



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM

GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR DOKTORI TANÁCSA

DOKTORI TÉZISFÜZET

Írta:

Laza Tamás

okleveles gépészmérnök

FOLYÉKONY BIO-TÜZELŐANYAGOK
FELHASZNÁLÁSA HŐERŐGÉPEKBEN

című témakörből, amellyel a PhD fokozat elnyerésére pályázik

Budapest, 2010

I. A kutatások előzménye

A világ villamosenergia-igénye, és ezzel együtt az üvegházhatást okozó gázok kibocsátása is egyre nő. A növekedés üteme megújuló energiaforrások használatával csökkenthető.

Magyarországon az egyik legjelentősebb megújuló energia a biomassza. Az ebből nyerhető két legfontosabb folyékony tüzelőanyag az alkohol és a növényi olaj, ill. annak észterezett változata. Az észterezett növényi olaj felhasználása már több országban bevezetett gyakorlat, azonban az előállítás költséges. Ezen megfontolások miatt munkámban a hidegen sajtolt repceolajjal foglalkozom.

Lehetséges alkalmazási terület a repceolaj számára mezőgazdasági területeken traktorok meghajtásán kívül a helyben történő hasznosítás, az ún. decentralizált energiatermelés. Ennek egyik lehetséges megvalósítása a fixen telepített, generátorral ellátott mikrogázturbina vagy dízelmotor.

Új tüzelőanyagok felhasználásakor két út kínálkozik: vagy a tüzelőanyagot módosítjuk úgy, hogy a régi berendezésben is felhasználható legyen, vagy a berendezést tesszük alkalmassá az új tüzelőanyag felhasználására.

Modern gázturbinák NO_x -kibocsátásának csökkenését alapvetően megnövelt légfelesleg-tényezőjű üzemmel érik el. A módszernek azonban vannak korlátai, mert a nagy légfeleslegű lángok égési instabilitásra hajlamosak, ami jelenthet termoakusztikus lengést (akusztikusan öngerjesztő lángok kialakulását), instabil gyújtást, vagy helyi lángkialvást is. Az aktuális gázturbina-kutatás egyik központi feladata a termoakusztikus lengések vizsgálata.

Nyers repceolaj viszkozitása, párolgási tulajdonsága nagymértékben eltér a dízelolajétól, felhasználása során a motor égésterében a repceolaj lerakódásokat okoz, ezért szükséges a tüzelőanyag módosítása. A módosított tüzelőanyag repce-metilészter (RME). Az RME előállítása azonban költséges, gyártása során keletkező melléktermékek pedig külön problémák forrása.

II. Irodalom kritikai áttekintése

Akusztikusan öngerjesztő lángok

Irodalmi adatok alapján nyilvánvaló, hogy gázturbinában repceolajat fel lehet használni (pl. [Ardy, 1995], [Juste, 2000], [Gökalp, 2004]). Sajnos a szerzők nem vizsgálták, hogy gázturbina-porlasztóval megvalósított repceolaj tüzelés milyen porlasztási minőséget kíván és az hogyan valósítható meg. Juste tapasztalatai szerint bio-tüzelőanyagok felhasználásakor gyakrabban alakulnak ki akusztikusan öngerjesztő lángok, azonban az ilyenkor kialakuló porlasztási képet nem vizsgálta meg részletesen.

Herman perdítőelemes nyomásporlasztóval juttatta be a tüzelőanyagot a modell-tüzelőtérbe [Herman, 1995]. Mérései során Lézer-Doppler Anemométerrel (LDA-val) mérte a levegő és a folyadék áramlását. Megállapította, hogy tüztéri oszcilláció esetén a tüzelőanyag egyenetlenül jut a tüzelőtérbe, így a hőfelszabadulás is egyenetlenné válik, valamint a lángfront helye is periodikusan változik. Javaslatára szerint az egyik lehetséges megoldás az oszcilláció elkerülésére más reakciókinetikai tulajdonságokkal rendelkező tüzelőanyag alkalmazása.

Müller külső keverésű segédkezes porlasztó filmenterítőjén kialakuló porlasztást vizsgálta meg, a létrejövő lengést a primer és szekunder levegő szinusz-szerű gerjesztésével szimulálta [Müller, 2005]. A viszkozitás felezésével az átlagos Sauter középátmérő csak mintegy 6%-kal változott, azonban a felületi feszültség háromszorozásával 51%-kal nőtt. A pulzáció

amplitúdójának felezésekor, majd negyedeléskor nem változott a cseppátmérő. Munkája alapján várhatóan nagyobb cseppeket kapunk repceolajnál.

Belső égésű motorok

Belső égésű motorokban sokan és sokféleképpen használtak növényi olajat (nyersen, észterezetten, alkohollal, benzinnel keverve, közvetlen befecskendezésű, előkamrás motorban, állandó/változó terhelésen és fordulatszámokon stb.). A motor üzemére és a mérési eredményekre a felhasznált növényi olaj minősége (évjárat stb.) is hatással van. Éppen ezért az irodalomban található eredményeket nehéz egységesíteni, mert a vizsgálatok nem azonos körülmények között készültek.

A repceolaj tulajdonságait különböző módon próbálták a dízelolajéhoz hasonlóná tenni. Zöldy munkájában a biodízel, a dízelolaj és az etanol hármaskverékének a viszkozitását és cetánszámát vizsgálta meg [Zöldy, 2007].

Plassmann mérései alapján a metanol benzinnel és vízzel jól elegyedik, dízelolajjal rosszul, növényi olajjal még rosszabbul [Plassmann, 1974].

Karabektas izobutanolt elegyített dízelolajhoz (5, 10, 15 és 20 V/V%-ban), ennek hatását vizsgálta a teljesítményre és az emisszióra, egyhengeres, közvetlen befecskendezésű dízelmotorban [Karabektas, 2009]. Az NO_x és a CO emissziók csökkenését, a CH emissziók növekedését tapasztalta. Véggövektetése szerint az izobutanol jól, szétválás nélkül elegyedik a dízelolajjal, felhasználásához a motoron nem szükséges átalakításokat végezni. Munkája során nem jutott el addig, hogy kísérleteit repceolajjal elegyített alkohollal is elvégezze.

Spessert munkatársaival egyhengeres dízelmotorokat vizsgált meg repce-, napraforgó-, dízelolaj- és RME-üzemben [Spessert, 2007]. A vizsgálat folyamán mérték a teljesítményt, a nyomatókot, az emissziót, a befecskendezőrendszerben felépülő nyomást, a szag- és zajkibocsátást.

Kumar munkatársaival méréseik során egyhengeres motorban, állandó fordulatszámokon vizsgálta meg a károsanyag-emissziókat növényi olajjal (ricinus), növényi olaj + metanol elegyével, dízelolajjal, valamint növényolajszterrel [Kumar, 2003]. Méréseik során az alkohol csökkentette a füstölést. Az NO_x-kibocsátás alacsonyabb volt növényi olajjal, mint dízelolajjal (ez az alacsonyabb égési hőmérsékletnek tudható be). Növényi olaj és észterei keverékének égése hosszabb diffúziós szakaszt mutatott fel, mint a dízelolaj. Méréseik alapján a gyulladási késedelem a növényi olajjal nagyobb, mint dízelolajjal, a csúcsnyomás, valamint a nyomásnövekedés a növényi olajjal végzett méréseknél volt a legkisebb.

Irodalmi hivatkozások

- [Herman, 1995] HERMAN, ZANGL, GLEIS: *Untersuchung der Anregungsmechanismen selbsterregter Verbrennungsschwingungen an einem Verbrennungssystem mit Flüssigkraftstoff*. Kutatási jelentés, Nr. 1193, VDI, Düsseldorf, 1995.
- [Müller, 2005] MÜLLER, HEHLE, KOCH: *Zerstäubungsverhalten von Airblastdüsen bei oszillierenden Strömungen*. VDI-Berichte Nr. 1888. pp. 249-257, 2005.

- [Ardy, 1995] ARDY, BARBUCCI, BENELLI: *Development of Gas Turbine Combustor Fed with Bio-Fuel Oil*. Proc. Second Biomass Conference of the Americas, pp. 429-438, 1995.
- [Juste, 2000] JUSTE, MONFORT: *Preliminary test on combustion of wood derived fast pyrolysis oils in a gas turbine combustor*. Biomass and Bioenergy, 2000.
- [Gökalp, 2004] GÖKALP, LEBAS: *Alternative fuels for industrial gas turbines (AFTUR)*. Applied Thermal Engineering, vol. 19., pp. 119-128, 2004.
- [Kumar, 2003] KUMAR, RAMESH, NAGALINGAM: *An experimental comparison of methods to use methanol and Jatropha oil in a compression ignition engine*. Biomass and Bioenergy, vol. 25., pp. 309 - 318, 2003.
- [Spessert, 2007] SPESSERT, SCHLEICHER: *Einfluss von Biokraftstoffen auf die Abgas- und Geräuschemission kleiner Industriedieselmotoren*. MTZ, vol. 68/3., pp. 212-222, 2007.
- [Plassmann, 1974] PLASSMANN, HASSEL: *Neuen Kraftstoffen auf der Spur*. Bundesministerium für Forschung und Technologie, Bonn, 1974.
- [Karabektas, 2009] KARABEKTAS, HOSUZ: *Performance and emission characteristics of a diesel engine using isobutanol–diesel fuel blends*. Renewable Energy, vol. 34/6, 2009.
- [Zöldy 2007] ZÖLDY: *Bioethanol-biodiesel-diesel oil blends effect on cetane number and viscosity*. 6th International ColloquimFuels, Technische Akademie Esslingen, Németország, 2007.

III. Célkitűzések

Mind a gázturbinás, mind a dízelmotoros felhasználás alapja a felhasznált folyékony tüzelőanyag megfelelő minőségű porlasztása. Mivel a repceolaj sűrűsége és felületi feszültsége eltér a hagyományos gázturbina- tüzelőanyagétól (pl. kerozin) és a dízelolajétól, ezért szükséges a megújuló tüzelőanyag porlaszthatóságának külön vizsgálata.

A fentiek alapján a disszertációban célul tűztem ki a repceolaj különböző porlasztókkal kapott porlasztási képének, a szegény üzemben fellépő termoakusztikus lengésének, továbbá a belső égésű motorban történő alkalmazásának vizsgálatát.

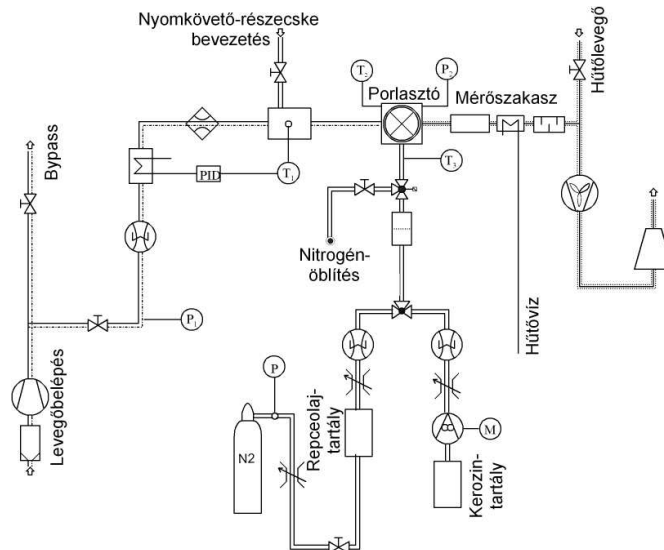
Munkám során egy külső keverésű segédközeges porlasztóval ellátott modell gázturbina-tüzelőtérben, a hagyományos (kerozin jet-A) és a megújuló (repceolaj) gázturbina-tüzelőanyag felhasználása során, szegény üzemben kialakuló termoakusztikus lengéseket hasonlítom össze. Külön figyelmet fordítok a különböző tüzelőanyagok felhasználása során kialakuló lengések fázisfelbontott vizsgálatára. Vizsgálni kívánom a cseppek sebességét, haladási irányát, átmérőjét.

A növényi olaj motorikus felhasználásának vizsgálata folyamán megvizsgálom a növényi olaj égési sebességének növelési lehetőségét. Ezért különböző, magasabb rendű alkoholokat elegyíték hozzá. Az így kapott tüzelőanyagok motorikus felhasználhatóságán kívül megvizsgálom a tárolás, és a szállíthatóság szempontjából fontos tulajdonságait is, mint például a lobbanáspontot, viszkozitást, sűrűséget, hidegszűrési határhőmérsékletet.

Dolgozatomban (amely 93 oldalon 5 fejezetben 64 ábrát, 129 tételes irodalomjegyzéket, továbbá 11 oldal függelék tartalmaz) bemutatom a célkitűzések elérése érdekében végzett kutatási munkát, a felhasznált kísérleti berendezéseket és az elméleti összefüggéseket.

IV. Vizsgálati módszerek

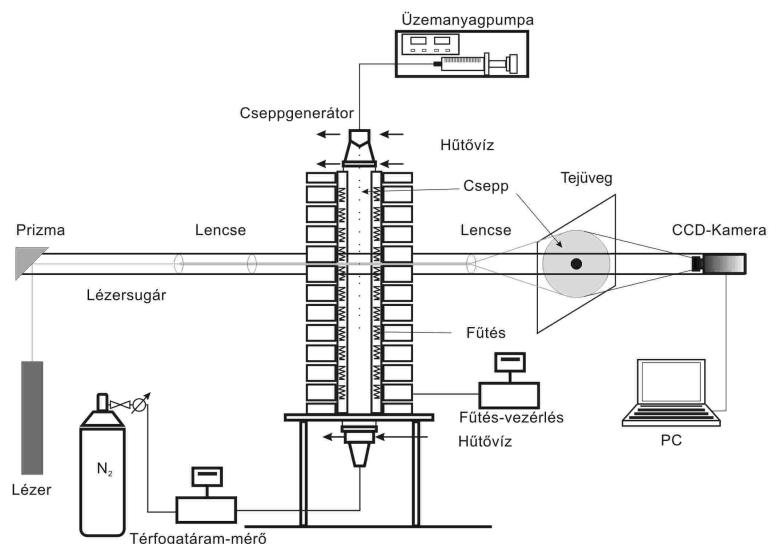
Az akusztikusan öngerjesztő lángok vizsgálatához felépíttem egy kísérleti gázturbina-tüzelőteret (1. ábra). A berendezés konstrukciójánál fogva kizárja a nem öngerjesztő akusztikus lengések kialakulását. A tüzelőtér felépítése lehetővé tette a porlasztmány nagy felületű (lézersík, PIV) és pontszerű (PDA) érintésmentes vizsgálatát. A felhasznált mérőeszközök az oszcilláló láng fázisfelbontott analizálására adtak lehetőséget (cseppméret, cseppsebesség).



1. ábra. Akusztikusan öngerjesztő lángok vizsgálatához felépített kísérleti gázturbina-tüzelőtér

A repceolaj és a repceolaj – magasabb rendű alkoholok elegyének belső égésű motorban történő vizsgálatát egy CFR cetánszámmérő egységen végeztem.

A párolgási tulajdonságok elemzéséhez az elterjedt TGA-n túl lézeres árnyékgráfiát alkalmaztam.



2. ábra. Lézeres árnyékgráfia felépítése

Az elegyek többi fizikai paraméterét (lobbanáspont, égéshő, sűrűség, viszkozitás, hidegszűrési határhőmérséklet, oxidációs stabilitás stb.) a vonatkozó szabvány előírásainak megfelelően végeztem.

V. Új tudományos eredmények

1. Nagy viszkozitású tüzelőanyagok esetében is ugyanolyan cseppméretű (SMD) porlasztás érhető el perdítőelemes nyomásporlasztóval, mint belső keverésű segédközegees porlasztóval, ezért célszerűbb az energetikailag kedvezőbb nyomásporlasztó használata. Perdítőelemes nyomásporlasztó esetében a 10 bar-on 60 °C-os hőmérséklet 50%-os megemelése annyit javít a folyadék porlaszthatóságán, mint a 60%-kal magasabb nyomás kisebb mértékű, csak 30%-os hőmérsékletemelése. Mindezt kísérletekkel igazoltam [1], [2].
2. Akusztikusan öngerjesztő lángok esetén, külső keverésű, ellentétes perdületű segédközegees porlasztó alkalmazásakor mind kerozin, mind a nagyobb viszkozitású és nehezebben párologó repceolaj tüzelőanyag esetében, a cseppek axiális irányára az oszcilláció fázisszöge nincs hatással, axiális és tangenciális sebességre viszont igen. Az oszcilláció hatása az axiális sebességre a 100%-kal nagyobb felületi feszültségű és 130%-kal nagyobb viszkozitású repceolaj esetén (a maximális értékhez viszonyítva) -36%, míg kerozin esetében -50%. Az oszcilláció tangenciális sebességre gyakorolt hatása rendre -20% és -33% [3], [4], [5], [6], [7].
3. Kísérletekkel igazoltam, hogy oszcilláló égés esetén a repceolaj, illetve a kerozin tüzelőanyag hasonló CO és NO_x károsanyag képződési lefolyást eredményez, mind a légfelesleg, mind pedig a bevezetett hőteljesítmény függvényében [3], [4], [5], [6], [7].
4. Bebizonyítottam, hogy repceolajjal a vizsgált magasabb rendű alkoholok 20 V/V%-ig térfogati kontrakció nélkül elegyednek. Mint ismeretes, az egyszerű alkoholok a repceolajjal nem elegyednek, vízzel történő elegyítésükkor viszont jelentős a térfogati kontrakció (etanol – víz 50 V/V%-os elegyénél a 3,7%-ot is eléri, de általában 1-2% körüli) [9].
5. Előkamrás egyhengeres dízelmotorban célszerű a repceolajhoz butanolt, vagy propanolt elegyíteni a viszkozitás csökkentése és az égési folyamat javítása érdekében, 20 V/V%-ig. Motorikus felhasználás szempontjából a vizsgált alkoholok közül a butanol a propanolnál kedvezőbb tulajdonságú, a fűtőértéke miatt. Az alkoholoknak az elegyek cetánszámára, viszkozitására gyakorolt hatásuk megegyezik. A hidegszűrhetőségi határhőmérsékletet a 20 V/V% butanol is lecsökkenti a nyári előírásnak megfelelő szintre, az elegyített alkohol az oxidációs stabilitására nincs hatással. A butanol jobban csökkenti (azonos térfogat% esetén) az elegy lobbanáspontját, ezért fokozottan tűz- és robbanásveszélyes [8], [10], [11], [12].
6. Igazoltam azt a feltételezést, miszerint a motor égésterében az alkohol-repceolaj elegy égése két lépcsőben játszódik le: a magasabb cetánszámú repceolaj gyullad meg először, és ennek lángja gyújtja meg az elegyből kipárolgott, jó kompressziótűrűségű alkoholt. Kísérletekkel igazoltam, hogy a repceolaj-alkohol cseppből az alkohol párologása már alacsony (30 °C alatti) hőmérsékleten elkezdődik, a kipárolgás részaránya a hőmérséklet növelésével nő. 180 °C fölött a csepp már nem tartalmaz

alkoholt, csak repceolajat, amely viszont ezen a hőmérsékleten még nem párolog [10], [12], [13].

7. Mérésekkel bizonyítottam, hogy az előkamrás dízelmotorban felhasznált repceolaj – magasabb rendű alkoholok elegyének a károsanyag kibocsátására az alkohol hatása - típusától függetlenül - azonos nagyságrendben van. Kimutattam, hogy 10 és 20 V/V% magasabb rendű alkohol repceolajhoz történő elegyítése esetén a károsanyag-kibocsátás változása az alkoholtartalommal nem lineáris. A változás függvényét a mérési pontok grafikonjával megadtam [14], [15].

VI. A tézispontokhoz kapcsolódó tudományos közlemények

- [1] LAZA, MEIER, PENNINGER: *Untersuchungen zur Einsetzbarkeit von rohem Rapsöl für die Verbrennung in Gasturbinen*. 14. Frühlingsakademie. München, Németország, pp. 37-43. (2002.)
- [2] LAZA, MEIER, KOCH: *Untersuchungen zum Einsatz von Rapsöl in Gasturbinen*. Internationale Conference on Heat Engines and Environmental Protection, Balatonfüred, pp. 99-106. (2003.)
- [3] LAZA, KOCH, PENNINGER: *A kerozin és repceolaj gázturbinaszpecifikus vizsgálata II*. Magyar Energetika, XIII:(5) pp. 3-8. (2005)
- [4] LAZA, KOCH, PENNINGER: *Examination of kerosine and rape oil with specification of gas turbine*. Gépészet 2004, pp. 622-626. (2004.)
- [5] LAZA, KOCH, PENNINGER: *Kerozin és repceolaj gázturbinaszpecifikus vizsgálata*. Magyar Energetika, XII:(5) pp. 28-33. (2004.)
- [6] LAZA, KOCH, PENNINGER: *Analysis of oscillation of gas turbine combustion in case of rape seed oil and kerosine jet-a fuel*. microCAD2005, Miskolc, pp. 49-54. (2005.)
- [7] LAZA, KOCH, PENNINGER: *Analysis der Oszillation eines rapsölbetriebenen Kleingasturbinenbrenner*. 22. Deutscher Flammentag, Braunschweig, VDI-BERICHT 1888: pp. 673-679. (2005.)
- [8] LAZA, PENNINGER: *Repceolaj és magasabb rendű alkoholok keverékének viszkozitása*. Energiagazdálkodás, Budapest, 46:(5) pp. 3-5. (2005.)
- [9] LAZA, TÓVÁRI, PENNINGER: *Investigation of Density and Heat Value of Rape Seed Oil and Rape Seed Oil + Alcohol Mixtures*. Proc. of International Conference of Energetics and Electrical Engineering, Kolozsvár, pp. 65-69. (2006.)
- [10] LAZA, KERÉKES, PENNINGER: *A repceolaj, valamint a repceolaj és magasabb rendű alkohol-keverékek tűzveszélyességének meghatározása*. Szent István Egyetem Tudományos Közlemények, Budapest, 3:(1) pp. 40-44. (2006.)
- [11] LAZA, KECSKÉS, BERECZKY, PENNINGER: *Examination of burning process of regenerative liquid fuel and alcohol mixtures in diesel engine*. Periodica Politechnica ser. Mech. Eng., Budapest, 50:(1) pp. 11-29. (2006.)
- [12] LAZA, BERECZKY: *Determination of the Evaporation Constant in Case of Pure and with Alcohol Mixed Rape Seed Oil*. Proc. of 6th International Conference in Mechanical Engineering, Brasov, pp. 232-237. (2008.)

