



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

POTENCIÁL BIOPALIV PRO MODERNÍ SPALOVACÍ MOTORY

THE POTENTIAL OF BIOFUELS FOR MODERN INTERNAL COMBUSTION ENGINES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Milan Matyáš

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Martin Beran

BRNO 2020

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student: **Milan Matyáš**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Stavba strojů a zařízení
Vedoucí práce: **Ing. Martin Beran**
Akademický rok: 2019/20

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Potenciál biopaliv pro moderní spalovací motory

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce je zaměřená na zmapování potenciálu využití biopaliv pro moderní pístové spalovací motory. Jednak z hlediska snižování ekologické zátěže, tak z hlediska možného zvyšování výkonových parametrů a účinnosti motoru například prostřednictvím použití paliva se zvýšenou antidetonační odolností u zážehových motorů.

Cíle bakalářské práce:

Stěžejní částí práce je rozbor běžných a alternativních paliv pro spalovací motory osobních vozidel z hlediska snižování ekologické zátěže a současně možností dalšího zvyšování účinnosti a výkonových parametrů moderních vysokokompresních přeplňovaných motorů. Hlavním úkolem je se zaměřit na porovnání vlastností vybraných biopaliv jako antidetonační schopnosti, výhřevnost, potenciál snížení teploty výfukových plynů a potenciál snižování CO₂.

Seznam doporučené literatury:

STONE, Richard. Introduction to Internal Combustion Engines. 3rd edition. Hampshire: Palgrave, 1999. ISBN 0-333-74013-01999.

SKOTSKY, Alexander A. Automotive Engines. Springer Verlag, 2009, ISBN 978-3-642-00163-5.

JAN, Zdeněk a ŽDÁNSKÝ, Bronislav. Automobily (3): Motory. Brno: Avid, spol. s r.o., 2009. ISBN 978-80-87143-15-5.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Cílem bakalářské práce je zmapování potenciálu využití biopaliv pro moderní pístové spalovací motory. Práce se zabývá jednak snižováním ekologické zátěže, tak i možného zvyšování výkonových parametrů a účinnosti motoru, jako je použití paliva se zvýšenou antidetonační odolností u zážehových motorů.

KLÍČOVÁ SLOVA

biopaliva, bioetanol, emise skleníkových plynů

ABSTRACT

The aim of the bachelor thesis is to map the potential use of biofuels for modern piston internal combustion engines. The thesis deals with both reducing the environmental impact and a possible increase in performance parameters and engine efficiency such as the use of fuel with increased anti-knock resistance in spark ignition engines.

KEYWORDS

biofuels, bioethanol, greenhouse gases emissions

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MATYÁŠ, Milan. *Potenciál biopaliv pro moderní spalovací motory*. Brno, 2020. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/124686>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. 48 s. Vedoucí práce Martin Beran.



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Martina Berana a s použitím informačních zdrojů uvedených v seznamu.

V Brně dne 26. června 2020

.....

Milan Matyáš

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval mému vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Martinu Beranovi za cenné rady, odborné informace při konzultacích a především za jeho ochotu a trpělivost. Dále bych chtěl poděkovat své rodině a blízkým přátelům za podporu během studia.

OBSAH

Úvod	8
1 Globální změny klimatu	9
1.1 Skleníkový efekt	9
1.2 Dopady globálních změn klimatu	9
1.3 Oxid uhličitý	10
1.3.1 Produkce v dopravě	10
1.3.2 Cíle a opatření EU	11
2 Biopaliva	13
2.1 Historie biopaliv	13
2.2 Druhy a rozdělení biopaliv	14
2.3 Charakteristika a výroba biopaliv	16
2.3.1 Bioethanol	16
2.3.2 Methylester řepkového oleje	20
2.4 Kladné a záporné dopady biopaliv	22
3 Legislativa	24
3.1 Směrnice a zákony	24
3.2 Pařížská dohoda	27
4 Výpočtové porovnání potenciálu paliv	29
5 Praktická zkouška měření	36
5.1 Popis měřicí techniky	36
5.2 Detonační hoření zážehového motoru	38
Závěr	42
Seznam použitých zkratk a symbolů	47

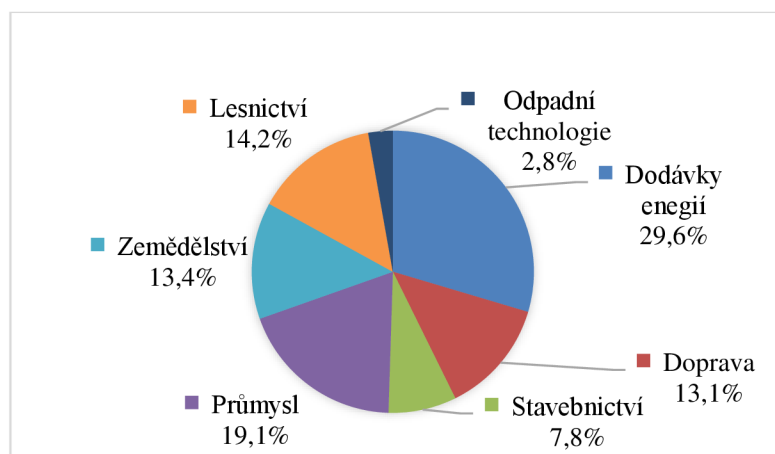
ÚVOD

V dnešním moderním světě považujeme automobil za jeden z největších vynálezů novodobé společnosti. S narůstajícím množstvím dopravních prostředků na pozemních komunikacích, nejde docílit k pozitivním výsledkům z hlediska životního prostředí. I když jsou kladeny přísnější emisní normy pro nové automobily z výrobních linek, nedaří se celkovou produkcí výfukových plynů snižovat z důvodu rostoucí mobility, jenž dochází i k úbytku zemědělských ploch a rozdělení ekosystémů. V České republice bylo zaznamenáno až 6 miliónu vozidel k roku 2020. [28] Rozvoj automobilismu má i velký vliv na kvalitu ovzduší v městských částech, kompenzací jsou v centrech zřizované nové cyklotrasy za účelem podpory cyklistiky a snížení hustoty vozidel na komunikacích. Novodobým automobilům se daří korigovat jedovaté plyny při spalování. Převládající příčiny, proč hledat alternativní paliva k provozu spalovacích motorů je oxid uhličitý a fosilní zdroje energie. [1]

Fosilní paliva se řadí do neobnovitelných zdrojů energie, lidstvo zužitkovává velké množství těchto pohonných látek a rezervy se snižují. Odpovědí k oddálení vyčerpání fosilních zdrojů, mohou být paliva z obnovitelných zásob. Ty se získávají environmentální cestou a mají podíl na snížení produkce negativních plynů, které podle vědeckých pracovníků ovlivňují globální oteplování. Na Zemi by nebyl možný život bez skleníkového efektu, ale zásluhou značným dílem CO₂, se v ovzduší docílí objemnější ochranné vrstvy a zvyšuje se globální teplota. Z biomasy se získávají biopaliva, která jsou součástí obnovitelné energie. Při současné výrobě a technologiích nesplňují předpoklady stát se budoucím palivem. Jejich samotná tvorba je do jisté míry neekologická a neekonomická, nejnovější studie tyto poznatky jenom potvrzují, ale podpora v Evropské unii přetrvává. Nejužitečnější využití biopaliv spočívá ke snížení závislosti na ropě. [4]

1 GLOBÁLNÍ ZMĚNY KLIMATU

Globální změna klimatu je z větší části způsobena člověkem. Lidé svojí činností vypouštějí do atmosféry nadměrné množství skleníkových plynů, zejména oxidu uhličitého. Hladiny CO₂ na Zemi činí 412 ppm v roce 2020, doposud nejvyšší za existenci homo sapiens. V průběhu minulého století se globální hladina zvýšila o 145 milimetrů, příčinou jsou tající ledovce na pólech, které se od roku 2002 zmenšují o rekordních 413 gigatun ročně. Největším podílem činnosti lidí na skleníkovém efektu se vytváří z 30 % dodávky energií, viz graf. 1. [3]



Graf. 1 Podíl lidské činnosti na skleníkovém efektu [1]

1.1 SKLENÍKOVÝ EFEKT

Skleníkový efekt neboli skleníkový jev je proces, ve kterém sluneční záření dopadá na zemskou atmosféru, ale pouhá část záření se odráží zpět do vesmíru. Zbytek slunečního tepla je pohlceno oceány, zemí a zahříváním Země. Sluneční energie se vrací zpátky do vesmíru, ale dílek tohoto tepla je zachycen skleníkovým obalem v atmosféře, aby na planetě Zemi mohl existovat život. Ovšem lidské činnosti jako např. spalování fosilních paliv, mají za následek nekontrolovatelného zvyšování těchto plynů, včetně CO₂, které vedou k nárůstu teploty, tudíž ke globálnímu oteplování. [6]

1.2 DOPADY GLOBÁLNÍCH ZMĚN KLIMATU

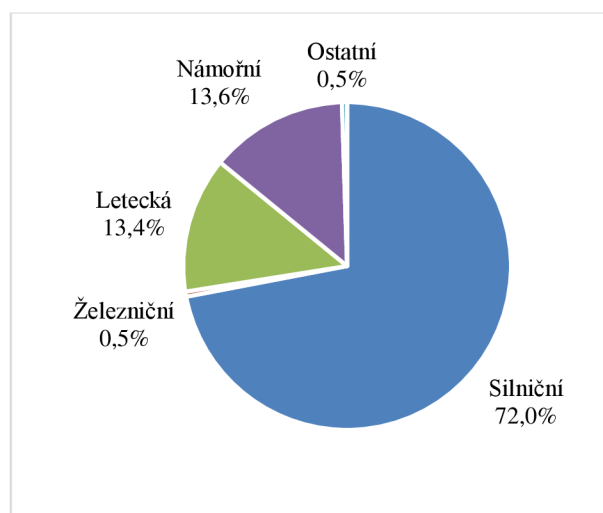
Pravděpodobně nejdiskutovanějšími dopady změn na klima jsou tající ledovce v polárních oblastech. Tento komplexní jev dále vede ke zvýšení hladiny moří a k záplavám v níže uložených oblastech. Dalším dopadem, který ohrožuje rozsáhlou část Evropy jsou extrémní výkyvy počasí. Kromě severu Evropy se lidstvo potýká s vlnami veder, nekontrolovatelnými požáry a suchem. Pokud lidé budou stále využívat nadměrné množství fosilních paliv, důsledky těchto katastrof se budou stupňovat. [7]

1.3 OXID UHLIČITÝ

Oxid uhličitý je bezbarvý, skleníkový plyn bez chuti a zápachu, který je tvořen jedním atomem uhlíku a dvěma atomy kyslíku, je přirozený a v malém množství neškodný. S rostoucí úrovní může ovlivnit kvalitu spánku a chování, jako součást koloběhu uhlíku je v podstatě jedinou základní surovinou všech organických sloučenin. Ve fotosyntéze jde o hlavní proces, při kterém vzniká pro život nesmírně důležitý kyslík rozkladem CO₂. Skleníkové plyny se skládají z oxidu uhličitého, metanu, oxidu dusného, freonů a ozónu, které mají v atmosféře plnit funkci vstřebávání tepelného záření Země, díky tomu je ohříván zemský povrch. Tento proces je nazýván skleníkový efekt. [9] [8]

1.3.1 PRODUKCE V DOPRAVĚ

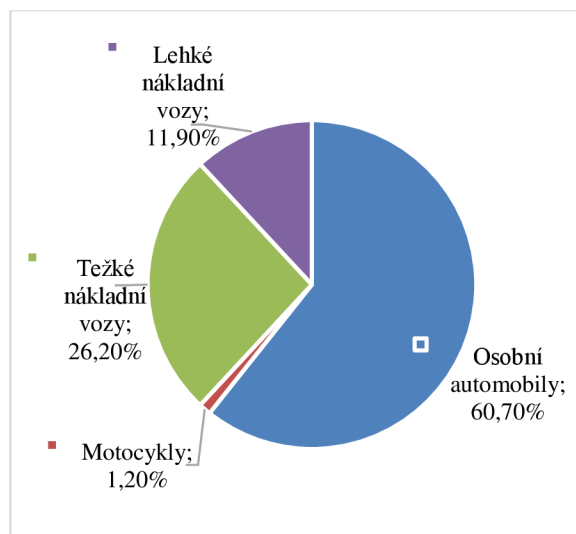
Doprava je jediným odvětvím, kterým dochází z důvodu rostoucí mobility, ke zvyšování produkci emisí, což je hlavním aspektem k přísnějším emisním normám pro budoucí automobily. [10]



Graf. 2 Podíl emisí podle druhu dopravy [10]

Do roku 2030 mají emise pro nové osobní automobily klesnout o 37,5 %, u užitkových vozidel o 31 %. Poslanecká sněmovna také schválila návrh na snížení emisí nových nákladních vozidel o 30 % do roku 2030 s porovnáním výchozích hodnot z roku 2019. I když se autobusová doprava jeví jako nejekologičtější, zásadní vliv na ni má počet cestujících. Cesta osobním vozidlem nám může připadat „čistší“ než cesta autobusem, za předpokladu plného obsazení. [10]

