

Különböző gázolaj-biodízel-metanol keverékek dízelmotor üzemére gyakorolt hatásának vizsgálata

Investigations of the effect of diesel-biodiesel-methanol blends with different volume mixing ratios on operation of a Diesel-engine

Dr. SZABADOS György¹, Dr. Žaglinskis Justas², LUKÁCS Kristóf³, Dr. BERECZKY Ákos⁴

¹ Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki kar, Mechatronika, Optika és Gépészeti Informatika Tanszék, 1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3., szabados.gyorgy@mogi.bme.hu

² Waterborne Transport and Air Pollution Laboratory, Marine Research Institute, Klaipeda University, Universiteto ave. 17, 92294 Klaipeda, Lithuania, waterborne.transport@apc.ku.lt

³ Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki kar, Energetikai Gépek és Rendszerek Tanszék, 1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3., lukacs@energia.bme.hu

⁴ Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki kar, Energetikai Gépek és Rendszerek Tanszék, 1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3., bereczky@energia.bme.hu

Abstract

The surrounding air is increasingly polluted through emission that comes from different sectors, i.e. energy, service, agriculture etc., the transportation sector as well. This is a consequence of increasing energy consumption in the sectors. Bio-based energy may be consumed in an increasing way in the sector until 2050. Methanol is the simplest alcohol and if it is produced on bio-basis, called bio-methanol. Methyl-alcohol contains 30% more inherent oxygen on a molecular base than fossil diesel. The aim of our research was to get a comprehensive overview about the methanol's effect on emission properties of a diesel engine. For our experimental test series, diesel fuel was the base fuel and it has been mixed with biodiesel first, and this mixture has been further blended with methanol. Engine's external parameters have not changed significantly if it is running on blend with methanol. Methanol has rather affected the emission properties of the engine more significantly.

Keywords: Fuel blend of diesel, biodiesel and methanol, Diesel-engine, Emission, Stoichiometry

Kivonat

A környezetünket folyamatosan és egyre nagyobb mértékben szennyezik a különböző szektorokból származó kibocsátások, azaz az energia, a szolgáltatás, a mezőgazdaság stb., valamint a közlekedési szektor. Ez az ágazatok növekvő energia-fogyasztásának következménye. Előrejelzések szerint a megújuló energia 2050-ig egyre nagyobb mértékben kerül felhasználásra az ágazatokban. A metanol a legegyszerűbb alkohol, és ha megújuló bázison állítják elő, akkor bio-metanolnak nevezik. A metil-alkohol 30% oxigént tartalmaz, ellentétben a fosszilis dízellel. Kutatásunk célja az volt, hogy átfogó képet kapjunk arról, hogy milyen hatással van a metanol egy dízelmotor károsanyag-kibocsátási tulajdonságaira. Vizsgálat sorozatunkban a gázolaj volt az alaptüzelőanyag, amelyet először biodízellel kevertünk össze, majd ebbe a keverékbe kevertük a metil alkoholt. A motor külső paraméterei nem változtak jelentősen, ha metanolt is tartalmazó keverékkel üzemelt. A metanol sokkal inkább befolyásolta a motor károsanyag-kibocsátási tulajdonságait.

Kulcsszavak: gázolaj, biodízel és metanol tüzelőanyag keverék, dízelmotor, károsanyag-kibocsátás, sztöchiometria