- [13] **LAZA**: *Pilot Test and Theoretical Analysis of Evaporation of One and More Component Fuel.s* Periodica Polytechnica-Mechanical Engineering 52:(2) pp. 67-71. ISSN: 0324-6051 (2009.)
- [14] **LAZA**, **BERECZKY**: *Influence of Higher Alcohols on the Combustion Pressure of Diesel Engine Operated with Rape Seed Oil.* Acta Mechanica Slovaca, 13:(3) pp. 54-61. (2009.)
- [15] **LAZA**, **BERECZKY**: *Magasabb rendű alkohol hatása dízelmotorban lejátszódó égési folyamatokra repceolaj tüzelőanyag esetén.* Energiagazdálkodás, 50:(6) pp. 19-24. (2009.)

VII. Az értekezés témaköréhez kapcsolódó publikációk

1. **T. Laza**, R. Koch, A. Penninger: Analysis of Burning Behavior of Liquid Fuel Based on Biomass and Kerosine Jet A. 7. International Conference on Heat Engines and Environmental Protection, pp. 171-177., ISBN 963 420 840 1, Balatonfüred (2005.)
2. **Laza T.**, Penninger A.: Repceolaj, valamint repceolaj és metanol keverékének párolgási tulajdonságai és viszkozitása. Energiagazdálkodás 46. évf. II. szám pp. 17-21. ISSN 0021-0757, Budapest, (2005.)
3. Losonczi B., Hermanutz P., **Laza T.**, Bereczky Á., Kecskés R., Meggyes A.: Investigation of Combustion Process of Pure and Refuse Vegetable Oil in Diesel Engine. Gépészet 2006, ISBN 963 593 465 3, Budapest (2006.)
4. **Laza T.**, Sabino J., Carvalho I., Bereczky Á., Penninger A.: Pilot Test and Theoretical Analysis of One and More Component Fuel. Gépészet 2006, ISBN 963 593 465 3, Budapest (2006.)
5. **Laza T.**, Tóvári P., Penninger A.: Investigation of Density and Heat Value of Rape Seed Oil and Rape Seed Oil + Alcohol Mixtures. International Conference of Energetics and Electrical Engineering, pp. 65-69. ISSN 1842-4546 Kolozsvár (2006.)
6. **Laza T.**, Kerekes Zs., Penninger A.: Repceolaj valamint repceolaj és magasabb rendű alkoholok égéstörvényének elemzése az elegyek lobbanáspontja alapján. Energiagazdálkodás, 47. évf. V. sz. pp. 6-9. ISSN 0021-0757 (2006.)
7. **Laza T.**, Stauch R., Penninger A.: Theoretical and practical analysis of the evaporation of vegetable oils and fatty acids. 8. International Conference on Heat Engines and Environmental Protection, pp. 75-79., Balatonfüred, ISBN 978 963 420 907 2 (2007.)
8. **Laza T.**, Penninger A.: Repceolaj és magasabb rendű alkohol elegyek párolgási folyamatának elemzése. 3. évf. III. sz. pp. 16-18. Bioenergia ISSN 1788-487X (2008.)
9. **Laza T.**, Bereczky Á.: Magasabb rendű alkoholok repceolaj belső égésű motorban való felhasználhatóságára gyakorolt hatása. Tüki, 42. Ipari Szeminárium, Dunaújváros, ISBN 978-963-06-6543-8 (2008.)
10. **Laza T.**, Penninger A.: Analysis of spray combustion of liquid biomass comparing with kerosene. 4th European Combustion Meeting, Bécs, ISBN 978-3-902655-06-6 (2009.)

11. **T. Laza**, **Á. Bereczky**: Influence of higher alcohols on the emissions of diesel engine operated with rape seed oil. 4th European Combustion Meeting, Bécs, ISBN 978-3-902655-06-6 (2009.)
12. **Laza T.**, **Bereczky Á.**: Influence of higher alcohols on the Combustion Pressure of Diesel Engine Operated with Rape Seed Oil. 9th International Conference on Heat Engine and Environmental Protection, Balatonfüred. pp. 45-51. ISBN 978-963-420-979-9 (2009.)
13. **Bereczky Á.**, **Laza T.**: Ersetzen des Dieselöls durch Rapsöl mit beigemischten Alkoholen höheren Grades. 24. Deutscher Flammentag: Verbrennung und Feuerung. Bochum, Németország, VDI Verlag, pp. 511-514. ISBN 978-3-18-092056-6 (2009.)
14. **T. Laza**, **Á. Bereczky**, **A. Penninger**: Energetische und Motorische Verwendung der Erneuerbaren Energiequellen. 9. Magdeburger Maschinenbau-Tage, pp. 57-64. Magdeburg, Németország. ISBN 978-3-940961-36-5 (2009.)
15. **Penninger A.**, **Meggyes A.**, **Laza T.**: Gázturbinatűztér oszcillációjának vizsgálata megújuló tüzelőanyag esetén. X. ENELKO, Románia, Marosvásárhely, pp. 130-134. ISSN 1842-4546 (2009.)
16. **Kovács V.**, **Laza T.**, **Török Á.**: Hazai, közlekedési célú, növényi alapú, bio-tüzelőanyag felhasználás analitikai vizsgálata, Közlekedéstudományi Szemle V. pp. 36-39. ISSN: 0023-4362 (2009.)
17. **Bereczky Á.**, **Laza T.**: Magasabb rendű alkohol hatása dízelmotorban lejátszódó égési folyamatokra repceolaj tüzelőanyag esetén. Energiagazdálkodás, pp. 19-24. ISSN: 0021-0757 (2009.)
18. **Laza**: Pilot Test and Theoretical Analysis of Evaporation of One and More Component Fuels Periodica Polytechnica-Mechanical Engineering 52:(2) pp. 67-71. ISSN: 0324-6051 (2009).
19. **Kovács**, **Laza**, **Török**: Növényi alapú biotüzelőanyag-felhasználás közlekedési célú nemzetgazdasági optimalása. Magyar Energetika, XVI, (6) pp. 26-29. ISSN: 1216-8599 (2009.)

VIII. Hivatkozások

1. **Zöldy Máté**: Megújuló tüzelőanyagok adagolásának hatása a gázolaj viszkozitására, Autótechnika, 2005/8 HU ISSN 1588 9858. Hivatkozott cikk: **Laza**, **Penninger**: Repceolaj, valamint repceolaj és metanol keverékének párolgási tulajdonságai és viszkozitása. Energiagazdálkodás 46. évf. II. szám pp. 17-21. ISSN 0021-0757, Budapest (2005.)
2. **Zöldy Máté**, **Kecskés Róbert**: Megújuló motorhajtóanyagok keverésének hatása az égésfolyamatra és az emisszióra, Gép 2006/5, ISSN 0016-8572. Hivatkozott cikk: **Á. Bereczky**, **A. Meggyes**, **T. Laza**, **R. Kecskés**: Examination of Burning Processes of Regenerative Liquid Fuel and Alcohol Mixtures in Diesel Engine. 7. International Conference on Heat Engines and Environmental Protection, pp. 166-171., ISBN 963 420 840 1, Balatonfüred (2005.)
3. **Zöldy, M.**: Bioethanol-biodiesel-diesel oil blends effect on cetane number and viscosity, 6th International Colloquim Fuels 2007, Technische Akademie Esslingen, 2007 01.10-11,

- ISBN 3-924813-67-1. Hivatkozott cikk: Á. Bereczky, A. Meggyes, **T. Laza**, R. Kecskés: Examination of Burning Processes of Regenerative Liquid Fuel and Alcohol Mixtures in Diesel Engine. 7. International Conference on Heat Engines and Environmental Protection, pp. 166-171., ISBN 963 420 840 1, Balatonfüred (2005.)
4. Reményi Károly: Megújuló Energiák. Energiaforrások és hasznosításuk. Akadémiai kiadó (2007.) ISBN 978 963 05 8458 6. Hivatkozott cikk: **Laza**, Penninger: Repceolaj, valamint repceolaj és metanol keverékének párolgási tulajdonságai és viszkozitása. Energiagazdálkodás 46. évf. II. szám pp. 17-21. ISSN 0021-0757, Budapest, (2005.)
 5. Dr. Zöldy Máté: Significance of application technique of fuel containing biocomponents, MOL SP SD & HSE special issue, 2009/3 ISSN 2060-338X pp 133-139. Hivatkozott cikk: Bereczky Á.; Meggyes, A.; **Laza, T.**; Kecskés, R.: Examination of burning process of regenerativ liquid fuel and alcohol mixtures in diesel engine. Heat Engines and Environmental Protection, ISBN 963 420 840 1, Balatonfüred (2005.)
 6. Martina Slezáková, Daniel Bratský: Diesel Fuels from Renewable Sources. 44th International Petroleum Conference, Bratislava, Slovak Republic. Hivatkozott cikk: **Laza, T.**, Kecskés, R., Bereczky, Á., Penninger, A.: Examination of burning processes of regenerative liquid fuel and alcohol mixtures in diesel engine. Periodical Polytechnica Ser. Mech. Eng., 50 (1), 11-29. (2006.)
 7. Viktória Barbara Kovács, Attila Meggyes: Energetic Utilisation of Pyrolysis Gases in IC Engine. Acta Polytechnica Hungarica Vol. 6, No. 4, 2009. Hivatkozott cikk: **Laza, T.**, Bereczky Á.: Determination of the Evaporation Constant in Case of Pure and with Alcohol Mixed Rape Seed Oil., in Proceedings of 16th International Conference in Mechanical Engineering, Brasov, May 1-4, 2008, pp. 232-237
 8. S. Szwaja, J. D. Naber: Combustion of n-butanol in a spark-ignition IC engine. Fuel xxx (2009) xxxxxx. Hivatkozott cikk: **Laza T.**, Kecskés R., Bereczky Á., Penninger A.: Examination of burning processes of regenerative liquid fuel and alcohol mixtures in diesel engine. Periodica Polytech Mech Eng; 50 (1):1129. (2006.)
 9. Martina Slezáková, Daniel Bratsky: Aplikácia Repkového Oleaj Ako Paliva Pre Neupravené Dieselové Motory. Aprochem 2009 Odpadové fórum 2009. 20.22. 4. 2009 Milovy pp. 1381-1388. Hivatkozott cikk: **Laza T.**, Kecskés R., Bereczky Á., Penninger A.: Examination of burning processes of regenerative liquid fuel and alcohol mixtures in diesel engine. Periodica Polytech Mech Eng; 50 (1):1129. (2006.)
 10. Penninger Antal: The Development of the Environmental Industry by the Utilisation of the Energetics Potential. In: István Fodor: The Role of Environmental Industry in The Regional Reindustrialisation in Hungary. Debrecen, MTA, 2009. pp. 127-144 ISBN: 978-963-9899-15-5. Hivatkozott cikk: **T. Laza**, Á. Bereczky: Influence of higher alcohols on the emissions of diesel engine operated with rape seed oil. 4th European Combustion Meeting, Bécs, ISBN 978-3-902655-06-6 (2009.)
 11. Zöldy, Hollo, Thernesz: Butanol as diesel extender option for internal combustion engines. SAE 2010 World Congress. Hivatkozott cikk: **Laza T.**, Kecskés R., Bereczky Á., Penninger A.: Examination of burning process of regenerative liquid fuel and alcohol

mixtures in diesel engine. *Periodica Politechnica ser. Mech. Eng.* Vol. 50, No. 1, pp. 11-29, HU ISSN 0324-6051 (2006.)

12. Zöldy, Hollo, Thernesz: Butanol as diesel extender option for internal combustion engines. SAE 2010 World Congress. Hivatkozott cikk: **T. Laza**, Á. Bereczky: Influence of higher alcohols on the emissions of diesel engine operated with rape seed oil. 4th European Combustion Meeting, Béc, ISBN 978-3-902655-06-6 (2009.)



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM

GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR DOKTORI TANÁCSA

DOKTORI TÉZISFÜZET

Írta:

Laza Tamás

okleveles gépészmérnök

FOLYÉKONY BIO-TÜZELŐANYAGOK
FELHASZNÁLÁSA HŐERŐGÉPEKBEN

című témakörből, amellyel a PhD fokozat elnyerésére pályázik

Budapest, 2010

I. A kutatások előzménye

A világ villamosenergia-igénye, és ezzel együtt az üvegházhatást okozó gázok kibocsátása is egyre nő. A növekedés üteme megújuló energiaforrások használatával csökkenthető.

Magyarországon az egyik legjelentősebb megújuló energia a biomassa. Az ebből nyerhető két legfontosabb folyékony tüzelőanyag az alkohol és a növényi olaj, ill. annak észterezett változata. Az észterezett növényi olaj felhasználása már több országban bevezetett gyakorlat, azonban az előállítás költséges. Ezen megfontolások miatt munkámban a hidegen sajtolt repceolajjal foglalkozom.

Lehetséges alkalmazási terület a repceolaj számára mezőgazdasági területeken traktorok meghajtásán kívül a helyben történő hasznosítás, az ún. decentralizált energiatermelés. Ennek egyik lehetséges megvalósítása a fixen telepített, generátorral ellátott mikrogázturbina vagy dízelmotor.

Új tüzelőanyagok felhasználásakor két út kínálkozik: vagy a tüzelőanyagot módosítjuk úgy, hogy a régi berendezésben is felhasználható legyen, vagy a berendezést tesszük alkalmassá az új tüzelőanyag felhasználására.

Modern gázturbinák NO_x -kibocsátásának csökkenését alapvetően megnövelt légfelesleg-tényezőjű üzemmellel érik el. A módszernek azonban vannak korlátai, mert a nagy légfeleslegű lángok égési instabilitásra hajlamosak, ami jelenthet termoakusztikus lengést (akusztikusan öngerjesztő lángok kialakulását), instabil gyújtást, vagy helyi lángkialvást is. Az aktuális gázturbina-kutatás egyik központi feladata a termoakusztikus lengések vizsgálata.

Nyers repceolaj viszkozitása, párolgási tulajdonsága nagymértékben eltér a dízelolajétól, felhasználása során a motor égésterében a repceolaj lerakódásokat okoz, ezért szükséges a tüzelőanyag módosítása. A módosított tüzelőanyag repce-metilészter (RME). Az RME előállítása azonban költséges, gyártása során keletkező melléktermékek pedig külön problémák forrása.

II. Irodalom kritikai áttekintése

Akusztikusan öngerjesztő lángok

Irodalmi adatok alapján nyilvánvaló, hogy gázturbinában repceolajat fel lehet használni (pl. [Ardy, 1995], [Juste, 2000], [Gökalp, 2004]). Sajnos a szerzők nem vizsgálták, hogy gázturbina-porlasztóval megvalósított repceolaj tüzelés milyen porlasztási minőséget kíván és az hogyan valósítható meg. Juste tapasztalatai szerint bio-tüzelőanyagok felhasználásakor gyakrabban alakulnak ki akusztikusan öngerjesztő lángok, azonban az ilyenkor kialakuló porlasztási képet nem vizsgálta meg részletesen.

Herman perdítőelemes nyomásporlasztóval juttatta be a tüzelőanyagot a modell-tüzelőtérbe [Herman, 1995]. Mérései során Lézer-Doppler Anemométerrel (LDA-val) mérte a levegő és a folyadék áramlását. Megállapította, hogy tüztéri oszcilláció esetén a tüzelőanyag egyenetlenül jut a tüzelőtérbe, így a hőfelszabadulás is egyenetlenné válik, valamint a lángfront helye is periodikusan változik. Javaslatára szerint az egyik lehetséges megoldás az oszcilláció elkerülésére más reakciókinetikai tulajdonságokkal rendelkező tüzelőanyag alkalmazása.

Müller külső keverésű segédkezes porlasztó filmenterítőjén kialakuló porlasztást vizsgálta meg, a létrejövő lengést a primer és szekunder levegő szinusz-szerű gerjesztésével szimulálta [Müller, 2005]. A viszkozitás felezésével az átlagos Sauter középátmérő csak mintegy 6%-kal változott, azonban a felületi feszültség háromszorozásával 51%-kal nőtt. A pulzáció

amplitúdójának felezésekor, majd negyedeléskor nem változott a cseppátmérő. Munkája alapján várhatóan nagyobb cseppeket kapunk repceolajnál.

Belső égésű motorok

Belső égésű motorokban sokan és sokféleképpen használtak növényi olajat (nyersen, észterezetten, alkohollal, benzinnel keverve, közvetlen befecskendezésű, előkamrás motorban, állandó/változó terhelésen és fordulatszámokon stb.). A motor üzemére és a mérési eredményekre a felhasznált növényi olaj minősége (évjárat stb.) is hatással van. Éppen ezért az irodalomban található eredményeket nehéz egységesíteni, mert a vizsgálatok nem azonos körülmények között készültek.

A repceolaj tulajdonságait különböző módon próbálták a dízelolajéhoz hasonlóná tenni. Zöldy munkájában a biodízel, a dízelolaj és az etanol hármasképletű keverékének a viszkozitását és cetánszámát vizsgálta meg [Zöldy, 2007].

Plassmann mérései alapján a metanol benzinnel és vízzel jól elegyedik, dízelolajjal rosszul, növényi olajjal még rosszabbul [Plassmann, 1974].

Karabektas izobutanolt elegyített dízelolajhoz (5, 10, 15 és 20 V/V%-ban), ennek hatását vizsgálta a teljesítményre és az emisszióra, egyhengeres, közvetlen befecskendezésű dízelmotorban [Karabektas, 2009]. Az NO_x és a CO emissziók csökkenését, a CH emissziók növekedését tapasztalta. Véggöveztetése szerint az izobutanol jól, szétválás nélkül elegyedik a dízelolajjal, felhasználásához a motoron nem szükséges átalakításokat végezni. Munkája során nem jutott el addig, hogy kísérleteit repceolajjal elegyített alkohollal is elvégezze.

Spessert munkatársaival egyhengeres dízelmotorokat vizsgált meg repce-, napraforgó-, dízelolaj- és RME-üzemben [Spessert, 2007]. A vizsgálat folyamán mérték a teljesítményt, a nyomatékot, az emissziót, a befecskendezőrendszerben felépülő nyomást, a szag- és zajkibocsátást.

Kumar munkatársaival méréseik során egyhengeres motorban, állandó fordulatszámokon vizsgálta meg a károsanyag-emissziókat növényi olajjal (ricinus), növényi olaj + metanol elegyével, dízelolajjal, valamint növényolajszterrel [Kumar, 2003]. Méréseik során az alkohol csökkentette a füstölést. Az NO_x-kibocsátás alacsonyabb volt növényi olajjal, mint dízelolajjal (ez az alacsonyabb égési hőmérsékletnek tudható be). Növényi olaj és észterei keverékének égése hosszabb diffúziós szakaszt mutatott fel, mint a dízelolaj. Méréseik alapján a gyulladási késedelem a növényi olajjal nagyobb, mint dízelolajjal, a csúcsnyomás, valamint a nyomásnövekedés a növényi olajjal végzett méréseknél volt a legkisebb.

Irodalmi hivatkozások

- [Herman, 1995] HERMAN, ZANGL, GLEIS: *Untersuchung der Anregungsmechanismen selbsterregter Verbrennungsschwingungen an einem Verbrennungssystem mit Flüssigkraftstoff*. Kutatási jelentés, Nr. 1193, VDI, Düsseldorf, 1995.
- [Müller, 2005] MÜLLER, HEHLE, KOCH: *Zerstäubungsverhalten von Airblastdüsen bei oszillierenden Strömungen*. VDI-Berichte Nr. 1888. pp. 249-257, 2005.

