



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Pattantyús-Ábrahám Géza Gépészeti Tudományok Doktori Iskola

**EGYES MEGÚJULÓ TÜZELŐANYAGOK DÍZELMOTORBAN TÖRTÉNŐ
ALKALMAZÁSÁNAK ÉRTÉKELŐ ELEMZÉSE**

PhD téziszfüzet

Készítette: **Szabados György**, okleveles gépészmérnök

Témavezető: **Dr. Bereczky Ákos**, egyetemi docens

Energetikai Gépek és Rendszerek Tanszék

2019. január

TARTALOMJEGYZÉK

1. Bevezetés, a téma háttere	1
2. A munka célja.....	2
3. A vizsgált tüzelőanyagok	2
4. A vizsgált motor	3
5. A vizsgálati módszer	3
6. A vizsgálatokhoz használt mérőrendszerek	4
7. Új tudományos eredmények, tézisek.....	6
8. A tézisekhez kapcsolódó publikációk	12

1. Bevezetés, a téma háttere

A közlekedési és energiatermelési szektor energiahordozó igénye az előrejelzések szerint a következő évekre vonatkozóan növekvő tendenciát mutat mind az Európai Unióban, mind világszinten. A ma használatos energiahordozók mellett ez növekvő környezetszennyezést és környezetterhelést eredményez. A különböző szektorokban felhasználásra kerülő hagyományos tüzelőanyag(ok) mellett számos alternatív tüzelőanyag szóba is kerülhet, amelyek között ott vannak a növényi eredetű tüzelőanyagok is. A megújuló tüzelőanyagok bevezetésének főbb okai:

- Energiaforrások közötti diverzifikáció;
- Fosszilis tüzelőanyagok fogyasztásának csökkentése;
- Energiabiztonság növelése;
- Mezőgazdasági termékek és melléktermékek hasznosítása;
- Munkahelyteremtés.

A fosszilis eredetű gázolaj a kompresszió gyújtású motorok tradicionális tüzelőanyaga. A dízelmotorok használata a közúti könnyű-, és nehézgépjárművekben vagy más erőgépekben pl. nem közúti mobil gépekben (hajók), valamint az energiatermelés egyes területein majdnem egyeduralgó és szikragyújtású motorokhoz és egyéb pl. villamos hajtáshoz képest, köszönhetően a kompresszió gyújtású motor jobb hatásfokának, a nagyobb fajlagos teljesítménynek és az energiaforrás igen magas energia sűrűségének.

A hagyományos – fosszilis eredetű – gázolaj mellett, dízelmotorok hajtóanyagaként különböző biomasszából származó tüzelőanyagok is alkalmazhatóak. Ezek közül a leggyakrabban használt a zsírsav-metilészter, melynek közismert neve a biodízel. A biodízelt különböző nyersanyagokból lehet előállítani. A zsírsav-metilészter szabványok követelményeket fogalmazznak meg a dízelmotorba szánt növényi eredetű tüzelőanyagok minőségét illetően, de ezek a szabványok világszerte régióról-régióra változnak. Van külön szabvány az EU-ban, az USA-ban, Ausztráliában, Brazíliában, Indiában, Japánban, és Dél-Afrikában. A szabványok között jelentős eltérések vannak. Ez arra vezethető vissza, hogy az adott régióban az általában egyeduralgó növényi olaj metil-észter gyártás nyersanyaga eltérő.

A sokféle, tüzelőanyag-előállítási technológia mellett egyre nő a természetes eredetű nyersanyagok száma, amelyekből dízelmotorban hasznosítható tüzelőanyagot lehet előállítani. A hagyományos élesztézési technológiák mellett megjelennek az úgynevezett zöld tüzelőanyag-gyártási eljárások, például glicerín-mentes előállítási eljárások.

A megújuló tüzelőanyagok energiahordozó ellátásban jelentett előnyei ellenére kérdéses, hogy a felhasználás során rendelkeznek-e valóban előnyökkel:

Irodalmi adatok alapján a növényi olaj metil-észter és egyéb növényi olajból átalakított, dízelmotorban történő felhasználásra szánt hajtóanyagok motorikus szempontból fontos fizikai-kémiai tulajdonságainak legnagyobb része a legtöbb esetben kedvezőtlenebbek a gázolaj ugyanazon tulajdonságaihoz képest;

A megújuló növényi tüzelőanyagok kismértékű javító hatással vannak a kompresszió gyújtású dugattyús belsőégésű motorok égésének lefolyására. Az égéstérben uralkodó nyomás, mint, az égésre jellemző paraméter vizsgálata alapján a megújuló anyagokkal történő motor üzemelés kis mértékben a fosszilis tüzelőanyag csúcsnyomásánál nagyobb értéket eredményez;

A motorok gáznemű károsanyag-kibocsátását szempontjából, szintén jellemzően a javuló égésre utaló értékeket adódtak a növényi eredetű tüzelőanyag felhasználás esetén. Ez abban nyilvánul meg, hogy a CO és HC káros anyagok szintje csökken, az NO_x komponens értéke nő. Az eltérések mértéke több további, a vizsgálatokkal kapcsolatos tényezők (pl. vizsgált motor) függvénye;

A részecske kibocsátás szempontjából a FSN és a füst opacitás csökken minden esetben, ha növényi olaj metil-észtert használnak, a gázolajjal tüzelőanyaghoz képest, függetlenül a vizsgált motortól, vizsgálati

eljárástól, a tüzelőanyagok keverési arányától és motorüzemi ponttól. Ez érvényes tranziens vizsgálati ciklus szerinti mérések esetén is. A részecske tömeg és méret-szám jellemzők (pl. összes részecskeszám) esetében a kép összetettebb. A növényi eredetű tüzelőanyag hatása ezekre a paraméterekre főleg a vizsgált motortól, és a motorüzemi ponttól, a vizsgált tüzelőanyag fosszilis-megújuló arányától függ, csökkenő és növekvő hatást is kimutattak az irodalmi források.

2. A munka célja

A doktori kutatómunka célja volt egyes megújuló növényi folyékony tüzelőanyagok dízelmotor üzemére gyakorolt hatásának átfogó, komplex, üzemeltetési szempontú értékelése célirányos vizsgálat sorozat elvégzése során kapott eredmények alapján. Részcél volt az, hogy megvizsgáljak és értékeljek egy új-típusú megújuló tüzelőanyagot is, amelynek vizsgálatára lehetőséget kaptam, és amelyet ilyen terjedelemben még nem vizsgáltak.

Az átfogó értékelhetőséghez öt részterületet határoztam meg, amelyek a következők:

- A tüzelőanyagok a belsőégésű motoros felhasználás (elégetés) szempontjából legfontosabb fizikai-kémiai tulajdonságainak meghatározása, összehasonlítása és értékelése;
- Motorikus vizsgálatok első értékelési részeként a motor külső, gazdaságossági paraméterei;
- Égés lefolyása során felvehető paraméterek segítségével az égés közvetlen értékelése;
- Tüzelőanyagoknak a motor károsanyag-kibocsátására gyakorolt hatása;
- Motor által kibocsátott káros anyagok mennyiségén alapuló ún. külső-költség számítás, amelynek segítségével a műszaki értékelésen túl gazdaságilag is értékelni lehet a tüzelőanyagokat felhasználási szempontból.