1. BEVEZETÉS

Minden követelmény, amely a motorokban és más hőerőgépekben felhasznált tüzelőanyagokra érvényes, érvényes a növényi eredetű tüzelőanyagokra is. Ez a kijelentés teljes mértékben úgy igaz, hogy Például a víztartalom, a sűrűség, a viszkozitás stb. enyhén eltérhet az előállítási technológiáknak köszönhetően, mely eltéréseket a szabványok tolerálnak. Az összes ilyen követelménynek való megfelelés vizsgálata, rendkívül nagy vizsgálati terjedelmet jelent. Ebbe beletartozik például a hosszú távú tárolás is. A tárolás során bekövetkező oxidáció megváltoztatja a tüzelőanyag tulajdonságait. Szintetikus antioxidánsokat (pl. butil-hidroxi-toluol, butil-hidroxi-anizol, propil-gallát, stb.) gyakran használnak az oxidáció megakadályozására. Ennek ellenére, az oxidációs folyamat létrejöhet biodízel tüzelőanyagban, ha azt hosszú időn át tárolják [8], és ez megváltoztatja annak fizikai és kémiai tulajdonságait. Az oxidáció következtében a viszkozitás megnő. Ez azért hátrányos, mert a viszkozitás – a sűrűség és a felületi feszültség tulajdonságok mellett – a legfontosabb tulajdonság a befecskendezési folyamatokban, amely közvetlen összefüggésben áll az égés jóságával. Tehát a viszkozitás növekedése csökkenti az égési hatásfokot [2]. Ennek aztán következménye a nagyobb tüzelőanyag-fogyasztás, és emellett lerakódást is okozhat a porlasztóban, tehát károsíthatja azt [2,10]. Ez különösen fontos a mai nagynyomású, elektronikával vezérelt tüzelőanyag-ellátó rendszerek esetében, amelyek szerkezete (kis méretek, nagy pontosságú megmunkálások) érzékeny a tüzelőanyag minőségére és tisztaságára [12]. A káros hatások csökkentése vagy megszüntetése érdekében alkohol hozzáadása a biodízelt is tartalmazó keverékhez vagy tisztán biodízelnél megoldás lehet e problémára. A műszaki alkoholok közül a metanol lehet erre a legalkalmasabb. A metanol felhasználás költsége kisebb, mint az egyéb, a hőerőgépekben szintén felhasználható alkoholoké, pl. etanol, vagy butanol [2,5]. A metanol (metil-alkohol), a molekulát tekintve, tömeg alapon 30% oxigént tartalmaz, ellentétben a fosszilis gázolajjal, amely nem tartalmaz [17]. Ez a kötött oxigén, amely részt is vesz az égési folyamatban, minden károsanyag mennyiségét befolyásolni tudja. Különböző kutatások eredményei [17,18] mutatják, hogy a metanol csökkenti a szén-monoxid és az el nem égett szén-hidrogén kibocsátást, segítheti a hidegindítást, és javíthatja a tüzelési folyamat hatásfokát, ha keverőkomponensként alkalmazzák a gázolaj-biodízel elegyekhez. A metanol fizikai és kémiai tulajdonságait tekintve, inkább a benzinnel hasonló tüzelőanyag, amelynek emiatt dízelmotorban történő felhasználás esetén lehetnek káros hatásai is. Ezek lehetnek a növekvő tüzelőanyag-fogyasztás és a nagyobb NO_x kibocsátás, amelyek például a [17,11] kutatás eredményei. Egy további negatív következmény, hogy gázolajba bekeverés mennyisége korlátos, mert a két anyag nem képez elegyet. Erre megoldás lehet beoldódást segítő adalékok felhasználása, vagy olyan tüzelőanyag elegyek alkalmazása melyek stabil hármasszó elegyet hoznak létre például a nyers növényi olaj, vagy a növényi olajok észterei. A belső égésű motorban történő felhasználása és szűkebben vett értelemben az égési folyamatot befolyásoló fontos fizikai és kémiai tulajdonságait a gázolajnak, a biodízelnél és a metanolnak széleskörben vizsgálták [1,13,21]. A nitrogén-oxid, a szén-monoxid és a szén-hidrogén kibocsátást, a tüzelőanyag-fogyasztást és a motor hatásfok alakulását, továbbá a részecske-releváns kibocsátást is vizsgálták metanol hozzákeveréssel [pl. 4,9]. Ezekben számos kutatási eredmény van, amelyek gyakran egymásnak ellentmondók. A [4] eredményei szerint a gázolajhoz hozzákevert biodízel és metanol (15 V/V %) javította az emissziós eredményeket, beleértve a NO_x koncentrációt, valamint a motor termikus hatásfokát a tisztán gázolajos üzem eredményeihez képest. Más kutatók, [6,14] szerzői előbbiekkal ellentétes eredményeket kaptak, ha metanolt kis bekeverési arányokkal keverték (5–20 V/V %) gázolajhoz. Az motor által kibocsátott füstgáz NO_x mennyisége megnövekedett ahhoz képest, amikor ugyanaz a motor csak gázolajjal üzemelt. Ez érvényes volt a motor teljes nyomaték-fordulatszám tartományára. Számos további tanulmány található, amely az ökológiai és energetikai jellemzőket vizsgált metil-alkoholt is tartalmazó tüzelőanyag-keverékek esetében, amelyeket dízelmotorban hasznosítottak. Néhány tanulmány foglalkozik a vizsgált motor égésterében lejárló folyamatokkal, mint pl. hengertér nyomás vagy hőfelszabadulás. A metanolnak kicsi a cetánszáma, kisebb, mint 5 [-] [18,3,7,19,22,26], amelynek eredménye, hogy gázolajba keveréssel az üzemelő motorban a gyulladási idő nő, a tiszta gázolajhoz képest [16,20]. Egyúttal növeli a csúcsnyomás, a nyomásemelkedés és a hőfelszabadulás értékét. Egy átfogó tanulmány [15] foglalkozik a metanol gyártásával, és dízelmotorban történő felhasználásával, a hatékonyság és biztonság technikai szempontokból is. Az eredményeik szerint a metanol nagy potenciállal rendelkezik a dízelmotoros felhasználás szempontjából.

