Hypotéza se přijímá.
- 2) Aby bylo palivo E85 konkurenceschopné, je nutné úplné osvobození od spotřební daně. Cenu paliva ovlivňuje náročnost výroby bioethanolu. Dalším hlediskem ovlivňující jeho konkurenceschopnost oproti fosilním palivům jsou zvýšené náklady na využívání paliva, a to z důvodu vyšší spotřeby paliva a nutnosti speciálně upravených vozů. Hypotéza se přijímá.

11. Závěr

Cílem práce bylo provést literární rešerši v oblasti motorových paliv, ekonomicky zhodnotit politiku spotřebních daní, provést vlastní analýzu s případnými novými předpoklady a experimentálně ověřit kvalitativní parametry bioethanol-benzinových směsí.

Práce přináší poznatky z oblasti motorových paliv a biopaliv. Je zde probrána problematika těžby a zpracování ropy na jednotlivé frakce. Další část je věnována evropské a české legislativě, která nejvíce ovlivňuje trh s biopalivy. Dále byla popsána motorová paliva, s největším důrazem na výrobu benzínu a popisu jeho vlastností. Posledním teoretickým rozbohem byla biopaliva, konkrétně bioethanol. Je zde popsána jeho výroba, výhody, nevýhody a část se zabývala mísením bioethanolu a benzínu.

Praktická část je věnována analýze kvalitativních parametrů, kde byly posuzovány bioethanol-benzinové směsi. Porovnáván byl čistý zimní benzin a dále směsi benzínu s podílem bioethanolu 5, 10, 15, 20, 25, 50 a 85 % obj. K posouzení byly vybrány 2 nejdůležitější kvalitativní ukazatele benzínu, a to destilační křivka a tlak par. Analýza ukázala, že směsi s podílem bioethanolu do 25 % obj. mají tlak par téměř totožný s tlakem par čistého benzínu, kromě směsí s 5 a 10 % obj. bioethanolu, kde naopak došlo ke zvýšení tlaku par. S tím by se mělo počítat při výrobě benzínu, aby výsledná směs neměla vysoký tlak par a nedocházelo k větším ztrátám paliva. Směsi do 25 % obj. bioethanolu mění destilační křivku kolem bodu T50 (50 % predestilovaného množství), což může mít vliv na rychlost ohřívání motoru po studeném startu, ale neměly by mít zásadní vliv na spalování a chod motoru. Z toho lze usoudit, že mohou být tyto směsi použity v běžných vozech (některé starší vozy si s obsahem bioethanolu neumí poradit), avšak mohou více opotřebovávat motor. Směsi s vyšším objemovým podílem bioethanolu vykazují již změny v parametrech, které by mohly mít značný vliv. S rostoucím obsahem bioethanolu (nad 25 %) klesá tlak par. U paliva E85 lze sledovat největší změny. Problém nastává u vysokoprocentních směsí, kde tlak par rapidně klesá až pod minimální úroveň letního benzínu, což by mohlo mít zásadní vliv na startování v zimním období. Z tohoto důvodu se v zimním období do paliva E85 přidává více benzínu (70 % bioethanolu a 30 % benzínu). Vysokoprocentní směsi také vytváří zcela jiný průběh destilační křivky než čistý benzin či nízkoprocentní směsi, např. E85 destilovala skoro celou dobu při 80 °C. To jsou některé z důvodů, proč nelze vysokoprocentní směsi využívat v běžných vozidlech.