Nagy hangsúlyt helyezek a megújuló folyékony tüzelőanyagok értékelésénél a motor károsanyag-kibocsátására, ezen belül is a részecske-releváns kibocsátásra. Ezt több ok miatt teszem. Elsősorban ez az egy terület az, amelyen a nemzetközi szakirodalom feldolgozása során nem vehetők ki egyértelmű tendenciák a megújuló anyagokkal kapcsolatban. Másodsorban, ma a belsőégésű motorok által kibocsátott részecske rendkívül káros hatásai tapasztalhatók az élő és az épített környezetre egyaránt.

A munka célja tehát a fenti tématerületeket együttesen magában foglaló kutatás elvégzése, amely nagy megújuló bekeverési arányokkal és bekeveretlenül vizsgált növényi eredetű tüzelőanyagokkal elvégzett vizsgálati eredmények értékelése. Az eredmények alapján – a bemutatott területeket átfogó, a terület eredményeit magában foglaló – komplex értékelést végzek el.

A vizsgálat sorozatot kétféle megújuló tüzelőanyaggal is elvégzem, amelyek közül egyik egy a hagyományos szabványosított növényi olaj metil-észter, míg a másik egy új-típusú, új előállítási technológiával készített anyag.

Céljaim szerint a mérési eredményeim új tudományos eredményeket hoznak, amelyek jól hasznosíthatók a belsőégésű motorok e tudományterületén, illetve további, hasznos, előremutató kutatási irányok állapíthatók meg.

3. A vizsgált tüzelőanyagok

Az összehasonlító vizsgálatainkhoz referencia tüzelőanyagként használt gázolajat – amely megfelel a vonatkozó szabványnak – MOL tüzelőanyag töltő állomásról szereztük be. A szabvány alapján a referencia tüzelőanyag tartalmazhat 7 V/V % zsírsav-metilésztert. Ezt az adatot a keverékek készítése során figyelembe vettem.

Az első vizsgált növényi forrásból származó tüzelőanyag a szabványosított zsírsav-metilészter (FAME) volt. Ezt a gázolajjal történő keverék készítéséhez használják, amelyet a tüzelőanyag

töltőállomásokon értékesítenek Európa szerte. A tüzelőanyagot, annak magyarországi gyártójától szereztük be.

A TBK-biodízel – a második vizsgált megújuló tüzelőanyag – vagy angol nevén Triglycerides of Modified Structure (TOMS), egy új típusú megújuló tüzelőanyag. A TBK-biodízel fő előnye, hogy az előállítási folyamata során nem keletkezik melléktermék, azaz nem keletkezik glicerin, vagyis a nyers növényi olaj teljes egészében tüzelőanyagként hasznosul.

Az előzőekben bemutatott három tüzelőanyag bekeveretlen állapotú felhasználása mellé négy ellenőrzött keveréket hoztunk létre. Így összesen 7 különböző vizsgált tüzelőanyagot hoztam létre, és vizsgáltam. A keverékeket a megújulók 25 V/V%-ban, illetve 75 V/V %-ban gázolajhoz történő hozzákeverésével hoztam létre.

4. A vizsgált motor

A tüzelőanyagok összehasonlítása céljából elvégzett motorikus vizsgálatokat, a KTI Nonprofit Kft., Motortechikai és Levegőtisztaság-védelmi Laboratóriumában, egy RÁBA D10 UTSLL 160 típusú motoron végeztük el. Ez a motor a magyar autóbusz állományban egy széles körben elterjedt motor. Emiatt jelentős hatással van a magyarországi közutak, nagyvárosok légszennyezésére, imissziós állapotára. A motor fő paraméterei az **1. táblázat**ban láthatók. A különböző tüzelőanyagokkal elvégzett vizsgálatok során, a motoron konstrukciós változtatás, beállítás változtatás nem történt.

Ez a motor, az emissziós besorolását, a tüzelőanyag ellátó rendszerét, keverékképzését, károsanyag-kibocsátás utókezelését tekintve ma már korszerűtlennek számít.

1. táblázat A vizsgált motor legfontosabb paraméterei

Paraméter	Méret / Jellemző
Furat	120,5 mm
Löket	150 mm
Hengerek száma	6
Henger elrendezés	soros
Kompresszió viszony	15,2
Összlökettérfogat	10350 cm ³
Égéstér	osztatlan (közvetlen befecskendezés)
Égéstér típus	Saurer
Kipufogógáz visszavezetés	nincs
Kipufogógáz utánkezelés	nincs
Turbófeltöltő	Schwitzer S3
Töltőlevegő visszahűtő	igen
Emissziós jóváhagyás	EURO II
Névleges teljesítmény	160 kW / 1900 1/perc
Névleges nyomaték	900 Nm / 1300 1/perc

5. A vizsgálati módszer

A vizsgálati módszer három, állandósult állapotú motorüzemi pontot tartalmaz. A három motorüzemi pontot olyan célból választottuk előzetesen ki, hogy a motorban lezajló égés, egymástól jelentősen különböző égési feltétellel valósuljon meg. Emiatt a motor károsanyag-kibocsátása is a három ponton várhatóan jelentősen különböző mértékű. Nagyon fontos megjegyezni, hogy három pontnál több pont mérése több ok miatt nem volt lehetséges. Egyrészt a részletes részecske vizsgálatok 30-50 perces mérési időből álltak, aminek a tüzelőanyag igénye nagyon nagy. Másrészt azért, hogy a nagy terhelésű

pontokon fellépő nagy hőmérséklet által történő mérőrendszer károsodását elkerüljük. A három kiválasztott mérési pont paramétereit a motor nyomaték fordulatszám-üzemi tartományán a **2. táblázat** adja meg. Ezek a mérési pontok a motor emissziós besorolásához szükséges típusvizsgálati előírás részei voltak.