Ze statistik jsou elektrická vozidla více ekologická oproti spalovacím, v budoucnu se rozvoj elektřiny z obnovitelných zdrojů bude zvyšovat, tak i elektromobily se stanou ještě méně agresivnější k přírodě. V letech 2016 – 2017 se navýšil prodej elektrických vozidel s bateriemi o 51 % v Evropské unii. [10]



Graf. 3 Emise CO₂ produkované v silniční dopravě [10]

1.3.2 CÍLE A OPATŘENÍ EU

Evropská unie se zavázala snížit emise skleníkových plynů o 40 % do roku 2030 oproti výchozí hodnotě z roku 1990, je to následkem schválení Pařížské dohody o změně klimatu. Hlavní cíl této dohody spočívá v teplotní hranici globálního oteplování, která nesmí převýšit hodnotu 2 ° C. V posledních letech je zaznamenáno značné zvýšení průměrné teploty na Zemi. Nepochybně je to vyvoláno nárůstem produkcí skleníkových plynů s podílem člověka. Pracovníci vědeckých výzkumů varují svět, před nebezpečnými a katastrofickými důsledky, ve kterých by se Země ocitla, kdyby se teplota dostala nad hranici 2 ° C. [11]

Největším znečišťovatelem na světě je Čína, USA a na třetí pozici je Evropská unie. Proto je společná snaha nezbytná k vývoji lepší budoucnosti. [18]

Další z důležitých legitimních systému je obchodování s emisními povolenkami (ETS). Vyprodukované emise z elektráren a průmyslu musí být zakoupené podniky, které je peněžně stimulují k menšímu znečištění. Každá emisní povolenka dovoluje firmě vyvrhnout 1 tunu CO₂. Řád zahrnuje až 45 % všech skleníkových plynů v EU. U zbylých odvětvích, které se nepotýkají s procesem, (ETS) je úsilí o snížení emisí do roku 2030 o 30 % k roku 2005. [12]

Tab. 1 Snížení emisí skleníkových plynů [12]

Členský stát	Cíl pro rok 2030 oproti výchozím úrovním z roku 2005
Lucembursko	-40 %
Německo	-38 %
Rakousko	-36 %
Česká republika	-14 %
Polsko	-7 %
Bulharsko	0 %

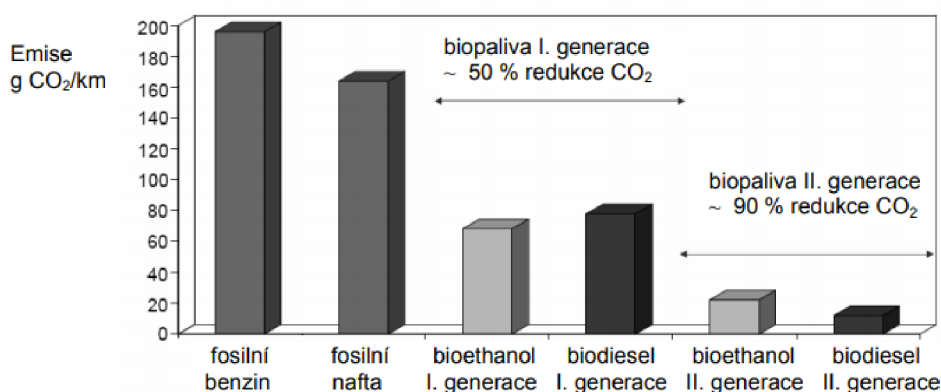
Podstatnou součástí legislativy jsou i lesy, které dokážou pohlcovat oxid uhličitý, samotná rozloha se zvýšila o 11 milionů hektarů mezi lety 1990 – 2015. Zákonodárství se zpřísňuje na státy EU, které budou muset vykompenzovat emise z důvodu odlesňování. Lesy zakrývají v Evropské unii až 182 milionů hektarů (43 % půdy). Lesy EU dokážou pohltit každý rok až 10,9 % z celkových skleníkových plynů, díky přeměně lesní půdy na ornou a odlesnění, se naopak vytváří emise a dochází k úbytku pohlcení CO₂. Podpora členů EU spočívá i v tom, aby nedocházelo k přebytečnému kácení lesů, pokud by ke kácení došlo, byly by nahrazeny novými. [13]

Ze současných záznamů Evropské agentury pro životní prostředí jsou vyčísleny průměrné emise nových vozidel na 118,5 g CO₂ na jeden kilometr. Podle zdejších předpisů by nemělo nové vozidlo vyprodukovat více než 95 g CO₂ od roku 2021, pro porovnání s Českou republikou, kde se průměrná hodnota nacházela na 127,7 g CO₂ pro rok 2017. [14]

2 BIOPALIVA

Biopaliva jsou vyrobená z biomasy, poskytují v dopravním odvětví alternativní pohonnou látku. Základním rozdílem mezi biopalivy a fosilním palivem spočívá v samotné výrobě. Hlavní představitelé fosilních paliv jsou připisovány k ropě, zemnímu plynu a uhlí, jedná se o nerostné suroviny a jejich přesné množství je na Zemi omezeno. Naopak biopaliva, jejichž nejzásadnějšími složkami využívání jsou bioethanol a bionafta, se vyrábějí na bázi obnovitelných zdrojů energie z biologicky rozložitelně lesnických, rybářských a zemědělských produktů, průmyslového a obecního dopadu nebo odpadu (biomasy). [1]

Taková paliva se mohou označovat pod konceptem uhlíkově neutrálního zdroje energie. Lest se zakládá na tom, že při pěstování těchto rostlin, se ze vzduchu odebírá oxid uhličitý, který se uvolňuje až při spalování, poté je produkce CO₂ nulová. Nicméně je tato informace o nulové produkci pravdivá? Biopaliva si potrpí na energicky náročném průběhu výroby, kterým se tvorba skleníkového plynu o nezanedbatelný díl zvyšuje. Přehled informací o poklesu oxidu uhličitého pojednává obr. 1, kde biopaliva první generace zaznamenávají úbytek o 50 % a druhá generace dokonce až 90 %. [1]



Obr. 1 Potenciál snížení emisí CO₂ biopalivy první a druhé generace [1]

2.1 HISTORIE BIOPALIV

V roce 1898 Rudolf Diesel představil první motor pro automobily s pohonem na biopaliva. Motor poháněl olej z burských oříšků, o pár desítek let později Henry Ford sestavil motor na ethalon z kukuřice. Těžba ropy začala v průběhu 19. století, kdy byl benzin brán jako odpad při výrobě petroleje. Z nadbytku zemědělské produkce se v Československu vyráběl bioethalon. Už od roku 1922 se používal líh v palivu pro pohon zážehových motorů, pohonná látka nesla název dynalkol, který tvořil 50 % kvasného lihu, 30 % benzenu a 20 % benzínu. Z důvodu vysoké produkce v oblasti zemědělství a s příznivými ohlasy motorů se v roce 1932 schválil Zákon o povinném mísení lihu s pohonnou látkou zákon č. 85 Sb. ze dne 7. 6. 1932 a vládním nařízením č. 127 Sb. ze dne 22. 7. 1932, který nařizoval povinnost přimíchávat 20 % lihu k běžnému benzínu. Tato lihobenzínová směs zanikla až v roce 1950 zákonem č. 93/1950. Několik projektů koncem 20. století mělo za úkol obnovit využití bioethanolu, jeden z hlavních příčin byl roční přebytek obilovin ve výši 1,2 mil. tun. Konec konců plán nevyšel, až v roce 2007 schválení zákona č. 180/2007 Sb. který zavedl povinné nízkoprocentuální přimíchávání

biopaliv do fosilních pohonných látek. Jeden z programů, jenž podporoval ethanol nesl název Próalcool. Byl zaveden roku 1970 v Brazílii, která se podílela včetně s USA na produkci převyšující 80 % po celém světě. MĚŘO neboli methylester řepkového oleje se začal rozvíjet koncem devadesátých let 20. století. Projekt byl pojmenován „Olejoprogram“, vypomáhal s technologií pro výrobu a rozšíření nepotravinářské zemědělské půdy. Téhož období se uplatnilo palivo SMN 30 (minimální přídavek 30 % MĚŘO a motorové nafty), palivo bylo osvobozeno od spotřební daně, postupem času se kvalita tohoto paliva zlepšovala a rozvíjela. [1]

2.2 DRUHY A ROZDĚLENÍ BIOPALIV

Rozdělení podle skupenství:

- Tuhá
- Kapalná
- Plynná

Tuhá biopaliva začleňují dřevo v různých formách (dřevěné štěpky, pelety a brikety z dřevního odpadu, kusové dřevo – polena a piliny. Kromě palivového dřeva je zde zahrnuta sláma a seno v podobě briket a pelet. Tudiž se jedná o pevný organický nefosilní materiál biologického původu, který lze použít jako palivo pro výrobu elektřiny a tepla. Vytváření probíhá pyrolýzou, to znamená fyzikálně-chemickým dějem, působením teploty na odpadní produkty, za účelem překročení jejichž mezí chemické stability. Během procesu zplyňování není zahrnutý kyslík, oxidačním „prostředníkem“ bývá CO_2 a H_2O . [29]

Převážně dochází k úpravě tvaru pro snadnější manipulaci a skladovatelnost. Paliva se rozdělují do dvou důležitých složek, hořlavá a nehořlavá. Přičemž nehořlavá, která se skládají z vody a popelovin, zásadně ovlivňují výhřevnost. Procentuální obsazení vody se liší podle materiálu (0 až 60 %, existují výjimky) a stářím. Vyskytují se dva různé stavy vody v palivu, jednak ve volné podobě (odloučení materiálu prochází odkapáním filtrací) a ve tvaru vázané (sušením). [29]

Kapalná biopaliva se vyskytují za normálních podmínek v kapalném stavu. Zhotovená z biologicky rozložitelného dílku odpadu, nebo z biomasy. Běžně se třídí do několika skupin:

- Alkoholová biopaliva (bioethanol, biomethanol, butanol)
- Biooleje (rostlinný olej, bionafta)
- Zkapalněná plynná biopaliva (bioplyn, dřevoplyn)
- Odpadní produkty

Absolutní většinu využití těchto paliv převládá dopravní průmysl, díky rozsáhlé infrastruktuře. Nejrozšířenější skupinou zahrnující alkoholová biopaliva, přednostně bioethanol. Plodinou jsou rostliny s vyšším obsahem škrobu a sacharidů. Přimícháváním do fosilního paliva se zvyšuje odolnost vůči samovznícení, kvůli vyššímu oktanovému číslu biopaliva. Země s nejrozsáhlejším zužitkováním jsou Brazílie a USA, jejich celková produkce ve světě činí 80 %. [1]

Plynná biopaliva se nachází v plynném stavu, při nichž jsou přepravována, uskladňována a zpracována pro energetické využití. Významní představitelé jsou bioplyny, složené z methanu a oxidu uhličitého, dřevoplynu z CO , vodíku a biovodíky (získaný štěpením). Produkce je kvašením nebo zplyňováním biomasy. [30]

Rozdělení podle generací:

- 1. generace
- 2. generace
- 3. generace
- 4. generace

BIOPALIVO PRVNÍ GENERACE

Biopaliva první generace pochází převážně z různých spotřebních potravin, jež jsou uzpůsobené svými vysokými přírůsky škrobu, cukru a oleje.

- Škrobnaté plodiny – pšenice, kukuřice, ječmen, žito a další obilniny
- Cukernaté plodiny – cukrová řepa, cukrová třtina
- Olejnaté plodiny – palma olejná, řepka olejká, slunečnice, jatropha

Z většiny se jedná o jedlé zemědělské plodiny, které by se mohly přínosněji uplatnit zejména v suchých a chudších regionech, za krmičným a potravinářským účelem. Jelikož existuje řada analýz, že dočasná výroba a doprava biopaliv první generace, nemá takový očekávaný potenciál ke snižování emisí skleníkových plynů i jejich výdělečnost za jednotku rozlohy není postačující. Budoucnost je nyní ve zkoumání a bádání v nejedlé plodině ke snížení produkce uhlíkových emisí a zvýšení energetického výnosu. [31]

BIOPALIVO DRUHÉ GENERACE

Velkou zásadní změnou při výrobě biopaliv druhé generaci oproti první je výchozí surovina. Všechny plodiny jsou z nepotravinářské biomasy.