- [Ardy, 1995] ARDY, BARBUCCI, BENELLI: *Development of Gas Turbine Combustor Fed with Bio-Fuel Oil*. Proc. Second Biomass Conference of the Americas, pp. 429-438, 1995.
- [Juste, 2000] JUSTE, MONFORT: *Preliminary test on combustion of wood derived fast pyrolysis oils in a gas turbine combustor*. Biomass and Bioenergy, 2000.
- [Gökalp, 2004] GÖKALP, LEBAS: *Alternative fuels for industrial gas turbines (AFTUR)*. Applied Thermal Engineering, vol. 19., pp. 119-128, 2004.
- [Kumar, 2003] KUMAR, RAMESH, NAGALINGAM: *An experimental comparison of methods to use methanol and Jatropha oil in a compression ignition engine*. Biomass and Bioenergy, vol. 25., pp. 309 - 318, 2003.
- [Spessert, 2007] SPESSERT, SCHLEICHER: *Einfluss von Biokraftstoffen auf die Abgas- und Geräuschemission kleiner Industriedieselmotoren*. MTZ, vol. 68/3., pp. 212-222, 2007.
- [Plassmann, 1974] PLASSMANN, HASSEL: *Neuen Kraftstoffen auf der Spur*. Bundesministerium für Forschung und Technologie, Bonn, 1974.
- [Karabektas, 2009] KARABEKTAS, HOSUZ: *Performance and emission characteristics of a diesel engine using isobutanol–diesel fuel blends*. Renewable Energy, vol. 34/6, 2009.
- [Zöldy 2007] ZÖLDY: *Bioethanol-biodiesel-diesel oil blends effect on cetane number and viscosity*. 6th International ColloquimFuels, Technische Akademie Esslingen, Németország, 2007.

III. Célkitűzések

Mind a gázturbinás, mind a dízelmotoros felhasználás alapja a felhasznált folyékony tüzelőanyag megfelelő minőségű porlasztása. Mivel a repceolaj sűrűsége és felületi feszültsége eltér a hagyományos gázturbina- tüzelőanyagétól (pl. kerozin) és a dízelolajétól, ezért szükséges a megújuló tüzelőanyag porlaszthatóságának külön vizsgálata.

A fentiek alapján a disszertációban célul tűztem ki a repceolaj különböző porlasztókkal kapott porlasztási képének, a szegény üzemben fellépő termoakusztikus lengésének, továbbá a belső égésű motorban történő alkalmazásának vizsgálatát.

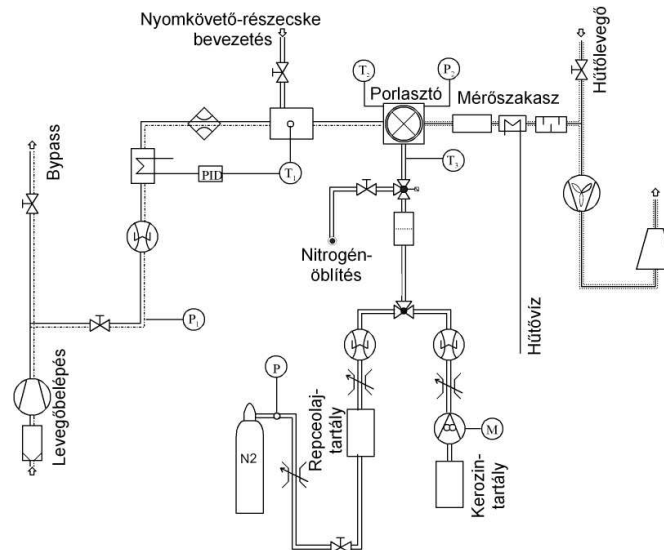
Munkám során egy külső keverésű segédközeges porlasztóval ellátott modell gázturbina-tüzelőtérben, a hagyományos (kerozin jet-A) és a megújuló (repceolaj) gázturbina-tüzelőanyag felhasználása során, szegény üzemben kialakuló termoakusztikus lengéseket hasonlítom össze. Külön figyelmet fordítok a különböző tüzelőanyagok felhasználása során kialakuló lengések fázisfelbontott vizsgálatára. Vizsgálni kívánom a cseppek sebességét, haladási irányát, átmérőjét.

A növényi olaj motorikus felhasználásának vizsgálata folyamán megvizsgálom a növényi olaj égési sebességének növelési lehetőségét. Ezért különböző, magasabb rendű alkoholokat elegyíték hozzá. Az így kapott tüzelőanyagok motorikus felhasználhatóságán kívül megvizsgálom a tárolás, és a szállíthatóság szempontjából fontos tulajdonságait is, mint például a lobbanáspontot, viszkozitást, sűrűséget, hidegszűrési határhőmérsékletet.

Dolgozatomban (amely 93 oldalon 5 fejezetben 64 ábrát, 129 tételes irodalomjegyzéket, továbbá 11 oldal függelék tartalmaz) bemutatom a célkitűzések elérése érdekében végzett kutatási munkát, a felhasznált kísérleti berendezéseket és az elméleti összefüggéseket.

IV. Vizsgálati módszerek

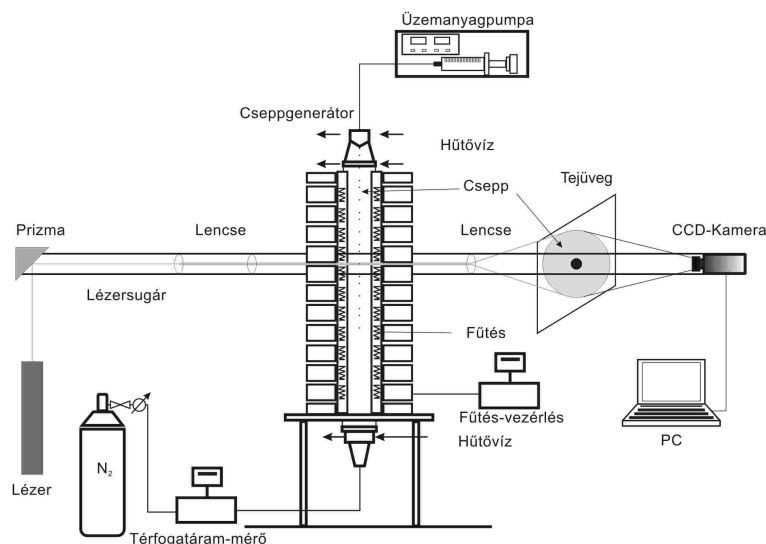
Az akusztikusan öngerjesztő lángok vizsgálatához felépíttem egy kísérleti gázturbina-tüzelőteret (1. ábra). A berendezés konstrukciójánál fogva kizárja a nem öngerjesztő akusztikus lengések kialakulását. A tüzelőtér felépítése lehetővé tette a porlasztmány nagy felületű (lézersík, PIV) és pontszerű (PDA) érintésmentes vizsgálatát. A felhasznált mérőeszközök az oszcilláló láng fázisfelbontott analizálására adtak lehetőséget (cseppméret, cseppsebesség).



1. ábra. Akusztikusan öngerjesztő lángok vizsgálatához felépített kísérleti gázturbina-tüzelőtér

A repceolaj és a repceolaj – magasabb rendű alkoholok elegyének belső égésű motorban történő vizsgálatát egy CFR cetánszámmérő egységen végeztem.

A párolgási tulajdonságok elemzéséhez az elterjedt TGA-n túl lézeres árnyékgráfiát alkalmaztam.



2. ábra. Lézeres árnyékgráfia felépítése

Az elegyek többi fizikai paraméterét (lobbanáspont, égéshő, sűrűség, viszkozitás, hidegszűrési határhőmérséklet, oxidációs stabilitás stb.) a vonatkozó szabvány előírásainak megfelelően végeztem.

V. Új tudományos eredmények

1. Nagy viszkozitású tüzelőanyagok esetében is ugyanolyan cseppméretű (SMD) porlasztás érhető el perdítőelemes nyomásporlasztóval, mint belső keverésű segédközegees porlasztóval, ezért célszerűbb az energetikailag kedvezőbb nyomásporlasztó használata. Perdítőelemes nyomásporlasztó esetében a 10 bar-on 60 °C-os hőmérséklet 50%-os megemelése annyit javít a folyadék porlaszthatóságán, mint a 60%-kal magasabb nyomás kisebb mértékű, csak 30%-os hőmérsékletemelése. Mindezt kísérletekkel igazoltam [1], [2].
2. Akusztikusan öngerjesztő lángok esetén, külső keverésű, ellentétes perdületű segédközegees porlasztó alkalmazásakor mind kerozin, mind a nagyobb viszkozitású és nehezebben párolgó repceolaj tüzelőanyag esetében, a cseppek axiális irányára az oszcilláció fázisszöge nincs hatással, axiális és tangenciális sebességre viszont igen. Az oszcilláció hatása az axiális sebességre a 100%-kal nagyobb felületi feszültségű és 130%-kal nagyobb viszkozitású repceolaj esetén (a maximális értékhez viszonyítva) -36%, míg kerozin esetében -50%. Az oszcilláció tangenciális sebességre gyakorolt hatása rendre -20% és -33% [3], [4], [5], [6], [7].
3. Kísérletekkel igazoltam, hogy oszcilláló égés esetén a repceolaj, illetve a kerozin tüzelőanyag hasonló CO és NO_x károsanyag képződési lefolyást eredményez, mind a légfelesleg, mind pedig a bevezetett hőteljesítmény függvényében [3], [4], [5], [6], [7].
4. Bebizonyítottam, hogy repceolajjal a vizsgált magasabb rendű alkoholok 20 V/V%-ig térfogati kontrakció nélkül elegyednek. Mint ismeretes, az egyszerű alkoholok a repceolajjal nem elegyednek, vízzel történő elegyítésükkor viszont jelentős a térfogati kontrakció (etanol – víz 50 V/V%-os elegyénél a 3,7%-ot is eléri, de általában 1-2% körüli) [9].
5. Előkamrás egyhengeres dízelmotorban célszerű a repceolajhoz butanolt, vagy propanolt elegyíteni a viszkozitás csökkentése és az égési folyamat javítása érdekében, 20 V/V%-ig. Motorikus felhasználás szempontjából a vizsgált alkoholok közül a butanol a propanolnál kedvezőbb tulajdonságú, a fűtőértéke miatt. Az alkoholoknak az elegyek cetánszámára, viszkozitására gyakorolt hatásuk megegyezik. A hidegszűrhetőségi határhőmérsékletet a 20 V/V% butanol is lecsökkenti a nyári előírásnak megfelelő szintre, az elegyített alkohol az oxidációs stabilitására nincs hatással. A butanol jobban csökkenti (azonos térfogat% esetén) az elegy lobbanáspontját, ezért fokozottan tűz- és robbanásveszélyes [8], [10], [11], [12].
6. Igazoltam azt a feltételezést, miszerint a motor égésterében az alkohol-repceolaj elegy égése két lépcsőben játszódik le: a magasabb cetánszámú repceolaj gyullad meg először, és ennek lángja gyújtja meg az elegyből kipárolgott, jó kompressziótűrűségű alkoholt. Kísérletekkel igazoltam, hogy a repceolaj-alkohol cseppből az alkohol párolgása már alacsony (30 °C alatti) hőmérsékleten elkezdődik, a kipárolgás részaránya a hőmérséklet növelésével nő. 180 °C fölött a csepp már nem tartalmaz

alkoholt, csak repceolajat, amely viszont ezen a hőmérsékleten még nem párolog [10], [12], [13].

7. Mérésekkel bizonyítottam, hogy az előkamrás dízelmotorban felhasznált repceolaj – magasabb rendű alkoholok elegyének a károsanyag kibocsátására az alkohol hatása - típusától függetlenül - azonos nagyságrendben van. Kimutattam, hogy 10 és 20 V/V% magasabb rendű alkohol repceolajhoz történő elegyítése esetén a károsanyag-kibocsátás változása az alkoholtartalommal nem lineáris. A változás függvényét a mérési pontok grafikonjával megadtam [14], [15].

VI. A tézispontokhoz kapcsolódó tudományos közlemények

- [1] LAZA, MEIER, PENNINGER: *Untersuchungen zur Einsetzbarkeit von rohem Rapsöl für die Verbrennung in Gasturbinen*. 14. Frühlingsakademie. München, Németország, pp. 37-43. (2002.)
- [2] LAZA, MEIER, KOCH: *Untersuchungen zum Einsatz von Rapsöl in Gasturbinen*. Internationale Conference on Heat Engines and Environmental Protection, Balatonfüred, pp. 99-106. (2003.)
- [3] LAZA, KOCH, PENNINGER: *A kerozin és repceolaj gázturbinaszpecifikus vizsgálata II*. Magyar Energetika, XIII:(5) pp. 3-8. (2005)
- [4] LAZA, KOCH, PENNINGER: *Examination of kerosine and rape oil with specification of gas turbine*. Gépészet 2004, pp. 622-626. (2004.)
- [5] LAZA, KOCH, PENNINGER: *Kerozin és repceolaj gázturbinaszpecifikus vizsgálata*. Magyar Energetika, XII:(5) pp. 28-33. (2004.)
- [6] LAZA, KOCH, PENNINGER: *Analysis of oscillation of gas turbine combustion in case of rape seed oil and kerosine jet-a fuel*. microCAD2005, Miskolc, pp. 49-54. (2005.)
- [7] LAZA, KOCH, PENNINGER: *Analysis der Oszillation eines rapsölbetriebenen Kleingasturbinenbrenner*. 22. Deutscher Flammentag, Braunschweig, VDI-BERICHT 1888: pp. 673-679. (2005.)
- [8] LAZA, PENNINGER: *Repceolaj és magasabb rendű alkoholok keverékének viszkozitása*. Energiagazdálkodás, Budapest, 46:(5) pp. 3-5. (2005.)
- [9] LAZA, TÓVÁRI, PENNINGER: *Investigation of Density and Heat Value of Rape Seed Oil and Rape Seed Oil + Alcohol Mixtures*. Proc. of International Conference of Energetics and Electrical Engineering, Kolozsvár, pp. 65-69. (2006.)
- [10] LAZA, KERÉKES, PENNINGER: *A repceolaj, valamint a repceolaj és magasabb rendű alkohol-keverékek tűzveszélyességének meghatározása*. Szent István Egyetem Tudományos Közlemények, Budapest, 3:(1) pp. 40-44. (2006.)
- [11] LAZA, KECSKÉS, BERECZKY, PENNINGER: *Examination of burning process of regenerative liquid fuel and alcohol mixtures in diesel engine*. Periodica Politechnica ser. Mech. Eng., Budapest, 50:(1) pp. 11-29. (2006.)
- [12] LAZA, BERECZKY: *Determination of the Evaporation Constant in Case of Pure and with Alcohol Mixed Rape Seed Oil*. Proc. of 6th International Conference in Mechanical Engineering, Brasov, pp. 232-237. (2008.)

- [13] **LAZA**: *Pilot Test and Theoretical Analysis of Evaporation of One and More Component Fuel.s* Periodica Polytechnica-Mechanical Engineering 52:(2) pp. 67-71. ISSN: 0324-6051 (2009.)
- [14] **LAZA**, **BERECZKY**: *Influence of Higher Alcohols on the Combustion Pressure of Diesel Engine Operated with Rape Seed Oil.* Acta Mechanica Slovaca, 13:(3) pp. 54-61. (2009.)
- [15] **LAZA**, **BERECZKY**: *Magasabb rendű alkohol hatása dízelmotorban lejátszódó égési folyamatokra repceolaj tüzelőanyag esetén.* Energiagazdálkodás, 50:(6) pp. 19-24. (2009.)

VII. Az értekezés témaköréhez kapcsolódó publikációk

1. **T. Laza**, R. Koch, A. Penninger: Analysis of Burning Behavior of Liquid Fuel Based on Biomass and Kerosine Jet A. 7. International Conference on Heat Engines and Environmental Protection, pp. 171-177., ISBN 963 420 840 1, Balatonfüred (2005.)
2. **Laza T.**, Penninger A.: Repceolaj, valamint repceolaj és metanol keverékének párolgási tulajdonságai és viszkozitása. Energiagazdálkodás 46. évf. II. szám pp. 17-21. ISSN 0021-0757, Budapest, (2005.)
3. Losonczi B., Hermanutz P., **Laza T.**, Bereczky Á., Kecskés R., Meggyes A.: Investigation of Combustion Process of Pure and Refuse Vegetable Oil in Diesel Engine. Gépészet 2006, ISBN 963 593 465 3, Budapest (2006.)
4. **Laza T.**, Sabino J., Carvalho I., Bereczky Á., Penninger A.: Pilot Test and Theoretical Analysis of One and More Component Fuel. Gépészet 2006, ISBN 963 593 465 3, Budapest (2006.)
5. **Laza T.**, Tóvári P., Penninger A.: Investigation of Density and Heat Value of Rape Seed Oil and Rape Seed Oil + Alcohol Mixtures. International Conference of Energetics and Electrical Engineering, pp. 65-69. ISSN 1842-4546 Kolozsvár (2006.)
6. **Laza T.**, Kerekes Zs., Penninger A.: Repceolaj valamint repceolaj és magasabb rendű alkoholok égéstörvényének elemzése az elegyek lobbanáspontja alapján. Energiagazdálkodás, 47. évf. V. sz. pp. 6-9. ISSN 0021-0757 (2006.)
7. **Laza T.**, Stauch R., Penninger A.: Theoretical and practical analysis of the evaporation of vegetable oils and fatty acids. 8. International Conference on Heat Engines and Environmental Protection, pp. 75-79., Balatonfüred, ISBN 978 963 420 907 2 (2007.)
8. **Laza T.**, Penninger A.: Repceolaj és magasabb rendű alkohol elegyek párolgási folyamatának elemzése. 3. évf. III. sz. pp. 16-18. Bioenergia ISSN 1788-487X (2008.)
9. **Laza T.**, Bereczky Á.: Magasabb rendű alkoholok repceolaj belső égésű motorban való felhasználhatóságára gyakorolt hatása. Tüki, 42. Ipari Szeminárium, Dunaújváros, ISBN 978-963-06-6543-8 (2008.)
10. **Laza T.**, Penninger A.: Analysis of spray combustion of liquid biomass comparing with kerosene. 4th European Combustion Meeting, Bécs, ISBN 978-3-902655-06-6 (2009.)

11. **T. Laza**, **Á. Bereczky**: Influence of higher alcohols on the emissions of diesel engine operated with rape seed oil. 4th European Combustion Meeting, Bécs, ISBN 978-3-902655-06-6 (2009.)
12. **Laza T.**, **Bereczky Á.**: Influence of higher alcohols on the Combustion Pressure of Diesel Engine Operated with Rape Seed Oil. 9th International Conference on Heat Engine and Environmental Protection, Balatonfüred. pp. 45-51. ISBN 978-963-420-979-9 (2009.)
13. **Bereczky Á.**, **Laza T.**: Ersetzen des Dieselöls durch Rapsöl mit beigemischten Alkoholen höheren Grades. 24. Deutscher Flammentag: Verbrennung und Feuerung. Bochum, Németország, VDI Verlag, pp. 511-514. ISBN 978-3-18-092056-6 (2009.)
14. **T. Laza**, **Á. Bereczky**, **A. Penninger**: Energetische und Motorische Verwendung der Erneuerbaren Energiequellen. 9. Magdeburger Maschinenbau-Tage, pp. 57-64. Magdeburg, Németország. ISBN 978-3-940961-36-5 (2009.)
15. **Penninger A.**, **Meggyes A.**, **Laza T.**: Gázturbinatűztér oszcillációjának vizsgálata megújuló tüzelőanyag esetén. X. ENELKO, Románia, Marosvásárhely, pp. 130-134. ISSN 1842-4546 (2009.)
16. **Kovács V.**, **Laza T.**, **Török Á.**: Hazai, közlekedési célú, növényi alapú, bio-tüzelőanyag felhasználás analitikai vizsgálata, Közlekedéstudományi Szemle V. pp. 36-39. ISSN: 0023-4362 (2009.)
17. **Bereczky Á.**, **Laza T.**: Magasabb rendű alkohol hatása dízelmotorban lejátszódó égési folyamatokra repceolaj tüzelőanyag esetén. Energiagazdálkodás, pp. 19-24. ISSN: 0021-0757 (2009.)
18. **Laza**: Pilot Test and Theoretical Analysis of Evaporation of One and More Component Fuels Periodica Polytechnica-Mechanical Engineering 52:(2) pp. 67-71. ISSN: 0324-6051 (2009).
19. **Kovács**, **Laza**, **Török**: Növényi alapú biotüzelőanyag-felhasználás közlekedési célú nemzetgazdasági optimalása. Magyar Energetika, XVI, (6) pp. 26-29. ISSN: 1216-8599 (2009.)