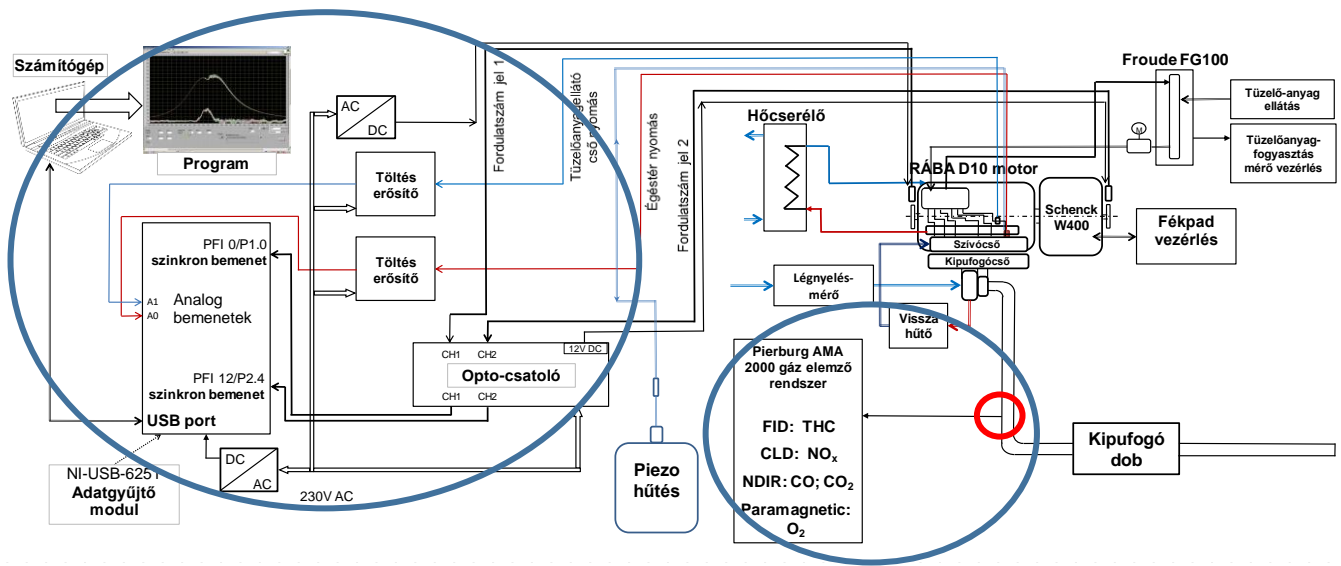
2. táblázat A kiválasztott mérési pontok motor paramétereit

Motorüzemi pont / fordulatszám - terhelés	Nyomaték [Nm]	Teljesítmény [kW]	A motorüzemi pont jellemzői
1. / 1300 1/perc – 50% terhelés	450	61	Kis fordulatszám, kis áramlási sebességek, rosszabb keveredés várható. Közepes terhelés miatt közepes légviszony-tényező. Közepes égési intenzitás.
2. / 1900 1/perc – 25% terhelés	200	39,5	Nagy fordulatszám, nagy áramlási sebességek, jobb keveredés várható. Kis terhelés miatt nagy légviszony-tényező. Kis égési intenzitás.
3. / 1900 1/perc – 75% terhelés	600	115	Nagy fordulatszám, nagy áramlási sebességek, jobb keveredés várható. Nagy terhelés miatt kis légviszony-tényező. Nagy égési intenzitás.

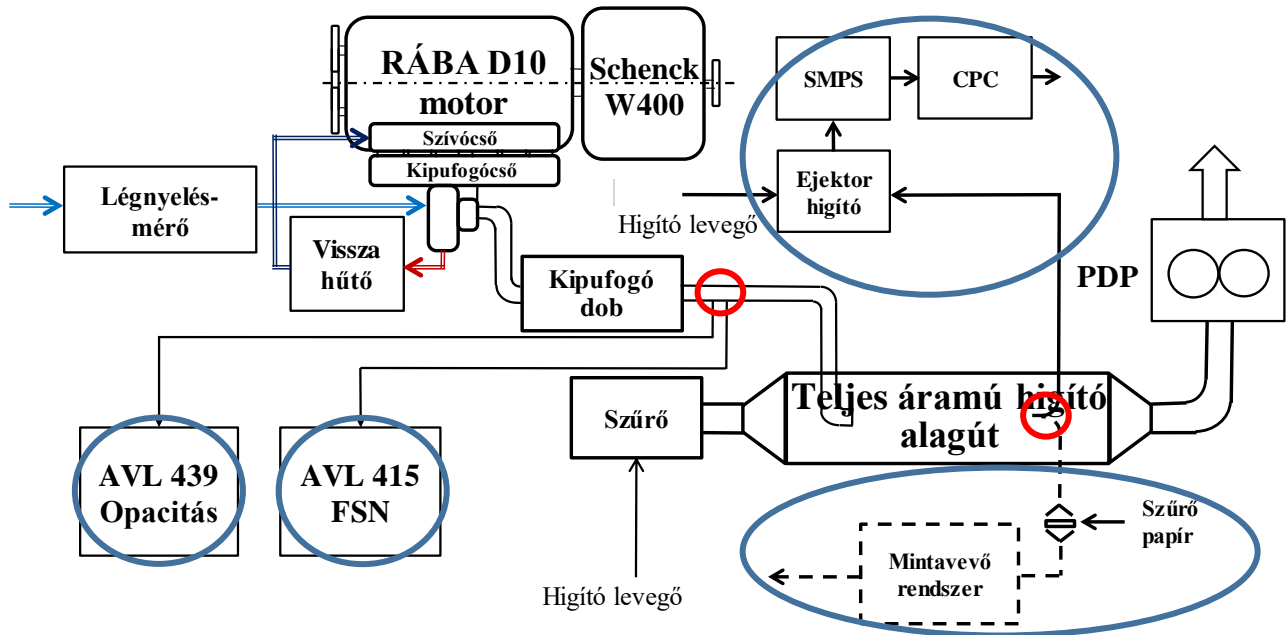
6. A vizsgálatokhoz használt mérőrendszerek

A vizsgálatokhoz használt mérőrendszerek az **1. és 2. ábrán** láthatóak. Az **1. ábra** mutatja az indikáláshoz és a gáznemű károsanyag-kibocsátáshoz használt mérőrendszert. Az indikáló rendszer legfontosabb részei a vízhűtéssel ellátott indikáló kristály, a tüzelőanyag-ellátó vezetékre elhelyezett kristály, a fordulatszám jeladó, a töltéserősítők, opto-csatoló, az adatfeldolgozó egység és a számítógép a kiértékelő programmal. A nyomás maximumok relatív hibája $\pm 2,4 \%$, míg a hőfelszabaduláshoz számolt relatív hiba 2,41%. Ez azt jelenti, hogy a nyomás illetve hőfelszabadulás maximumokban bekövetkező változások relatív hiba nagyságrendjében vannak. A gáznemű károsanyag-kibocsátás meghatározáshoz a mintát a motor nyers kipufogógázából vettük. A vizsgált komponensek a CO, CO₂, HC, NO_x és O₂. A CO, CO₂ komponensek meghatározásához nem diszperzív infravörös mérési elven működő detektort, a HC kibocsátáshoz lángionizációs mérési elvet, a NO_x kibocsátás meghatározásához a kemilumineszcencia elvét használtuk és végül az O₂ meghatározásához a paramágneses mérési elvet használtuk.

A részecske-releváns kibocsátás meghatározásához használt mérőrendszert a **2. ábra** mutatja. A négy különböző használt mérési elv a következő: 1. Opacitás, vagy a füstoszlop átlátszatlansága, 2. FSN szűrőpapíros módszer, 3. részecske tömeg, 4. részecske szám. Az első két mérési módszer optikai elvű mérési módszer, amelyhez a mintát a motor nyers kipufogógázából vettük. A részecske tömeg és szám meghatározásához a mintát hígítottuk, amelyhez egy erre a célra kialakított teljes áramú hígító rendszert használtunk. A teljes áramú hígítás azt jelenti, hogy a motor teljes kipufogógáz mennyiségét hígítjuk.