- Dřeviny (vrba, topol)
- Travniny (ozdobnice čínská, proso prutnaté)
- Řasy a zemědělské odpadní zdroje

Výhodou těchto surovin je odolnost, nevyžadují žádná další hnojení ani namáhavé pěstování, které by se mělo odvíjet s menší produkcí emisí. [31]

BIOPALIVO TŘETÍ GENERACE

Biopaliva 3. generace jsou založena na modifikovaných řasách, ke svému růstu potřebují pouze CO₂, živiny, vodu a sluneční světlo. Díky stále rostoucím cenám fosilních paliv, se zvedá zájem o pěstování řas. Jednou z mnoha výhod je, že jsou biologicky rozčlenitelné a poměrně neškodné životnímu prostředí. Můžou se sklízet vícekrát ročně, kvůli rychlému vývoji a nespécifickému období růstu. Až sedmkrát více energie vyprodukují na 1 akr než etalon z kukuřice, který je současně podstatným zřídlem biopaliv. Palivo se stále technologicky rozvíjí a předpokládá se dohledný výsledek ve vývojových společnostech zabývajících se touto problematikou. [32] [33]

BIOPALIVO ČTVRTÉ GENERACE

Tyto biopaliva jsou teprve ve zkušební a evoluční fázi. Kombinace geneticky upravených surovin se syntetizovanými mikroorganismy s nízkým obsahem ligninu a celulózy, čímž se zdokonalují výrobní procesy z minulých generací, a tak dochází ke snižování produkci emisí. Pro rostoucí řasy bylo zjištěno, že jejich hodnoty s vyšším obsahem oleje (lipidy), závisí na délce růstu a druhu řas. Využitím nanotechnologie při produkci pohonných hmot, lze docílit

zvyšováním účinnosti a snížení výrobních výdajů. Častá odlišnost oproti předchozích generacích je kombinace různých technologií při výrobě, zatímco biomasa u druhé generace zachycuje CO₂ během svého růstu, u čtvrté generace se emise CO₂ zachycuje ve všech fázích pomocí kyslíkových paliv. [32]

2.3 CHARAKTERISTIKA A VÝROBA BIOPALIV

Výchozí suroviny pro výrobu bioethanolu zahrnují jednoduché cukry, škrob a celulózu. Tato biomasa lze zařazovat do tří základních skupin: [1]

- Biomasa obsahující jednoduché cukry (cukrová řepa, cukrová třtina)
- Biomasa obsahující škrob (obiloviny, brambory, kukuřice)
- Lignocelulózová biomasa (sláma, rychle rostoucí dřeviny, odpad biologického původu)



Obr. 2 Výchozí suroviny pro výrobu bioethanolu [34]

2.3.1 BIOETHANOL

Bioethanol patří do nejvýznamnější skupiny biopaliv dnešní doby, jedná se o obnovitelný zdroj energie v pohonných látkách. Uplatňuje se zejména v dopravním odvětví, kde je přimícháván do benzínu. Důležitým poznatkem poměru složení je písmeno E, jenž značí procentuální hodnotu bioethanolu. Příkladem je palivo s názvem „BA 95“, jedná se o bezolovnatý benzín s označením E5, který stanovuje zahrnutí biosložky pěti procent. Jedním z pozitivních parametrů je vysoké oktanové číslo, u paliva E85 se číselný údaj pohybuje až na 109. [35] Tato vlastnost vyjadřuje hodnotu odolnosti paliva proti samozápalu, při kompresi ve válci motoru. Největším problémem je nízká hmotnostní výhřevnost, viz tab.3, se srovnáním automobilovým benzínem nebo motorovou naftou, důsledkem je vyšší spotřeba paliva až o 30 %. Pro používání bioethanolu ve vznětových motorech, je nezbytně nutná adaptace motoru, biosložky s podporou vznícení, zvýšení kompresního poměru na 23, i více, a zvýšení dávky paliva. [1]

Tab. 2 Produkční potenciál výroby bioethanolu pro různé suroviny [1]

Surovina	Produkční potenciál bioethanolu [l/t]	Surovina	Produkční potenciál bioethanolu [l/t]
Sladký čirok	60	Cassava	180
Cukrová třtina	70	Ječmen	250
Cukrová řepa	110	Pšenice	340
Brambory	110	Kukuřice	360
Batata	125	Rýže	430
Celulózová biomasa	280		

Nejvíce rozsáhlou zemí, která se podílí z velké části na výrobě biopaliva je Brazílie, jejich výchozí plodina je cukrová třtina. Vzápětí je USA, jejichž prioritní surovinou je kukuřice. V České republice k produkci bioethanolu je využívána cukrová řepa a obilí. Biomasa nesoucí název lignocelulózová mají přívětivé předpoklady stát se hlavní plodinou za vývojem bioethanolu. Odhadem se činí až 492 miliard litrů ročně, což odpovídá 16x větší, než je doposud hodnota výroby. Za tohoto rozvoje a předpokladů by měla rýžová sláma lpět jako největším zdrojem suroviny. [1]

VÝROBA BIOETHANOLU Z BIOMASY OBSAHUJÍCÍ JEDNODUCHÉ CUKRY

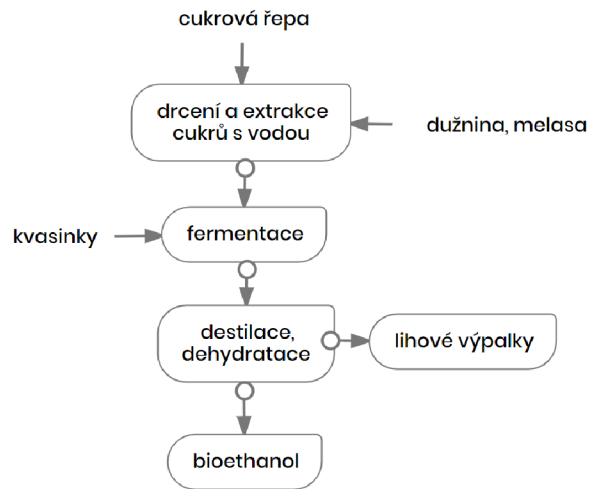
Nejjednodušší proces výroby z cukrové řepy nebo třtiny. Plodiny obsahující sacharózu, jenž se přemění (dle rov. (2.1)) na jednoduché cukry.



Úvodem fáze jsou suroviny rozmělněny, oddělí se cukry pomocí vypírky vodou, pokračuje proces kvašení ve fermentoru, při kterém vznikají sacharidy, v následujícím stádiu jsou zkvašovány (rov. (2.2)) kvasinkami na oxid uhličitý a bioethanol. Ze zpracování se hromadí odpady melasa a dužnina.



Finální fází je proces destilace následována rafinací. Efektem je tzv. rafinovaný bioethanol, tvořen 4,5 % vodou. Z tohoto důvodu se ještě provede metoda na odvodnění. Nejběžnější metodou je molekulární síta (zeolity). Postup výroby je schematicky znázorněn na obr. 3. [1]



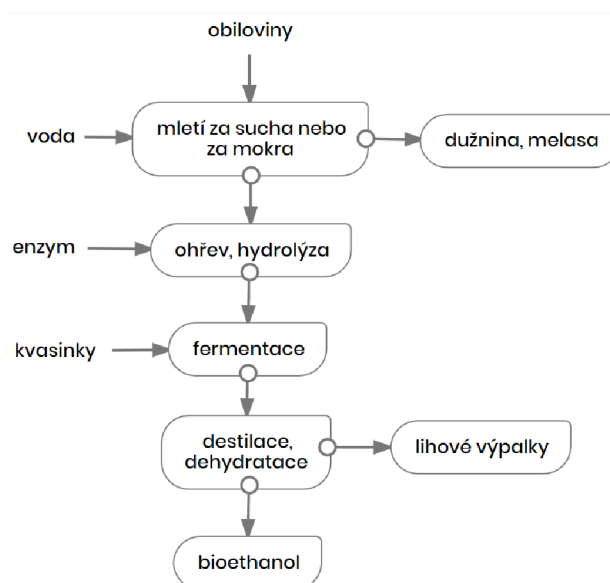
Obr. 3 Blokové schéma výroby bioethanolu z biomasy [1]

VÝROBA BIOETHANOLU Z BIOMASY OBSAHUJÍCÍ ŠKROB

Škrob je získáván ze zrna obilovin, začátkem etapy je mletí a drcení zrna, za sucha nebo mokra. Následujícím stádiem je příprava zápar, dochází k bobtnání a zmazovatění zrn škrobu. Ten se poté převádí na zkvasitelný sacharid (glukózu) viz rov. (2.3).



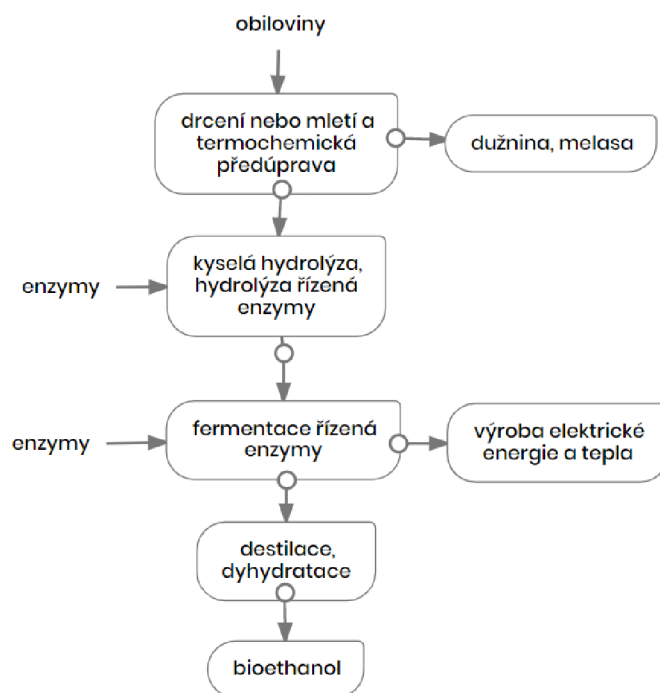
Nastává stupeň kvašení ve fermentoru a konečné etapy úpravy (destilace a dehydratace), jenž se identicky podobá výrobě bioethanolu z biomasy obsahující jednoduché cukry. Postup je schematicky znázorněn na obr. 4. [1]



Obr. 4 Blokové schéma výroby bioethanolu z biomasy obsahující škrob [1]

VÝROBA BIOETHANOLU Z LIGNOCELULÓZOVÉ BIOMASY

Výroba je nejkomplicovanější ze všech tří metod. Proces začíná hydrolýzou lignocelulózové biomasy na jednoduché fermentovatelné cukry, surovina se musí rozmělnit drcením anebo mletím, poté následuje termochemická předúprava, usnadnění k enzymům a kyselině. Vytváření jednoduchých cukrů. Závěrem je zahrnuta mnohonásobná částečná destilace a posledním krokem dehydratace bioethanolu. Schematický postup je znázorněn na obr. 5. [1]



Obr. 5 Blokové schéma výroby bioethanolu z lignocelulózové biomasy [1]

DEFINICE VLASTNOSTÍ PALIV

Výhřevnost – stanovuje množství získané energie při spálení jednoho kilogramu paliva. [38, str. 82]

Teoretická spotřeba vzduchu – udává hmotnostní poměr mezi palivem a vzduchem, příkladem je benzín, který potřebuje ke svému ideálnímu spalování (ke vzdušnému součiniteli = 1) 14,7 kilogramů vzduchu a 1 kilogram paliva. Chemicky se tento pojem nazývá „stechiometrický poměr“. [38, str. 87]

Oktanové číslo (OČ) – vyjadřuje odolnost paliva proti detonačnímu spalování (klepání motoru) při kompresi ve válci motoru. Je to jedna z nejzákladnějších parametrů pohonných látek pro benzínové motory. [2, str.9]

Cetanové číslo (CaČ) – vlastnost paliva snadno vzplanout a hořet u vznětových motorů. Nízká hodnota je příčinou pomalejšímu zahřívání, komplikovaným startem motoru a zvýšené riziko tvorby úsad, které znehodnocují kvalitu motorového oleje. [2, str.12]

Tab. 3 Základní parametry bioethanolu, automobilového benzínu a motorové nafty [1]

Parametr		Bioethanol	Automobilový benzín	Motorová nafta
Hustota	g.cm^{-3}	0,79	0,73	0,84
Výhřevnost hmotnostní	MJ.kg^{-1}	26,80	44,03	42,50
Výhřevnost objemová	MJ.dm^{-3}	21,17	32,3	35,70
Teoretická spotřeba vzduchu	Kg/kg paliva	9,00	14,70	14,90
Oktanové číslo	-	107	95	-
Cetanové číslo	-	8	-	45-55

ZÁKLADNÍ POROVNÁNÍ FOSILNÍCH PALIV S BIOPALIVY POJETÍM SPALOVÁNÍM

Prvním srovnáním je ethalon s automobilovým benzínem. Obnovitelné palivo se potýká s nižší výhřevností, při spálení 1 kg paliva se uvolní méně energie, tudíž se zvyšuje spotřeba paliva, zejména v nízkých otáčkách. Pozitivními vlastnostmi je rychlejší hoření a vyšší oktanové číslo, díky této vlastnosti je odolnější palivo vůči samozápalu, zásluhou tohoto atributu je schopno, aby pohonná látka pracovala s větším kompresním poměrem, což vede ke zvýšení účinnosti motoru. V předchozí tabulce jsou stanovené parametry vlastností těchto paliv (tab. 3). [37]

Následujícím porovnáním je MEŘO a motorová nafta. MEŘO má nepatrnou nižší hmotnostní výhřevnost, která se činí poklesem výkonu o přibližně 5 % a nárůstu spotřeby paliva okolo 4 %. Podstatný zvrat je ve snížení kouřivosti motoru kolem 50 %, nastává zvýšení produkce NO_x , zbylé emise zastávají stejnou podílnou hodnotu. Nadcházející potíže se startovatelností motoru za nízkých teplot. Palivo zahrnuje čistící vlastnosti a je nezbytné zvyšovat pozornost k častější výměně palivových a olejových filtrů (tab. 4). [1]