V poslední části práce byla provedena ekonomická analýza, která se zabývala vlivem spotřební daně na palivo E85 v letech 2017-2019. Analýza ukázala, že i přes zvýšení daňové úlevy u spotřební daně, je palivo E85 stále velmi podkompenzované. Z hlediska nestoupající poptávky ani nabídky tohoto paliva bylo zhodnoceno, že palivo E85 není konkurenceschopné vůči fosilním palivům. Jeho konkurenceschopnost ovlivňuje cena paliva, která je z důvodu drahé výroby bioethanolu vysoká. Dalšími ovlivňujícími faktory jsou vysoké náklady na úpravu vozu či pořízení speciálního vozidla („FlexiFuel“). Nespornou nevýhodou paliva je jeho nízká výhřevnost, což se projevuje vyšší spotřebou paliva. Ceny E85 od roku 2016 rapidně vzrostly a bez efektivních podpor nebude moci konkurovat na trhu ostatním palivům. Tuto skutečnost ovlivnil nárůst cen bioethanolu a zavedení spotřební daně na biosložku. Jedním z nástrojů, kterým by se mohla zlepšit situace, je osvobození biosložky (bioethanolu) od spotřební daně, která toto palivo zatěžuje. Tím se snižuje motivace pro distributory palivo dále nabízet a také motivace spotřebitelů využívat palivo, neboť jsou ceny vysoké. Protože nelze palivo využívat v běžných vozech, ale pouze ve speciálně upravených vozech, je zde namístě vytvořit osvětu veřejnosti, aby byla řádně seznámena s výhodami a nevýhodami využívání těchto vozů a bylo docíleno většího zájmu o palivo.

V ekonomické analýze byl také posouzen vývoj ČR v oblasti biopaliv v dopravě, neboť v rámci EU je ČR jako členský stát povinna plnit závazky plynoucí z evropských směrnic. Z důvodu zavedení směrnice RED, která určuje povinný minimální podíl biopaliv na celkové spotřebě fosilních paliv v dopravě na 10 %, je zapotřebí určitým způsobem podporovat zvýšení spotřeby těchto paliv. Dle vývoje v roce 2018 tento podíl činil pouhých 7 %. Stát se snaží zvýšit spotřebu biopaliv pomocí povinného min. obsahu biosložky ve fosilních palivech. Způsob zvyšování podílu není natolik efektivní, aby bylo dosaženo do konce roku 2020 10% podílu. Proto je potřeba podporovat paliva obsahující vysoký podíl biosložky, jako je palivo E85. Prvotní podporou by mělo být úplné osvobození od spotřební daně pro biosložku ve vysokoprocentních směsích benzínu a bioethanolu. Návrhem je vytvoření programů na podporu využívání paliva spotřebiteli (bezplatné modré zóny, osvěta veřejnosti, podpora při koupi vozů) a také podpora pro distributory pro ochotu nabízet palivo (osvobození od spotřební daně, dotace na zavedení paliva na čerpacích stanicích).

Z mého pohledu lze v budoucích letech očekávat nárůst poptávky po palivu E85, neboť roste zájem po alternativách za fosilní paliva. V případě větší osvěty a vytvoření alespoň

některých výše popsaných podpor, by v blízkých letech mohlo dojít ke konkurenceschopnosti paliva. Lze předpokládat i vývoj technologií pro automobily, neboť tento vývoj jde neustále kupředu, které by jednou mohly být v každém voze a bylo by možné tyto paliva spalovat bez dalších úprav. Dle mého názoru je hlavním předpokladem vzbuzení zájmu u spotřebitelů, neboť v široké veřejnosti není bioethanol jako příměs v benzinu žádoucí, jednoduše řečeno je nechtěný, protože jeho příčinou je rychlejší opotřebení motoru.