1. ábra A motor indikálásához és gáznemű károsanyag-kibocsátás méréséhez használt mérőrendszer



2. ábra A motor részecske-releváns károsanyag-kibocsátás méréséhez használt mérőrendszer

7. Új tudományos eredmények, tézisek

Disszertációmban egyes megújuló növényi eredetű tüzelőanyagok dízelmotorban történő felhasználását vizsgáltam, amelynek keretében több paramétercsoportban, több paramétert elemeztem. Az elért tudományos eredmények tézisekben a következőképpen fogalmazhatók meg:

1. tézis: A vizsgált tüzelőanyagok fizikai-kémiai tulajdonságai és a vizsgált dízelmotorban történő égési folyamatok (nyomás, hőfelszabadulás) szoros összefüggést mutatnak.

A dízelmotorban használható és vizsgált megújuló tüzelőanyagok (szabványosított NOME és a nem szabványosított TBK), a belsőégésű motoros felhasználás szempontjából legfontosabb fizikai-kémiai tulajdonságai kedvezőtlenebbek, mint a fosszilis eredetű gázolaj ugyanezen tulajdonságai. Ezt a megállapítást, a sűrűség, kinematikai viszkozitás, lobbanáspont, elemi összetétel, fűtőérték, párolgási tulajdonságok megvizsgálása alapján teszem. A motorvizsgálatok során felvett indikátordiagram és számított hőfelszabadulás alapján megállapítom, hogy a vizsgált három stacionárius motorüzemi pontban, pontonként, minden vizsgált tüzelőanyaggal azonos teljesítményszint esetén a kedvezőtlenebb fizikai-kémiai tulajdonságok ellenére a növényi eredetű tüzelőanyagokkal üzemelő dízelmotor égési folyamatának kezdeti szakaszában kismértékű javulás adódik. (3.1.-3.6 alfejezetek és 4.5.1.-4.5.2. alfejezetek; [TP 4], [TP 5], [TP 7], [TP 8], [TP 11]), [TP 12], [TP 15])

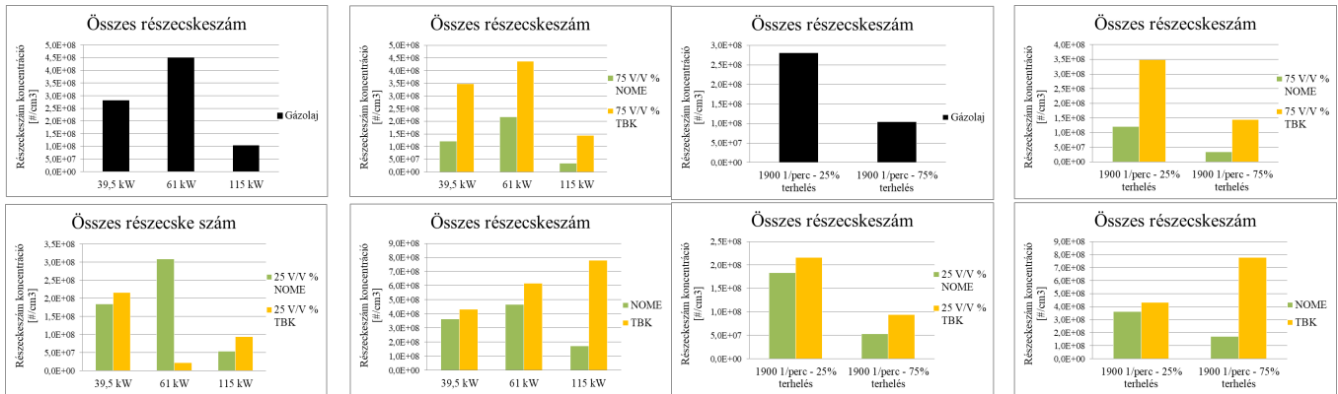
2. tézis A megújuló tüzelőanyagokkal elvégzett motoros vizsgálatok során a vizsgált dízelmotor által kibocsátott gáznemű káros anyagok (NO_x , HC) a javuló égés tendenciáját mutatják, vagyis a NO_x kibocsátás nő, a HC kibocsátás csökken a gázolajjal működő motor NO_x és HC kibocsátásához képest.

A dízelmotorban használható és vizsgált megújuló tüzelőanyagokkal (szabványosított NOME és a nem szabványosított TBK), és a fosszilis eredetű gázolajjal üzemelő motor gáznemű károsanyag-komponensek kibocsátását illetően kismértékű, de tendenciózus változás jelentkezik. A vizsgált három stacionárius motorüzemi pontban, pontonként, minden vizsgált tüzelőanyaggal azonos teljesítményszint esetén a megújuló tüzelőanyaggal üzemelő dízelmotor által kibocsátott nitrogén-oxidok esetében növekedés (az átlagos eltérés a bekeveretlen gázolaj és a bekeveretlenül vizsgált megújuló tüzelőanyagok NO_x eredményei között 3,4%), a szén-hidrogének esetében csökkenés figyelhető meg (az átlagos eltérés a bekeveretlen gázolaj és a bekeveretlenül vizsgált növényi eredetű tüzelőanyagok HC eredményei között - 17,2%). (5.1. alfejezet; [TP 4], [TP 5], [TP 7])

3. tézis A vizsgált dízelmotor kipufogógázában található részecskék száma, a motorüzem és a motor összefüggéseit tárja fel.