2.3.2 METHYLESTER ŘEPKOVÉHO OLEJE

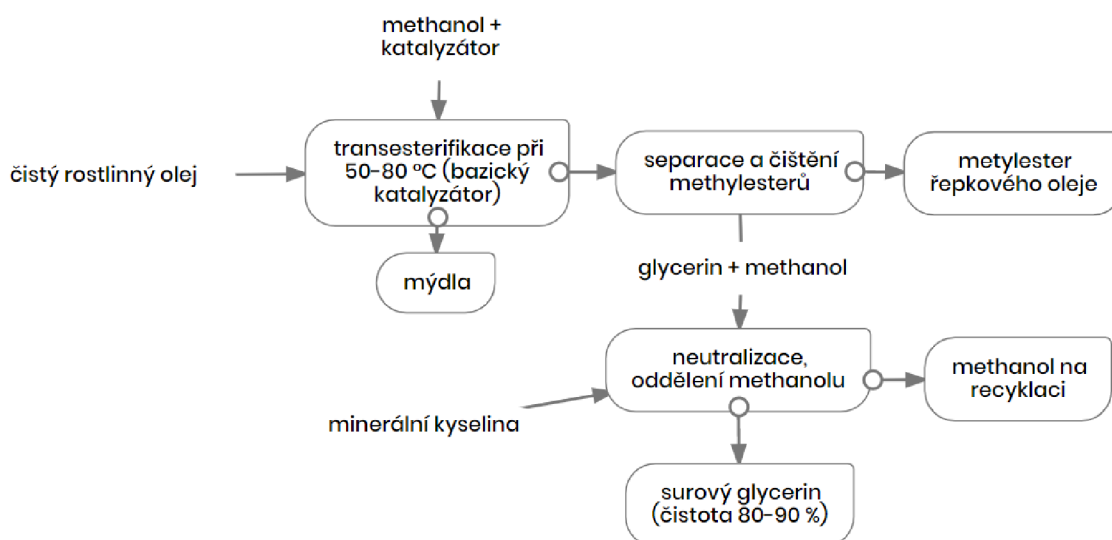
Pro výrobu biopaliva se používá řepkový olej, jedná se o nejrozšířenější rostlinný olej v České republice i v Evropě. Z produkce se získává methylester řepkového oleje zkráceně MEŘO. Dostává kladné hodnocení, díky jeho základním parametrům (viz tab.4), kde není radikální změna ve srovnání s motorovou naftou. I když zahrnuje vysokou výhřevnost, ztrácí na motorovou naftu několik jednotek ze svých atributů, to se projevuje nižším výkonem a zvýšenou spotřebou paliva. K úpravám vznětových motorů na přechod MEŘO, dochází zcela výjimečně. S tímto výrazem se v zahraničí lze setkat pod označením RME (Rapes Methylester). Podle odrůdy oleje rozlišujeme zkratkami několik základních methylesterů: [1]

RME	(Rapes-Methyl-Ester)	methylester řepkového oleje MEŘO
SME	(Sunflower-Methyl-Ester)	methylester slunečnicového oleje

SOME	(Soya-Methyl-Ester)	methylester ze sojových bobů
FAME	(Falty-acid-Methyl-Ester)	methylester mastných kyselin
VUOME	(Vaste Used Oil-Methyl-Ester)	methylester z použitých fritovacích olejů

VÝROBA METHYLESTERU ŘEPKOVÉHO OLEJE

Začátkem procesu ve velkých zpracovatelských podnicích se olej lisuje za tepla při teplotě 90 stupňů Celsia. Úvodem první etapy je lisování nepřetržitými šnekovými lisy, což má dočinení zisku 50 % obsahu oleje. Dále jsou k extraktoru přepravovány výlisky, při které se pomocí organických rozpouštědel získá většina oleje a rozpouštědlo se recykluje. Získaný olej se musí rafinovat z obsahu příměsí. Zbytkovým produktem se rozumí tzv. filtrační koláč, obsahuje řadu proteinů, a tak jeho uplatnění se využívá jako krmení. U menších podniků se lisuje za studena, odpadá nutnost rafinace a odpady se zužitkují v podobě směsi krmných přísadků. [1]



Obr. 6 Blokové schéma výroby methylesteru řepkového oleje [1]

Zásadní modifikace při použití methylesteru řepkového oleje do vznětového motoru s přímým vstřikem jsou následující: [1]

- 1) Změna parametrů motoru (snížení výkonu o 5 %, úbytek kouřivosti až o 50 % a nárůst paliva o 4%)
- 2) Zvýšení emisí (nárůst NO_x)
- 3) Dřívější výměna motorových olejů až o polovinu z původních doporučení
- 4) Zhoršení startovatelnosti motoru za nízkých teplot

Tab. 4 Porovnání MEŘO s motorovou naftou [1]

Parametr		Motorová nafta	Methylester	Řepkový olej
Kinematická viskozita [$\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$]	-25 °C	5-30		300
	0 °C	3-14	10	180-220
	20 °C	2-8	6,3-8,1	65-100
	100 °C	0,7	1,7	6-8
Výhřevnost hmotnostní [$\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$]		42,5	37,1-40,7	37,4
Výhřevnost objemová [$\text{MJ} \cdot \text{dm}^{-3}$]		35,7	32,7	34,4
Cetanové číslo		45	54-55	35-50
Bod vzplanutí [°C]		Min. 55	130	330-350
Bod tuhnutí [°C]		-12-0	-7	-18-0

2.4 Kladné a záporné dopady biopaliv

Mezi primární předností biopaliv patří snížení produkce skleníkových plynů, značně je to ovlivněno náročností procesu výroby, kdy se uskuteční správný technologický postup a výběrem korektní energetické plodiny. Jinak se může efektivita těchto paliv projevit neziskově s tvorbou emisí. Podstatným úspěchem tohoto koloběhu hraje fotosyntéza. Jakákoliv rostlina během svého růstu odebírá oxid uhličitý ze vzduchu, naopak v průběhu celého procesu transformace na palivo a spalování jejich množství narůstá. Podílem a porovnáním hodnot je tak možné stanovit definitivní rozhodnutí o efektivnosti. [4]

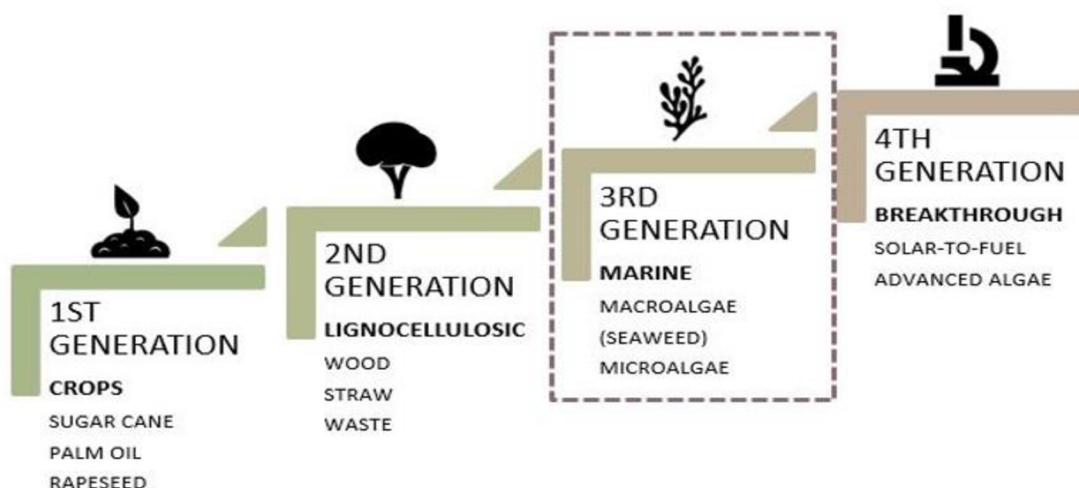
Biopaliva náleží k obnovitelným zdrojům energie, to značí o přísunu nekonečné energie, opakem jsou neobnovitelné zdroje energie, příkladem fosilní paliva, jenž se neobnovují a při jejich spalování dochází ke změně klimatu. V současnosti se biopaliva závazně přimíchávají k benzínu a naftě, i když jen několika procenty. Při zvýšení využití by se měla snížit vázanost importované ropy a usměrňovat prodej. Jejichž cena náhle vzroste z důvodu stávajícího spotřebování. [4]

Dalšími výhodami jsou využitkování přebytků obilovin a rozšíření počtu volných pracovních pozic v oboru zemědělství a lesnictví, díky zintenzivnění výroby a zužitkování rolnické půdy, nicméně by neměla produkce razantně snižovat výnos potravin, obzvláště chudobným zemím. Ze zemědělského hlediska tyto energetické plodiny zabírají velké části plochy. Příkladem je Brazílie, která poráží rozlehlá území pralesů v tropických oblastech a jsou nahrazena plantážemi cukrové třtiny, za účelem zásobování jednotlivých států biopalivem. Ze série vědeckých analýz je známo, že lesy eventuálně pralesy dokážou absorbovat mnohonásobně větší množství oxidu uhličitého než pole s cukrovou třtinou. Z tohoto důvodu se nekompromisně snižuje nadcházející splnění představy o uhlíkové neutralitě z Pařížské dohody. [4]

Při aplikování paliva s vyšším procentem biosložky se převážně starší vozidla uchylují k řadě nuceným úprav motoru a k častějším výměnám oleje. Tak se mohou majitelé příslušných vozidel setkat s neočekávanou finanční investicí do svých dopravních prostředků. U bionafty dochází k menší snášenlivosti s těsnícími materiály, zanášení vstřikovacích trysek, snížení výkonu a nárůstu paliva. [4]

SHRNUTÍ POZNATKŮ

Biopaliva se potýkají s nižší výhřevností paliva oproti fosilním, především je rozdílností ovlivněný bioethanol, důsledkem této vlastnosti paliva se zvětšuje spotřeba a snižuje výkon motoru. Z hlediska úsilí snížení produkce skleníkových plynů jsou tyto hypotézy velmi rozporuplné. Každá vhodná surovina pro výrobu obnovitelných paliv, má svou vlastní ekologickou náročnost, během procesu tvorby a nelze posuzovat všechny stejně. Přínosnými výsledky se jeví bioethanol z cukrové třtiny, který za vhodných předpokladů, by mohl mít nižší produkci negativních plynů ve srovnání s benzinem. Protikladem je získání bionafty z řepky, jenž působí velmi nevýnosně ke kritériím udržitelnosti a úspor emisí skleníkových plynů.



Obr. 7 Rozdělení biopaliv podle generací[36]

3 LEGISLATIVA

KJÓTSKÝ PROTOKOL

Kjótský protokol je mezinárodní dohoda k Rámcové úmluvy OSN o klimatických změnách, byl podepsán 11. prosince 1997 v japonském Kjótu. Země, které přijaly smlouvu se zavázaly ke snížení emisí skleníkových plynů nejméně o 5,2 % ve srovnání se situací v roce 1990. Samotná platnost protokolu nastala dne 16. února 2005, poté co jej přijalo Rusko a obě stanovené podmínky byly splněny. První kontrolní období bylo vymezené od roku 2008-2012. Ke konci roku 2012 bylo schváleno pokračování protokolu a druhé kontrolní období předepsáno od roku 2013-2020, kde se EU a jejich členské státy zavazují ke snížení skleníkových plynů o 20 % s porovnáním roku 1990. [26]

Protokol se zabývá redukcí emisí o šesti skleníkových plynů:

- Oxid uhličitý (CO₂)
- Methan (CH₄)
- Oxid dusný (N₂O)
- Hydrofluoruhlodíky (HFC)
- Polyfluorovodíky (PFC)
- Fluorid sírový (SF₆)

Nástupce Kjótského protokolu má být Pařížská dohoda, jejím cílem je udržení nárůstu průměrné globální teploty pod hranicí 2 °C, ČR jako člen EU bude mít za úkol snížit do roku 2030 emise skleníkových plynů o nejméně 40 % s výchozím rokem 1990. [18]

3.1 SMĚRNICE A ZÁKONY

- Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2003/30/ES ze dne 8. května 2003 o podpoře užívání biopaliv nebo jiných obnovitelných pohonných hmot v dopravě

Cílem této směrnice pro členské státy je dosažení na trh minimálního procenta biopaliv a jiných obnovitelných pohonných hmot. Každý výrobce pohonných hmot, musel povinně přimíchávat do motorového benzínu a nafty procenta biopaliv. Referenční hodnota pro tento záměr činí 2 % do 31. prosince 2005 a 5,75 % do 31. prosince 2010. Každá jednotlivá země EU si mohla určit svůj vlastní poměr. [20]

V České republice se provedla novela prostřednictvím zákona č.180/2007 Sb., který pozměnil zákon č. 86/2002 Sb., o ochraně ovzduší. Zákon nařizuje povinné přimíchávání biopaliv do motorového benzínu a nafty v podílech: [21]

- od 1. ledna 2008 ve výši 2 % objemových z celkového množství motorových benzínů přimíchaných do motorových benzínů,
- od 1. září 2007 ve výši 2 % objemových z celkového množství motorové nafty přimíchaných do motorové nafty,
- od 1. ledna 2009 ve výši 3,5 % objemových z celkového množství motorových benzínů přimíchaných do motorových benzínů,

- od 1. ledna 2009 ve výši 4,5 % objemových z celkového množství motorové nafty přimíchaných do motorové nafty.
- 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