VIII. Hivatkozások

1. **Zöldy Máté**: Megújuló tüzelőanyagok adagolásának hatása a gázolaj viszkozitására, Autótechnika, 2005/8 HU ISSN 1588 9858. Hivatkozott cikk: **Laza**, **Penninger**: Repceolaj, valamint repceolaj és metanol keverékének párolgási tulajdonságai és viszkozitása. Energiagazdálkodás 46. évf. II. szám pp. 17-21. ISSN 0021-0757, Budapest (2005.)
2. **Zöldy Máté**, **Kecskés Róbert**: Megújuló motorhajtóanyagok keverésének hatása az égésfolyamatra és az emisszióra, Gép 2006/5, ISSN 0016-8572. Hivatkozott cikk: **Á. Bereczky**, **A. Meggyes**, **T. Laza**, **R. Kecskés**: Examination of Burning Processes of Regenerative Liquid Fuel and Alcohol Mixtures in Diesel Engine. 7. International Conference on Heat Engines and Environmental Protection, pp. 166-171., ISBN 963 420 840 1, Balatonfüred (2005.)
3. **Zöldy, M.**: Bioethanol-biodiesel-diesel oil blends effect on cetane number and viscosity, 6th International Colloquim Fuels 2007, Technische Akademie Esslingen, 2007 01.10-11,

- ISBN 3-924813-67-1. Hivatkozott cikk: Á. Bereczky, A. Meggyes, **T. Laza**, R. Kecskés: Examination of Burning Processes of Regenerative Liquid Fuel and Alcohol Mixtures in Diesel Engine. 7. International Conference on Heat Engines and Environmental Protection, pp. 166-171., ISBN 963 420 840 1, Balatonfüred (2005.)
4. Reményi Károly: Megújuló Energiák. Energiaforrások és hasznosításuk. Akadémiai kiadó (2007.) ISBN 978 963 05 8458 6. Hivatkozott cikk: **Laza**, Penninger: Repceolaj, valamint repceolaj és metanol keverékének párolgási tulajdonságai és viszkozitása. Energiagazdálkodás 46. évf. II. szám pp. 17-21. ISSN 0021-0757, Budapest, (2005.)
 5. Dr. Zöldy Máté: Significance of application technique of fuel containing biocomponents, MOL SP SD & HSE special issue, 2009/3 ISSN 2060-338X pp 133-139. Hivatkozott cikk: Bereczky Á.; Meggyes, A.; **Laza, T.**; Kecskés, R.: Examination of burning process of regenerativ liquid fuel and alcohol mixtures in diesel engine. Heat Engines and Environmental Protection, ISBN 963 420 840 1, Balatonfüred (2005.)
 6. Martina Slezáková, Daniel Bratský: Diesel Fuels from Renewable Sources. 44th International Petroleum Conference, Bratislava, Slovak Republic. Hivatkozott cikk: **Laza, T.**, Kecskés, R., Bereczky, Á., Penninger, A.: Examination of burning processes of regenerative liquid fuel and alcohol mixtures in diesel engine. Periodical Polytechnica Ser. Mech. Eng., 50 (1), 11-29. (2006.)
 7. Viktória Barbara Kovács, Attila Meggyes: Energetic Utilisation of Pyrolysis Gases in IC Engine. Acta Polytechnica Hungarica Vol. 6, No. 4, 2009. Hivatkozott cikk: **Laza, T.**, Bereczky Á.: Determination of the Evaporation Constant in Case of Pure and with Alcohol Mixed Rape Seed Oil., in Proceedings of 16th International Conference in Mechanical Engineering, Brasov, May 1-4, 2008, pp. 232-237
 8. S. Szwaja, J. D. Naber: Combustion of n-butanol in a spark-ignition IC engine. Fuel xxx (2009) xxxxxx. Hivatkozott cikk: **Laza T.**, Kecskés R., Bereczky Á., Penninger A.: Examination of burning processes of regenerative liquid fuel and alcohol mixtures in diesel engine. Periodica Polytech Mech Eng; 50 (1):1129. (2006.)
 9. Martina Slezáková, Daniel Bratsky: Aplikácia Repkového Oleaj Ako Paliva Pre Neupravené Dieselové Motory. Aprochem 2009 Odpadové fórum 2009. 20.22. 4. 2009 Milovy pp. 1381-1388. Hivatkozott cikk: **Laza T.**, Kecskés R., Bereczky Á., Penninger A.: Examination of burning processes of regenerative liquid fuel and alcohol mixtures in diesel engine. Periodica Polytech Mech Eng; 50 (1):1129. (2006.)
 10. Penninger Antal: The Development of the Environmental Industry by the Utilisation of the Energetics Potential. In: István Fodor: The Role of Environmental Industry in The Regional Reindustrialisation in Hungary. Debrecen, MTA, 2009. pp. 127-144 ISBN: 978-963-9899-15-5. Hivatkozott cikk: **T. Laza**, Á. Bereczky: Influence of higher alcohols on the emissions of diesel engine operated with rape seed oil. 4th European Combustion Meeting, Bécs, ISBN 978-3-902655-06-6 (2009.)
 11. Zöldy, Hollo, Thernesz: Butanol as diesel extender option for internal combustion engines. SAE 2010 World Congress. Hivatkozott cikk: **Laza T.**, Kecskés R., Bereczky Á., Penninger A.: Examination of burning process of regenerative liquid fuel and alcohol

mixtures in diesel engine. *Periodica Politechnica ser. Mech. Eng.* Vol. 50, No. 1, pp. 11-29, HU ISSN 0324-6051 (2006.)

12. Zöldy, Hollo, Thernesz: Butanol as diesel extender option for internal combustion engines. SAE 2010 World Congress. Hivatkozott cikk: **T. Laza**, Á. Bereczky: Influence of higher alcohols on the emissions of diesel engine operated with rape seed oil. 4th European Combustion Meeting, Béc, ISBN 978-3-902655-06-6 (2009.)



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM

GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR DOKTORI TANÁCSA

DOKTORI TÉZISFÜZET

Írta:

Laza Tamás

okleveles gépészmérnök

FOLYÉKONY BIO-TÜZELŐANYAGOK
FELHASZNÁLÁSA HŐERŐGÉPEKBEN

című témakörből, amellyel a PhD fokozat elnyerésére pályázik

Budapest, 2010

I. A kutatások előzménye

A világ villamosenergia-igénye, és ezzel együtt az üvegházhatást okozó gázok kibocsátása is egyre nő. A növekedés üteme megújuló energiaforrások használatával csökkenthető.

Magyarországon az egyik legjelentősebb megújuló energia a biomassa. Az ebből nyerhető két legfontosabb folyékony tüzelőanyag az alkohol és a növényi olaj, ill. annak észterezett változata. Az észterezett növényi olaj felhasználása már több országban bevezetett gyakorlat, azonban az előállítása költségigényes. Ezen megfontolások miatt munkámban a hidegen sajtolt repceolajjal foglalkozom.

Lehetséges alkalmazási terület a repceolaj számára mezőgazdasági területeken traktorok meghajtásán kívül a helyben történő hasznosítás, az ún. decentralizált energiatermelés. Ennek egyik lehetséges megvalósítása a fixen telepített, generátorral ellátott mikrogázturbina vagy dízelmotor.

Új tüzelőanyagok felhasználásakor két út kínálkozik: vagy a tüzelőanyagot módosítjuk úgy, hogy a régi berendezésben is felhasználható legyen, vagy a berendezést tesszük alkalmassá az új tüzelőanyag felhasználására.

Modern gázturbinák NO_x -kibocsátásának csökkenését alapvetően megnövelt légfelesleg-tényezőjű üzemmel érik el. A módszernek azonban vannak korlátai, mert a nagy légfeleslegű lángok égési instabilitásra hajlamosak, ami jelenthet termoakusztikus lengést (akusztikusan öngerjesztő lángok kialakulását), instabil gyújtást, vagy helyi lángkialvást is. Az aktuális gázturbina-kutatás egyik központi feladata a termoakusztikus lengések vizsgálata.

Nyers repceolaj viszkozitása, párolgási tulajdonsága nagymértékben eltér a dízelolajétól, felhasználása során a motor égésterében a repceolaj lerakódásokat okoz, ezért szükséges a tüzelőanyag módosítása. A módosított tüzelőanyag repce-metilészter (RME). Az RME előállítása azonban költséges, gyártása során keletkező melléktermékek pedig külön problémák forrása.

II. Irodalom kritikai áttekintése

Akusztikusan öngerjesztő lángok

Irodalmi adatok alapján nyilvánvaló, hogy gázturbinában repceolajat fel lehet használni (pl. [Ardy, 1995], [Juste, 2000], [Gökalp, 2004]). Sajnos a szerzők nem vizsgálták, hogy gázturbina-porlasztóval megvalósított repceolaj tüzelés milyen porlasztási minőséget kíván és az hogyan valósítható meg. Juste tapasztalatai szerint bio-tüzelőanyagok felhasználásakor gyakrabban alakulnak ki akusztikusan öngerjesztő lángok, azonban az ilyenkor kialakuló porlasztási képet nem vizsgálta meg részletesen.

Herman perdítőelemes nyomásporlasztóval juttatta be a tüzelőanyagot a modell-tüzelőtérbe [Herman, 1995]. Mérései során Lézer-Doppler Anemométerrel (LDA-val) mérte a levegő és a folyadék áramlását. Megállapította, hogy tüztéri oszcilláció esetén a tüzelőanyag egyenetlenül jut a tüzelőtérbe, így a hőfelszabadulás is egyenetlenné válik, valamint a lángfront helye is periodikusan változik. Javaslatára szerint az egyik lehetséges megoldás az oszcilláció elkerülésére más reakciókinetikai tulajdonságokkal rendelkező tüzelőanyag alkalmazása.

Müller külső keverésű segédkezes porlasztó filmenterítőjén kialakuló porlasztást vizsgálta meg, a létrejövő lengést a primer és szekunder levegő szinusz-szerű gerjesztésével szimulálta [Müller, 2005]. A viszkozitás felezésével az átlagos Sauter középátmérő csak mintegy 6%-kal változott, azonban a felületi feszültség háromszorozásával 51%-kal nőtt. A pulzáció

amplitúdójának felezésekor, majd negyedeléskor nem változott a cseppátmérő. Munkája alapján várhatóan nagyobb cseppeket kapunk repceolajnál.

Belső égésű motorok

Belső égésű motorokban sokan és sokféleképpen használtak növényi olajat (nyersen, észterezetten, alkohollal, benzinnel keverve, közvetlen befecskendezésű, előkamrás motorban, állandó/változó terhelésen és fordulatszámokon stb.). A motor üzemére és a mérési eredményekre a felhasznált növényi olaj minősége (évjárat stb.) is hatással van. Éppen ezért az irodalomban található eredményeket nehéz egységesíteni, mert a vizsgálatok nem azonos körülmények között készültek.

A repceolaj tulajdonságait különböző módon próbálták a dízelolajéhoz hasonlóná tenni. Zöldy munkájában a biodízel, a dízelolaj és az etanol hármasképletű keverékének a viszkozitását és cetánszámát vizsgálta meg [Zöldy, 2007].

Plassmann mérései alapján a metanol benzinnel és vízzel jól elegyedik, dízelolajjal rosszul, növényi olajjal még rosszabbul [Plassmann, 1974].

Karabektas izobutanolt elegyített dízelolajhoz (5, 10, 15 és 20 V/V%-ban), ennek hatását vizsgálta a teljesítményre és az emisszióra, egyhengeres, közvetlen befecskendezésű dízelmotorban [Karabektas, 2009]. Az NO_x és a CO emissziók csökkenését, a CH emissziók növekedését tapasztalta. Véggöveztetése szerint az izobutanol jól, szétválás nélkül elegyedik a dízelolajjal, felhasználásához a motoron nem szükséges átalakításokat végezni. Munkája során nem jutott el addig, hogy kísérleteit repceolajjal elegyített alkohollal is elvégezze.

Spessert munkatársaival egyhengeres dízelmotorokat vizsgált meg repce-, napraforgó-, dízelolaj- és RME-üzemben [Spessert, 2007]. A vizsgálat folyamán mérték a teljesítményt, a nyomatékot, az emissziót, a befecskendezőrendszerben felépülő nyomást, a szag- és zajkibocsátást.

Kumar munkatársaival méréseik során egyhengeres motorban, állandó fordulatszámokon vizsgálta meg a károsanyag-emissziókat növényi olajjal (ricinus), növényi olaj + metanol elegyével, dízelolajjal, valamint növényolajszterrel [Kumar, 2003]. Méréseik során az alkohol csökkentette a füstölést. Az NO_x-kibocsátás alacsonyabb volt növényi olajjal, mint dízelolajjal (ez az alacsonyabb égési hőmérsékletnek tudható be). Növényi olaj és észterei keverékének égése hosszabb diffúziós szakaszt mutatott fel, mint a dízelolaj. Méréseik alapján a gyulladási késedelem a növényi olajjal nagyobb, mint dízelolajjal, a csúcsnyomás, valamint a nyomásnövekedés a növényi olajjal végzett méréseknél volt a legkisebb.

Irodalmi hivatkozások

- [Herman, 1995] HERMAN, ZANGL, GLEIS: *Untersuchung der Anregungsmechanismen selbsterregter Verbrennungsschwingungen an einem Verbrennungssystem mit Flüssigkraftstoff*. Kutatási jelentés, Nr. 1193, VDI, Düsseldorf, 1995.
- [Müller, 2005] MÜLLER, HEHLE, KOCH: *Zerstäubungsverhalten von Airblastdüsen bei oszillierenden Strömungen*. VDI-Berichte Nr. 1888. pp. 249-257, 2005.

- [Ardy, 1995] ARDY, BARBUCCI, BENELLI: *Development of Gas Turbine Combustor Fed with Bio-Fuel Oil*. Proc. Second Biomass Conference of the Americas, pp. 429-438, 1995.
- [Juste, 2000] JUSTE, MONFORT: *Preliminary test on combustion of wood derived fast pyrolysis oils in a gas turbine combustor*. Biomass and Bioenergy, 2000.
- [Gökalp, 2004] GÖKALP, LEBAS: *Alternative fuels for industrial gas turbines (AFTUR)*. Applied Thermal Engineering, vol. 19., pp. 119-128, 2004.
- [Kumar, 2003] KUMAR, RAMESH, NAGALINGAM: *An experimental comparison of methods to use methanol and Jatropha oil in a compression ignition engine*. Biomass and Bioenergy, vol. 25., pp. 309 - 318, 2003.
- [Spessert, 2007] SPESSERT, SCHLEICHER: *Einfluss von Biokraftstoffen auf die Abgas- und Geräuschemission kleiner Industriedieselmotoren*. MTZ, vol. 68/3., pp. 212-222, 2007.
- [Plassmann, 1974] PLASSMANN, HASSEL: *Neuen Kraftstoffen auf der Spur*. Bundesministerium für Forschung und Technologie, Bonn, 1974.
- [Karabektas, 2009] KARABEKTAS, HOSUZ: *Performance and emission characteristics of a diesel engine using isobutanol–diesel fuel blends*. Renewable Energy, vol. 34/6, 2009.
- [Zöldy 2007] ZÖLDY: *Bioethanol-biodiesel-diesel oil blends effect on cetane number and viscosity*. 6th International ColloquimFuels, Technische Akademie Esslingen, Németország, 2007.

III. Célkitűzések

Mind a gázturbinás, mind a dízelmotoros felhasználás alapja a felhasznált folyékony tüzelőanyag megfelelő minőségű porlasztása. Mivel a repceolaj sűrűsége és felületi feszültsége eltér a hagyományos gázturbina- tüzelőanyagétól (pl. kerozin) és a dízelolajétól, ezért szükséges a megújuló tüzelőanyag porlaszthatóságának külön vizsgálata.

A fentiek alapján a disszertációban célul tűztem ki a repceolaj különböző porlasztókkal kapott porlasztási képének, a szegény üzemben fellépő termoakusztikus lengésének, továbbá a belső égésű motorban történő alkalmazásának vizsgálatát.

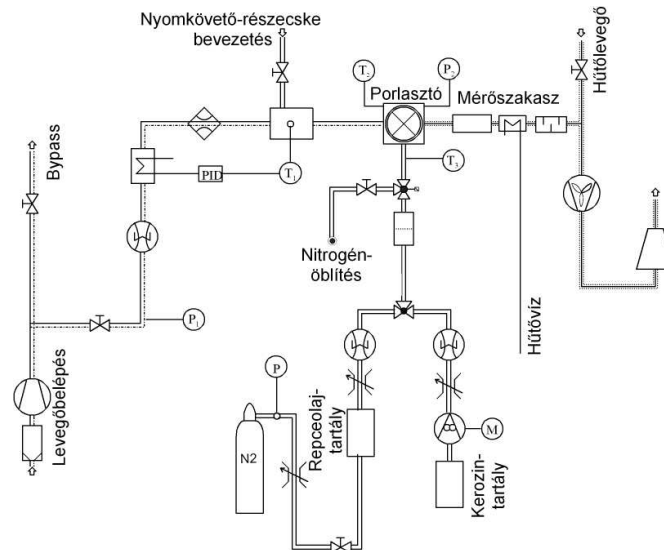
Munkám során egy külső keverésű segédközeges porlasztóval ellátott modell gázturbina-tüzelőtérben, a hagyományos (kerozin jet-A) és a megújuló (repceolaj) gázturbina-tüzelőanyag felhasználása során, szegény üzemben kialakuló termoakusztikus lengéseket hasonlítom össze. Külön figyelmet fordítok a különböző tüzelőanyagok felhasználása során kialakuló lengések fázisfelbontott vizsgálatára. Vizsgálni kívánom a cseppek sebességét, haladási irányát, átmérőjét.

A növényi olaj motorikus felhasználásának vizsgálata folyamán megvizsgálom a növényi olaj égési sebességének növelési lehetőségét. Ezért különböző, magasabb rendű alkoholokat elegyíték hozzá. Az így kapott tüzelőanyagok motorikus felhasználhatóságán kívül megvizsgálom a tárolás, és a szállíthatóság szempontjából fontos tulajdonságait is, mint például a lobbanáspontot, viszkozitást, sűrűséget, hidegszűrési határhőmérsékletet.

Dolgozatomban (amely 93 oldalon 5 fejezetben 64 ábrát, 129 tételes irodalomjegyzéket, továbbá 11 oldal függelék tartalmaz) bemutatom a célkitűzések elérése érdekében végzett kutatási munkát, a felhasznált kísérleti berendezéseket és az elméleti összefüggéseket.

IV. Vizsgálati módszerek

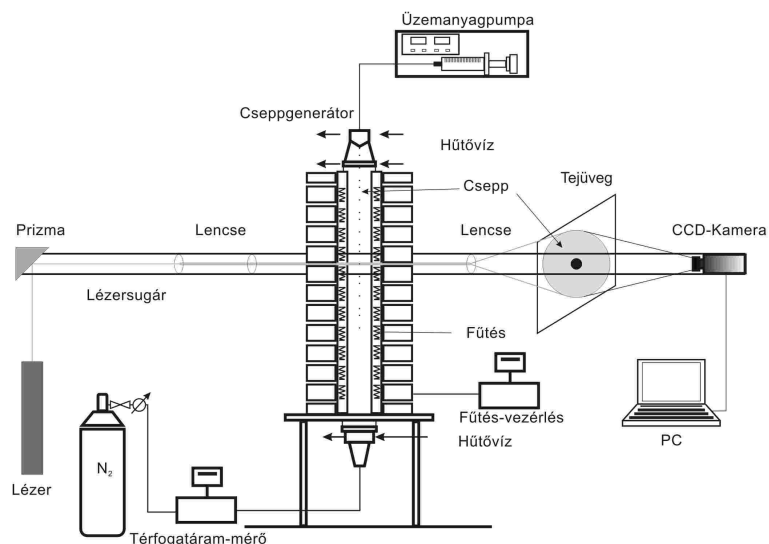
Az akusztikusan öngerjesztő lángok vizsgálatához felépítettem egy kísérleti gázturbina-tüzelőteret (1. ábra). A berendezés konstrukciójánál fogva kizárja a nem öngerjesztő akusztikus lengések kialakulását. A tüzelőtér felépítése lehetővé tette a porlasztmány nagy felületű (lézersík, PIV) és pontszerű (PDA) érintésmentes vizsgálatát. A felhasznált mérőeszközök az oszcilláló láng fázisfelbontott analizálására adtak lehetőséget (cseppméret, cseppsebesség).



1. ábra. Akusztikusan öngerjesztő lángok vizsgálatához felépített kísérleti gázturbina-tüzelőtér

A repceolaj és a repceolaj – magasabb rendű alkoholok elegyének belső égésű motorban történő vizsgálatát egy CFR cetánszámmérő egységen végeztem.

A párolgási tulajdonságok elemzéséhez az elterjedt TGA-n túl lézeres árnyékgráfiát alkalmaztam.



2. ábra. Lézeres árnyékgráfia felépítése

Az elegyek többi fizikai paramétereit (lobbanáspont, égéshő, sűrűség, viszkozitás, hidegszűrési határhőmérséklet, oxidációs stabilitás stb.) a vonatkozó szabvány előírásainak megfelelően végeztem.