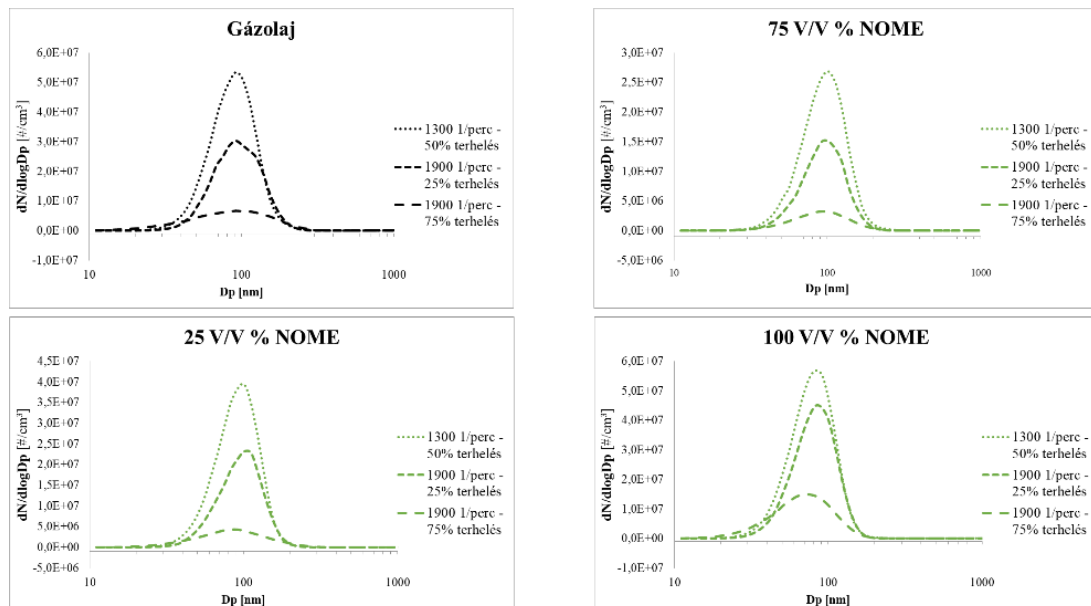
3.a. A dízelmotorban használható és vizsgált megújuló tüzelőanyagokkal (szabványosított NOME és a nem szabványosított TBK), és a fosszilis eredetű gázolajjal üzemelő motor által kibocsátott 10 nm – 1000 nm mobilitási átmérőjű részecskék összes darabszáma és a motor teljesítménye között nincs lineáris összefüggés. Az összes részecskeszám a motor teljesítményének függvényében változó (három vizsgált motorüzemi pont: 1300 1/perc – 50% terhelés; 1900 1/perc – 25% terhelés; 1900 1/perc – 75% terhelés). Azonban a motor nyomatékának változása egyértelmű hatással van a kibocsátott részecskék számára, mégpedig a motor nyomatékának (terhelésének) növekedésével, azonos fordulatszám mellett a

részecskeszám csökken (két vizsgált motorüzemi pont: 1900 1/perc – 25% terhelés; 1900 1/perc – 75% terhelés). A nyomatékváltozás – összes részecskeszám változás összefüggés az általam vizsgált összes tüzelőanyag (bekeveretlen tüzelőanyag és bekevert tüzelőanyagok) esetén fennáll. Méréseimet három stacionárius motorüzemi pontban, pontonként, minden vizsgált tüzelőanyaggal azonos teljesítményszint esetén végeztem el (5.2.4. alfejezet, [TP 3]).



3. ábra 3.a. tézis – A motorüzem hatása az összes részecskeszámra

3.b. Három vizsgált stacionárius motorüzemi pontban elvégzett mérésekkel felvettem, karakterizáltam egy kb. 25 éves konstrukciójú, EURO II-es emissziós besorolású dízelmotor füstgázában található részecskék méret-szám eloszlását a részecske mobilitási átmérő 10 nm – 1000 nm-es mérettartományában. E tartományban a számolt középátmérő, tehát az a méret, amelyhez a legnagyobb részecskeszám tartozik minden vizsgált tüzelőanyag és motorüzemi pont esetében 100 nm körül változik (legnagyobb eltérés: + 8 nm és - 17 nm). Ezek alapján megállapítom, hogy a nm-es léptékű, de 1 μm alatti mérettartományú részecske-kibocsátás nem csak a korszerű motorok jellemzője. Ennek ellenére az ilyen mérettartományú részecskék számának meghatározása csak az EURO VI-os (2014), tehergépjármű motorokra vonatkozó emissziós típusvizsgálati előírásban vannak először lefektetve követelményként [106]. (5.2.3. alfejezet, [TP 3])



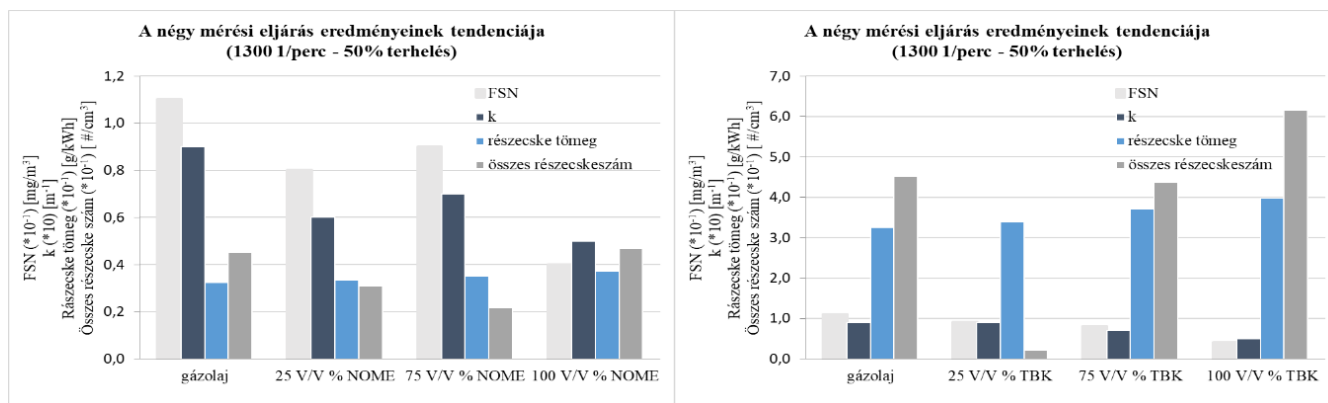
4. ábra 3.b. tézis – A vizsgált motor részecske kibocsátása 10 nm – 1000 nm-es a mobilitási átmérő mérettartományban

4. tézis: A vizsgált dízelmotor részecske-releváns kibocsátása mérési módszereinek (FSN, opacitás, részecske tömeg, részecskeszám) eredményei a vizsgált tüzelőanyagok megújuló tartalmának növelésével egymásnak ellentmondó tendenciákat mutatnak.

4.a. A vizsgált három stacionárius motorüzemi pontban pontonként, minden vizsgált tüzelőanyaggal azonos teljesítményszint esetén kapott eredmények alapján megállapítható, hogy a vizsgált tüzelőanyagban a fosszilis eredetű gázolajba a megújuló (szabványosított NOME és a nem szabványosított TBK) tüzelőanyag növekvő bekeverési arányával a motor részecske-releváns károsanyag-kibocsátása jelentősen változik. A vizsgált motor részecske-releváns károsanyag-kibocsátásának eredményei négyféle különböző, széles körben alkalmazott mérési eljárással mérve, a vizsgált keverékben a megújuló részarány növekedésének a függvényében egymásnak ellentmondó tendenciákat mutatnak (FSN csökken, opacitás csökken, részecske tömeg nő, részecskeszám változó). Emiatt:

4.b. A vizsgált három stacionárius motorüzemi pontban, pontonként, minden vizsgált tüzelőanyaggal azonos teljesítményszint esetén kapott eredmények alapján megállapítom, hogy az alkalmazott mérési eljárásokkal a vizsgált kompresszió gyújtású motor részecske-releváns kibocsátása nem értékelhető egyértelműen. Ezért a dízelmotorok részecske-releváns kibocsátásának megvizsgálására (i) mindig több különböző elvű mérési módszert kell alkalmazni, ha gázolaj és megújuló hajtóanyag kerül összehasonlításra, azért, hogy a tévedést, a részecske-kibocsátás növekedésére vagy csökkenésére vonatkozóan elkerüljük. (5.2.1.-5.2.4. alfejezetek, [TP 3])