Kísérleti kutatásunk célja az volt, hogy megvizsgáljuk, hogy a metanol, hogyan befolyásolja a vizsgált dízelmotor üzemi paramétereit, ha gázolaj-biodízel keverékhez egy harmadik keverőkomponensként adjuk hozzá. A cikk terjedelmi korlátai miatt az eredményeket teljeskörűen bemutatni nem tudjuk, ezért csak a legfontosabbnak ítélt eredményeket közöljük.

2. A METANOL, MINT TÜZELŐANYAG

A metanol az alkoholok kémiai sorában a legkisebb szénatomszámú, melynek főbb fizikai jellemzőit az 1. táblázat mutatja be. A kisebb cetánszám, kinematikai viszkozitás, fűtőérték és sűrűség miatt, melyek az égés befolyásoló legfontosabb paraméterek, tehát gázolajhoz, biodízelhez történő hozzákeveréssel égés folyamatának, paramétereinek megváltozása várható.

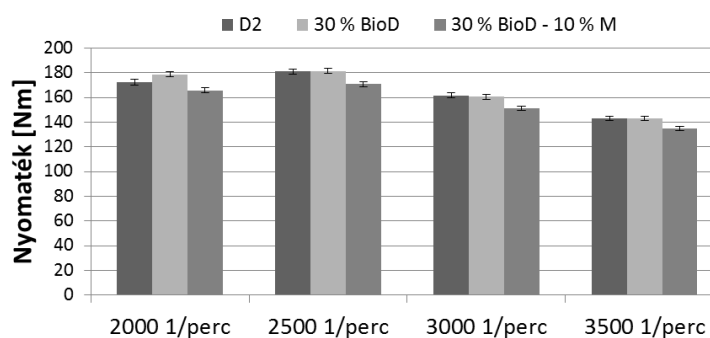
A metanol nem képez stabil elegyet a gázolajjal (EN 590), ezért erre a célra gázolaj (D2) – biodízel (BioD) – metanol (M) hármas elegyét alkalmaztunk. A keverési arányok a referenciaelegy esetén 70 V/V % gázolaj és 30 V/V % biodízel (30 % BioD), illetve a vizsgált hármas elegy 60 V/V % gázolaj, 30 V/V % biodízel és 10 V/V % metanol (30 % BioD – 10 % M)) volt.

1. táblázat A vizsgált tüzelőanyagok főbb paraméterei

| Tüzelőanyag tulajdonság | Gázolaj [23] | Biodízel [24] | Metanol [25] |
|--|--------------|---------------|--------------|
| Cetánszám [-] | 51 | 51,4 | <5 |
| Kinematikai viszkozitás (40°C-on) [mm ² /s] | 3,4 | 4,88 | 0,6 |
| Sűrűség (15°C-on) [kg/m ³] | 837 | 882 | 792 |
| Forráspont [K] | 453-643 | - | 337 |
| Öngyulladás hőmérséklet [K] | 503 | - | 464 |
| Párolgáshő [kJ/kg] | 250 | - | 1178 |
| Elméleti égési levegőigény [kg/kg] | 14,7 | - | 6,4 |