Citovaná literatura

- [1] MATĚJOVSKÝ, Vladimír. *Automobilová paliva*. Praha: Grada Publishing, 2005. ISBN 80-247-0350-5.
- [2] World Energy Outlook 2019. IEA [online]. Paris, 2019 [cit. 2020-02-02]. Dostupné z: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2019>
- [3] *Petroleum.cz* [online]. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2007 [cit. 2020-02-02]. Dostupné z: <http://www.petroleum.cz>
- [4] HÖNIG, Vladimír. *Paliva a maziva*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2013. ISBN 978-80-213-2432-9. Paměťový nosič CD.
- [5] BLAŽEK, Josef a Vratislav RÁBL. *Základy zpracování ropy a ropných frakcí*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2002. ISBN 80-708-0473-4.
- [6] KAMEŠ, Josef. *Fosilní paliva: uhlí, ropa a zemní plyn*. Praha: [s.n.], 2012. ISBN 80-260-1291-7.
- [7] Směrnice Evropského parlamentu a Rady 98/70/ES ze dne 13. října 1998 o jakosti benzínu a motorové nafty. In: *Úřední věstník EU*. 1998. Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:31998L0070&from=CS>
- [8] Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/28/ES ze dne 23. dubna 2009: o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů a o změně a následném zrušení směrnic 2001/77/ES a 2003/30/ES. In: *Úřední věstník EU*. 2009. Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/cs/TXT/?uri=CELEX:32009L0028>
- [9] *Směrnice Evropského parlamentu a rady (EU) 2018/2001: o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů*. In: . Brusel, 2018. Dostupné také z: eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2001&from=EN
- [10] *Aktualizace národního programu snižování emisí České republiky*. Ministerstvo životního prostředí ČR, 2019. Dostupné také z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/strategicke_dokumenty/\\$FILE/000-Aktualizace_NPSE_2019-final-20200217.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/strategicke_dokumenty/$FILE/000-Aktualizace_NPSE_2019-final-20200217.pdf)
- [11] *Víceletý program podpory dalšího uplatnění udržitelných biopaliv v dopravě na období 2015-2020* [online]. 2014 [cit. 27.3.2020]. Dostupné z: http://www.akcr.cz/data_ak/14/z/BiopalivaDopr2015_20.pdf
- [12] Zákon č. 311/2006 Sb., o pohonných hmotách. In: *Sbírka zákonů*. 2006. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2006-311>
- [13] Zákon č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší. In: *Sbírka zákonů*. 2012. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-201>
- [14] Nařízení vlády č. 189/2018 Sb., o kritériích udržitelnosti biopaliv a snižování emisí skleníkových plynů z pohonných hmot. In: *Sbírka zákonů*. 2018. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2018-189>

- [15] Vyhláška č. 133/2010 Sb., o jakosti a evidenci pohonných hmot, ve znění pozdějších předpisů. In: *Sbírka zákonů*. 2010. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2010-133>
- [16] ČSN EN 228+A1. *Motorová paliva - Bezolovnaté automobilové benziny - Technické požadavky a metody zkoušení*. b.r.
- [17] SCHOLZ, . *Základní požadavky na motorová paliva* [online]. Technická univerzita v Liberci, 2009 [cit. 2020-03-07]. Dostupné z: <http://www.kvm.tul.cz/getFile/id:1988>
- [18] PÁV, Karel. *Paliva pro PSM. Technická univerzita v Liberci: Katedra vozidel a motorů* [online]. 2014 [cit. 2020-04-15]. Dostupné z: <http://www.kvm.tul.cz/getFile/id:2619>
- [19] HÖNIG, Vladimír. *Cvičení z paliv a maziv*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2013. ISBN 978-80-213-2384-1.
- [20] KŘÍŽ, Petr. *Nové značení pohonných hmot v EU. TechMagazín* [online]. Česká strojnická společnost, 2019 [cit. 2020-03-08]. Dostupné z: <http://www.techmagazin.cz/47590>
- [21] MAXWELL, T. T. a Jesse C. JONES. *Alternative fuels: emissions, economics, and performance*. Warrendale, PA, U.S.A.: Society of Automotive Engineers, 1995. ISBN 15-609-1523-4.
- [22] *Co je LPG - propan a propan butan. PRIMAGAS* [online]. b.r. [cit. 2020-03-08]. Dostupné z: <https://www.primagas.cz/lpg>
- [23] LOYALKA, Sudarshan K. a Sunggyu LEE, ed., James G. SPEIGHT, ed. *Handbook of alternative fuel technologies*. Second editon. Boca Raton: Taylor & Francis Group, 2015. ISBN 978-1-4665-9456-2.
- [24] BUDÍN, Jan. *Zkapalněný zemní plyn (LNG). Oenergetice.cz* [online]. 2015 [cit. 2020-03-11]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/plyn/zkapalneny-zemni-plyn-lng>
- [25] VOBOŘIL, David. *Biomasa - využití, zpracování, výhody a nevýhody, energetické využití v ČR. Oenergetice.cz* [online]. 2017 [cit. 2020-03-11]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje/biomasa-vyuziti-zpracovani-vyhody-a-nevyhody>
- [26] *What is bioethanol?. University of Strathclyde* [online]. b.r. [cit. 2020-03-16]. Dostupné z: http://www.esru.strath.ac.uk/EandE/Web_sites/02-03/biofuels/what_bioethanol.htm
- [27] ČSN EN 15376. *Motorová paliva – Ethanol jako složka automobilových benzinů – Technické požadavky a metody zkoušení*. 2015.
- [28] *Využití bioethanolu jako paliva ve spalovacích motorech. Chemické listy* [online]. 105. 2011, **105**(2), 122-128 [cit. 2020-03-19]. Dostupné z: http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2011_02_122-128.pdf