4.c. Vagy (ii) a dízelmotorok részecske-releváns károsanyag-kibocsátásának meghatározására új eljárást, vagy eljárásokat kell kidolgozni, amely egyértelműbben megadja, hogy a megújuló részarány növekedésével nő vagy csökken egy motor részecske kibocsátása. Egy ilyen eljárás lehet a részecskék megszámlálása legalább 10 µm méretheatéig. Ebbe, a bővített mérettartományba feltételezhetően beletartoznak azok a részecskék is, amelyek a tömegmérés során játszanak szerepet (a „tömeghatást” okozzák). Javasolom továbbá a kibocsátott részecskék toxicitásának vizsgálatát. A részecske tömeg vagy szám meghatározásának önmagában is van jelentősége, de ez tovább növelhető, ha megvizsgáljuk társadalmi jelentőségét pl. a toxicitás által. Társadalmi jelentőségen értem a részecske elő környezetre, vagy épített környezetre gyakorolt káros hatását. (5.2.1.-5.2.5. alfejezetek, [TP 3])



5. ábra 4. tézis – A részecske-releváns mérési módszerek ellentétes tendenciái

5. tézis: A vizsgált dízelmotorból származó légszennyező károsanyag-kibocsátás gazdasági elemzése alapján a vizsgált megújuló tüzelőanyagok gazdaságilag kedvezőtlenebbek, mint a fosszilis eredetű gázolaj a nagyobb légszennyező károsanyag-kibocsátásuk miatt.

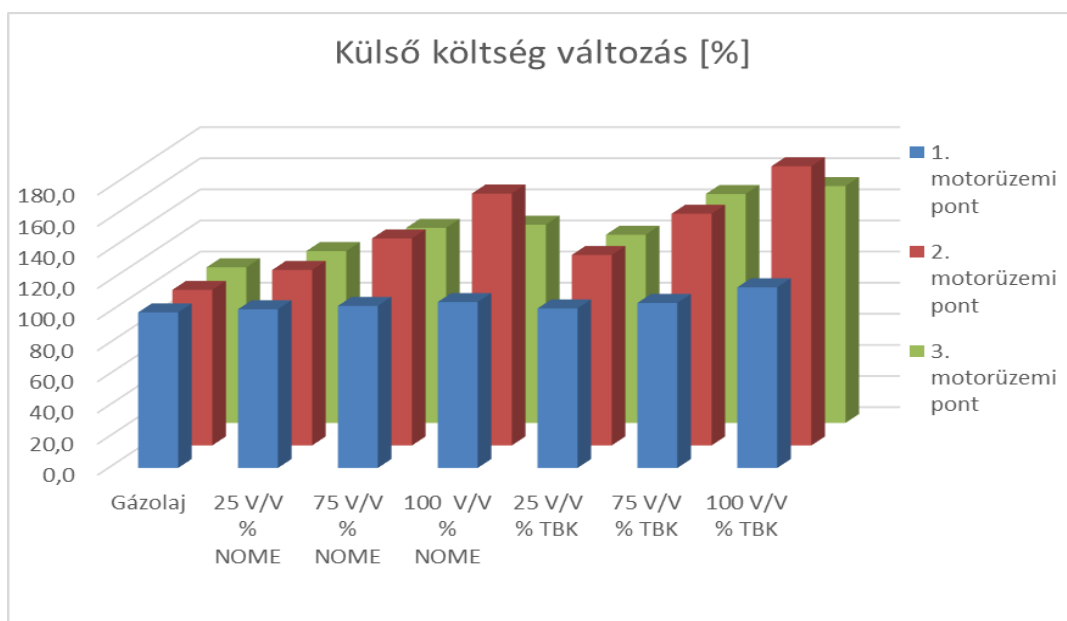
A vizsgált három stacionárius motorüzemi pontban, pontonként, minden vizsgált tüzelőanyaggal azonos teljesítményszint esetén kapott légszennyező károsanyag-kibocsátás eredményekhez kidolgoztam egy költség számítási modellt, amelyet a következő formula ír le:

$$C_{j,k} = \sum_i (E_{i,j,k} \cdot \frac{H_{akt.tüa}}{3,6} \cdot B_t \cdot \eta_{(eff)j,k} \cdot u \cdot \frac{f_i}{10^6})$$

ahol:

- $C_{j,k}$: a mért károsanyag-komponensek kárértékeit összegezve kapott externális költség [Ft] (j) motorüzemi pontonként és (k) bekeverési arányokként;
- $E_{i,j,k}$: a mért károsanyag-kibocsátás értékek [g/kWh] (i) szennyező anyagonként, (j) motorüzemi pontonként és (k) bekeverési arányok szerint;
- $H_{akt.tüa.}$: az aktuálisan vizsgált gázolaj fűtőértéke, gázolaj, NOME és TBK üzemanyagokra a bekeverési arányok szerint arányosítva [MJ/dm³];
- B_t : a jármű fajlagos tüzelőanyag-fogyasztása a vizsgált (t) tüzelőanyaggal [dm³/100km];
- $\eta_{(eff)j,k}$: a vizsgált motor effektív hatásfoka (j) motorüzemi pontonként és (k) bekeverési arányok szerint;
- u : teljes élettartamra vonatkozó futásteljesítmény autóbuszokra [km];
- f_i : fajlagos externális költség tényező (i) szennyező anyagonként [Ft/t];