Nařizuje členům EU, aby zajistili z obnovitelných zdrojů 20 % podílu energie EU a 10 % podílu energie v odvětví dopravy. [22]

V České republice jako člen EU se schválil zákon č. 172/2010 Sb. kterým se mění č. 86/2002 Sb., o ochraně ovzduší. Změna zákona stanovuje zvýšení minimálního procenta přimíchávání biopaliv do motorového benzínu a nafty. Od 1. června 2010 ve výši 4,1 % bioethanolu a ve výši 6 % bionafty. [23]

- Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2015/1513 ze dne 9. září 2015, kterou se mění směrnice 98/70/ES o jakosti benzínu a motorové nafty a směrnice 2009/28/ES o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů

Novější směrnice EU nezvyšuje ani neodebírání procentuální podíl přimíchaných biosložek do fosilních paliv. Ale klade na jednotlivé členy Evropské unie, že mohou maximálně využívat 7 % biopaliva z první generace. Zbývající tři procenta mohou představovat elektromobilitou, alternativním pohonem nebo biopalivem druhé generace. [24]

- Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2018/2001 ze dne 11. prosince 2018 o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů

Článek 29

Kritéria udržitelnosti a úspor emisí skleníkových plynů pro biopaliva, biokapaliny a paliva z biomasy

1. *Energie z biopaliv, biokapalin a paliv z biomasy se zohlední pro účely uvedené v písmenech a), b) a c) tohoto pododstavce, pouze pokud splňují kritéria udržitelnosti a kritéria úspor emisí skleníkových plynů stanovená v odstavcích 2 až 7 a 10:*

2. *Biopaliva, biokapaliny a paliva z biomasy na bázi odpadů a zbytků nikoli z lesnictví, nýbrž ze zemědělské půdy, se zohlední pro účely uvedené v odst. 1 prvním pododstavci písm. a), b) a c) pouze tehdy, pokud provozovatelé nebo vnitrostátní orgány mají zavedeno sledování nebo plány řízení s cílem řešit dopady na kvalitu půdy a uhlík v půdě. Informace o tom, jak jsou dopady sledovány a jak je s nimi nakládáno, se podávají podle čl. 30 odst. 3.*

7. *Biopaliva, biokapaliny a paliva z biomasy na bázi lesní biomasy zohledněné pro účely uvedené v odst. 1 prvním pododstavci písm. a), b) a c) musí splňovat následující požadavky týkající se využívání půdy, změny ve využívání půdy a lesnictví (LULUCF):*

a) země nebo organizace regionální hospodářské integrace původu lesní biomasy:

i) je smluvní stranou Pařížské dohody;

ii) předložila Rámcové úmluvě Organizace spojených národů o změně klimatu (UNFCCC) vnitrostátně stanovený příspěvek zahrnující emise a pohlcování emisí ze zemědělství, lesnictví a využívání půdy, jež zaručuje, že změny v zásobě uhlíku spojené s těžbou biomasy jsou započteny do závazku dané země ke snížení nebo omezení emisí skleníkových plynů, jak je uvedeno ve vnitrostátně stanoveném příspěvku; nebo

iii) má na celostátní nebo nižší úrovni v souladu s článkem 5 Pařížské dohody zavedeny právní předpisy použitelné v oblasti těžby, jejichž cílem je zachovat a posílit zásoby uhlíku a propady, a poskytne důkaz o tom, že vykazované emise odvětví LULUCF nepřekračují pohlcení;

b) nejsou-li důkazy podle písmene a) k dispozici, zohlední se biopaliva, biokapaliny a paliva z biomasy na bázi lesní biomasy pro účely uvedené v odst. 1 prvním pododstavci písm. a), b) a c), existují-li na úrovni lesnické oblasti získávání surovin systémy hospodaření, které zajišťují, že jsou dlouhodobě zachovány nebo dlouhodobě posíleny zásoby uhlíku nebo úrovně propadů v daném lese.

10. Úspora emisí skleníkových plynů z využití biopaliv, biokapalin a paliv z biomasy zohledněných pro účely uvedené v odstavci 1 musí činit:

a) alespoň 50 % u biopaliv, bioplynu spotřebovaného v odvětví dopravy a biokapalin vyráběných v zařízeních, jež byla v provozu 5. října 2015 nebo dříve;

b) alespoň 60 % u biopaliv, bioplynu spotřebovaného v odvětví dopravy a biokapalin vyráběných v zařízeních, jejichž provoz byl zahájen od 6. října 2015 do 31. prosince 2020;

c) alespoň 65 % u biopaliv, bioplynu spotřebovaného v odvětví dopravy a biokapalin vyráběných v zařízeních, jejichž provoz byl zahájen od 1. ledna 2021;

d) alespoň 70 % v případě výroby elektřiny, vytápění a chlazení z paliv z biomasy používaných v zařízeních, jejichž provoz byl zahájen od 1. ledna 2021 do 31. prosince 2025, a 80 % u zařízení, jejichž provoz byl zahájen od 1. ledna 2026. [25]

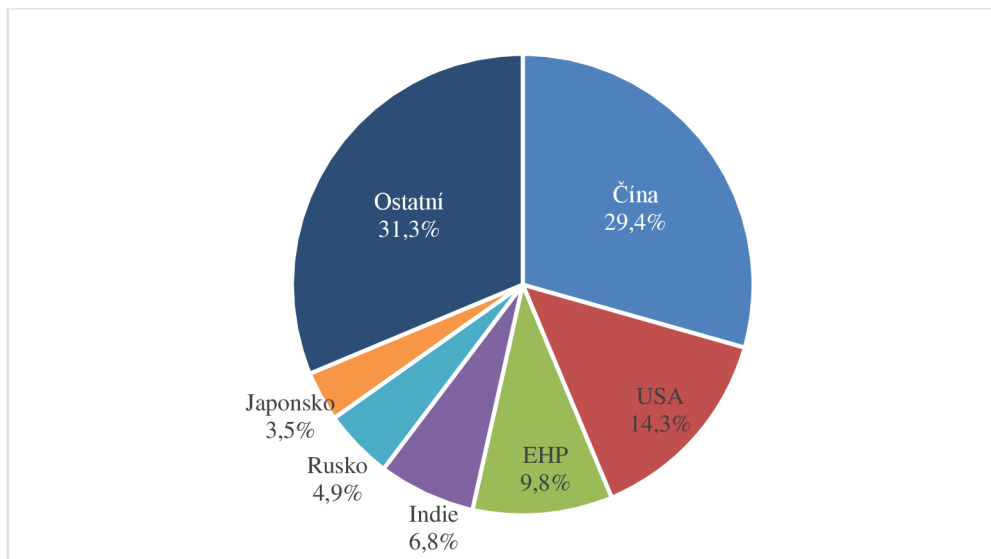
Přílohou směrnice Evropského parlamentu a rady (EU) 2018/2001 ze dne 11. prosince 2018 o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů jsou také standardizované hodnoty pro pěstování, zpracování, přepravu a distribuci. V tab. 5 je zastoupeno několik vybraných biopaliv. Podle jejich souhrnných hodnot vykazuje etalon z cukrové třtiny jako nejekologičtější obnovitelné palivo z hlediska náročnosti výroby. [25]

Tab. 5 Rozložené standardizované hodnoty pro biopaliva [25]

Způsob výroby biopaliva	Emise skleníkových plynů – standardizovaná hodnota (g CO ₂ eq/MJ)			
	Pěstování	Zpracování	Přeprava a distribuce	Souhrnné hodnoty
Etanol z řepy cukrové (procesní palivo zemní plyn)	9,6	26,3	2,3	38,2
Etanol z kukuřice (procesní palivo zemní plyn)	25,5	29,1	2,2	56,8
Etanol z obilovin jiných než kukuřice (procesní palivo zemní plyn)	27	29,3	2,2	58,5
Etanol z cukrové třtiny	17,1	1,8	9,7	28,6
Bionafta z řepky	32	16,3	1,8	50,1
Bionafta ze slunečnice	26,1	16,5	2,1	44,7

3.2 PAŘÍŽSKÁ DOHODA

Pařížská dohoda je globální dohoda v okruhu Rámcové úmluvy OSN o změně klimatu. Záměrem smlouvy je omezení emisí skleníkových plynů po roku 2020. Dohoda byla ujednána každými 195 smluvními stranami a akceptována 12. prosince 2015 v Paříži, navazuje na Kjótský protokol. Se srovnáním s Kjótským protokolem se jedná o obsáhlejší a pečlivější podmínky k realizaci. Důležité změny pojednávají o zahrnutí států celého světa, nikoliv pouze bohatých zemí s největší produkcí škodlivých emisí a pomoci chudším příslušníkům, kteří si nemůžou dovolit změny s globálním podnebím a to finanční podporou ve výši 100 miliard dolarů ročně od bohatších a rozvinutějších států, příkladem je Čína. Úmluva vstoupila do právoplatnosti 4. listopadu 2016, kdy nastalo 30 dní poté, jak 55 zemí s minimálními 55 % souhrnné tvorby emisí, daly konečný souhlas s mezinárodní dohodou. Závěrečným členem EU, která podepsala smlouvu se stala Česká republika. [18]



Graf. 4 Největší producenti CO₂ na Zemi [18]

Evropská unie se upsala ke snížení skleníkových plynů o 40 % do roku 2030 s komparací z 1990, akceptovala podíl obnovitelných zdrojů na 27 % do stejného roku a oznamovací záměr redukce spotřeby energie o 27 %. Hlavním účelem dohody je zachování průměrné globální teploty zřetelně pod mezí 2 °C a námaze, aby nedošlo ke zvýšení teploty s hranicí 1,5 °C na rozdíl od hodnot průmyslové revoluce. Rizikem jsou ostrovní a suché státy, kde mohou být následky tragické. Druhým významným krokem je přezkoumávání výsledků každého člana po pěti letech, zda své plány plní, nebo alespoň má nakročené správným směrem. Dohoda pojednává o tzv. uhlíkové neutralitě, kdy bude vznikat takové množství skleníkových plynů, že samotná Země bude takový počet schopna pohltit od druhé poloviny 21. století, ale tento cíl je zatím velmi nejednoznačný. První významnou odstupující zemí úmluvy je USA, aby mohli vystoupit je stanovená minimální doba od ratifikace 3 roky. Americký prezident Donald Trump poskytl několik činitelů ve prospěch tohoto rozhodnutí. Hlavními faktory jsou narušení ekonomiky, snížení počtu pracovních míst a brždění rozvoji několika průmyslů. [18] [19]

4 VÝPOČTOVÉ POROVNÁNÍ POTENCIÁLU PALIV

Cílem teoretického výpočtu je stanovení fyzikálních a výkonnostních parametrů zážehového motoru a vzájemné porovnání výsledků obou paliv. Pro motor o výkonu $P_e = 12,80$ kW, při otáčkách $n = 2000$ min⁻¹, pracuje s celkovou účinností $\eta_c = 0,25$. Teplota vzduchu je 25 °C.

Úkolem prvního zadání bylo zjistit pro motorový benzín:

- hodinovou spotřebu paliva, při $H_u = 44$ MJ/kg
- sekundové průtočné množství vzduchu, $\lambda = 1$; $L_{vt} = 14,7$ kg/kg
- zdvihový objem motoru; $\eta_d = 0,82$
- efektivní tlak p_e
- mechanickou účinnost motoru, je-li střední indikovaný tlak $p_i = 0,84$ MPa
- točivý moment motoru M_t a měrnou spotřebu paliva m_{pe} v uvedeném režimu.

Hodinová spotřeba paliva

$$P_e = \frac{M_p}{3600} H_u \eta_c \quad [39, \text{str.12}] (4.1)$$

$$M_p = \frac{P_e}{H_u \eta_c} 3600$$

$$M_p = \frac{12,80 \cdot 10^3}{44 \cdot 10^6 \cdot 0,25} 3600 = 4,19 \text{ kg/hod}$$

P_e - efektivní výkon motoru

M_p - hodinová spotřeba paliva

H_u - výhřevnost paliva

η_c - celková účinnost tepelného motoru

Sekundové průtočné množství vzduchu

$$\lambda = \frac{M_v}{M_p L_{vt}} \quad [39, \text{str.35}] (4.2)$$

$$\dot{m}_v = \lambda \cdot \dot{m}_p L_{vt}$$

$$\dot{m}_v = 1 \frac{4,19}{3600} 14,7 = 17,1 \text{ g/s}$$

λ – součinitel přebytku vzduchu

\dot{m}_v – hmotnostní tok vzduchu do motoru

L_{vt} - teoretické množství vzduchu

Zdvihový objem motoru

$$\dot{m}_v = V_{ZM} \cdot \rho_{vz} \frac{n}{120} \eta_d \quad [39, \text{str.58}] (4.3)$$

$$V_{ZM} = \frac{\dot{m}_v \cdot 120}{\rho_{vz} \cdot n \cdot \eta_d}$$

$$V_{ZM} = \frac{120 \cdot 17,1 \cdot 10^{-3}}{1,184 \cdot 2000 \cdot 0,82} = 1,05 \text{ dm}^3$$

V_{ZM} – zdvihový objem motoru

ρ_{vz} – hustota vzduchu [17]

n – otáčky motoru

η_d – dopravní účinnost

Efektivní tlak

$$p_e = \frac{P_e \cdot 120}{V_{ZM} \cdot n} \quad [39, \text{str.22}] (4.4)$$

$$p_e = \frac{12,8 \cdot 10^3 \cdot 120}{1,05 \cdot 10^{-3} \cdot 2000} = 0,73 \text{ MPa}$$

p_e – efektivní tlak

Mechanická účinnost motoru

$$\eta_m = \frac{p_e}{p_i} \quad [39, \text{str. 23}] (4.5)$$

$$\eta_m = \frac{0,72}{0,84} = 0,85$$

η_m – mechanická účinnost

p_i – střední indikovaný tlak

Točivý moment motoru

$$P_e = 2\pi n \cdot M_t \quad [39, \text{str. 22}] (4.6)$$

$$M_t = \frac{P_e}{2\pi n} 60 \cdot 10^3$$

$$M_t = \frac{12,8}{2\pi 2000} 60 \cdot 10^3 = 61,11 \text{ Nm}$$

M_t – točivý moment motoru

π – Ludolfovo číslo

Měrná spotřeba paliva

$$m_{pe} = \frac{M_p}{P_e} 1000 \quad [39, \text{str. 23}] (4.7)$$

$$m_{pe} = \frac{4,19}{12,8} 1000 = 327,3 \text{ g/kWh}$$

m_{pe} – měrná spotřeba paliva

Úkolem druhého zadání bylo zjistit pro ethanol (E100):

- hodinovou spotřebu paliva, při $H_u = 26,8 \text{ MJ/kg}$
- sekundové průtočné množství vzduchu, $\lambda = 1$; $L_{vt} = 9,0 \text{ kg/kg}$
- zdvihový objem motoru; $\eta_d = 0,82$
- efektivní tlak p_e
- mechanickou účinnost motoru, je-li střední indikovaný tlak $p_i = 0,84 \text{ MPa}$
- točivý moment motoru M_t a měrnou spotřebu paliva m_{pe} v uvedeném režimu.