- [29] PAULOVÁ, Leona, K. JAISAMUT, P. PATÁKOVÁ, M. RYCHTERA a K. MELZOCH. Možnosti produkce bioethanolu z fytomasy a odpadních materiálů na bázi celulózy. *CHEMagazín* [online]. XXI. 2011, (5), 8-10 [cit. 2020-03-20]. Dostupné z: http://www.chemagazin.cz/userdata/chemagazin_2010/file/CHEMAGAZIN_XXI_5_cl1.pdf
- [30] MUŽÍKOVÁ, Zlata, Milan POSPÍŠIL a Gustav ŠEBOR. Využití bioethanolu jako pohonné hmoty ve formě paliva E85. *Chemické listy* [online]. 104. 2010, **104**(7), 677-683 [cit. 2020-03-23]. Dostupné z: <http://www.chemicke-listy.cz/ojs3/index.php/chemicke-listy/article/view/1281/1281>
- [31] Vliv změn daňové politiky na trh s bioethanolem. *Listy cukrovarnické a řepářské* [online]. 134. 2018, **134**(2), 74-78 [cit. 2020-03-27]. Dostupné z: http://www.cukr-listy.cz/on_line/2018/PDF/74-78.pdf
- [32] Zákon č. 353/2003 Sb., o spotřebních daních, ve znění pozdějších předpisů. In: *Sbírka zákonů*. 2003. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2003-353>
- [33] Kapalná biopaliva. *Ministerstvo průmyslu a obchodu* [online]. b.r. [cit. 2020-03-27]. Dostupné z: <http://www.mpo.cz/cz/energetika/statistika/kapalna-biopaliva/>
- [34] RODRÍGUEZ-ANTÓN, Luis Miguel, Miguel HERNÁNDEZ-CAMPOS a Francisco SANZ-PÉREZ. Experimental determination of some physical properties of gasoline, ethanol and ETBE blends. *Fuel*. 112. 2013, **112**, 178-184. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2013.04.087>. ISSN 0016-2361. Dostupné také z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016236113003888>
- [35] ALEME, Helga G., Leticia M. COSTA a Paulo J.S. BARBEIRA. Determination of ethanol and specific gravity in gasoline by distillation curves and multivariate analysis. *Talanta*. 78. 2009, **78**(4), 1422-1428. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2009.02.042>. ISSN 0039-9140. Dostupné také z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0039914009001726>
- [36] AL-ESAWI, Nawar, Mansour AL QUBEISSI, Sergei S. SAZHIN a Reece WHITAKER. The impacts of the activity coefficient on heating and evaporation of ethanol/gasoline fuel blends. *International Communications in Heat and Mass Transfer*. 98. 2018, **98**, 177-182. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2018.08.018>. ISSN 0735-1933. Dostupné také z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S073519331830215X>
- [37] Podíl obnovitelných zdrojů energie na hrubé konečné spotřebě energie 2010–2018. *Ministerstvo průmyslu a obchodu* [online]. 2019 [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: https://www.mpo.cz/cz/energetika/statistika/obnovitelne-zdroje-energie/podil-obnovitelnych-zdroju-energie-na-hrube-konecne-spotrebe-energie-2010_2018--251296/

- [38] What is distillation?. *Earth Eclipse* [online]. b.r. [cit. 2020-04-02]. Dostupné z: <https://www.earthclipse.com/chemistry/distillation-purpose-types-examples.html>
- [39] MURACHMAN, B., D. PRANANTYO a E.S. PUTRA. Study of Gasohol as Alternative Fuel for Gasoline Substitution: Characteristics and Performances. *Int. Journal of Renewable Energy Development* [online]. 3. 2014, **3**(3), 175-183 [cit. 2020-04-02]. ISSN 2252-4940. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.14710/ijred.3.3.175-183>