3. A METANOL BEKEVERÉS HATÁSA A MOTOR ÜZEMI PARAMÉTEREIRE

A méréseket egy magasabb kompresszióviszonyú ($\varepsilon=19$) motoron végeztük, négy különböző fordulatszám (2000, 2500, 3000 és 3500 1/perc). Első lépésben mind a négy fordulatszám meghatározásra került a maximális nyomaték (1. ábra) a három tüzelőanyaggal. Megfigyelhető volt, hogy biodízel esetén a nyomaték kismértékben – elsősorban kis fordulatszámokon – növekedett a gázolajhoz képest, és a metanol bekeverés hatására csökkent. Mivel a biodízel sűrűsége, viszkozitása nagyobb, mint a gázolajé, így nőtt a dózis tömege és az oxigéntartalom. A metanol bekeverés csökkentette a viszkozitást, így csökkent a dózis, továbbá a metanol fűtőértéke lényegesen alacsonyabb, mint a gázolajé.



1. ábra A maximális nyomaték gázolaj (D2), 30V/V % biodízel (30 % BioD) és 30V/V % biodízel és 10 V/V % metanol (30 % BioD - 10 % M) esetén különböző fordulatszámokon ($\delta_M, \pm 1,23\%$)

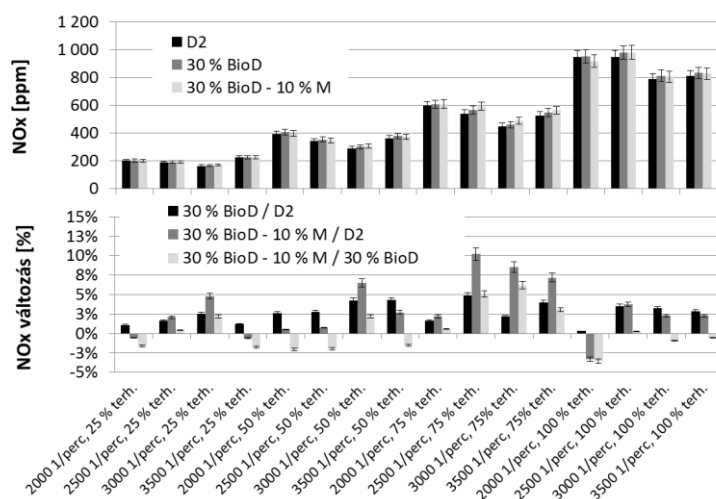
A 25 %-os, 50 %-os és 75 %-os részterhelések nyomaték értékei az adott fordulatszámhoz és gázolaj tüzelőanyaghoz tartozó maximális nyomaték arányában kerültek beállításra. Az effektív hatásfok mind a két elegy esetén nőtt, ez alól kivétel a 25 %-os terhelés, itt nem jelentősek az eltérések.

Az effektív hatásfok mind a két elegy esetén nőtt, ez alól kivétel a 25 %-os terhelés, itt nem jelentősek az eltérések. Az eredmények alapján megállapítható, hogy a biodízel oxigéntartalma és megegyező cetánszáma javította az égési folyamatot, és ennek hatására kismértékben az effektív hatásfokot. A metanol bekeverés csökkentette a viszkozitást és a nagyobb gyulladási idő miatt nőtt az előkevert szakasz intenzitása. Mivel a méréseknél a felső holtpont után vagy a körül zajlott le az előkevert égés, így ez növelte a hasznos munkát. Elméleti megfontolások alapján ennek az ellenkezője lenne várható, mivel a metanol nagyobb párolgáshője csökkenti a munkafolyamat hőmérsékletét, de ez a hatás nem volt szignifikáns az eredmények alapján.