Hodinová spotřeba paliva

$$P_e = \frac{M_p}{3600} H_u \cdot \eta_c \quad [39, \text{str. 12}] (4.8)$$

$$M_p = \frac{P_e}{H_u \cdot \eta_c} 3600$$

$$M_p = \frac{12,80 \cdot 10^3}{26,8 \cdot 10^6 \cdot 0,25} 3600 = 6,87 \text{ kg/hod}$$

Sekundové průtočné množství vzduchu

$$\lambda = \frac{M_v}{M_p L_{vt}} \quad [39, \text{str. 35}] (4.9)$$

$$\dot{m}_v = \lambda \cdot \dot{m}_p \cdot L_{vt}$$

$$\dot{m}_v = 1 \frac{6,87}{3600} 9 = 17,2 \text{ g/s}$$

Zdvihový objem motoru

$$\dot{m}_v = V_{ZM} \cdot \rho_{vz} \frac{n}{120} \eta_d \quad [39, \text{str. 58}] (4.10)$$

$$V_{ZM} = \frac{\dot{m}_v \cdot 120}{\rho_{vz} \cdot n \cdot \eta_d}$$

$$V_{ZM} = \frac{120 \cdot 17,2 \cdot 10^{-3}}{1,184 \cdot 2000 \cdot 0,82} = 1,06 \text{ dm}^3$$

Efektivní tlak

$$p_e = \frac{P_e \cdot 120}{V_{ZM} \cdot n} \quad [39, \text{str.22}] (4.11)$$

$$p_e = \frac{12,8 \cdot 10^3 \cdot 120}{1,06 \cdot 10^{-3} \cdot 2000} = 0,72 \text{ MPa}$$

Mechanická účinnost motoru

$$\eta_m = \frac{p_e}{p_i} \quad [39, \text{str. 23}] (4.12)$$

$$\eta_m = \frac{0,72}{0,84} = 0,85$$

Točivý moment motoru

$$P_e = 2\pi n \cdot M_t \quad [39, \text{str. 22}] (4.13)$$

$$M_t = \frac{P_e}{2\pi n} 60 \cdot 10^3$$

$$M_t = \frac{12,8}{2\pi 2000} 60 \cdot 10^3 = 61,11 \text{ Nm}$$

Měrná spotřeba paliva

$$m_{pe} = \frac{M_p}{P_e} 1000 \quad [39, \text{str. 23}] (4.14)$$

$$m_{pe} = \frac{6,87}{12,8} 1000 = 536,7 \text{ g/kWh}$$

Z měření lze zaznamenat vysokou rozdílnost hodnot měrné spotřeby paliva. Biopalivo E100 se potýká s nízkou výhřevností a ze základních teoretických vztahů je nepochybně očekávat zvýšenou spotřebu. Aby se hranice odlišnosti výsledků zredukovala, pracuje palivo s vyšším kompresním poměrem, který je důsledkem oktanového čísla.

Závěrem teoretických výpočtů je grafická závislost celkové účinnosti motoru na stupni komprese, kde biopaliva s vysokým oktanovým čísle nabývají na potenciálu.

Zadané hodnoty:

Chemická účinnost $\eta_{CH} = 0,97$, součinitel plnosti diagramu $\eta_{PL} = 0,65$, mechanická účinnost $\eta_m = 0,85$, Poissonův poměr $\kappa = 1,4$, při volitelné kompresi.

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{\kappa-1}} \quad [39, \text{str. 15}] (4.15)$$

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{5^{1,4-1}} = 0,47$$

η_t – teoretická účinnost

ε – kompresní poměr

κ – Poissonova konstanta

$$\eta_i = \eta_{CH}\eta_t\eta_{PL} \quad [39, \text{str. 21}] (4.16)$$

$$\eta_i = 0,97 \cdot 0,47 \cdot 0,65 = 0,29$$

η_{CH} – chemická účinnost

η_{PL} – součinitel plnosti oběhu

η_i – indikovaná účinnost

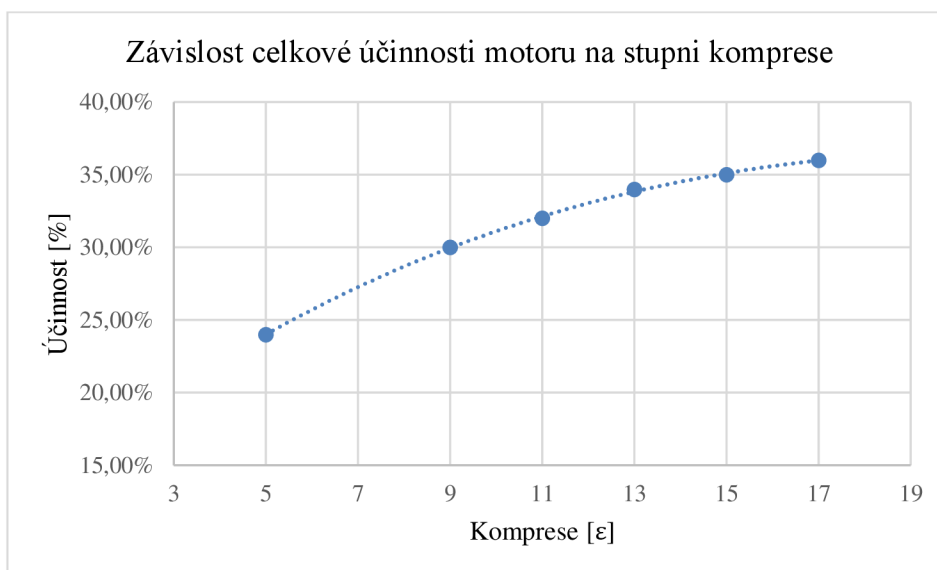
$$\eta_c = \eta_i\eta_m \quad [39, \text{str. 22}] (4.17)$$

$$\eta_c = 0,29 \cdot 0,85 = 0,24$$

η_c – celková účinnost motoru

Tab.6 Hodnoty účinností pro zvolený kompresní poměr

Kompresní poměr	Teoretická účinnost [-]	Celková účinnost [-]
5	0,47	0,24
9	0,58	0,30
11	0,61	0,32
13	0,64	0,34
15	0,66	0,35
17	0,68	0,36



Graf. 5 Závislost účinnosti pro daný kompresní poměr

Z grafické závislosti (graf. 5) roste účinnost motoru na zvětšování kompresního poměru nelineárně, paliva s antidetonačními schopnostmi mají pozitivní přínos pro navýšení výkonnostních parametrů.

5 PRAKTICKÁ ZKOUŠKA MĚŘENÍ

Zkušebním motorem byl aplikován Škoda 1.0 MPI. Pro porovnání výsledků měření byla použita dvě paliva. Automobilový benzín BA 95 a biopalivo E100.

5.1 POPIS MĚŘÍCÍ TECHNIKY

Testovací motor a ovládací pracoviště se vyskytují v samostatných místnostech.

POPIS MOTORU ŠKODA 1.0 MPI

Zkoušejícím motorem se stal zážehový čtyřválec, chlazený kapalinou s rozvodem OHV (Over Head Valve). Ventily umístěné v hlavě válců a ocelová kovaná vačková hřídel, která je hnána od klikové hřídele ozubenými koly a dvouřadým řetězem, situovaná v bloku motoru. Motor i hlava bloku jsou zhotoveny ze stejného materiálu z hliníkové slitiny. Vstřikování benzínu je vícebodové (MPI – Multi Point Injection), každému válci náleží jeden nebo více vstřikovacích ventilů. Motor je opatřený třicestným řízeným katalyzátorem a lambda sondou.

Tab.7 Technické parametry motoru

Kód motoru:	ARV
Zdvihový objem:	997 cm ³
Vrtání/zdvih:	72/61,2 mm
Kompresní poměr:	10:1
Počet ventilů na válec:	2
Pořadí zapalování:	1-3-4-2
Výkon při 5000 min ⁻¹	37 kW
Točivý moment při 2750 min ⁻¹	84 Nm
Vstřikovací a zapalovací soustava:	Simos 3PB
Lambda regulace:	1 lambda sonda
Katalyzátor:	1 třicestný katalyzátor



Obr.8 Motor Škoda 1.0 MPI

VÍŘIVÝ DYNAMOMETR V125

Dynamometr neboli „dyno“ se uplatňuje k simulaci silniční jízdy nebo ke stanovení točivého momentu a otáček (RPM). Kromě toho nachází uplatnění i v řadě dalších úloh. [16]

Princip činnosti:

Vířivá brzda využívá pro vytvoření brzdných účinků vířivé proudy uzavřené nakrátko v tělese magnetického obvodu. Rotor je z oceli a má tvar ozubeného kola. Na statoru je budicí cívka, kterou protéká stejnosměrný proud, jenž budí v magnetickém obvodu magnetický tok. Rotor se otáčí v magnetickém poli statoru a vlivem střídání zubu a mezery rotoru se mění magnetický odpor magnetického obvodu a tím i magnetický tok. Změna magnetického toku způsobuje indukování napětí v magnetickém obvodu, v důsledku čehož začnou obvodem protékat vířivé proudy. Působením vířivých proudů se vytvoří brzdný moment, přičemž velikost tohoto momentu je říditelná změnou proudu v budicí cívce. Energie vířivých proudů je dána energií, která je dodána zkoušenou pohonnou jednotkou, a mění se v tělese magnetického obvodu vířivé brzdy na teplo. K odvodu tohoto tepla musí být vířivá brzda vybavena účinným chladičím systémem. [15]

Tab.8 Parametry vířivého dynamometru V125 [5]

Výkon [kW]	4,2	125	125
Točivý moment [Nm]	134	478	150
Otáčky [min ⁻¹]	300	2500	8000
Moment setrvačnosti [kg.m ²]	0,4		
Hmotnost [kg]	550		
	Měřicí rozsahy	Přesnost [%]	
Moment [Nm]	0 ÷ 500	0,5	
Otáčky [min ⁻¹]	0 ÷ 8000	0,2	



Obr.9 Vířivý dynamometr V125 [5]

5.2 DETONAČNÍ HOŘENÍ ZÁŽEHOVÉHO MOTORU

Cílem měření bylo zjištění kroutícího momentu, výkonu motoru a při jakých hodnotách předstihu zážehu začne docházet k detonačnímu spalování.