Seznam použitých zkratk

OČ	Oktanové číslo
V/V	Objemový zlomek
m/m	Hmotnostní zlomek
CO ₂	Oxid uhličitý
OZE	Obnovitelné zdroje energie
EP	Evropský parlament
EU	Evropská unie
ČR	Česká republika
RED	Renewable Energy Directive
E5	Palivo s obsahem 5 obj. % bioethanolu
E10	Palivo s obsahem 10 obj. % bioethanolu
E85	Palivo s obsahem 70-85 obj. % bioethanolu
E70	Odpařené množství při 70 °C u destilační zkoušky
E100	Odpařené množství při 100 °C u destilační zkoušky
E150	Odpařené množství při 150 °C u destilační zkoušky

Seznam obrázků

Obrázek 2.1 Schéma vývoje ropy	- 3 -
Obrázek 2.2 Vznik ropného ložiska	- 4 -
Obrázek 2.3 Schéma zpracování mazutu se štěpnými procesy	- 6 -
Obrázek 2.4 Blokové schéma palivářské rafinérie bez štěpných procesů	- 7 -
Obrázek 4.1 Schéma hydrogenační rafinace benzínu	- 17 -
Obrázek 4.2 Dehydrogenace alkylcyklohexanů na aromáty	- 17 -
Obrázek 4.3 Schéma semiregenerativního katalytického reformingu	- 18 -
Obrázek 4.4 Zjednodušené schéma izomerace bez recyklace n-alkanů	- 19 -
Obrázek 4.5 Schéma alkylace katalyzované kyselinou fluorovodíkovou	- 20 -
Obrázek 4.6 Schéma výroby automobilového benzínu	- 20 -
Obrázek 4.7 Destilační křivka benzínu	- 22 -
Obrázek 5.1 Blokové schéma výroby bioethanolu z biomasy obsah. jednoduché cukry-	29 -
Obrázek 5.2 Blokové schéma výroby bioethanolu z biomasy obsahující škrob	- 30 -
Obrázek 5.3 Blokové schéma výroby bioethanolu z lignocelulózové biomasy	- 31 -
Obrázek 7.1 Destilační aparatura	- 35 -
Obrázek 7.2 Aparatura dle Reida	- 36 -
Obrázek 9.1 Produkce bioethanolu v letech 2017-1. pol. 2019	- 41 -
Obrázek 9.2 Vývoj importu bioethanolu v letech 2017-1. pol. 2019	- 41 -
Obrázek 9.3 Vývoj exportu bioethanolu v letech 2017-1. pol. 2019	- 42 -
Obrázek 9.4 Vývoj hrubé spotřeby bioethanolu v letech 2017-1. pol. 2019	- 42 -
Obrázek 9.5 Vývoj cen benzínu v letech 2017-1. pol. 2019.....	- 43 -
Obrázek 9.6 Vývoj cen paliva E85 v letech 2017-1. pol. 2019	- 43 -
Obrázek 9.7 Náklady na využívání fosilního a směr. paliva v letech 2017-1. pol. 2019-	44 -
Obrázek 9.8 Vypočtená potřeba podpory bioethanolu E85 v letech 2017-1. pol. 2019 .-	45 -
Obrázek 9.9 Úroveň kompenzace E85 v letech 2017-1. pol. 2019.....	- 45 -
Obrázek 10.1 Destilační křivka všech měřených směsí vč. čistého benzínu.....	- 47 -
Obrázek 10.2 Vliv bioethanolu na benzin při teplotě E70, E100 a E150.....	- 48 -
Obrázek 10.3 Destilační křivka z měření v roce 2013	- 48 -
Obrázek 10.4 Destilační křivka z měření v roce 2008	- 49 -
Obrázek 10.5 Tlak par benzínu v závislosti na podílu bioethanolu	- 50 -
Obrázek 10.6 Tlak par z měření v roce 2008	- 51 -