4. A METANOL BEKEVERÉS HATÁSA A MOTOR KÁROSANYAG-KIBOCSÁTÁSÁRA

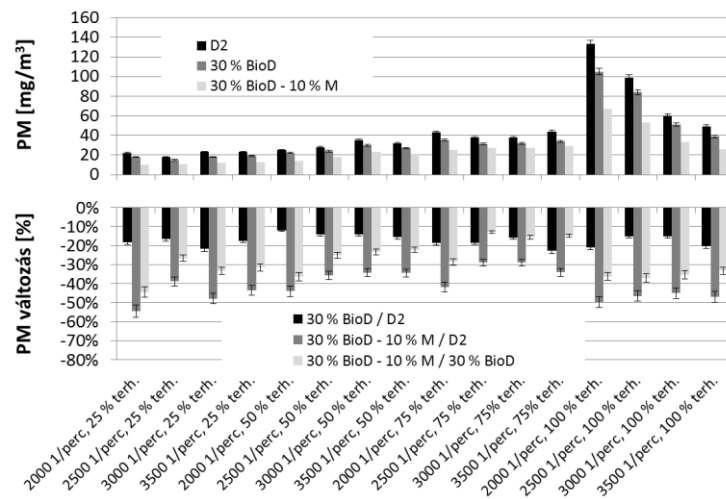
A kibocsátás változást minden esetben három összehasonlítás segítségével vizsgáltuk. Első hatásvizsgálat a biodízel és a referencia gázolaj közti változás (30 % BioD/D2), második a metanol és biodízel bekeverés hatásvizsgálata (30 % BioD - 10 % M/D2) és végül csak a metanol bekeverés hatásvizsgálata (30 % BioD - 10 % M/30 % BioD). Ez utóbbi csak a metanol bekeverés hatását emeli ki.

A NO_x -kibocsátás szempontjából megállapítható, hogy a teljesítménnyel nő a kibocsátás, mivel nő az átlaghőmérséklet, csökken a légfelesleg (2. ábra). A fordulatszám növelésének 25 %-os terhelés esetén nem volt jelentős hatása, azonban 50 % és 75 %-os terhelésen 3000 1/perc fordulatszámig csökkent, majd nőtt a NO_x -kibocsátás. Ennek oka elsősorban a fordulatszámmal változó légfelesleg és a dózisznövekedés, továbbá a 3500 1/perc fordulatszámon megnövekedő előbefecskendezés volt. Mivel az előbefecskendezésnek jelentős a hatása a NO_x -kibocsátásra, megállapítható, hogy a bekeveréseknek nincs számottevő eredménye, eltekintve a 75 %-os terhelésektől. A NO_x -kibocsátás átlagos változásai a következők: biodízel bekeverés 2,5 %-kal növelte, a hármas elegy 1,8 %-kal növelte, míg a metanol bekeverés a biodízelnél képest 0,7 %-kal csökkentette a NO_x -kibocsátást, figyelmen kívül hagyva a 75 %-os terhelést. Mindez a metanol csökkenő láng hőmérséklete, nagyobb párolgáshője és gyulladási ideje ellenére elsősorban a növekvő előkevert égéssel és a tüzelőanyag növekvő oxigén tartalmával magyarázható.



2. ábra A nitrogén-oxid (NO_x) kibocsátás különböző terheléseken és fordulatszámokon gázolaj (D2), 30V/V % biodízel (30 % BioD) és 30V/V % biodízel és 10 V/V % metanol (30 % BioD - 10 % M) elegyek esetén (δ_{NO_x} , $\pm 4,42$ %)

A részecskekibocsátás (PM) az elméleti megfontolásoknak megfelelően alakult, a terhelés növelésével a kibocsátás növekedett a dózis növekedése miatt (3. ábra). A fordulatszám növelésével egyértelmű trend nem volt megfigyelhető, 25 % terhelésen jelentős eltérés nem volt tapasztalható. Az 50 %-os és a 75 %-os terheléseken kismértékben, de nőtt a fordulatszámmal a PM-kibocsátás. Teljes terhelésen 2000 1/perc fordulatszámon a legjelentősebb a PM-kibocsátás, amely a fordulatszám növelésével csökkent, mivel nőtt a feltöltés is. A bekeverés hatására egyértelműen megállapítható volt, hogy mind a biodízel, mind a metanol bekeverése jelentősen csökkentette a PM-kibocsátást. A biodízel bekeverés hatására kisebb volt a csökkenés, átlagosan 16,9 %, az egyes terhelések és fordulatszámok között trend nem volt felfedezhető. Metanol bekeverése további jelentős csökkenést eredményezett, gázolajhoz viszonyítva az átlagos csökkenés több mint 40 % volt. Ez több okra is visszavezethető, egyrészt nőtt az előkevert szakaszban eléggő tüzelőanyag és az elegy több oxigént tartalmazott (más megfogalmazással jobb C/O arány); másrészt az alacsonyabb viszkozitás és sűrűség miatt javult a keveredés, harmadrészt az egyenes szénláncok kevésbé hajlamosak PM-kibocsátásra. Legnagyobb volt a csökkenés a gázolajhoz képest 50 %-os és 100 %-os terheléseken, több mint 46 %, míg a legkisebb 75 %-os terhelésen 33 % volt.