Podmínky měření:

- otáčky motoru byly stanovené ke 2000 min^{-1}
- zátěž motoru na 50 %
- vzdušný součinitel $\lambda = 1$

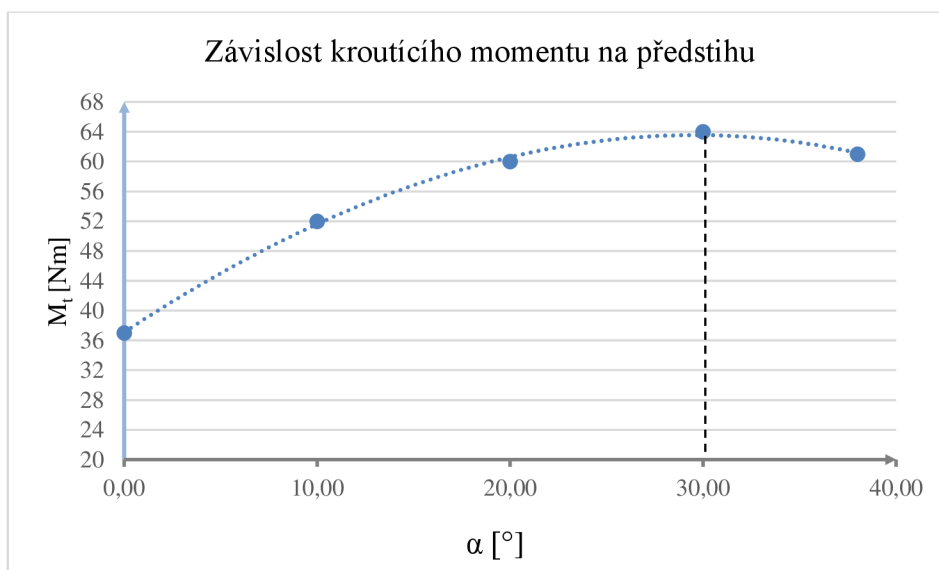
Naměřené hodnoty pro automobilový benzin:

Tab. 9 Hodnoty úhlu předstihu a výkonnostních parametrů u paliva BA 95

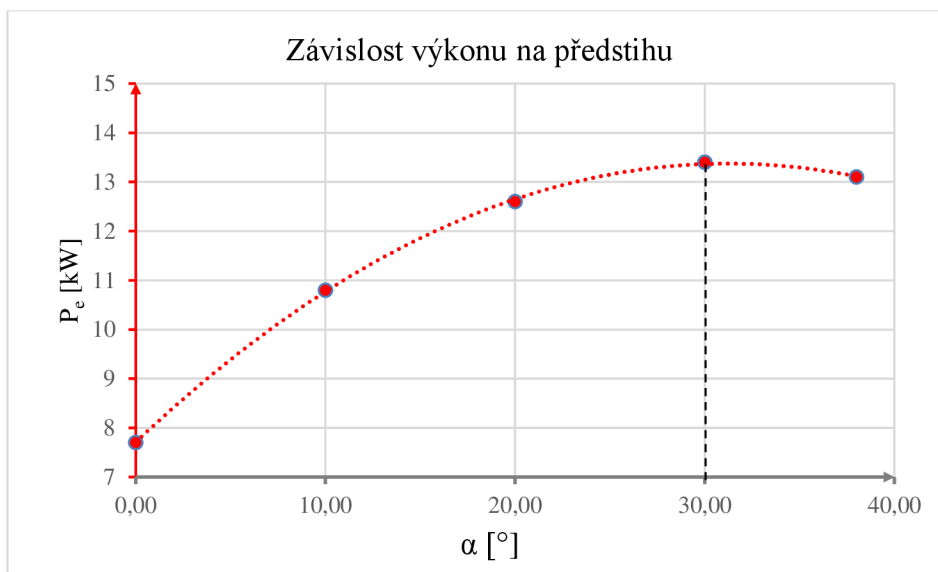
α	M_t	P_e	$t_{\text{výfuk}}$	t_{vzduchu}
°	Nm	kW	°C	°C
0,00	37	7,70	740	20,00
10,00	52	10,80	730	21,00
20,00	60	12,60	685	22,00
30,00	64	13,40	648,00	23,00
38,00	61,00	13,10	625,00	23,00

← Detonační spalování

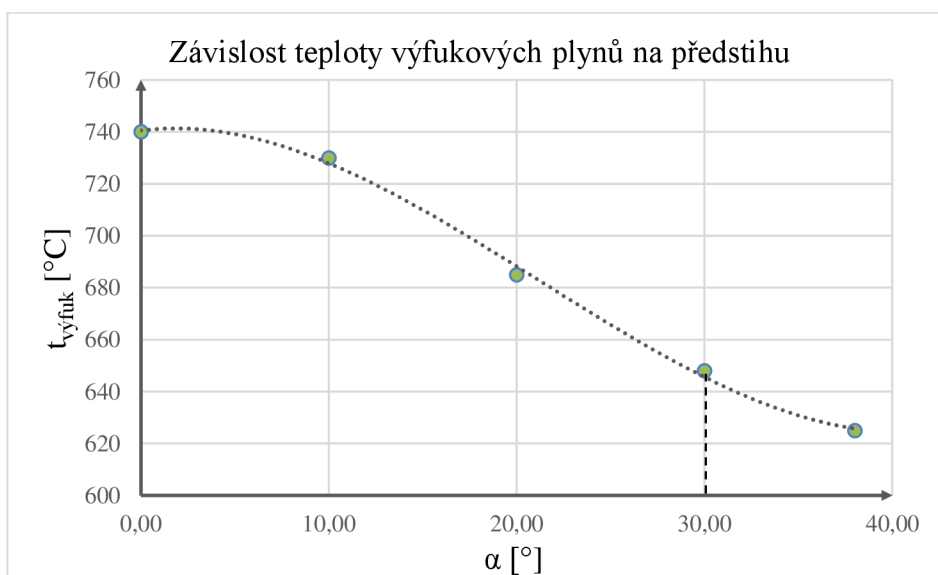
Grafické závislosti pro palivo (BA 95):



Graf. 6 Závislost kroutícího momentu na předstihu (BA 95)



Graf. 7 Závislost výkonu na předstihu (BA 95)



Graf. 8 Závislost teploty výfukových plynů na předstihu (BA 95)

Vyhodnocení měření (BA 95):

U automobilového benzínu se začalo projevovat detonační hoření po 30 ° předstihu zážehu. Z grafických závislostí (graf.6,7), lze konstatovat, že nejlepším využitím paliva je těsně před hranicí detonačního spalování. Proto automobiloví konstruktéři usilují o nejpřesnější zužitkování těchto zjištěných poznatků a zábrany k samočinnému zapalování.

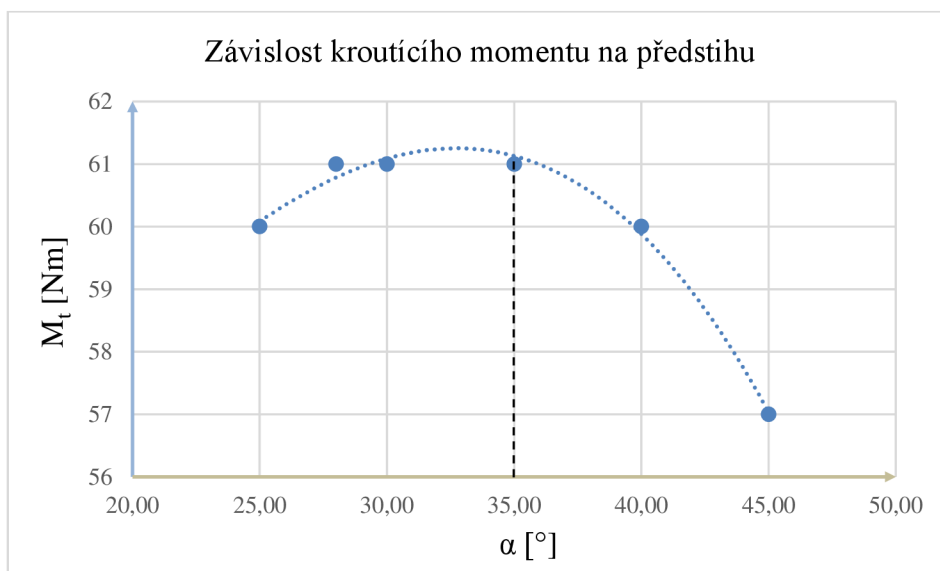
Naměřené hodnoty pro bioethanol:

Tab. 10 Hodnoty úhlu předstihu a výkonostních parametrů u paliva E100

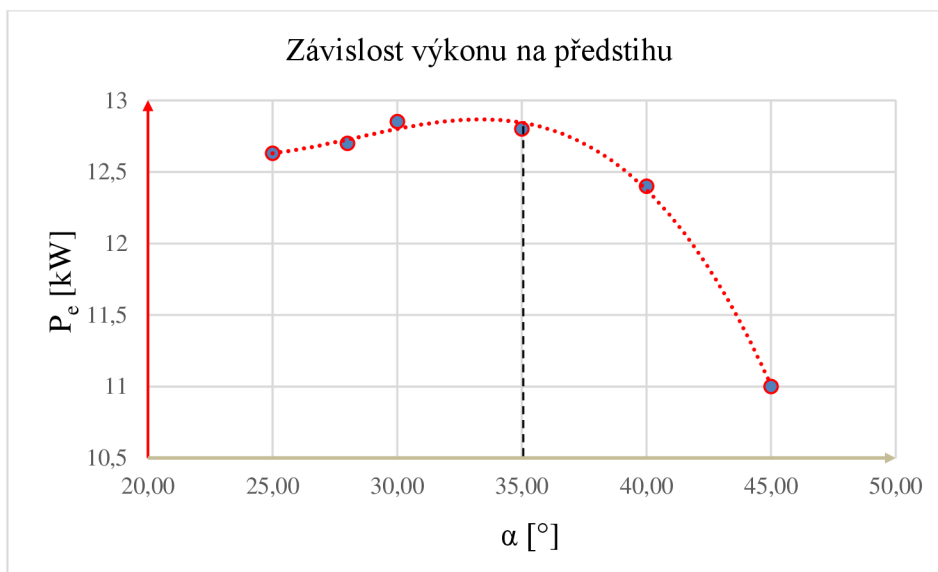
α	M_t	P_e	$t_{\text{výfuk}}$	t_{vzduchu}
°	Nm	kW	°C	°C
25,00	60	12,63	663	27,00
28,00	61	12,70	654	28,00
30,00	61	12,85	647	28,00
35,00	61	12,80	636	28,00
40,00	60	12,40	621	28,00
45,00	57	11,00	610	28,00

← Detonační spalování

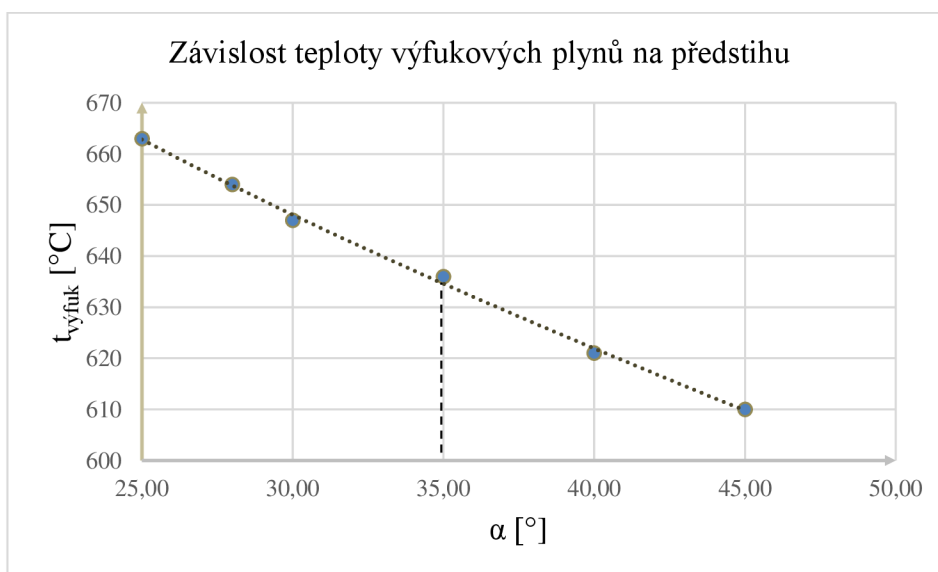
Grafické závislosti pro palivo (E100):



Graf. 9 Závislost kroučícího momentu na předstihu (E100)



Graf. 10 Závislost výkonu na předstihu (E100)



Graf. 11 Závislost teploty výfukových plynů na předstihu (E100)

Zhodnocení výsledku:

U měření paliva E100 se zlepšila odolnost vůči samočinnému zapalování. Detonace se začaly projevovat až po 35 ° úhlu předstihu zážehu, zásluhou je vyšší oktanové číslo. Vlivem vysokého předstihu se snižuje teplota výfukových plynů, zážehový motor dokáže pracovat s větším kompresním poměrem a získat potenciál pro biopalivo v celkové účinnosti motoru.

ZÁVĚR

Hlavním úkolem této bakalářské práce je porovnání vlastností biopaliv a využití jejich parametrů ke zvýšení účinnosti motoru. Automobilová doprava zažívá největší vzestup od samého počátku. I přes přísné normy se nedaří produkci emisí skleníkových plynů snižovat, z důvodu neovladatelné rostoucí mobility. Přednostním aspektem hledáním alternativního paliva je klesající množství zásob ropy. Potenciálním přínosem k poklesu závislosti na dovozu ropy jsou biopaliva, která náleží k obnovitelným zdrojům energie. V rámci Evropské unie se povinně přimíchávají do fosilních zdrojů minimálním souhrnným podílem 10 %.

Zásluhou Brazílie nás pravděpodobně čeká rozvinutí bioethanolu u zážehových motorů a zvýšením jeho obsahu v motorovém benzínu. Z hlediska rozvinutí ethanolu by nastal problém s nedostatečným zásobováním. Převážně je výroba tvořena ze surovin první generace, které vypomáhají s užitkováním přebytečných zemědělských surovin. I když dochází během jejich spalování ke snížení produkce emisí skleníkových plynů, nepůsobí tak enviromentálně, jak by se očekávalo. Důležitým faktorem je volba vhodné suroviny k náročnému výrobnímu procesu k dosažení pozitivních výsledků. Tvorba biopaliv z druhé generace je mnohem šetrnější k životnímu prostředí vůči první generaci.