Obrázek 10.7 Tlak par z měření v roce 2018	- 51 -
Obrázek 10.8 Úroveň kompenzace bioethanolu E85 v letech 2015 a 2016	- 53 -
Obrázek 10.9 Vývoj ceny bioethanolu E85 v letech 2015 a 2016	- 53 -

Seznam tabulek

Tabulka 3.1 Standardní hodnoty pro stanovení úspor emisí skleníkových	- 13 -
Tabulka 4.1 Vybrané ukazatele jakosti dle ČSN EN 228	- 21 -
Tabulka 4.2 Požadavky na těkavost	- 23 -
Tabulka 5.1 Požadavky na bioethanol určený do motor.h benzinů dle ČSN EN 15376	- 27 -
Tabulka 5.2 Běžně používané směsi bioethanolu a benzinu ve světě	- 33 -
Tabulka 5.3 Vybrané vlastnosti E85 dle ČSN EN 15293	- 34 -
Tabulka 8.1 Naměřené hodnoty tlaku par	- 39 -
Tabulka 8.2 Naměřené hodnoty destilace.....	- 39 -
Tabulka 9.1 Vývoj spotřební daně vysokoprocentních biopaliv v období 2015-2020 ..	- 40 -

Seznam příloh

Příloha 1 Fyzikální vlastnosti a chemické složení paliv	- 1 -
Příloha 2 Reakce katalytického reformování na příkladu C7 uhlovodíků	- 2 -
Příloha 3 Výroba biopaliv z biomasy	- 3 -
Příloha 4 Ceny paliva E85 poskytnuté společností ČEPRO, a.s.....	- 4 -
Příloha 5 Ceny benzínu E5 poskytnuté společností ČEPRO a.s.....	- 4 -
Příloha 6 Přehled měsíčních průměrů kotace Ethanol T2 FOB Rotterdam.....	- 5 -

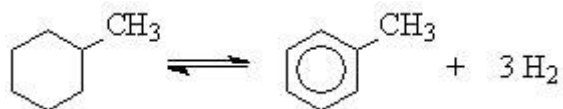
Přílohy

Příloha 1 Fyzikální vlastnosti a chemické složení paliv [1]

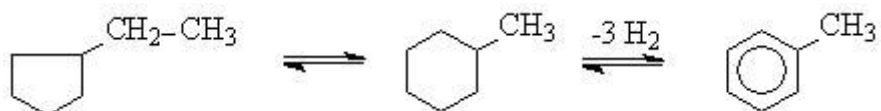
vlastnost	benzin	LPG	CNG	metanol	etanol	MTBE	nafta	MEŘO
chemická formulace	přibližně $C_xH_{1,8x}$	přibližně $C_xH_{2,6x}$	CH_4	CH_3OH	C_2H_5OH	$CH_3OC_4H_9$	přibližně $C_xH_{1,9x}$	přibližně $C_{19}H_{35}O_2$
převažující uhlovodíky	C_4 až C_{10}	C_3 a C_4	CH_4				C_{10} až C_{22}	
hustota ($kg/m^3/15\text{ }^\circ C$)	720–775	510–580	(KAP.11)	796	794	746	800–845	870–890
výhřevnost (MJ/kg)	42,0–43,5	46,0	50,0	19,9	26,8	35,2	42,5	38,5
výhřevnost (MJ/litr/25 $^\circ C$)	31,0–32,9	25,3	(KAP.11)	15,9	21,3	26,3	35,6	34,3
teplota vznícení ($^\circ C$)	450	460	650	450	420	435	250	300
OČ VM	91–100	cca 100	130	111/126*	108/120*	118	–	–
OČ MM	82–90	91	–	90/96*	90/99*	101	–	–
CC		–	–	5	7	12	nad 51	~58
CI	10	–	–	0 až -3	5	< 0	nad 46	~54
λ (vzduch/palivo)	14,7	15,0	17,2	6,5	9,0	11,7	14,6	13,2
bod/rozmezí varu ($^\circ C$)	~30–210	-42–+4	-162	65	78	55	160 až 360	320–360
výparné teplo (kJ/kg)	290	300	555	1110	904	337	180	260
meze hořlavosti (% hm)	0,7–7,0	1,5–9,0	5,0–15	5,5–26	3,5–15	1,6–8,4	0,6–6,5	0,6–6,5
energie inic. (MJ/kmol) jiskry (MJ)	90–150 0,24	~260	velká	0,14	0,2		~45	
obsah uhlíku (% hm)	85,5	84,0	74,25	37,5	52,2	68,2	86,0	77,0
obsah vodíku (% hm)	14,5	16,0	24,75	12,5	13,0	13,6	14,0	12,0
obsah kyslíku (% hm)	až 2,7	0	0	50,0	34,8	18,2	až 0,6	11,0
tlak par (kPa)**	45–90	1550		42	21		pod 1	pod 1
bod tuhnutí ($^\circ C$)	pod -45	pod -100	-183	-97,7	-114,1		0 až -32	5 až -20
bod vzplanutí ($^\circ C$)	pod -30	pod -45		11	~20		nad 55	nad 100***