V. Új tudományos eredmények

1. Nagy viszkozitású tüzelőanyagok esetében is ugyanolyan cseppméretű (SMD) porlasztás érhető el perdítőelemes nyomásporlasztóval, mint belső keverésű segédközegees porlasztóval, ezért célszerűbb az energetikailag kedvezőbb nyomásporlasztó használata. Perdítőelemes nyomásporlasztó esetében a 10 bar-on 60 °C-os hőmérséklet 50%-os megemelése annyit javít a folyadék porlaszthatóságán, mint a 60%-kal magasabb nyomás kisebb mértékű, csak 30%-os hőmérsékletemelése. Mindezt kísérletekkel igazoltam [1], [2].
2. Akusztikusan öngerjesztő lángok esetén, külső keverésű, ellentétes perdületű segédközegees porlasztó alkalmazásakor mind kerozin, mind a nagyobb viszkozitású és nehezebben párolgó repceolaj tüzelőanyag esetében, a cseppek axiális irányára az oszcilláció fázisszöge nincs hatással, axiális és tangenciális sebességre viszont igen. Az oszcilláció hatása az axiális sebességre a 100%-kal nagyobb felületi feszültségű és 130%-kal nagyobb viszkozitású repceolaj esetén (a maximális értékhez viszonyítva) -36%, míg kerozin esetében -50%. Az oszcilláció tangenciális sebességre gyakorolt hatása rendre -20% és -33% [3], [4], [5], [6], [7].
3. Kísérletekkel igazoltam, hogy oszcilláló égés esetén a repceolaj, illetve a kerozin tüzelőanyag hasonló CO és NO_x károsanyag képződési lefolyást eredményez, mind a légfelesleg, mind pedig a bevezetett hőteljesítmény függvényében [3], [4], [5], [6], [7].
4. Bebizonyítottam, hogy repceolajjal a vizsgált magasabb rendű alkoholok 20 V/V%-ig térfogati kontrakció nélkül elegyednek. Mint ismeretes, az egyszerű alkoholok a repceolajjal nem elegyednek, vízzel történő elegyítésükkor viszont jelentős a térfogati kontrakció (etanol – víz 50 V/V%-os elegyénél a 3,7%-ot is eléri, de általában 1-2% körüli) [9].
5. Előkamrás egyhengeres dízelmotorban célszerű a repceolajhoz butanolt, vagy propanolt elegyíteni a viszkozitás csökkentése és az égési folyamat javítása érdekében, 20 V/V%-ig. Motorikus felhasználás szempontjából a vizsgált alkoholok közül a butanol a propanolnál kedvezőbb tulajdonságú, a fűtőértéke miatt. Az alkoholoknak az elegyek cetánszámára, viszkozitására gyakorolt hatásuk megegyezik. A hidegszűrhetőségi határhőmérsékletet a 20 V/V% butanol is lecsökkenti a nyári előírásnak megfelelő szintre, az elegyített alkohol az oxidációs stabilitására nincs hatással. A butanol jobban csökkenti (azonos térfogat% esetén) az elegy lobbanáspontját, ezért fokozottan tűz- és robbanásveszélyes [8], [10], [11], [12].
6. Igazoltam azt a feltételezést, miszerint a motor égésterében az alkohol-repceolaj elegy égése két lépcsőben játszódik le: a magasabb cetánszámú repceolaj gyullad meg először, és ennek lángja gyújtja meg az elegyből kipárolgott, jó kompressziótűrűségű alkoholt. Kísérletekkel igazoltam, hogy a repceolaj-alkohol cseppből az alkohol párolgása már alacsony (30 °C alatti) hőmérsékleten elkezdődik, a kipárolgás részaránya a hőmérséklet növelésével nő. 180 °C fölött a csepp már nem tartalmaz

alkoholt, csak repceolajat, amely viszont ezen a hőmérsékleten még nem párolog [10], [12], [13].

7. Mérésekkel bizonyítottam, hogy az előkamrás dízelmotorban felhasznált repceolaj – magasabb rendű alkoholok elegyének a károsanyag kibocsátására az alkohol hatása - típusától függetlenül - azonos nagyságrendben van. Kimutattam, hogy 10 és 20 V/V% magasabb rendű alkohol repceolajhoz történő elegyítése esetén a károsanyag-kibocsátás változása az alkoholtartalommal nem lineáris. A változás függvényét a mérési pontok grafikonjával megadtam [14], [15].

VI. A tézispontokhoz kapcsolódó tudományos közlemények

- [1] LAZA, MEIER, PENNINGER: *Untersuchungen zur Einsetzbarkeit von rohem Rapsöl für die Verbrennung in Gasturbinen*. 14. Frühlingsakademie. München, Németország, pp. 37-43. (2002.)
- [2] LAZA, MEIER, KOCH: *Untersuchungen zum Einsatz von Rapsöl in Gasturbinen*. Internationale Conference on Heat Engines and Environmental Protection, Balatonfüred, pp. 99-106. (2003.)
- [3] LAZA, KOCH, PENNINGER: *A kerozin és repceolaj gázturbinaszpecifikus vizsgálata II*. Magyar Energetika, XIII:(5) pp. 3-8. (2005)
- [4] LAZA, KOCH, PENNINGER: *Examination of kerosine and rape oil with specification of gas turbine*. Gépészet 2004, pp. 622-626. (2004.)
- [5] LAZA, KOCH, PENNINGER: *Kerozin és repceolaj gázturbinaszpecifikus vizsgálata*. Magyar Energetika, XII:(5) pp. 28-33. (2004.)
- [6] LAZA, KOCH, PENNINGER: *Analysis of oscillation of gas turbine combustion in case of rape seed oil and kerosine jet-a fuel*. microCAD2005, Miskolc, pp. 49-54. (2005.)
- [7] LAZA, KOCH, PENNINGER: *Analysis der Oszillation eines rapsölbetriebenen Kleingasturbinenbrenner*. 22. Deutscher Flammentag, Braunschweig, VDI-BERICHT 1888: pp. 673-679. (2005.)
- [8] LAZA, PENNINGER: *Repceolaj és magasabb rendű alkoholok keverékének viszkozitása*. Energiagazdálkodás, Budapest, 46:(5) pp. 3-5. (2005.)
- [9] LAZA, TÓVÁRI, PENNINGER: *Investigation of Density and Heat Value of Rape Seed Oil and Rape Seed Oil + Alcohol Mixtures*. Proc. of International Conference of Energetics and Electrical Engineering, Kolozsvár, pp. 65-69. (2006.)
- [10] LAZA, KERÉKES, PENNINGER: *A repceolaj, valamint a repceolaj és magasabb rendű alkohol-keverékek tűzveszélyességének meghatározása*. Szent István Egyetem Tudományos Közlemények, Budapest, 3:(1) pp. 40-44. (2006.)
- [11] LAZA, KECSKÉS, BEREZKY, PENNINGER: *Examination of burning process of regenerative liquid fuel and alcohol mixtures in diesel engine*. Periodica Politechnica ser. Mech. Eng., Budapest, 50:(1) pp. 11-29. (2006.)
- [12] LAZA, BEREZKY: *Determination of the Evaporation Constant in Case of Pure and with Alcohol Mixed Rape Seed Oil*. Proc. of 6th International Conference in Mechanical Engineering, Brasov, pp. 232-237. (2008.)

- [13] **LAZA**: *Pilot Test and Theoretical Analysis of Evaporation of One and More Component Fuel.s* Periodica Polytechnica-Mechanical Engineering 52:(2) pp. 67-71. ISSN: 0324-6051 (2009.)
- [14] **LAZA**, **BERECZKY**: *Influence of Higher Alcohols on the Combustion Pressure of Diesel Engine Operated with Rape Seed Oil.* Acta Mechanica Slovaca, 13:(3) pp. 54-61. (2009.)
- [15] **LAZA**, **BERECZKY**: *Magasabb rendű alkohol hatása dízelmotorban lejátszódó égési folyamatokra repceolaj tüzelőanyag esetén.* Energiagazdálkodás, 50:(6) pp. 19-24. (2009.)

VII. Az értekezés témaköréhez kapcsolódó publikációk

1. **T. Laza**, R. Koch, A. Penninger: Analysis of Burning Behavior of Liquid Fuel Based on Biomass and Kerosine Jet A. 7. International Conference on Heat Engines and Environmental Protection, pp. 171-177., ISBN 963 420 840 1, Balatonfüred (2005.)
2. **Laza T.**, Penninger A.: Repceolaj, valamint repceolaj és metanol keverékének párolgási tulajdonságai és viszkozitása. Energiagazdálkodás 46. évf. II. szám pp. 17-21. ISSN 0021-0757, Budapest, (2005.)
3. Losonczi B., Hermanutz P., **Laza T.**, Bereczky Á., Kecskés R., Meggyes A.: Investigation of Combustion Process of Pure and Refuse Vegetable Oil in Diesel Engine. Gépészet 2006, ISBN 963 593 465 3, Budapest (2006.)
4. **Laza T.**, Sabino J., Carvalho I., Bereczky Á., Penninger A.: Pilot Test and Theoretical Analysis of One and More Component Fuel. Gépészet 2006, ISBN 963 593 465 3, Budapest (2006.)
5. **Laza T.**, Tóvári P., Penninger A.: Investigation of Density and Heat Value of Rape Seed Oil and Rape Seed Oil + Alcohol Mixtures. International Conference of Energetics and Electrical Engineering, pp. 65-69. ISSN 1842-4546 Kolozsvár (2006.)
6. **Laza T.**, Kerekes Zs., Penninger A.: Repceolaj valamint repceolaj és magasabb rendű alkoholok égéstörvényének elemzése az elegyek lobbanáspontja alapján. Energiagazdálkodás, 47. évf. V. sz. pp. 6-9. ISSN 0021-0757 (2006.)
7. **Laza T.**, Stauch R., Penninger A.: Theoretical and practical analysis of the evaporation of vegetable oils and fatty acids. 8. International Conference on Heat Engines and Environmental Protection, pp. 75-79., Balatonfüred, ISBN 978 963 420 907 2 (2007.)
8. **Laza T.**, Penninger A.: Repceolaj és magasabb rendű alkohol elegyek párolgási folyamatának elemzése. 3. évf. III. sz. pp. 16-18. Bioenergia ISSN 1788-487X (2008.)
9. **Laza T.**, Bereczky Á.: Magasabb rendű alkoholok repceolaj belső égésű motorban való felhasználhatóságára gyakorolt hatása. Tüki, 42. Ipari Szeminárium, Dunaújváros, ISBN 978-963-06-6543-8 (2008.)
10. **Laza T.**, Penninger A.: Analysis of spray combustion of liquid biomass comparing with kerosene. 4th European Combustion Meeting, Bécs, ISBN 978-3-902655-06-6 (2009.)

11. **T. Laza**, **Á. Bereczky**: Influence of higher alcohols on the emissions of diesel engine operated with rape seed oil. 4th European Combustion Meeting, Bécs, ISBN 978-3-902655-06-6 (2009.)
12. **Laza T.**, **Bereczky Á.**: Influence of higher alcohols on the Combustion Pressure of Diesel Engine Operated with Rape Seed Oil. 9th International Conference on Heat Engine and Environmental Protection, Balatonfüred. pp. 45-51. ISBN 978-963-420-979-9 (2009.)
13. **Bereczky Á.**, **Laza T.**: Ersetzen des Dieselöls durch Rapsöl mit beigemischten Alkoholen höheren Grades. 24. Deutscher Flammentag: Verbrennung und Feuerung. Bochum, Németország, VDI Verlag, pp. 511-514. ISBN 978-3-18-092056-6 (2009.)
14. **T. Laza**, **Á. Bereczky**, **A. Penninger**: Energetische und Motorische Verwendung der Erneuerbaren Energiequellen. 9. Magdeburger Maschinenbau-Tage, pp. 57-64. Magdeburg, Németország. ISBN 978-3-940961-36-5 (2009.)
15. **Penninger A.**, **Meggyes A.**, **Laza T.**: Gázturbinatűztér oszcillációjának vizsgálata megújuló tüzelőanyag esetén. X. ENELKO, Románia, Marosvásárhely, pp. 130-134. ISSN 1842-4546 (2009.)
16. **Kovács V.**, **Laza T.**, **Török Á.**: Hazai, közlekedési célú, növényi alapú, bio-tüzelőanyag felhasználás analitikai vizsgálata, Közlekedéstudományi Szemle V. pp. 36-39. ISSN: 0023-4362 (2009.)
17. **Bereczky Á.**, **Laza T.**: Magasabb rendű alkohol hatása dízelmotorban lejátszódó égési folyamatokra repceolaj tüzelőanyag esetén. Energiagazdálkodás, pp. 19-24. ISSN: 0021-0757 (2009.)
18. **Laza**: Pilot Test and Theoretical Analysis of Evaporation of One and More Component Fuels Periodica Polytechnica-Mechanical Engineering 52:(2) pp. 67-71. ISSN: 0324-6051 (2009).
19. **Kovács**, **Laza**, **Török**: Növényi alapú biotüzelőanyag-felhasználás közlekedési célú nemzetgazdasági optimalása. Magyar Energetika, XVI, (6) pp. 26-29. ISSN: 1216-8599 (2009.)

VIII. Hivatkozások

1. **Zöldy Máté**: Megújuló tüzelőanyagok adagolásának hatása a gázolaj viszkozitására, Autótechnika, 2005/8 HU ISSN 1588 9858. Hivatkozott cikk: **Laza**, **Penninger**: Repceolaj, valamint repceolaj és metanol keverékének párolgási tulajdonságai és viszkozitása. Energiagazdálkodás 46. évf. II. szám pp. 17-21. ISSN 0021-0757, Budapest (2005.)
2. **Zöldy Máté**, **Kecskés Róbert**: Megújuló motorhajtóanyagok keverésének hatása az égésfolyamatra és az emisszióra, Gép 2006/5, ISSN 0016-8572. Hivatkozott cikk: **Á. Bereczky**, **A. Meggyes**, **T. Laza**, **R. Kecskés**: Examination of Burning Processes of Regenerative Liquid Fuel and Alcohol Mixtures in Diesel Engine. 7. International Conference on Heat Engines and Environmental Protection, pp. 166-171., ISBN 963 420 840 1, Balatonfüred (2005.)
3. **Zöldy, M.**: Bioethanol-biodiesel-diesel oil blends effect on cetane number and viscosity, 6th International Colloquim Fuels 2007, Technische Akademie Esslingen, 2007 01.10-11,

- ISBN 3-924813-67-1. Hivatkozott cikk: Á. Bereczky, A. Meggyes, **T. Laza**, R. Kecskés: Examination of Burning Processes of Regenerative Liquid Fuel and Alcohol Mixtures in Diesel Engine. 7. International Conference on Heat Engines and Environmental Protection, pp. 166-171., ISBN 963 420 840 1, Balatonfüred (2005.)
4. Reményi Károly: Megújuló Energiák. Energiaforrások és hasznosításuk. Akadémiai kiadó (2007.) ISBN 978 963 05 8458 6. Hivatkozott cikk: **Laza**, Penninger: Repceolaj, valamint repceolaj és metanol keverékének párolgási tulajdonságai és viszkozitása. Energiagazdálkodás 46. évf. II. szám pp. 17-21. ISSN 0021-0757, Budapest, (2005.)
 5. Dr. Zöldy Máté: Significance of application technique of fuel containing biocomponents, MOL SP SD & HSE special issue, 2009/3 ISSN 2060-338X pp 133-139. Hivatkozott cikk: Bereczky Á.; Meggyes, A.; **Laza, T.**; Kecskés, R.: Examination of burning process of regenerativ liquid fuel and alcohol mixtures in diesel engine. Heat Engines and Environmental Protection, ISBN 963 420 840 1, Balatonfüred (2005.)
 6. Martina Slezáková, Daniel Bratský: Diesel Fuels from Renewable Sources. 44th International Petroleum Conference, Bratislava, Slovak Republic. Hivatkozott cikk: **Laza, T.**, Kecskés, R., Bereczky, Á., Penninger, A.: Examination of burning processes of regenerative liquid fuel and alcohol mixtures in diesel engine. Periodical Polytechnica Ser. Mech. Eng., 50 (1), 11-29. (2006.)
 7. Viktória Barbara Kovács, Attila Meggyes: Energetic Utilisation of Pyrolysis Gases in IC Engine. Acta Polytechnica Hungarica Vol. 6, No. 4, 2009. Hivatkozott cikk: **Laza, T.**, Bereczky Á.: Determination of the Evaporation Constant in Case of Pure and with Alcohol Mixed Rape Seed Oil., in Proceedings of 16th International Conference in Mechanical Engineering, Brasov, May 1-4, 2008, pp. 232-237
 8. S. Szwaja, J. D. Naber: Combustion of n-butanol in a spark-ignition IC engine. Fuel xxx (2009) xxxxxx. Hivatkozott cikk: **Laza T.**, Kecskés R., Bereczky Á., Penninger A.: Examination of burning processes of regenerative liquid fuel and alcohol mixtures in diesel engine. Periodica Polytech Mech Eng; 50 (1):1129. (2006.)
 9. Martina Slezáková, Daniel Bratsky: Aplikácia Repkového Oleaj Ako Paliva Pre Neupravené Dieselové Motory. Aprochem 2009 Odpadové fórum 2009. 20.22. 4. 2009 Milovy pp. 1381-1388. Hivatkozott cikk: **Laza T.**, Kecskés R., Bereczky Á., Penninger A.: Examination of burning processes of regenerative liquid fuel and alcohol mixtures in diesel engine. Periodica Polytech Mech Eng; 50 (1):1129. (2006.)
 10. Penninger Antal: The Development of the Environmental Industry by the Utilisation of the Energetics Potential. In: István Fodor: The Role of Environmental Industry in The Regional Reindustrialisation in Hungary. Debrecen, MTA, 2009. pp. 127-144 ISBN: 978-963-9899-15-5. Hivatkozott cikk: **T. Laza**, Á. Bereczky: Influence of higher alcohols on the emissions of diesel engine operated with rape seed oil. 4th European Combustion Meeting, Bécs, ISBN 978-3-902655-06-6 (2009.)
 11. Zöldy, Hollo, Thernesz: Butanol as diesel extender option for internal combustion engines. SAE 2010 World Congress. Hivatkozott cikk: **Laza T.**, Kecskés R., Bereczky Á., Penninger A.: Examination of burning process of regenerative liquid fuel and alcohol

mixtures in diesel engine. *Periodica Politechnica ser. Mech. Eng.* Vol. 50, No. 1, pp. 11-29, HU ISSN 0324-6051 (2006.)

12. Zöldy, Hollo, Thernesz: Butanol as diesel extender option for internal combustion engines. SAE 2010 World Congress. Hivatkozott cikk: **T. Laza**, Á. Bereczky: Influence of higher alcohols on the emissions of diesel engine operated with rape seed oil. 4th European Combustion Meeting, Béc, ISBN 978-3-902655-06-6 (2009.)



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM

GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR DOKTORI TANÁCSA

DOKTORI TÉZISFÜZET

Írta:

Laza Tamás

okleveles gépészmérnök

FOLYÉKONY BIO-TÜZELŐANYAGOK
FELHASZNÁLÁSA HŐERŐGÉPEKBEN

című témakörből, amellyel a PhD fokozat elnyerésére pályázik

Budapest, 2010

I. A kutatások előzménye

A világ villamosenergia-igénye, és ezzel együtt az üvegházhatást okozó gázok kibocsátása is egyre nő. A növekedés üteme megújuló energiaforrások használatával csökkenthető.

Magyarországon az egyik legjelentősebb megújuló energia a biomassa. Az ebből nyerhető két legfontosabb folyékony tüzelőanyag az alkohol és a növényi olaj, ill. annak észterezett változata. Az észterezett növényi olaj felhasználása már több országban bevezetett gyakorlat, azonban az előállítás költséges. Ezen megfontolások miatt munkámban a hidegen sajtolt repceolajjal foglalkozom.

Lehetséges alkalmazási terület a repceolaj számára mezőgazdasági területeken traktorok meghajtásán kívül a helyben történő hasznosítás, az ún. decentralizált energiatermelés. Ennek egyik lehetséges megvalósítása a fixen telepített, generátorral ellátott mikrogázturbina vagy dízelmotor.

Új tüzelőanyagok felhasználásakor két út kínálkozik: vagy a tüzelőanyagot módosítjuk úgy, hogy a régi berendezésben is felhasználható legyen, vagy a berendezést tesszük alkalmassá az új tüzelőanyag felhasználására.

Modern gázturbinák NO_x -kibocsátásának csökkenését alapvetően megnövelt légfelesleg-tényezőjű üzemmellel érik el. A módszernek azonban vannak korlátai, mert a nagy légfeleslegű lángok égési instabilitásra hajlamosak, ami jelenthet termoakusztikus lengést (akusztikusan öngerjesztő lángok kialakulását), instabil gyújtást, vagy helyi lángkialvást is. Az aktuális gázturbina-kutatás egyik központi feladata a termoakusztikus lengések vizsgálata.

Nyers repceolaj viszkozitása, párolgási tulajdonsága nagymértékben eltér a dízelolajétól, felhasználása során a motor égésterében a repceolaj lerakódásokat okoz, ezért szükséges a tüzelőanyag módosítása. A módosított tüzelőanyag repce-metilészter (RME). Az RME előállítása azonban költséges, gyártása során keletkező melléktermékek pedig külön problémák forrása.

II. Irodalom kritikai áttekintése

Akusztikusan öngerjesztő lángok

Irodalmi adatok alapján nyilvánvaló, hogy gázturbinában repceolajat fel lehet használni (pl. [Ardy, 1995], [Juste, 2000], [Gökalp, 2004]). Sajnos a szerzők nem vizsgálták, hogy gázturbina-porlasztóval megvalósított repceolaj tüzelés milyen porlasztási minőséget kíván és az hogyan valósítható meg. Juste tapasztalatai szerint bio-tüzelőanyagok felhasználásakor gyakrabban alakulnak ki akusztikusan öngerjesztő lángok, azonban az ilyenkor kialakuló porlasztási képet nem vizsgálta meg részletesen.

Herman perdítőelemes nyomásporlasztóval juttatta be a tüzelőanyagot a modell-tüzelőtérbe [Herman, 1995]. Mérései során Lézer-Doppler Anemométerrel (LDA-val) mérte a levegő és a folyadék áramlását. Megállapította, hogy tüztéri oszcilláció esetén a tüzelőanyag egyenetlenül jut a tüzelőtérbe, így a hőfelszabadulás is egyenetlenné válik, valamint a lángfront helye is periodikusan változik. Javaslatára szerint az egyik lehetséges megoldás az oszcilláció elkerülésére más reakciókinetikai tulajdonságokkal rendelkező tüzelőanyag alkalmazása.