3. ábra A részecske (PM) kibocsátás különböző terheléseken és fordulatszámokon gázolaj (D2), 30V/V % biodízel (30 % BioD) és 30V/V % biodízel és 10 V/V % metanol (30 % BioD - 10 % M) elegyek esetén ($\delta_{PM} \pm 3,00\%$)

5. ÖSSZEFOGLALÁS

A nagy kompresszió-viszonyú, feltöltött, osztatlan égésterű és egyszeres befecskendezésű dízelmotorban elvégzett vizsgálatok alapján a gázolaj/biodízel és gázolaj/biodízel/metanol elegyekkel kapcsolatban a következő összefüggéseket lehet megállapítani:

- a 30 V/V %-ban bekevert repce metil-észter hatására a maximális nyomaték átlagosan nem változott, míg a 30 V/V % repce metil-észtert, 10 V/V % metanolt és 60 V/V % gázolajat tartalmazó elegy hatására a maximális nyomaték 94 %-ra csökkent. Ez elsősorban a biodízel nagyobb és a metanol tartalmú elegy kisebb viszkozitásának és az elegyek kisebb fűtőértékének volt a hatása.
- A NO_x -kibocsátására sem a biodízel, sem a metanol bekeverése nem volt jelentős hatással. A változás mértéke a gázolajhoz képest kisebb volt, mint a mérés pontossága. A részecske-kibocsátást a biodízel és a metanol bekeverése is jelentősen csökkentette. Ez a biodízel bekeverése hatására átlagosan 17 %-kal, míg a metanol bekeverés hatása jelentősebben, átlagosan több mint 40 %-kal csökkent a gázolajhoz képest.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A bemutatott kutatás a BME-NVA-02 számú projekt részeként az Innovációs és Technológiai Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatással, a TKP2021 pályázati program finanszírozásában valósult meg. Továbbá a kutatást a Szalmáné Dr. Csete Mária vezette OTKA - K21 - 138053- Közúti közlekedési technológiák és beavatkozások fenntarthatósági szempontú életciklus-értékelése c. projekt támogatta.

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] Anand K, Sharma RP, Mehta PS (2011) Experimental investigations on combustion, performance and emissions characteristics of neat karanja biodiesel and its methanol blend in a diesel engine. *Biomass Bioenerg* 35(1):533–541. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2010.10.005>
- [2] Ayhan D (2008) Biodiesel a realistic fuel alternative for diesel engines. ISBN 978-1-84628-994-1
- [3] Cheng CH, Cheung CS, Chan TL, Lee SC, Yao CD, Tsang KS (2008) Comparison of emissions of a direct injection diesel engine operating on biodiesel with emulsified and fumigated methanol. *Fuel* 87(10–11):1870–1879. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2008.01.002>
- [4] Cheung CS, Zhu L, Huang Z (2009) Regulated and unregulated emissions from a diesel engine fueled with biodiesel and biodiesel blended with methanol. *Atmos Environ* 43(32):4865–4872. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.07.021>
- [5] Guo Z, Li T, Dong J, Chen R, Xue P, Wei X (2011) Combustion and emission characteristics of blends of diesel fuel and methanol-to-diesel. *Fuel* 90(3):1305–1308. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2010.12.011>