Příloha 2 Reakce katalytického reformování na příkladu C7 uhlovodíků [5]

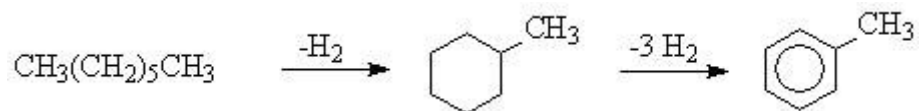
a) dehydrogenace alkylcyklohexanů na aromáty



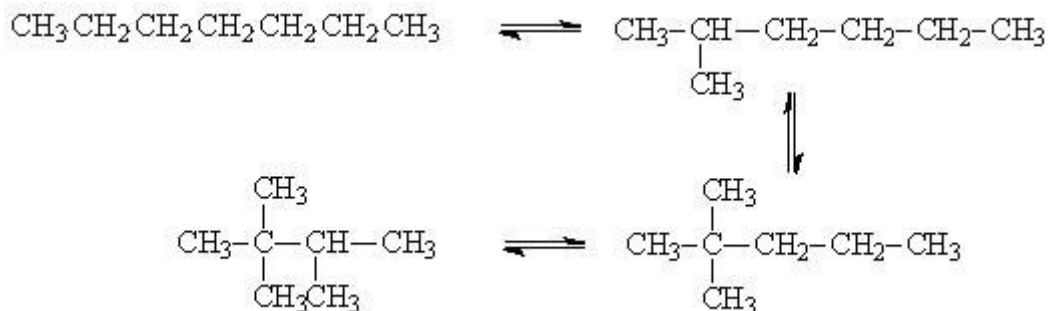
b) izomerace alkylcyklopentanů na alkylcyklohexany, které poté přecházejí na aromáty



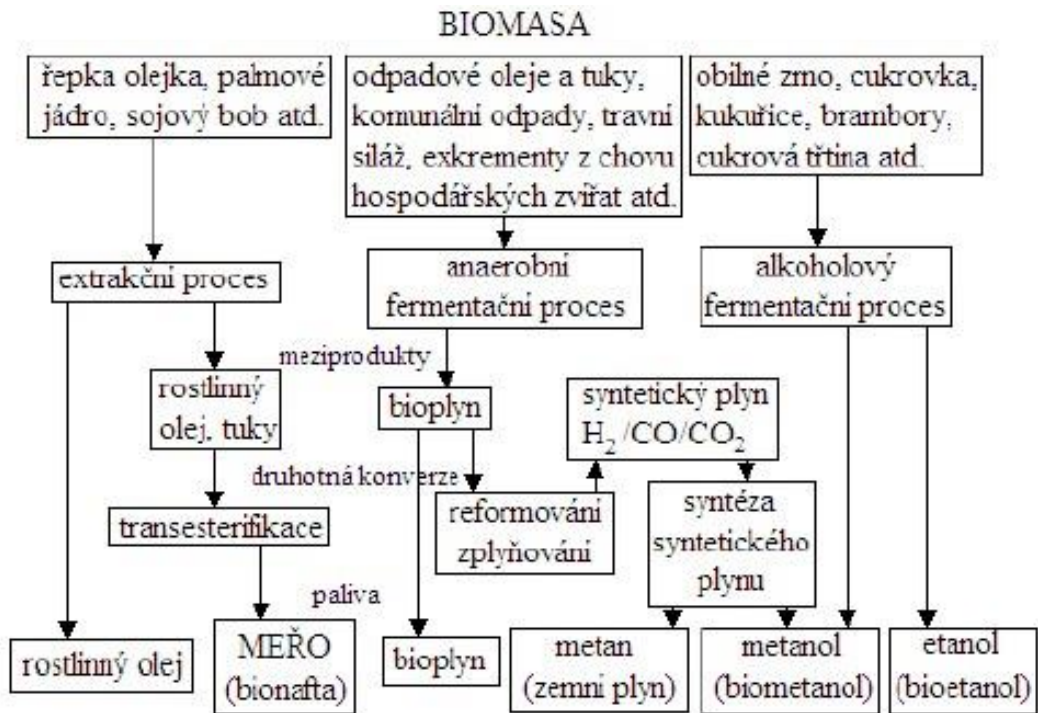
c) cyklizace C7 a delších n-alkanů na alkylcyklohexany, které poté přecházejí na aromáty