Müller külső keverésű segédkezes porlasztó filmenterítőjén kialakuló porlasztást vizsgálta meg, a létrejövő lengést a primer és szekunder levegő szinusz-szerű gerjesztésével szimulálta [Müller, 2005]. A viszkozitás felezésével az átlagos Sauter középátmérő csak mintegy 6%-kal változott, azonban a felületi feszültség háromszorozásával 51%-kal nőtt. A pulzáció

amplitúdójának felezésekor, majd negyedeléskor nem változott a cseppátmérő. Munkája alapján várhatóan nagyobb cseppeket kapunk repceolajnál.

Belső égésű motorok

Belső égésű motorokban sokan és sokféleképpen használtak növényi olajat (nyersen, észterezetten, alkohollal, benzinnel keverve, közvetlen befecskendezésű, előkamrás motorban, állandó/változó terhelésen és fordulatszámokon stb.). A motor üzemére és a mérési eredményekre a felhasznált növényi olaj minősége (évjárat stb.) is hatással van. Éppen ezért az irodalomban található eredményeket nehéz egységesíteni, mert a vizsgálatok nem azonos körülmények között készültek.

A repceolaj tulajdonságait különböző módon próbálták a dízelolajéhoz hasonlóná tenni. Zöldy munkájában a biodízel, a dízelolaj és az etanol hármasképletének a viszkozitását és cetánszámát vizsgálta meg [Zöldy, 2007].

Plassmann mérései alapján a metanol benzinnel és vízzel jól elegyedik, dízelolajjal rosszul, növényi olajjal még rosszabbul [Plassmann, 1974].

Karabektas izobutanolt elegyített dízelolajhoz (5, 10, 15 és 20 V/V%-ban), ennek hatását vizsgálta a teljesítményre és az emisszióra, egyhengeres, közvetlen befecskendezésű dízelmotorban [Karabektas, 2009]. Az NO_x és a CO emissziók csökkenését, a CH emissziók növekedését tapasztalta. Véggöveketetése szerint az izobutanol jól, szétválás nélkül elegyedik a dízelolajjal, felhasználásához a motoron nem szükséges átalakításokat végezni. Munkája során nem jutott el addig, hogy kísérleteit repceolajjal elegyített alkohollal is elvégezze.

Spessert munkatársaival egyhengeres dízelmotorokat vizsgált meg repce-, napraforgó-, dízelolaj- és RME-üzemben [Spessert, 2007]. A vizsgálat folyamán mérték a teljesítményt, a nyomatékot, az emissziót, a befecskendezőrendszerben felépülő nyomást, a szag- és zajkibocsátást.

Kumar munkatársaival méréseik során egyhengeres motorban, állandó fordulatszámokon vizsgálta meg a károsanyag-emissziókat növényi olajjal (ricinus), növényi olaj + metanol elegyével, dízelolajjal, valamint növényolajszterrel [Kumar, 2003]. Méréseik során az alkohol csökkentette a füstölést. Az NO_x-kibocsátás alacsonyabb volt növényi olajjal, mint dízelolajjal (ez az alacsonyabb égési hőmérsékletnek tudható be). Növényi olaj és észterei keverékének égése hosszabb diffúziós szakaszt mutatott fel, mint a dízelolaj. Méréseik alapján a gyulladási késedelem a növényi olajjal nagyobb, mint dízelolajjal, a csúcsnyomás, valamint a nyomásnövekedés a növényi olajjal végzett méréseknél volt a legkisebb.

Irodalmi hivatkozások

- [Herman, 1995] HERMAN, ZANGL, GLEIS: *Untersuchung der Anregungsmechanismen selbsterregter Verbrennungsschwingungen an einem Verbrennungssystem mit Flüssigkraftstoff*. Kutatási jelentés, Nr. 1193, VDI, Düsseldorf, 1995.
- [Müller, 2005] MÜLLER, HEHLE, KOCH: *Zerstäubungsverhalten von Airblastdüsen bei oszillierenden Strömungen*. VDI-Berichte Nr. 1888. pp. 249-257, 2005.

- [Ardy, 1995] ARDY, BARBUCCI, BENELLI: *Development of Gas Turbine Combustor Fed with Bio-Fuel Oil*. Proc. Second Biomass Conference of the Americas, pp. 429-438, 1995.
- [Juste, 2000] JUSTE, MONFORT: *Preliminary test on combustion of wood derived fast pyrolysis oils in a gas turbine combustor*. Biomass and Bioenergy, 2000.
- [Gökalp, 2004] GÖKALP, LEBAS: *Alternative fuels for industrial gas turbines (AFTUR)*. Applied Thermal Engineering, vol. 19., pp. 119-128, 2004.
- [Kumar, 2003] KUMAR, RAMESH, NAGALINGAM: *An experimental comparison of methods to use methanol and Jatropha oil in a compression ignition engine*. Biomass and Bioenergy, vol. 25., pp. 309 - 318, 2003.
- [Spessert, 2007] SPESSERT, SCHLEICHER: *Einfluss von Biokraftstoffen auf die Abgas- und Geräuschemission kleiner Industriedieselmotoren*. MTZ, vol. 68/3., pp. 212-222, 2007.
- [Plassmann, 1974] PLASSMANN, HASSEL: *Neuen Kraftstoffen auf der Spur*. Bundesministerium für Forschung und Technologie, Bonn, 1974.
- [Karabektas, 2009] KARABEKTAS, HOSUZ: *Performance and emission characteristics of a diesel engine using isobutanol–diesel fuel blends*. Renewable Energy, vol. 34/6, 2009.
- [Zöldy 2007] ZÖLDY: *Bioethanol-biodiesel-diesel oil blends effect on cetane number and viscosity*. 6th International ColloquimFuels, Technische Akademie Esslingen, Németország, 2007.

III. Célkitűzések

Mind a gázturbinás, mind a dízelmotoros felhasználás alapja a felhasznált folyékony tüzelőanyag megfelelő minőségű porlasztása. Mivel a repceolaj sűrűsége és felületi feszültsége eltér a hagyományos gázturbina- tüzelőanyagétól (pl. kerozin) és a dízelolajétól, ezért szükséges a megújuló tüzelőanyag porlaszthatóságának külön vizsgálata.

A fentiek alapján a disszertációban célul tűztem ki a repceolaj különböző porlasztókkal kapott porlasztási képének, a szegény üzemben fellépő termoakusztikus lengésének, továbbá a belső égésű motorban történő alkalmazásának vizsgálatát.

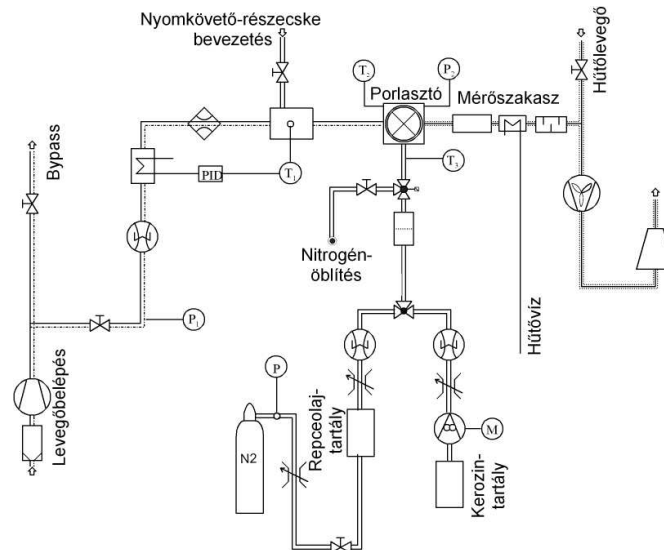
Munkám során egy külső keverésű segédközeges porlasztóval ellátott modell gázturbina-tüzelőtérben, a hagyományos (kerozin jet-A) és a megújuló (repceolaj) gázturbina-tüzelőanyag felhasználása során, szegény üzemben kialakuló termoakusztikus lengéseket hasonlítom össze. Külön figyelmet fordítok a különböző tüzelőanyagok felhasználása során kialakuló lengések fázisfelbontott vizsgálatára. Vizsgálni kívánom a cseppek sebességét, haladási irányát, átmérőjét.

A növényi olaj motorikus felhasználásának vizsgálata folyamán megvizsgálom a növényi olaj égési sebességének növelési lehetőségét. Ezért különböző, magasabb rendű alkoholokat elegyíték hozzá. Az így kapott tüzelőanyagok motorikus felhasználhatóságán kívül megvizsgálom a tárolás, és a szállíthatóság szempontjából fontos tulajdonságait is, mint például a lobbanáspontot, viszkozitást, sűrűséget, hidegszűrési határhőmérsékletet.

Dolgozatomban (amely 93 oldalon 5 fejezetben 64 ábrát, 129 tételes irodalomjegyzéket, továbbá 11 oldal függelék tartalmaz) bemutatom a célkitűzések elérése érdekében végzett kutatási munkát, a felhasznált kísérleti berendezéseket és az elméleti összefüggéseket.

IV. Vizsgálati módszerek

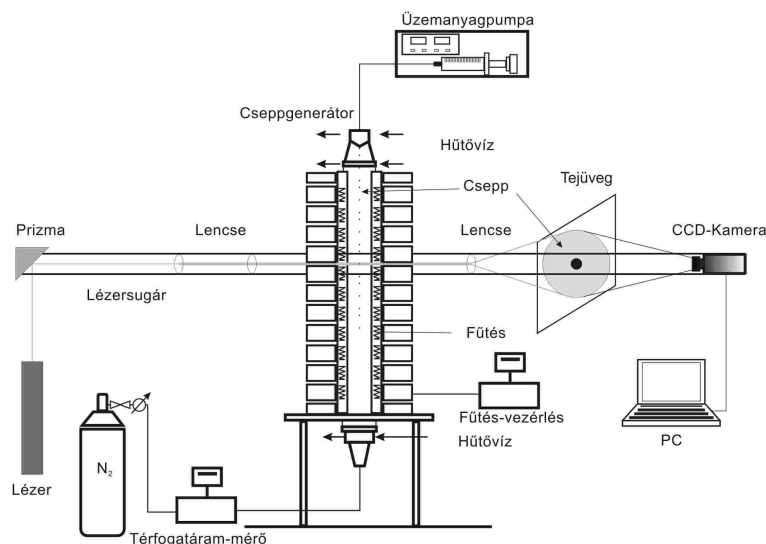
Az akusztikusan öngerjesztő lángok vizsgálatához felépítettem egy kísérleti gázturbina-tüzelőteret (1. ábra). A berendezés konstrukciójánál fogva kizárja a nem öngerjesztő akusztikus lengések kialakulását. A tüzelőtér felépítése lehetővé tette a porlasztmány nagy felületű (lézersík, PIV) és pontszerű (PDA) érintésmentes vizsgálatát. A felhasznált mérőeszközök az oszcilláló láng fázisfelbontott analizálására adtak lehetőséget (cseppméret, cseppsebesség).



1. ábra. Akusztikusan öngerjesztő lángok vizsgálatához felépített kísérleti gázturbina-tüzelőtér

A repceolaj és a repceolaj – magasabb rendű alkoholok elegyének belső égésű motorban történő vizsgálatát egy CFR cetánszámmérő egységen végeztem.

A párolgási tulajdonságok elemzéséhez az elterjedt TGA-n túl lézeres árnyékgráfiát alkalmaztam.



2. ábra. Lézeres árnyékgráfia felépítése

Az elegyek többi fizikai paraméterét (lobbanáspont, égéshő, sűrűség, viszkozitás, hidegszűrési határhőmérséklet, oxidációs stabilitás stb.) a vonatkozó szabvány előírásainak megfelelően végeztem.

V. Új tudományos eredmények

1. Nagy viszkozitású tüzelőanyagok esetében is ugyanolyan cseppméretű (SMD) porlasztás érhető el perdítőelemes nyomásporlasztóval, mint belső keverésű segédközegees porlasztóval, ezért célszerűbb az energetikailag kedvezőbb nyomásporlasztó használata. Perdítőelemes nyomásporlasztó esetében a 10 bar-on 60 °C-os hőmérséklet 50%-os megemelése annyit javít a folyadék porlaszthatóságán, mint a 60%-kal magasabb nyomás kisebb mértékű, csak 30%-os hőmérsékletemelése. Mindezt kísérletekkel igazoltam [1], [2].
2. Akusztikusan öngerjesztő lángok esetén, külső keverésű, ellentétes perdületű segédközegees porlasztó alkalmazásakor mind kerozin, mind a nagyobb viszkozitású és nehezebben párologó repceolaj tüzelőanyag esetében, a cseppek axiális irányára az oszcilláció fázisszöge nincs hatással, axiális és tangenciális sebességre viszont igen. Az oszcilláció hatása az axiális sebességre a 100%-kal nagyobb felületi feszültségű és 130%-kal nagyobb viszkozitású repceolaj esetén (a maximális értékhez viszonyítva) -36%, míg kerozin esetében -50%. Az oszcilláció tangenciális sebességre gyakorolt hatása rendre -20% és -33% [3], [4], [5], [6], [7].
3. Kísérletekkel igazoltam, hogy oszcilláló égés esetén a repceolaj, illetve a kerozin tüzelőanyag hasonló CO és NO_x károsanyag képződési lefolyást eredményez, mind a légfelesleg, mind pedig a bevezetett hőteljesítmény függvényében [3], [4], [5], [6], [7].
4. Bebizonyítottam, hogy repceolajjal a vizsgált magasabb rendű alkoholok 20 V/V%-ig térfogati kontrakció nélkül elegyednek. Mint ismeretes, az egyszerű alkoholok a repceolajjal nem elegyednek, vízzel történő elegyítésükkor viszont jelentős a térfogati kontrakció (etanol – víz 50 V/V%-os elegyénél a 3,7%-ot is eléri, de általában 1-2% körüli) [9].
5. Előkamrás egyhengeres dízelmotorban célszerű a repceolajhoz butanolt, vagy propanolt elegyíteni a viszkozitás csökkentése és az égési folyamat javítása érdekében, 20 V/V%-ig. Motorikus felhasználás szempontjából a vizsgált alkoholok közül a butanol a propanolnál kedvezőbb tulajdonságú, a fűtőértéke miatt. Az alkoholoknak az elegyek cetánszámára, viszkozitására gyakorolt hatásuk megegyezik. A hidegszűrhetőségi határhőmérsékletet a 20 V/V% butanol is lecsökkenti a nyári előírásnak megfelelő szintre, az elegyített alkohol az oxidációs stabilitására nincs hatással. A butanol jobban csökkenti (azonos térfogat% esetén) az elegy lobbanáspontját, ezért fokozottan tűz- és robbanásveszélyes [8], [10], [11], [12].
6. Igazoltam azt a feltételezést, miszerint a motor égésterében az alkohol-repceolaj elegy égése két lépcsőben játszódik le: a magasabb cetánszámú repceolaj gyullad meg először, és ennek lángja gyújtja meg az elegyből kipárolgott, jó kompressziótűrűségű alkoholt. Kísérletekkel igazoltam, hogy a repceolaj-alkohol cseppből az alkohol párologása már alacsony (30 °C alatti) hőmérsékleten elkezdődik, a kipárolgás részaránya a hőmérséklet növelésével nő. 180 °C fölött a csepp már nem tartalmaz

alkoholt, csak repceolajat, amely viszont ezen a hőmérsékleten még nem párolog [10], [12], [13].

7. Mérésekkel bizonyítottam, hogy az előkamrás dízelmotorban felhasznált repceolaj – magasabb rendű alkoholok elegyének a károsanyag kibocsátására az alkohol hatása - típusától függetlenül - azonos nagyságrendben van. Kimutattam, hogy 10 és 20 V/V% magasabb rendű alkohol repceolajhoz történő elegyítése esetén a károsanyag-kibocsátás változása az alkoholtartalommal nem lineáris. A változás függvényét a mérési pontok grafikonjával megadtam [14], [15].

VI. A tézispontokhoz kapcsolódó tudományos közlemények

- [1] LAZA, MEIER, PENNINGER: *Untersuchungen zur Einsetzbarkeit von rohem Rapsöl für die Verbrennung in Gasturbinen*. 14. Frühlingsakademie. München, Németország, pp. 37-43. (2002.)
- [2] LAZA, MEIER, KOCH: *Untersuchungen zum Einsatz von Rapsöl in Gasturbinen*. Internationale Conference on Heat Engines and Environmental Protection, Balatonfüred, pp. 99-106. (2003.)
- [3] LAZA, KOCH, PENNINGER: *A kerozin és repceolaj gázturbinaszpecifikus vizsgálata II*. Magyar Energetika, XIII:(5) pp. 3-8. (2005)
- [4] LAZA, KOCH, PENNINGER: *Examination of kerosine and rape oil with specification of gas turbine*. Gépészet 2004, pp. 622-626. (2004.)
- [5] LAZA, KOCH, PENNINGER: *Kerozin és repceolaj gázturbinaszpecifikus vizsgálata*. Magyar Energetika, XII:(5) pp. 28-33. (2004.)
- [6] LAZA, KOCH, PENNINGER: *Analysis of oscillation of gas turbine combustion in case of rape seed oil and kerosine jet-a fuel*. microCAD2005, Miskolc, pp. 49-54. (2005.)
- [7] LAZA, KOCH, PENNINGER: *Analysis der Oszillation eines rapsölbetriebenen Kleingasturbinenbrenner*. 22. Deutscher Flammentag, Braunschweig, VDI-BERICHT 1888: pp. 673-679. (2005.)
- [8] LAZA, PENNINGER: *Repceolaj és magasabb rendű alkoholok keverékének viszkozitása*. Energiagazdálkodás, Budapest, 46:(5) pp. 3-5. (2005.)
- [9] LAZA, TÓVÁRI, PENNINGER: *Investigation of Density and Heat Value of Rape Seed Oil and Rape Seed Oil + Alcohol Mixtures*. Proc. of International Conference of Energetics and Electrical Engineering, Kolozsvár, pp. 65-69. (2006.)
- [10] LAZA, KERÉKES, PENNINGER: *A repceolaj, valamint a repceolaj és magasabb rendű alkohol-keverékek tűzveszélyességének meghatározása*. Szent István Egyetem Tudományos Közlemények, Budapest, 3:(1) pp. 40-44. (2006.)
- [11] LAZA, KECSKÉS, BERECZKY, PENNINGER: *Examination of burning process of regenerative liquid fuel and alcohol mixtures in diesel engine*. Periodica Politechnica ser. Mech. Eng., Budapest, 50:(1) pp. 11-29. (2006.)
- [12] LAZA, BERECZKY: *Determination of the Evaporation Constant in Case of Pure and with Alcohol Mixed Rape Seed Oil*. Proc. of 6th International Conference in Mechanical Engineering, Brasov, pp. 232-237. (2008.)

- [13] **LAZA**: *Pilot Test and Theoretical Analysis of Evaporation of One and More Component Fuel.s* Periodica Polytechnica-Mechanical Engineering 52:(2) pp. 67-71. ISSN: 0324-6051 (2009.)
- [14] **LAZA**, **BERECZKY**: *Influence of Higher Alcohols on the Combustion Pressure of Diesel Engine Operated with Rape Seed Oil.* Acta Mechanica Slovaca, 13:(3) pp. 54-61. (2009.)
- [15] **LAZA**, **BERECZKY**: *Magasabb rendű alkohol hatása dízelmotorban lejátszódó égési folyamatokra repceolaj tüzelőanyag esetén.* Energiagazdálkodás, 50:(6) pp. 19-24. (2009.)

VII. Az értekezés témaköréhez kapcsolódó publikációk

1. **T. Laza**, R. Koch, A. Penninger: Analysis of Burning Behavior of Liquid Fuel Based on Biomass and Kerosine Jet A. 7. International Conference on Heat Engines and Environmental Protection, pp. 171-177., ISBN 963 420 840 1, Balatonfüred (2005.)
2. **Laza T.**, Penninger A.: Repceolaj, valamint repceolaj és metanol keverékének párolgási tulajdonságai és viszkozitása. Energiagazdálkodás 46. évf. II. szám pp. 17-21. ISSN 0021-0757, Budapest, (2005.)
3. Losonczi B., Hermanutz P., **Laza T.**, Bereczky Á., Kecskés R., Meggyes A.: Investigation of Combustion Process of Pure and Refuse Vegetable Oil in Diesel Engine. Gépészet 2006, ISBN 963 593 465 3, Budapest (2006.)
4. **Laza T.**, Sabino J., Carvalho I., Bereczky Á., Penninger A.: Pilot Test and Theoretical Analysis of One and More Component Fuel. Gépészet 2006, ISBN 963 593 465 3, Budapest (2006.)
5. **Laza T.**, Tóvári P., Penninger A.: Investigation of Density and Heat Value of Rape Seed Oil and Rape Seed Oil + Alcohol Mixtures. International Conference of Energetics and Electrical Engineering, pp. 65-69. ISSN 1842-4546 Kolozsvár (2006.)
6. **Laza T.**, Kerekes Zs., Penninger A.: Repceolaj valamint repceolaj és magasabb rendű alkoholok égéstörvényének elemzése az elegyek lobbanáspontja alapján. Energiagazdálkodás, 47. évf. V. sz. pp. 6-9. ISSN 0021-0757 (2006.)
7. **Laza T.**, Stauch R., Penninger A.: Theoretical and practical analysis of the evaporation of vegetable oils and fatty acids. 8. International Conference on Heat Engines and Environmental Protection, pp. 75-79., Balatonfüred, ISBN 978 963 420 907 2 (2007.)
8. **Laza T.**, Penninger A.: Repceolaj és magasabb rendű alkohol elegyek párolgási folyamatának elemzése. 3. évf. III. sz. pp. 16-18. Bioenergia ISSN 1788-487X (2008.)
9. **Laza T.**, Bereczky Á.: Magasabb rendű alkoholok repceolaj belső égésű motorban való felhasználhatóságára gyakorolt hatása. Tüki, 42. Ipari Szeminárium, Dunaújváros, ISBN 978-963-06-6543-8 (2008.)
10. **Laza T.**, Penninger A.: Analysis of spray combustion of liquid biomass comparing with kerosene. 4th European Combustion Meeting, Bécs, ISBN 978-3-902655-06-6 (2009.)