- [6] Iqbal MA, Varman M, Hassan MH, Kalam MA, Hossain S, Sayeed I (2015) Tailoring fuel properties using jatropha, palm and coconut biodiesel to improve CI engine performance and emission characteristics. *J Clean Prod* 101:262–270. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.04.011>
- [7] Kumar S, Cho JH, Park J, Moon I (2013) Advances in diesel–alcohol blends and their effects on the performance and emissions of diesel engines. *Renew Sustain Energy Rev* 22:46–72. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.01.017>
- [8] Lebedevas S, Makareviciene V, Sendzikiene E, Zaglinskis J (2013) Oxidation stability of biofuel containing *Camelina sativa* oil methyl esters and its impact on energy and environmental indicators of diesel engine. *Energy Convers Manage* 65:33–40. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2012.07.010>
- [9] Li R, Wang Z, Ni P, Zhao Y, Li M, Li L (2014) Effects of cetane number improvers on the performance of diesel engine fuelled with methanol/ biodiesel blend. *Fuel* 128: 180–187. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2014.03.011>
- [10] Mollenhauer K, Tschoke H (eds) (2010) *Handbook of diesel engines* (vol 1). Springer, Berlin
- [11] Qi DH, Chen H, Geng LM, Bian YZ, Ren XC (2010) Performance and combustion characteristics of biodiesel–diesel–methanol blend fuelled engine. *Appl Energy* 87(5):1679–1686. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.10.016>
- [12] Rimkus A, Žaglinskis J, Rapalis P, Skačkauskas P (2015) Research on the combustion, energy and emission parameters of diesel fuel and a biomass-to-liquid (BTL) fuel blend in a compression ignition engine. *Energy Convers [1] Manage* 106: 1109–1117. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2015.10.047>
- [13] Sayin C, Ilhan M, Canakci M, Gumus M (2009) Effect of injection timing on the exhaust emissions of a diesel engine using diesel–methanol blends. *Renew Energy* 34(5): 1261–1269. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2008.10.010>
- [14] Shahir VK, Jawahar CP, Suresh PR (2015) Comparative study of diesel and biodiesel on CI engine with emphasis to emissions—a review. *Renew Sustain Energy Rev* 45:686–697. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.02.042>
- [15] Valera H, Agarwal AK (2019) Methanol as an alternative fuel for diesel engines. In: *Methanol and the alternate fuel economy*. Springer, Singapore, pp 9–33. https://doi.org/10.1007/978-981-13-3287-6_2
- [16] Wei L, Yao C, Wang Q, Pan W, Han G (2015) Combustion and emission characteristics of a turbocharged diesel engine using high premixed ratio of methanol and diesel fuel. *Fuel* 140: 156–163. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2014.09.070>
- [17] Yasin MM, Yusaf T, Mamat R, Yusop AF (2014) Characterization of a diesel engine operating with a small proportion of methanol as a fuel additive in biodiesel blend. *Appl Energy* 114: 865–873. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.06.012>
- [18] Yilmaz N (2012) Comparative analysis of biodiesel–ethanol–diesel and biodiesel–methanol–diesel blends in a diesel engine. *Energy* 40(1):210–213. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.01.079>
- [19] Yu W, Chen G, Zuohua H (2011) Influence of cetane number improver on performance and emissions of a common-rail diesel engine fueled with biodiesel-methanol blend. *Front Energy* 5(4): 412–418. <https://doi.org/10.1007/s11708-011-0163-9>
- [20] Yusaf T, Hamawand I, Baker P, Najafi G (2013) The effect of methanol-diesel blended ratio on CI engine performance. *Int J Automot Mech Eng* 8(1): 1385–1395. <https://doi.org/10.15282/ijame.8.2013.26.0114>
- [21] Zhen X, Wang Y (2015) An overview of methanol as an internal combustion engine fuel. *Renew Sustain Energy Rev* 52:477–493. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.083>
- [22] Zhu L, Cheung CS, Zhang WG, Huang Z (2010) Emissions characteristics of a diesel engine operating on biodiesel and biodiesel blended with ethanol and methanol. *Sci Total Environ* 408(4):914–921. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.10.078>
- [23] Siwale, L., Kristóf, L., Adam, T., Bereczky, A., Mbarawa, M., Penninger, A., & Kolesnikov, A. (2013) Combustion and emission characteristics of n-butanol/diesel fuel blend in a turbo-charged compression ignition engine. *Fuel*, 107, 409–418. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2012.11.083>
- [24] Makarevičienė, V., Lebedevas, S., Rapalis, P., Gumbyte, M., Skorupskaite, V., & Žaglinskis, J. (2014) Performance and emission characteristics of diesel fuel containing microalgae oil methyl esters. *Fuel*, 120, 233–239. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2013.11.049>
- [25] Joint Stock Company „ABIK”. (2016) *Methanol Technical Data Sheet*. Lithuania
- [26] Török, Á. (2017) Comparative analysis between the theories of road transport safety and emission. *Transport*, 32(2), 192–197.