d) izomerace n-alkanů na izoalkany



Příloha 3 Výroba biopaliv z biomasy [4]



Příloha 4 Ceny paliva E85 poskytnuté společností ČEPRO, a.s.

Měsíc	Rok 2017	Rok 2018	Rok 2019
I.	22,92	24,31	24,41
II.	23,15	23,19	25,29
III.	23,74	24,21	26,07
IV.	24,51	24,47	26,92
V.	23,68	24,69	27,04
VI.	22,73	24,22	27,45
VII.	22,75	24,69	
VIII.	23,58	24,58	
IX.	24,24	24,58	
X.	23,52	24,5	
XI.	22,7	23,67	
XII.	23,68	23,12	

Příloha 5 Ceny benzínu E5 poskytnuté společností ČEPRO a.s.

Měsíc	Rok 2017	Rok 2018	Rok 2019
I.	30,93	30,76	31,07
II.	31,25	30,84	30,45
III.	31,1	30,59	30,74
IV.	31,04	30,96	32,35
V.	30,83	32,21	33,31
VI.	30,18	33,37	33,41
VII.	29,62	33,33	
VIII.	29,62	33,33	
IX.	30,09	33,51	
X.	30,21	33,75	
XI.	30,63	33,47	
XII.	30,66	32,30	

Příloha 6 Přehled měsíčních průměrů kotace Ethanol T2 FOB Rotterdam poskytnutých společností Ethanol Energy, ceny uvedeny v €·m⁻³

rok	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
2008	554,43	555,48	564,26	536,50	554,58	568,52	587,39	600,43	622,80	578,29	560,19	521,17
2009	494,07	498,85	456,39	427,55	421,42	448,78	467,87	511,80	520,73	524,48	534,55	547,76
2010	566,88	533,85	453,57	431,63	467,18	474,92	504,19	548,73	629,83	600,88	601,78	581,89
2011	607,84	636,45	629,83	615,00	626,43	623,24	622,79	621,09	624,89	613,65	591,24	559,91
2012	577,48	568,71	579,77	593,55	596,48	600,07	701,84	726,74	720,23	669,23	635,11	634,55
2013	632,31	639,10	624,45	631,55	654,37	630,40	637,41	604,20	587,52	597,35	539,68	491,84
2014	472,81	460,48	503,33	487,85	485,18	482,18	449,43	490,95	535,84	491,21	456,61	457,62
2015	437,00	443,12	515,94	561,53	543,92	556,72	574,76	582,10	581,34	578,28	644,07	614,13
2016	574,93	510,81	458,48	465,90	557,91	561,77	526,99	463,18	458,41	472,98	466,47	525,53
2017	591,49	638,35	588,90	540,90	590,00	574,13	569,75	548,18	532,16	461,35	465,39	473,14
2018	471,35	457,45	443,07	435,94	441,51	470,49	473,15	505,34	491,19	479,89	531,42	612,62
2019	580,57	560,19	592,36	592,68	596,66	624,19	656,35	575,02	567,42	591,03	651,26	687,20
2020/CME	667,36	637,46										