11. **T. Laza**, Á. Bereczky: Influence of higher alcohols on the emissions of diesel engine operated with rape seed oil. 4th European Combustion Meeting, Bécs, ISBN 978-3-902655-06-6 (2009.)
12. **Laza T.**, Bereczky Á.: Influence of higher alcohols on the Combustion Pressure of Diesel Engine Operated with Rape Seed Oil. 9th International Conference on Heat Engine and Environmental Protection, Balatonfüred. pp. 45-51. ISBN 978-963-420-979-9 (2009.)
13. Bereczky Á., **Laza T.**: Ersetzen des Dieselöls durch Rapsöl mit beigemischten Alkoholen höheren Grades. 24. Deutscher Flammentag: Verbrennung und Feuerung. Bochum, Németország, VDI Verlag, pp. 511-514. ISBN 978-3-18-092056-6 (2009.)
14. **T. Laza**, Á. Bereczky, A. Penninger: Energetische und Motorische Verwendung der Erneuerbaren Energiequellen. 9. Magdeburger Maschinenbau-Tage, pp. 57-64. Magdeburg, Németország. ISBN 978-3-940961-36-5 (2009.)
15. Penninger A., Meggyes A., **Laza T.**: Gázturbinatűztér oszcillációjának vizsgálata megújuló tüzelőanyag esetén. X. ENELKO, Románia, Marosvásárhely, pp. 130-134. ISSN 1842-4546 (2009.)
16. Kovács V., **Laza T.**, Török Á.: Hazai, közlekedési célú, növényi alapú, bio-tüzelőanyag felhasználás analitikai vizsgálata, Közlekedéstudományi Szemle V. pp. 36-39. ISSN: 0023-4362 (2009.)
17. Bereczky Á., **Laza T.**: Magasabb rendű alkohol hatása dízelmotorban lejátszódó égési folyamatokra repceolaj tüzelőanyag esetén. Energiagazdálkodás, pp. 19-24. ISSN: 0021-0757 (2009.)
18. **Laza**: Pilot Test and Theoretical Analysis of Evaporation of One and More Component Fuels Periodica Polytechnica-Mechanical Engineering 52:(2) pp. 67-71. ISSN: 0324-6051 (2009).
19. Kovács, **Laza**, Török: Növényi alapú biotüzelőanyag-felhasználás közlekedési célú nemzetgazdasági optimalása. Magyar Energetika, XVI, (6) pp. 26-29. ISSN: 1216-8599 (2009.)

VIII. Hivatkozások

1. Zöldy Máté: Megújuló tüzelőanyagok adagolásának hatása a gázolaj viszkozitására, Autótechnika, 2005/8 HU ISSN 1588 9858. Hivatkozott cikk: **Laza**, Penninger: Repceolaj, valamint repceolaj és metanol keverékének párolgási tulajdonságai és viszkozitása. Energiagazdálkodás 46. évf. II. szám pp. 17-21. ISSN 0021-0757, Budapest (2005.)
2. Zöldy Máté, Kecskés Róbert: Megújuló motorhajtóanyagok keverésének hatása az égésfolyamatra és az emisszióra, Gép 2006/5, ISSN 0016-8572. Hivatkozott cikk: Á. Bereczky, A. Meggyes, **T. Laza**, R. Kecskés: Examination of Burning Processes of Regenerative Liquid Fuel and Alcohol Mixtures in Diesel Engine. 7. International Conference on Heat Engines and Environmental Protection, pp. 166-171., ISBN 963 420 840 1, Balatonfüred (2005.)
3. Zöldy, M.: Bioethanol-biodiesel-diesel oil blends effect on cetane number and viscosity, 6th International Colloquim Fuels 2007, Technische Akademie Esslingen, 2007 01.10-11,

- ISBN 3-924813-67-1. Hivatkozott cikk: Á. Bereczky, A. Meggyes, **T. Laza**, R. Kecskés: Examination of Burning Processes of Regenerative Liquid Fuel and Alcohol Mixtures in Diesel Engine. 7. International Conference on Heat Engines and Environmental Protection, pp. 166-171., ISBN 963 420 840 1, Balatonfüred (2005.)
4. Reményi Károly: Megújuló Energiák. Energiaforrások és hasznosításuk. Akadémiai kiadó (2007.) ISBN 978 963 05 8458 6. Hivatkozott cikk: **Laza**, Penninger: Repceolaj, valamint repceolaj és metanol keverékének párolgási tulajdonságai és viszkozitása. Energiagazdálkodás 46. évf. II. szám pp. 17-21. ISSN 0021-0757, Budapest, (2005.)
 5. Dr. Zöldy Máté: Significance of application technique of fuel containing biocomponents, MOL SP SD & HSE special issue, 2009/3 ISSN 2060-338X pp 133-139. Hivatkozott cikk: Bereczky Á.; Meggyes, A.; **Laza, T.**; Kecskés, R.: Examination of burning process of regenerativ liquid fuel and alcohol mixtures in diesel engine. Heat Engines and Environmental Protection, ISBN 963 420 840 1, Balatonfüred (2005.)
 6. Martina Slezáková, Daniel Bratský: Diesel Fuels from Renewable Sources. 44th International Petroleum Conference, Bratislava, Slovak Republic. Hivatkozott cikk: **Laza, T.**, Kecskés, R., Bereczky, Á., Penninger, A.: Examination of burning processes of regenerative liquid fuel and alcohol mixtures in diesel engine. Periodical Polytechnica Ser. Mech. Eng., 50 (1), 11-29. (2006.)
 7. Viktória Barbara Kovács, Attila Meggyes: Energetic Utilisation of Pyrolysis Gases in IC Engine. Acta Polytechnica Hungarica Vol. 6, No. 4, 2009. Hivatkozott cikk: **Laza, T.**, Bereczky Á.: Determination of the Evaporation Constant in Case of Pure and with Alcohol Mixed Rape Seed Oil., in Proceedings of 16th International Conference in Mechanical Engineering, Brasov, May 1-4, 2008, pp. 232-237
 8. S. Szwaja, J. D. Naber: Combustion of n-butanol in a spark-ignition IC engine. Fuel xxx (2009) xxxxxx. Hivatkozott cikk: **Laza T.**, Kecskés R., Bereczky Á., Penninger A.: Examination of burning processes of regenerative liquid fuel and alcohol mixtures in diesel engine. Periodica Polytech Mech Eng; 50 (1):1129. (2006.)
 9. Martina Slezáková, Daniel Bratsky: Aplikácia Repkového Oleaj Ako Paliva Pre Neupravené Dieselové Motory. Aprochem 2009 Odpadové fórum 2009. 20.22. 4. 2009 Milovy pp. 1381-1388. Hivatkozott cikk: **Laza T.**, Kecskés R., Bereczky Á., Penninger A.: Examination of burning processes of regenerative liquid fuel and alcohol mixtures in diesel engine. Periodica Polytech Mech Eng; 50 (1):1129. (2006.)
 10. Penninger Antal: The Development of the Environmental Industry by the Utilisation of the Energetics Potential. In: István Fodor: The Role of Environmental Industry in The Regional Reindustrialisation in Hungary. Debrecen, MTA, 2009. pp. 127-144 ISBN: 978-963-9899-15-5. Hivatkozott cikk: **T. Laza**, Á. Bereczky: Influence of higher alcohols on the emissions of diesel engine operated with rape seed oil. 4th European Combustion Meeting, Bécs, ISBN 978-3-902655-06-6 (2009.)
 11. Zöldy, Hollo, Thernesz: Butanol as diesel extender option for internal combustion engines. SAE 2010 World Congress. Hivatkozott cikk: **Laza T.**, Kecskés R., Bereczky Á., Penninger A.: Examination of burning process of regenerative liquid fuel and alcohol

mixtures in diesel engine. *Periodica Politechnica ser. Mech. Eng.* Vol. 50, No. 1, pp. 11-29, HU ISSN 0324-6051 (2006.)

12. Zöldy, Hollo, Thernesz: Butanol as diesel extender option for internal combustion engines. SAE 2010 World Congress. Hivatkozott cikk: **T. Laza**, Á. Bereczky: Influence of higher alcohols on the emissions of diesel engine operated with rape seed oil. 4th European Combustion Meeting, Béc, ISBN 978-3-902655-06-6 (2009.)



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM

GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR DOKTORI TANÁCSA

DOKTORI TÉZISFÜZET

Írta:

Laza Tamás

okleveles gépészmérnök

FOLYÉKONY BIO-TÜZELŐANYAGOK
FELHASZNÁLÁSA HŐERŐGÉPEKBEN

című témakörből, amellyel a PhD fokozat elnyerésére pályázik

Budapest, 2010

I. A kutatások előzménye

A világ villamosenergia-igénye, és ezzel együtt az üvegházhatást okozó gázok kibocsátása is egyre nő. A növekedés üteme megújuló energiaforrások használatával csökkenthető.

Magyarországon az egyik legjelentősebb megújuló energia a biomassa. Az ebből nyerhető két legfontosabb folyékony tüzelőanyag az alkohol és a növényi olaj, ill. annak észterezett változata. Az észterezett növényi olaj felhasználása már több országban bevezetett gyakorlat, azonban az előállítás költséges. Ezen megfontolások miatt munkámban a hidegen sajtolt repceolajjal foglalkozom.

Lehetséges alkalmazási terület a repceolaj számára mezőgazdasági területeken traktorok meghajtásán kívül a helyben történő hasznosítás, az ún. decentralizált energiatermelés. Ennek egyik lehetséges megvalósítása a fixen telepített, generátorral ellátott mikrogázturbina vagy dízelmotor.

Új tüzelőanyagok felhasználásakor két út kínálkozik: vagy a tüzelőanyagot módosítjuk úgy, hogy a régi berendezésben is felhasználható legyen, vagy a berendezést tesszük alkalmassá az új tüzelőanyag felhasználására.

Modern gázturbinák NO_x -kibocsátásának csökkenését alapvetően megnövelt légfelesleg-tényezőjű üzemmel érik el. A módszernek azonban vannak korlátai, mert a nagy légfeleslegű lángok égési instabilitásra hajlamosak, ami jelenthet termoakusztikus lengést (akusztikusan öngerjesztő lángok kialakulását), instabil gyújtást, vagy helyi lángkialvást is. Az aktuális gázturbina-kutatás egyik központi feladata a termoakusztikus lengések vizsgálata.

Nyers repceolaj viszkozitása, párolgási tulajdonsága nagymértékben eltér a dízelolajétól, felhasználása során a motor égésterében a repceolaj lerakódásokat okoz, ezért szükséges a tüzelőanyag módosítása. A módosított tüzelőanyag repce-metilészter (RME). Az RME előállítása azonban költséges, gyártása során keletkező melléktermékek pedig külön problémák forrása.

II. Irodalom kritikai áttekintése

Akusztikusan öngerjesztő lángok

Irodalmi adatok alapján nyilvánvaló, hogy gázturbinában repceolajat fel lehet használni (pl. [Ardy, 1995], [Juste, 2000], [Gökalp, 2004]). Sajnos a szerzők nem vizsgálták, hogy gázturbina-porlasztóval megvalósított repceolaj tüzelés milyen porlasztási minőséget kíván és az hogyan valósítható meg. Juste tapasztalatai szerint bio-tüzelőanyagok felhasználásakor gyakrabban alakulnak ki akusztikusan öngerjesztő lángok, azonban az ilyenkor kialakuló porlasztási képet nem vizsgálta meg részletesen.

Herman perdítőelemes nyomásporlasztóval juttatta be a tüzelőanyagot a modell-tüzelőtérbe [Herman, 1995]. Mérései során Lézer-Doppler Anemométerrel (LDA-val) mérte a levegő és a folyadék áramlását. Megállapította, hogy tüztéri oszcilláció esetén a tüzelőanyag egyenetlenül jut a tüzelőtérbe, így a hőfelszabadulás is egyenetlenné válik, valamint a lángfront helye is periodikusan változik. Javaslatára szerint az egyik lehetséges megoldás az oszcilláció elkerülésére más reakciókinetikai tulajdonságokkal rendelkező tüzelőanyag alkalmazása.

Müller külső keverésű segédkezes porlasztó filmenterítőjén kialakuló porlasztást vizsgálta meg, a létrejövő lengést a primer és szekunder levegő szinusz-szerű gerjesztésével szimulálta [Müller, 2005]. A viszkozitás felezésével az átlagos Sauter középátmérő csak mintegy 6%-kal változott, azonban a felületi feszültség háromszorozásával 51%-kal nőtt. A pulzáció

amplitúdójának felezésekor, majd negyedeléskor nem változott a cseppátmérő. Munkája alapján várhatóan nagyobb cseppeket kapunk repceolajnál.

Belső égésű motorok

Belső égésű motorokban sokan és sokféleképpen használtak növényi olajat (nyersen, észterezetten, alkohollal, benzinnel keverve, közvetlen befecskendezésű, előkamrás motorban, állandó/változó terhelésen és fordulatszámokon stb.). A motor üzemére és a mérési eredményekre a felhasznált növényi olaj minősége (évjárat stb.) is hatással van. Éppen ezért az irodalomban található eredményeket nehéz egységesíteni, mert a vizsgálatok nem azonos körülmények között készültek.

A repceolaj tulajdonságait különböző módon próbálták a dízelolajéhoz hasonlóná tenni. Zöldy munkájában a biodízel, a dízelolaj és az etanol hármasképletű keverékének a viszkozitását és cetánszámát vizsgálta meg [Zöldy, 2007].

Plassmann mérései alapján a metanol benzinnel és vízzel jól elegyedik, dízelolajjal rosszul, növényi olajjal még rosszabbul [Plassmann, 1974].

Karabektas izobutanolt elegyített dízelolajhoz (5, 10, 15 és 20 V/V%-ban), ennek hatását vizsgálta a teljesítményre és az emisszióra, egyhengeres, közvetlen befecskendezésű dízelmotorban [Karabektas, 2009]. Az NO_x és a CO emissziók csökkenését, a CH emissziók növekedését tapasztalta. Véggöveztetése szerint az izobutanol jól, szétválás nélkül elegyedik a dízelolajjal, felhasználásához a motoron nem szükséges átalakításokat végezni. Munkája során nem jutott el addig, hogy kísérleteit repceolajjal elegyített alkohollal is elvégezze.

Spessert munkatársaival egyhengeres dízelmotorokat vizsgált meg repce-, napraforgó-, dízelolaj- és RME-üzemben [Spessert, 2007]. A vizsgálat folyamán mérték a teljesítményt, a nyomatékot, az emissziót, a befecskendezőrendszerben felépülő nyomást, a szag- és zajkibocsátást.

Kumar munkatársaival méréseik során egyhengeres motorban, állandó fordulatszámokon vizsgálta meg a károsanyag-emissziókat növényi olajjal (ricinus), növényi olaj + metanol elegyével, dízelolajjal, valamint növényolajszterrel [Kumar, 2003]. Méréseik során az alkohol csökkentette a füstölést. Az NO_x-kibocsátás alacsonyabb volt növényi olajjal, mint dízelolajjal (ez az alacsonyabb égési hőmérsékletnek tudható be). Növényi olaj és észterei keverékének égése hosszabb diffúziós szakaszt mutatott fel, mint a dízelolaj. Méréseik alapján a gyulladási késedelem a növényi olajjal nagyobb, mint dízelolajjal, a csúcsnyomás, valamint a nyomásnövekedés a növényi olajjal végzett méréseknél volt a legkisebb.

Irodalmi hivatkozások

- [Herman, 1995] HERMAN, ZANGL, GLEIS: *Untersuchung der Anregungsmechanismen selbsterregter Verbrennungsschwingungen an einem Verbrennungssystem mit Flüssigkraftstoff*. Kutatási jelentés, Nr. 1193, VDI, Düsseldorf, 1995.
- [Müller, 2005] MÜLLER, HEHLE, KOCH: *Zerstäubungsverhalten von Airblastdüsen bei oszillierenden Strömungen*. VDI-Berichte Nr. 1888. pp. 249-257, 2005.

- [Ardy, 1995] ARDY, BARBUCCI, BENELLI: *Development of Gas Turbine Combustor Fed with Bio-Fuel Oil*. Proc. Second Biomass Conference of the Americas, pp. 429-438, 1995.
- [Juste, 2000] JUSTE, MONFORT: *Preliminary test on combustion of wood derived fast pyrolysis oils in a gas turbine combustor*. Biomass and Bioenergy, 2000.
- [Gökalp, 2004] GÖKALP, LEBAS: *Alternative fuels for industrial gas turbines (AFTUR)*. Applied Thermal Engineering, vol. 19., pp. 119-128, 2004.
- [Kumar, 2003] KUMAR, RAMESH, NAGALINGAM: *An experimental comparison of methods to use methanol and Jatropha oil in a compression ignition engine*. Biomass and Bioenergy, vol. 25., pp. 309 - 318, 2003.
- [Spessert, 2007] SPESSERT, SCHLEICHER: *Einfluss von Biokraftstoffen auf die Abgas- und Geräuschemission kleiner Industriedieselmotoren*. MTZ, vol. 68/3., pp. 212-222, 2007.
- [Plassmann, 1974] PLASSMANN, HASSEL: *Neuen Kraftstoffen auf der Spur*. Bundesministerium für Forschung und Technologie, Bonn, 1974.
- [Karabektas, 2009] KARABEKTAS, HOSUZ: *Performance and emission characteristics of a diesel engine using isobutanol–diesel fuel blends*. Renewable Energy, vol. 34/6, 2009.
- [Zöldy 2007] ZÖLDY: *Bioethanol-biodiesel-diesel oil blends effect on cetane number and viscosity*. 6th International ColloquimFuels, Technische Akademie Esslingen, Németország, 2007.

III. Célkitűzések

Mind a gázturbinás, mind a dízelmotoros felhasználás alapja a felhasznált folyékony tüzelőanyag megfelelő minőségű porlasztása. Mivel a repceolaj sűrűsége és felületi feszültsége eltér a hagyományos gázturbina- tüzelőanyagétól (pl. kerozin) és a dízelolajétól, ezért szükséges a megújuló tüzelőanyag porlaszthatóságának külön vizsgálata.

A fentiek alapján a disszertációban célul tűztem ki a repceolaj különböző porlasztókkal kapott porlasztási képének, a szegény üzemben fellépő termoakusztikus lengésének, továbbá a belső égésű motorban történő alkalmazásának vizsgálatát.

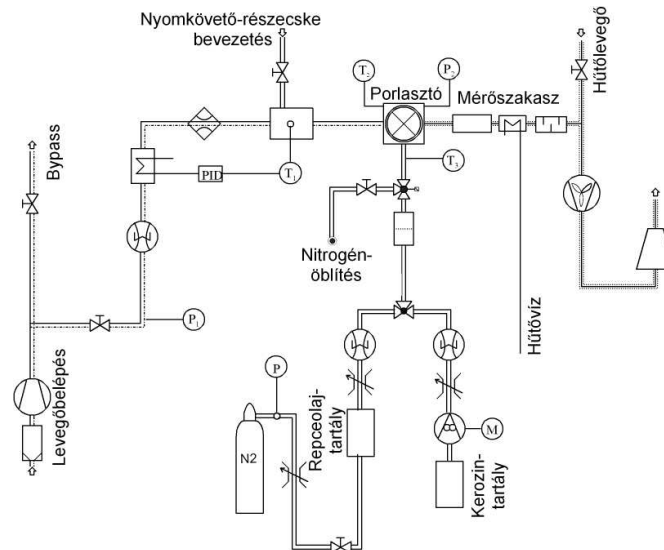
Munkám során egy külső keverésű segédközeges porlasztóval ellátott modell gázturbina-tüzelőtérben, a hagyományos (kerozin jet-A) és a megújuló (repceolaj) gázturbina-tüzelőanyag felhasználása során, szegény üzemben kialakuló termoakusztikus lengéseket hasonlítom össze. Külön figyelmet fordítok a különböző tüzelőanyagok felhasználása során kialakuló lengések fázisfelbontott vizsgálatára. Vizsgálni kívánom a cseppek sebességét, haladási irányát, átmérőjét.