Praktická část práce zahrnuje porovnání předstihu zážehu bioethanolu s tradičním benzínem, z pohledu výkonnostních parametrů. Bioethanol se řadí mezi paliva s nízkou výhřevností, jeho hlavním potenciálem je odolnost proti samočinnému zapalování. Dokáže pracovat s vyšším kompresním poměrem. Vlivem antidetonační schopnosti se posouvá hranice předstihu zážehu, tímto záměrem docílíme nižší teploty výfukových plynů a využití této ambice k účinnosti motoru.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] HROMÁDKO, Jan. *Speciální spalovací motory a alternativní pohony: komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol*. Praha: Grada, 2012. ISBN 978-80-247-4455-1.
- [2] JAN, Zdeněk a Bronislav ŽDÁNSKÝ. *Automobily, Příslušenství (4)*. 3. vydání. Brno: Avid, 2010, 9,12. ISBN 978-80-87143-16-2.
- [3] PAPPAS, Stephanie. What is global warming? <https://www.msn.com/en-gb> [online]. 20/02/2020 [cit. 2020-05-01]. Dostupné z: <https://www.msn.com/en-gb/weather/topstories/what-is-global-warming/ar-BB10cChm>
- [4] RŮŽIČKA, Tomáš. *Biopaliva, jejich potenciál, pozitiva a negativa*. Univerzita Pardubice, 2010. Diplomová práce. Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera. Vedoucí práce Ivo Drahotský.
- [5] BERAN, Martin. *Optimalizace provozních režimů zážehového motoru*. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství, 2008. Diplomová práce. Vedoucí práce David Svída.
- [6] Greenhouse effect. <https://www.environment.gov.au: Department of Agriculture, Water and the Environment> [online]. [cit. 2020-05-02]. Dostupné z: <https://www.environment.gov.au/climate-change/climate-science-data/climate-science/greenhouse-effect>
- [7] Důsledky změny klimatu: Opatření v oblasti klimatu. <https://ec.europa.eu> [online]. [cit. 2020-05-03]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/clima/change/consequences_cs
- [8] Příčiny změny klimatu: Opatření v oblasti klimatu. <https://ec.europa.eu> [online]. [cit. 2020-05-04]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/clima/change/causes_cs
- [9] Oxid uhličitý: Wikipedie. https://cs.wikipedia.org/wiki/Hlavní_strana [online]. [cit. 2020-05-06]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Oxid_uhličitý
- [10] Emise CO₂ z aut: fakta a čísla (infografika). *Zpravodajství* [online]. 25.03.2019 [cit. 2020-05-10]. Dostupné z: <https://www.europarl.europa.eu/news/cs/headlines/society/20190313STO31218/emise-co2-z-aut-fakta-a-cisla-infografika>
- [11] *Snižovat emise CO₂: Cíle a opatření EU* [online]. 16.04.2018 [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: <https://www.europarl.europa.eu/news/cs/headlines/priorities/zmeny-klimatu/20180305STO99003/snizovat-emise-co2-cile-a-opatreni-eu>
- [12] *Snížení emisí skleníkových plynů: národní cíle do roku 2030* [online]. 12.04.2018 [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: <https://www.europarl.europa.eu/news/cs/headlines/priorities/zmeny-klimatu/20180208STO97442/snizeni-emisi-sklenikovyh-plynu-narodni-cile-do-roku-2030>

- [13] *Změna klimatu: využití eropských lesů k vyrovnání uhlíkových emisí* [online]. 19.07.2017 [cit. 2020-05-02]. Dostupné z: <https://www.europarl.europa.eu/news/cs/headlines/priorities/zmeny-klimatu/20170711STO79506/zmena-klimatu-vyuziti-eropskych-lesu-k-vyrovnani-uhlikovych-emisi>
- [14] *Nová auta budou ekologičtější. Poslanci schválili přísnější limity emisí CO2* [online]. 28.09.2018 [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: <https://www.europarl.europa.eu/news/cs/headlines/society/20180920STO14027/nova-auta-budou-ekologictesi-poslanci-schvalili-prisnejsi-limity-emisi-co2>
- [15] NOVÁK, Jaroslav. *Dynamometr na vířivé proudy a jeho regulace* [online]. [cit. 2020-05-20]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/dynamometr-na-virive-proudy-a-jeho-regulace--14869>
- [16] *Dynamometer* [online]. [cit. 2020-05-22]. Dostupné z: <https://cs.qwe.wiki/wiki/Dynamometer>
- [17] BUREŠ, Jiří. *Vzduch: Převody jednotek, fyzikální tabulky, životopisy fyziků a Nobelova cena. ConVERTER* [online]. 2002 [cit. 2020-06-10]. Dostupné z: <http://www.converter.cz/tabulky/vzduch.htm>
- [18] Pařížská dohoda. *Wikipedie: Otevřená encyklopedie* [online]. [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Pařížská_dohoda
- [19] Spojené státy odstupují od Pařížské dohody o ochraně klimatu. *Novinky* [online]. 1.6.2017 [cit. 2020-06-03]. Dostupné z: <https://www.novinky.cz/zahranicni/amerika/clanek/spojene-staty-odstupuji-od-parizske-dohody-o-ochrane-klimatu-40035552>
- [20] *Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2003/30/ES ze dne 8. května 2003 o podpoře užívání biopaliv nebo jiných obnovitelných pohonných hmot v dopravě: Úř. věst. L 123, 17.5.2003, s. 42—46* [online]. [cit. 2020-05-11]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX:32003L0030&qid=1558361356003>
- [21] *Zákon č. 180/2007 Sb.: Zákon, kterým se mění zákon č. 86/2002 Sb., o ochraně ovzduší a o změně některých dalších zákonů (zákon o ochraně ovzduší), ve znění pozdějších předpisů* [online]. 7.6.2007 [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2007-180>
- [22] *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: Úř. věst. L 140, 5.6.2009, s. 16—62* [online]. 23.4.2009 [cit. 2020-05-10]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?qid=1593038792694&uri=CELEX:32009L0028>
- [23] *Zákon č. 172/2010 Sb.: Zákon, kterým se mění zákon č. 86/2002 Sb., o ochraně ovzduší a o změně některých dalších zákonů (zákon o ochraně ovzduší), ve znění pozdějších předpisů* [online]. 29.4.2010 [cit. 2020-05-10]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2010-172>

- [24] *Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2015/1513 ze dne 9. září 2015, kterou se mění směrnice 98/70/ES o jakosti benzínu a motorové nafty a směrnice 2009/28/ES o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů: Úř. věst. L 239, 15.9.2015, s. 1–29 [online]. 9.9.2015 [cit. 2020-05-10]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?qid=1558362384004&uri=CELEX:32015L1513>*
- [25] *Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2018/2001 ze dne 11. prosince 2018 o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů: Úř. věst. L 328, 21.12.2018, s. 82–209 [online]. 11.12.2018 [cit. 2020-05-11]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?qid=1593040145098&uri=CELEX:32018L2001>*
- [26] Kjótský protokol k Rámcové úmluvě OSN o změně klimatu. *Ministerstvo životního prostředí* [online]. 2008 [cit. 2020-05-10]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/kjotsky_protokol
- [27] HROMÁDKO, Jan. *Spalovací motory: komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol*. Praha: Grada, 2011. ISBN isbn978-80-247-3475-0.
- [28] ČTK. *V Česku jezdí víc než šest milionů aut. Průměrné stáří se kvůli dovozům zvyšuje* [online]. 27.4.2020 [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: <https://www.denik.cz/ekonomika/pocet-aut-dovozy2020.html>
- [29] VRÁNOVÁ, Dana. *Využití biomasy pro výrobu biopaliva*. Brno, 2013. Bakalářská práce. Mendelova univerzita v Brně, Agronomická fakulta, Ústav zemědělské, potravinářské a environmentální techniky. Vedoucí práce Zdeněk Konrád.
- [30] Plynné biopalivo. *Wikipedie, otevřená encyklopedie* [online]. [cit. 2020-06-03]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Plynné_biopalivo
- [31] HROMÁDKO, Jan, Jiří HROMÁDKO, Petr MILER, Vladimír HÖNIG a Martin CINDR. *TECHNOLOGIE VÝROBY BIOPALIV DRUHÉ GENERACE [pdf]*. Praha, Technická fakulta, Česká zemědělská univerzita [cit. 2020-05-18]. Dostupné z: http://chemicke-listy.cz/docs/full/2010_08_784-790.pdf
- [32] *Biofuels for a More Sustainable Future: Life Cycle Sustainability Assessment and Multi-Criteria Decision Making* [online]. s. 1-19 [cit. 2020-06-06]. ISBN 978-0-12-815581-3. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/>
- [33] *Biopaliva nové generace se blíží. Řasy jsou sedmkrát účinnější než etanol z kukuřice* [online]. 15.3.2018 [cit. 2020-05-06]. Dostupné z: <https://ct24.ceskatelevize.cz/veda/2419870-biopaliva-nove-generace-se-blizi-rasy-jsou-sedmkrat-ucinnejsi-nez-etanol-z-kukurice>
- [34] Ethanol as a raw material: Ethanol for the environment for over 100 years. In: <https://www.sekab.com/en/> [online]. [cit. 2020-05-20]. Dostupné z: <https://www.sekab.com/app/uploads/2019/07/cellulosa-fornybar-ravara.png>
- [35] *Přestavby palivového systému: Ethanol E85* [online]. [cit. 2020-04-12]. Dostupné z: <https://www.autoservishrusovany.cz/inpage/prestavby-palivoveho-systemu/>

- [36] Opportunities and Risks of Seaweed Biofuels in Aviation. In: <https://bellona.org/> [online]. 7.3.2017 [cit. 2020-05-08]. Dostupné z: <https://bellona.org/publication/opportunities-and-risks-of-seaweed-biofuels-in-aviation>
- [37] KOTEK, Martin, Jan HROMÁDKO a Radim MATUŠŮ. Provozní parametry motoru při provozu na palivo E85. <https://biom.cz/cz/> [online]. 2001 [cit. 2020-05-15]. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/provozni-parametry-motoru-pri-provozu-na-palivo-e85>
- [38] MATĚJOVSKÝ, Vladimír. *Automobilová paliva*. Praha: Grada, 2005, 223 s. : il. ISBN 80-247-0350-5.
- [39] BEROUN, Stanislav. *Vozidlové motory* [pdf]. Liberec, Technická univerzita v Liberci, Fakulta strojní, katedra strojů průmyslové dopravy [cit. 2020-06-11]. Dostupné z: <http://www.kvm.tul.cz/getFile/id:1733> . Studijní texty k předmětu Motorová vozidla.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

H_u	[J·kg ⁻¹]	Výhřevnost paliva
L_{vt}	[kg·kg ⁻¹]	Teoretické množství vzduchu
M_p	[kg·h ⁻¹]	Hodinová spotřeba paliva
M_t	[N·m]	Točivý moment motoru
P_e	[W]	Efektivní výkon motoru
V_{ZM}	[m ³]	Zdvihový objem motoru
\dot{m}_p	[kg·s ⁻¹]	Hmotnostní tok paliva do motoru
m_{pe}	[g·kWh ⁻¹]	Měrná spotřeba paliva
\dot{m}_v	[kg·s ⁻¹]	Hmotnostní tok vzduchu do motoru
p_e	[MPa]	Efektivní tlak
p_i	[MPa]	Střední indikovaný tlak
η_{CH}	[-]	Chemická účinnost
η_{PL}	[-]	Součinitel plnosti oběhu
η_c	[-]	Celková účinnost motoru
η_d	[-]	Dopravní účinnost
η_i	[-]	Indikovaná účinnost
η_m	[-]	Mechanická účinnost
η_t	[-]	Teoretická účinnost
ρ_{vz}	[kg·m ⁻³]	Hustota vzduchu
<i>BA 95</i>		Automobilový benzín natural 95
<i>CaČ</i>		Cetanové číslo
<i>CO</i>		Oxid uhelnatý
<i>CO₂</i>		Oxid uhličitý
<i>ČR</i>		Česká republika
<i>E5</i>		Automobilový benzín natural 95
<i>E85</i>		Směs 85 % etanolu a 15% automobilového benzínu natural 95
<i>ETS</i>		Emission Trading Scheme
<i>EU</i>		Evropská unie
<i>H₂O</i>		Voda
<i>MEŘO</i>		Methylester řepkového oleje
<i>MPI</i>		Multi Point Injection
<i>OČ</i>		Oktanové číslo

<i>OHV</i>		Over Head Valve
<i>OSN</i>		Organizace spojených národů
<i>ppm</i>		Parts per milion – část z milionu (10^{-6})
<i>RPM</i>		Revoluions per minute
<i>SMN</i>		Směs 30 % MEŘO zbytek motorová nafta
<i>t_{výfuk.}</i>	[°C]	Teplota výfukových plynů
<i>t_{vzduchu}</i>	[°C]	Teplota nasávaného vzduchu během měření
<i>USA</i>		Spojené státy americké
α	[°]	Předstih
ε	[-]	Kompresní poměr
κ	[-]	Poissonova konstanta
<i>n</i>	[min ⁻¹]	Otáčky motoru
λ	[-]	Součinitel přebytku vzduchu
π	[-]	Ludolfovo číslo