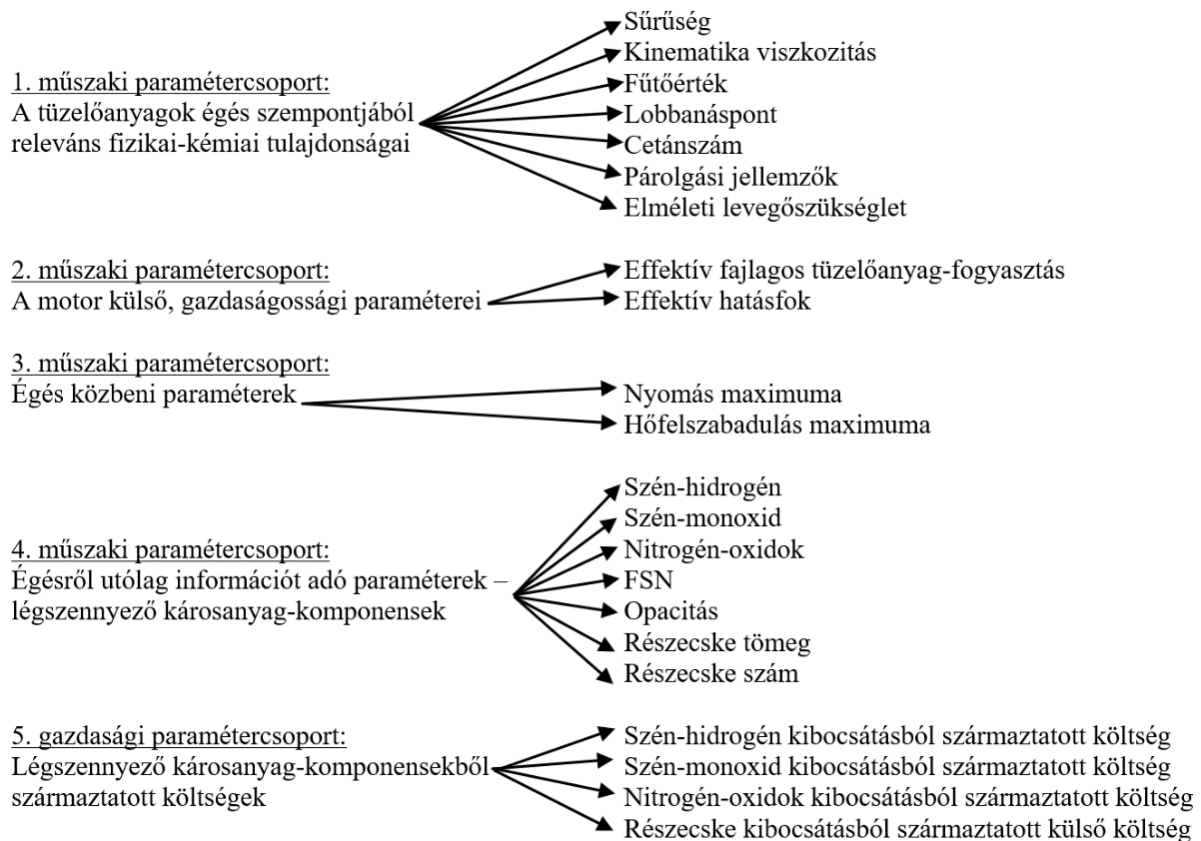
A formula felhasználásával, a motorból származó légszennyező károsanyag-komponensekhez rendelt költségtényezők segítségével gazdasági szempontból is elemeztem a vizsgált megújuló növényi tüzelőanyagok dízelmotorban történő felhasználását. Az eredmények alapján azt állapítottam meg, hogy a megújuló tüzelőanyagok használata – a felhasználásból eredő externális (külső) költségek szempontjából – kedvezőtlen, a hagyományos fosszilis eredetű gázolaj használatával szemben gazdaságilag hátrányos. (6. fejezet, [TP 1])



6. ábra 5. tézis – A külső költség elemzés eredménye

6. tézis: A vizsgált megújuló tüzelőanyagok (szabványosított NOME és a nem szabványosított TBK) vizsgált dízelmotorban történő felhasználásának átfogó, komplex értékelési módszere szerint a tüzelőanyagok dízelmotorban történő összehasonlításakor legalább öt paramétercsoportot és egy paramétercsoporton belül több paramétert célszerű figyelembe venni.

Felállítottam egy értékelési rendszert, amelynek eredményei alapján a vizsgált megújuló tüzelőanyagok (szabványosított NOME és a nem szabványosított TBK) vizsgált dízelmotorban történő felhasználását egyes paraméterek szerint kedvezőnek más paraméterek szempontjából kedvezőtlennek lehet értékelni. Emiatt a különböző tüzelőanyagok dízelmotorban történő használatának komplex értékelhetőségéhez célszerű és szükséges legalább a dolgozatban bemutatott öt paramétercsoport (1. tüzelőanyagok fizikai-kémiai tulajdonságai, 2. a motor külső paraméterei, 3. égéslefutás nyomás és hőfelszabadulás alapján, 4. károsanyag-kibocsátás, 5. károsanyag-kibocsátásból származtatott gazdasági elemzés) szerinti értékelés, úgy, hogy egy paramétercsoportban több paraméter is megvizsgálása kerül. Ebből az következik, hogy egy – bármelyik – paraméter, vagy egy – bármelyik – paramétercsoport szerinti vizsgálat eredménye hamis információt adhat a felhasználás kedvezősége vagy kedvezőtlenése tekintetében tüzelőanyagok összehasonlításakor. (7. fejezet, [TP 2])



7. ábra 6. tézis – A komplex értékelési módszer sémája

7. tézis: A vizsgált megújuló tüzelőanyagok (szabványosított NOME és a nem szabványosított TBK) vizsgált dízelmotorban történő felhasználásának átfogó, komplex értékelés eredménye szerint a vizsgált megújuló tüzelőanyagok dízelmotorban történő alkalmazása kedvezőtlenebb, mint a motor eredeti tüzelőanyagának, a fosszilis eredetű gázolajnak a használata.

7.a. A 6. tézisben bemutatott értékelési módszerrel elvégzett értékelés eredménye azt mutatja, hogy a vizsgált megújuló tüzelőanyagok esetében (szabványosított NOME és a nem szabványosított TBK) a fosszilis eredetű gázolajhoz képest az összes értékelt paraméter közül több a kedvezőtlen, mint a kedvező és semleges. Emiatt az átfogó értékelés súlypontja a kedvezőtlen irányba tolódik el. Tehát a kidolgozott felhasználási szempontú komplex értékelési módszer eredménye alapján a vizsgált megújuló tüzelőanyagok dízelmotorban történő alkalmazása kedvezőtlenebb, mint a motor eredeti tüzelőanyagának, a fosszilis eredetű gázolajnak a használata. (7. fejezet, [TP 2])

7.b. A vizsgált új típusú TBK-biodízel tüzelőanyag, az előállítási technológiájában felmerülő előnyei [3,33] ellenére, adalékmentes formában a vizsgált dízelmotorban történő felhasználás területén nem rendelkezik előnyökkel a hagyományos, szabványosított növényi olaj metil-észterhez és a vizsgált dízelmotor eredeti tüzelőanyagához a szabványosított gázolajhoz képest. (3., 4., 5., 6. fejezetek, [TP 1 – TP 15])

3. táblázat 7. tézis – A komplex értékelés eredménye

Paramétercsoport	Paraméter	Megújuló tüzelőanyag értékelése a gázolajhoz képest	Súlyozó tényező	Súlyozott eredmény
1. műszaki paramétercsoport: A tüzelőanyagok égés szempontjából releváns fizikai-kémiai tulajdonságai	Sűrűség	kedvezőtlen	1	1 kedvezőtlen
	Kinematika viszkozitás	kedvezőtlen	1	1 kedvezőtlen
	Fűtőérték	kedvezőtlen	1	1 kedvezőtlen
	Lobbanáspont	kedvezőtlen	0	0
	Cetánszám	semleges	1	1 semleges
	Párolgási jellemzők	kedvezőtlen	1	1 kedvezőtlen
	Elméleti levegő szükséglet	kedvező	0	0
2. műszaki paramétercsoport: A motor külső, gazdaságossági paraméterei	Effektív fajlagos tüzelőanyag-fogyasztás	kedvezőtlen	1	1 kedvezőtlen
	Effektív hatásfok	semleges	0	0
3. műszaki paramétercsoport: Égés közbeni paraméterek	Nyomás maximuma	kedvező	0	0
	Hőfelszabadulás maximuma	kedvező	0	0
4. műszaki paramétercsoport: Égésről utólag információt adó paraméterek – légszennyező károsanyag-komponensek	Szén-hidrogén	kedvező	1	1 kedvező
	Szén-monoxid	semleges	1	1 semleges
	Nitrogén-oxidok	kedvező	1	1 kedvező
	Füstölés (FSN)	kedvező	1	1 kedvező
	Opacitás	kedvező	1	1 kedvező
	Részecske tömeg	kedvezőtlen	1	1 kedvezőtlen
	Részecskeszám	kedvezőtlen	1	1 kedvezőtlen
5. gazdasági paramétercsoport: Légszennyező károsanyag-komponensekből származtatott költségek	Szén-hidrogén kibocsátásból származtatott költség	kedvező	1	1 kedvező
	Szén-monoxid kibocsátásból származtatott költség	semleges	1	1 semleges
	Nitrogén-oxidok kibocsátásból származtatott költség	kedvezőtlen	1	1 kedvezőtlen
	Részecske kibocsátásból származtatott külső költség	kedvezőtlen	1	1 kedvezőtlen
Vizsgált paraméter-csoportok száma: 5	Vizsgált paraméterek száma: 22	Eredmény:		Súlyozott eredmény:
		kedvezőtlen: 10		kedvezőtlen: 9
		kedvező: 8		kedvező: 5
		semleges: 4		semleges: 4

8. A tézisekhez kapcsolódó publikációk

[TP 1] *Szabados, G., Bereczky, Á.* (2019): **Economic Evaluation of Renewable Fuels through Pollutants Derived from Internal Combustion Engine.** Periodica Polytechnica Mechanical Engineering, 63(1), 33-38. DOI: [10.3311/PPme.12521](https://doi.org/10.3311/PPme.12521)

[TP 2] *Szabados, Gy., Bereczky, Á.* (2018): **Use of biofuels in a compression-ignition engine - comprehensive technical and economical analysis.** European Kones 2018. 44th International Scientific Congress on Powertrain and Transport Means. 23-26 September 2018. Czechochowa, Poland. DOI: [10.5604/01.3001.0012.2505](https://doi.org/10.5604/01.3001.0012.2505)

[TP 3] *Szabados, G., Bereczky, Á., Ajtai, T., & Bozóki, Z.* (2018): **Evaluation analysis of particulate relevant emission of a diesel engine running on fossil diesel and different biofuels.** Energy, 161, pp. 1139-1153. DOI: [10.1016/j.energy.2018.07.154](https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.07.154)

[TP 4] *Szabados, Gy., Bereczky, Á.* (2018): **Experimental investigation of physicochemical properties of diesel, biodiesel and TBK-biodiesel fuels and combustion and emission analysis in CI internal combustion engine.** Renewable Energy, 121, pp. 568-578. DOI: [10.1016/j.renene.2018.01.048](https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.01.048)

[TP 5] *Szabados, G., Bereczky, Á.* (2015): **Comparison tests of diesel, biodiesel and TBK-biodiesel.** Periodica Polytechnica. Mechanical Engineering, 59(3), pp. 120-125. DOI: [10.3311/PPme.7989](https://doi.org/10.3311/PPme.7989)

[TP 6] *Szabados, G., Merétei, T.* (2015): **Comparison Tests of Fossil Diesel Fuel and TBK-Biofuel.** Periodica Polytechnica. Transportation Engineering, 43(4), 218. pp. 218-224. DOI: [10.3311/PPtr.7963](https://doi.org/10.3311/PPtr.7963)

[TP 7] *Szabados György, Dr. Bereczky Ákos:* **Megújuló tüzelőanyagok összehasonlító vizsgálatai.** ENERGIAGAZDÁLKODÁS, 55. évfolyam (2014), 5-6. szám, pp. 26-29. ISSN: 0021-0757

[TP 8] *Szabados György, Lovas Máté:* **Gázolaj és biodízel tüzelőanyagok Diesel-motorban történő égési folyamatának szimulációja az AVL FIRE CFD szoftver segítségével/Combustion Simulation of Diesel Fuel and Biofuel by the Help of AVL FIRE CFD software.** Műszaki Szemle, 2015:18.66, pp. 35-40.

[TP 9] *Dr. Bereczky Ákos, Szabados György, Lukács Kristóf:* **Összehasonlító vizsgálatok a fosszilis gázolaj és a TBK-Biodízel tüzelőanyagokkal a kompressziógyújtású motorban való üzemelés tekintetében.** A JÖVŐ JÁRMŰVE, 2013:1-2, pp. 68-71. ISSN: 1788-2699

[TP 10] *Dr. Merétei Tamás, Szabados György:* **Magyar találmány - A TBK-Biodízel tüzelőanyag: Az új típusú tüzelőanyag elsősorban emisszió szempontú motorüzemi vizsgálata.** A JÖVŐ JÁRMŰVE, 2012:1-2, pp. 82-86. ISSN: 1788-2699

[TP 11] *Szabados György, Dr. Kerekes Zsuzsanna, Bácskai István, Dr. Bereczky Ákos:* **Biotüzelőanyagok motorikus szempontból releváns tulajdonságainak meghatározása és összehasonlítása.** ENERGETIKA-ELEKTROTECHNIKA KONFERENCIA – ENELKO, 2014.10.9-12., Székelyudvarhely. pp. 88-93. ISSN 1842-4546

[TP 12] *Szabados, Gy., Lovas, M.* (2015): **Combustion simulation of diesel fuel and biofuel by the help of AVL's multi-purpose thermo-fluid CFD software.** 12th International Conference on HEAT ENGINES AND ENVIRONMENTAL PROTECTION, 2015.05.27-29., Pécs. pp. 51-56. ISBN 978-963-313-217-3

[TP 13] *Szabados, Gy., Lukács, K.* (2013): **Comparative investigations of operating conditions of a C.I. engine running on fossil diesel and TBK-Biodiesel fuels.** 11th International Conference on HEAT

ENGINES AND ENVIRONMENTAL PROTECTION, 2013.06.03-05., Balatonfüred. pp. 31-37. ISBN: 978-963-313-091-9

[TP 14] *Merétei, T., Szabados, Gy.* (2012): **Investigations of TBK-biofuel in CI engine.** Gépészet 2012 - EIGHTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON MECHANICAL ENGINEERING. 2012.05.24-25., Budapest, (BME GMK)., Paper 45., pp. 348-354. ISBN: 978-963-313-055-1

[TP 15] *Lukács, K., Szabados, Gy., Bereczky, Á.* (2015): **Developing the model for the investigation of combustion process of renewable fuel in AVL FIRE program.** 11th International Conference on HEAT ENGINES AND ENVIRONMENTAL PROTECTION, 2013.06.03-05., Balatonfüred. pp. 323-328. ISBN: 978-963-313-091-9