A növényi olaj motorikus felhasználásának vizsgálata folyamán megvizsgálom a növényi olaj égési sebességének növelési lehetőségét. Ezért különböző, magasabb rendű alkoholokat elegyíték hozzá. Az így kapott tüzelőanyagok motorikus felhasználhatóságán kívül megvizsgálom a tárolás, és a szállíthatóság szempontjából fontos tulajdonságait is, mint például a lobbanáspontot, viszkozitást, sűrűséget, hidegszűrési határhőmérsékletet.

Dolgozatomban (amely 93 oldalon 5 fejezetben 64 ábrát, 129 tételes irodalomjegyzéket, továbbá 11 oldal függelék tartalmaz) bemutatom a célkitűzések elérése érdekében végzett kutatási munkát, a felhasznált kísérleti berendezéseket és az elméleti összefüggéseket.

IV. Vizsgálati módszerek

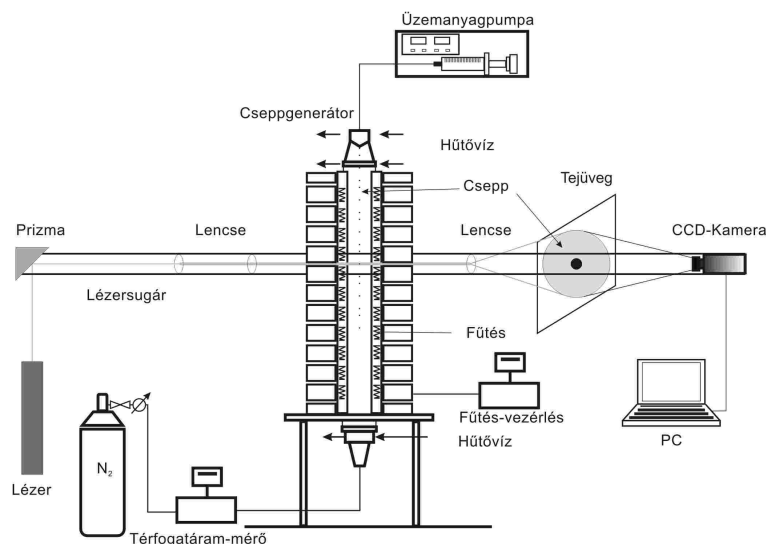
Az akusztikusan öngerjesztő lángok vizsgálatához felépítettem egy kísérleti gázturbina-tüzelőteret (1. ábra). A berendezés konstrukciójánál fogva kizárja a nem öngerjesztő akusztikus lengések kialakulását. A tüzelőtér felépítése lehetővé tette a porlasztmány nagy felületű (lézersík, PIV) és pontszerű (PDA) érintésmentes vizsgálatát. A felhasznált mérőeszközök az oszcilláló láng fázisfelbontott analizálására adtak lehetőséget (cseppméret, cseppsebesség).



1. ábra. Akusztikusan öngerjesztő lángok vizsgálatához felépített kísérleti gázturbina-tüzelőtér

A repceolaj és a repceolaj – magasabb rendű alkoholok elegyének belső égésű motorban történő vizsgálatát egy CFR cetánszámmérő egységen végeztem.

A párolgási tulajdonságok elemzéséhez az elterjedt TGA-n túl lézeres árnyékgráfiát alkalmaztam.



2. ábra. Lézeres árnyékgráfia felépítése

Az elegyek többi fizikai paraméterét (lobbanáspont, égéshő, sűrűség, viszkozitás, hidegszűrési határhőmérséklet, oxidációs stabilitás stb.) a vonatkozó szabvány előírásainak megfelelően végeztem.

V. Új tudományos eredmények

1. Nagy viszkozitású tüzelőanyagok esetében is ugyanolyan cseppméretű (SMD) porlasztás érhető el perdítőelemes nyomásporlasztóval, mint belső keverésű segédközegees porlasztóval, ezért célszerűbb az energetikailag kedvezőbb nyomásporlasztó használata. Perdítőelemes nyomásporlasztó esetében a 10 bar-on 60 °C-os hőmérséklet 50%-os megemelése annyit javít a folyadék porlaszthatóságán, mint a 60%-kal magasabb nyomás kisebb mértékű, csak 30%-os hőmérsékletemelése. Mindezt kísérletekkel igazoltam [1], [2].
2. Akusztikusan öngerjesztő lángok esetén, külső keverésű, ellentétes perdületű segédközegees porlasztó alkalmazásakor mind kerozin, mind a nagyobb viszkozitású és nehezebben párolgó repceolaj tüzelőanyag esetében, a cseppek axiális irányára az oszcilláció fázisszöge nincs hatással, axiális és tangenciális sebességre viszont igen. Az oszcilláció hatása az axiális sebességre a 100%-kal nagyobb felületi feszültségű és 130%-kal nagyobb viszkozitású repceolaj esetén (a maximális értékhez viszonyítva) -36%, míg kerozin esetében -50%. Az oszcilláció tangenciális sebességre gyakorolt hatása rendre -20% és -33% [3], [4], [5], [6], [7].
3. Kísérletekkel igazoltam, hogy oszcilláló égés esetén a repceolaj, illetve a kerozin tüzelőanyag hasonló CO és NO_x károsanyag képződési lefolyást eredményez, mind a légfelesleg, mind pedig a bevezetett hőteljesítmény függvényében [3], [4], [5], [6], [7].
4. Bebizonyítottam, hogy repceolajjal a vizsgált magasabb rendű alkoholok 20 V/V%-ig térfogati kontrakció nélkül elegyednek. Mint ismeretes, az egyszerű alkoholok a repceolajjal nem elegyednek, vízzel történő elegyítésükkor viszont jelentős a térfogati kontrakció (etanol – víz 50 V/V%-os elegyénél a 3,7%-ot is eléri, de általában 1-2% körüli) [9].
5. Előkamrás egyhengeres dízelmotorban célszerű a repceolajhoz butanolt, vagy propanolt elegyíteni a viszkozitás csökkentése és az égési folyamat javítása érdekében, 20 V/V%-ig. Motorikus felhasználás szempontjából a vizsgált alkoholok közül a butanol a propanolnál kedvezőbb tulajdonságú, a fűtőértéke miatt. Az alkoholoknak az elegyek cetánszámára, viszkozitására gyakorolt hatásuk megegyezik. A hidegszűrhetőségi határhőmérsékletet a 20 V/V% butanol is lecsökkenti a nyári előírásnak megfelelő szintre, az elegyített alkohol az oxidációs stabilitására nincs hatással. A butanol jobban csökkenti (azonos térfogat% esetén) az elegy lobbanáspontját, ezért fokozottan tűz- és robbanásveszélyes [8], [10], [11], [12].
6. Igazoltam azt a feltételezést, miszerint a motor égésterében az alkohol-repceolaj elegy égése két lépcsőben játszódik le: a magasabb cetánszámú repceolaj gyullad meg először, és ennek lángja gyújtja meg az elegyből kipárolgott, jó kompressziótűrűségű alkoholt. Kísérletekkel igazoltam, hogy a repceolaj-alkohol cseppből az alkohol párolgása már alacsony (30 °C alatti) hőmérsékleten elkezdődik, a kipárolgás részaránya a hőmérséklet növelésével nő. 180 °C fölött a csepp már nem tartalmaz

alkoholt, csak repceolajat, amely viszont ezen a hőmérsékleten még nem párolog [10], [12], [13].

7. Mérésekkel bizonyítottam, hogy az előkamrás dízelmotorban felhasznált repceolaj – magasabb rendű alkoholok elegyének a károsanyag kibocsátására az alkohol hatása - típusától függetlenül - azonos nagyságrendben van. Kimutattam, hogy 10 és 20 V/V% magasabb rendű alkohol repceolajhoz történő elegyítése esetén a károsanyag-kibocsátás változása az alkoholtartalommal nem lineáris. A változás függvényét a mérési pontok grafikonjával megadtam [14], [15].

VI. A tézispontokhoz kapcsolódó tudományos közlemények

- [1] LAZA, MEIER, PENNINGER: *Untersuchungen zur Einsetzbarkeit von rohem Rapsöl für die Verbrennung in Gasturbinen*. 14. Frühlingsakademie. München, Németország, pp. 37-43. (2002.)
- [2] LAZA, MEIER, KOCH: *Untersuchungen zum Einsatz von Rapsöl in Gasturbinen*. Internationale Conference on Heat Engines and Environmental Protection, Balatonfüred, pp. 99-106. (2003.)
- [3] LAZA, KOCH, PENNINGER: *A kerozin és repceolaj gázturbinaszpecifikus vizsgálata II*. Magyar Energetika, XIII:(5) pp. 3-8. (2005)
- [4] LAZA, KOCH, PENNINGER: *Examination of kerosine and rape oil with specification of gas turbine*. Gépészet 2004, pp. 622-626. (2004.)
- [5] LAZA, KOCH, PENNINGER: *Kerozin és repceolaj gázturbinaszpecifikus vizsgálata*. Magyar Energetika, XII:(5) pp. 28-33. (2004.)
- [6] LAZA, KOCH, PENNINGER: *Analysis of oscillation of gas turbine combustion in case of rape seed oil and kerosine jet-a fuel*. microCAD2005, Miskolc, pp. 49-54. (2005.)
- [7] LAZA, KOCH, PENNINGER: *Analysis der Oszillation eines rapsölbetriebenen Kleingasturbinenbrenner*. 22. Deutscher Flammentag, Braunschweig, VDI-BERICHT 1888: pp. 673-679. (2005.)
- [8] LAZA, PENNINGER: *Repceolaj és magasabb rendű alkoholok keverékének viszkozitása*. Energiagazdálkodás, Budapest, 46:(5) pp. 3-5. (2005.)
- [9] LAZA, TÓVÁRI, PENNINGER: *Investigation of Density and Heat Value of Rape Seed Oil and Rape Seed Oil + Alcohol Mixtures*. Proc. of International Conference of Energetics and Electrical Engineering, Kolozsvár, pp. 65-69. (2006.)
- [10] LAZA, KERÉKES, PENNINGER: *A repceolaj, valamint a repceolaj és magasabb rendű alkohol-keverékek tűzveszélyességének meghatározása*. Szent István Egyetem Tudományos Közlemények, Budapest, 3:(1) pp. 40-44. (2006.)
- [11] LAZA, KECSKÉS, BERECZKY, PENNINGER: *Examination of burning process of regenerative liquid fuel and alcohol mixtures in diesel engine*. Periodica Politechnica ser. Mech. Eng., Budapest, 50:(1) pp. 11-29. (2006.)
- [12] LAZA, BERECZKY: *Determination of the Evaporation Constant in Case of Pure and with Alcohol Mixed Rape Seed Oil*. Proc. of 6th International Conference in Mechanical Engineering, Brasov, pp. 232-237. (2008.)

- [13] **LAZA**: *Pilot Test and Theoretical Analysis of Evaporation of One and More Component Fuel.s* Periodica Polytechnica-Mechanical Engineering 52:(2) pp. 67-71. ISSN: 0324-6051 (2009.)
- [14] **LAZA**, **BERECZKY**: *Influence of Higher Alcohols on the Combustion Pressure of Diesel Engine Operated with Rape Seed Oil.* Acta Mechanica Slovaca, 13:(3) pp. 54-61. (2009.)
- [15] **LAZA**, **BERECZKY**: *Magasabb rendű alkohol hatása dízelmotorban lejátszódó égési folyamatokra repceolaj tüzelőanyag esetén.* Energiagazdálkodás, 50:(6) pp. 19-24. (2009.)

VII. Az értekezés témaköréhez kapcsolódó publikációk

1. **T. Laza**, R. Koch, A. Penninger: Analysis of Burning Behavior of Liquid Fuel Based on Biomass and Kerosine Jet A. 7. International Conference on Heat Engines and Environmental Protection, pp. 171-177., ISBN 963 420 840 1, Balatonfüred (2005.)
2. **Laza T.**, Penninger A.: Repceolaj, valamint repceolaj és metanol keverékének párolgási tulajdonságai és viszkozitása. Energiagazdálkodás 46. évf. II. szám pp. 17-21. ISSN 0021-0757, Budapest, (2005.)
3. Losonczi B., Hermanutz P., **Laza T.**, Bereczky Á., Kecskés R., Meggyes A.: Investigation of Combustion Process of Pure and Refuse Vegetable Oil in Diesel Engine. Gépészet 2006, ISBN 963 593 465 3, Budapest (2006.)
4. **Laza T.**, Sabino J., Carvalho I., Bereczky Á., Penninger A.: Pilot Test and Theoretical Analysis of One and More Component Fuel. Gépészet 2006, ISBN 963 593 465 3, Budapest (2006.)
5. **Laza T.**, Tóvári P., Penninger A.: Investigation of Density and Heat Value of Rape Seed Oil and Rape Seed Oil + Alcohol Mixtures. International Conference of Energetics and Electrical Engineering, pp. 65-69. ISSN 1842-4546 Kolozsvár (2006.)
6. **Laza T.**, Kerekes Zs., Penninger A.: Repceolaj valamint repceolaj és magasabb rendű alkoholok égéstörvényének elemzése az elegyek lobbanáspontja alapján. Energiagazdálkodás, 47. évf. V. sz. pp. 6-9. ISSN 0021-0757 (2006.)
7. **Laza T.**, Stauch R., Penninger A.: Theoretical and practical analysis of the evaporation of vegetable oils and fatty acids. 8. International Conference on Heat Engines and Environmental Protection, pp. 75-79., Balatonfüred, ISBN 978 963 420 907 2 (2007.)
8. **Laza T.**, Penninger A.: Repceolaj és magasabb rendű alkohol elegyek párolgási folyamatának elemzése. 3. évf. III. sz. pp. 16-18. Bioenergia ISSN 1788-487X (2008.)
9. **Laza T.**, Bereczky Á.: Magasabb rendű alkoholok repceolaj belső égésű motorban való felhasználhatóságára gyakorolt hatása. Tüki, 42. Ipari Szeminárium, Dunaújváros, ISBN 978-963-06-6543-8 (2008.)
10. **Laza T.**, Penninger A.: Analysis of spray combustion of liquid biomass comparing with kerosene. 4th European Combustion Meeting, Bécs, ISBN 978-3-902655-06-6 (2009.)

11. **T. Laza**, Á. Bereczky: Influence of higher alcohols on the emissions of diesel engine operated with rape seed oil. 4th European Combustion Meeting, Bécs, ISBN 978-3-902655-06-6 (2009.)
12. **Laza T.**, Bereczky Á.: Influence of higher alcohols on the Combustion Pressure of Diesel Engine Operated with Rape Seed Oil. 9th International Conference on Heat Engine and Environmental Protection, Balatonfüred. pp. 45-51. ISBN 978-963-420-979-9 (2009.)
13. Bereczky Á., **Laza T.**: Ersetzen des Dieselöls durch Rapsöl mit beigemischten Alkoholen höheren Grades. 24. Deutscher Flammentag: Verbrennung und Feuerung. Bochum, Németország, VDI Verlag, pp. 511-514. ISBN 978-3-18-092056-6 (2009.)
14. **T. Laza**, Á. Bereczky, A. Penninger: Energetische und Motorische Verwendung der Erneuerbaren Energiequellen. 9. Magdeburger Maschinenbau-Tage, pp. 57-64. Magdeburg, Németország. ISBN 978-3-940961-36-5 (2009.)
15. Penninger A., Meggyes A., **Laza T.**: Gázturbinatűztér oszcillációjának vizsgálata megújuló tüzelőanyag esetén. X. ENELKO, Románia, Marosvásárhely, pp. 130-134. ISSN 1842-4546 (2009.)
16. Kovács V., **Laza T.**, Török Á.: Hazai, közlekedési célú, növényi alapú, bio-tüzelőanyag felhasználás analitikai vizsgálata, Közlekedéstudományi Szemle V. pp. 36-39. ISSN: 0023-4362 (2009.)
17. Bereczky Á., **Laza T.**: Magasabb rendű alkohol hatása dízelmotorban lejátszódó égési folyamatokra repceolaj tüzelőanyag esetén. Energiagazdálkodás, pp. 19-24. ISSN: 0021-0757 (2009.)
18. **Laza**: Pilot Test and Theoretical Analysis of Evaporation of One and More Component Fuels Periodica Polytechnica-Mechanical Engineering 52:(2) pp. 67-71. ISSN: 0324-6051 (2009).
19. Kovács, **Laza**, Török: Növényi alapú biotüzelőanyag-felhasználás közlekedési célú nemzetgazdasági optimalása. Magyar Energetika, XVI, (6) pp. 26-29. ISSN: 1216-8599 (2009.)

VIII. Hivatkozások

1. Zöldy Máté: Megújuló tüzelőanyagok adagolásának hatása a gázolaj viszkozitására, Autótechnika, 2005/8 HU ISSN 1588 9858. Hivatkozott cikk: **Laza**, Penninger: Repceolaj, valamint repceolaj és metanol keverékének párolgási tulajdonságai és viszkozitása. Energiagazdálkodás 46. évf. II. szám pp. 17-21. ISSN 0021-0757, Budapest (2005.)
2. Zöldy Máté, Kecskés Róbert: Megújuló motorhajtóanyagok keverésének hatása az égésfolyamatra és az emisszióra, Gép 2006/5, ISSN 0016-8572. Hivatkozott cikk: Á. Bereczky, A. Meggyes, **T. Laza**, R. Kecskés: Examination of Burning Processes of Regenerative Liquid Fuel and Alcohol Mixtures in Diesel Engine. 7. International Conference on Heat Engines and Environmental Protection, pp. 166-171., ISBN 963 420 840 1, Balatonfüred (2005.)
3. Zöldy, M.: Bioethanol-biodiesel-diesel oil blends effect on cetane number and viscosity, 6th International Colloquim Fuels 2007, Technische Akademie Esslingen, 2007 01.10-11,

- ISBN 3-924813-67-1. Hivatkozott cikk: Á. Bereczky, A. Meggyes, **T. Laza**, R. Kecskés: Examination of Burning Processes of Regenerative Liquid Fuel and Alcohol Mixtures in Diesel Engine. 7. International Conference on Heat Engines and Environmental Protection, pp. 166-171., ISBN 963 420 840 1, Balatonfüred (2005.)
4. Reményi Károly: Megújuló Energiák. Energiaforrások és hasznosításuk. Akadémiai kiadó (2007.) ISBN 978 963 05 8458 6. Hivatkozott cikk: **Laza**, Penninger: Repceolaj, valamint repceolaj és metanol keverékének párolgási tulajdonságai és viszkozitása. Energiagazdálkodás 46. évf. II. szám pp. 17-21. ISSN 0021-0757, Budapest, (2005.)
 5. Dr. Zöldy Máté: Significance of application technique of fuel containing biocomponents, MOL SP SD & HSE special issue, 2009/3 ISSN 2060-338X pp 133-139. Hivatkozott cikk: Bereczky Á.; Meggyes, A.; **Laza, T.**; Kecskés, R.: Examination of burning process of regenerativ liquid fuel and alcohol mixtures in diesel engine. Heat Engines and Environmental Protection, ISBN 963 420 840 1, Balatonfüred (2005.)
 6. Martina Slezáková, Daniel Bratský: Diesel Fuels from Renewable Sources. 44th International Petroleum Conference, Bratislava, Slovak Republic. Hivatkozott cikk: **Laza, T.**, Kecskés, R., Bereczky, Á., Penninger, A.: Examination of burning processes of regenerative liquid fuel and alcohol mixtures in diesel engine. Periodical Polytechnica Ser. Mech. Eng., 50 (1), 11-29. (2006.)
 7. Viktória Barbara Kovács, Attila Meggyes: Energetic Utilisation of Pyrolysis Gases in IC Engine. Acta Polytechnica Hungarica Vol. 6, No. 4, 2009. Hivatkozott cikk: **Laza, T.**, Bereczky Á.: Determination of the Evaporation Constant in Case of Pure and with Alcohol Mixed Rape Seed Oil., in Proceedings of 16th International Conference in Mechanical Engineering, Brasov, May 1-4, 2008, pp. 232-237
 8. S. Szwaja, J. D. Naber: Combustion of n-butanol in a spark-ignition IC engine. Fuel xxx (2009) xxxxxx. Hivatkozott cikk: **Laza T.**, Kecskés R., Bereczky Á., Penninger A.: Examination of burning processes of regenerative liquid fuel and alcohol mixtures in diesel engine. Periodica Polytech Mech Eng; 50 (1):1129. (2006.)
 9. Martina Slezáková, Daniel Bratsky: Aplikácia Repkového Oleaj Ako Paliva Pre Neupravené Dieselové Motory. Aprochem 2009 Odpadové fórum 2009. 20.22. 4. 2009 Milovy pp. 1381-1388. Hivatkozott cikk: **Laza T.**, Kecskés R., Bereczky Á., Penninger A.: Examination of burning processes of regenerative liquid fuel and alcohol mixtures in diesel engine. Periodica Polytech Mech Eng; 50 (1):1129. (2006.)
 10. Penninger Antal: The Development of the Environmental Industry by the Utilisation of the Energetics Potential. In: István Fodor: The Role of Environmental Industry in The Regional Reindustrialisation in Hungary. Debrecen, MTA, 2009. pp. 127-144 ISBN: 978-963-9899-15-5. Hivatkozott cikk: **T. Laza**, Á. Bereczky: Influence of higher alcohols on the emissions of diesel engine operated with rape seed oil. 4th European Combustion Meeting, Bécs, ISBN 978-3-902655-06-6 (2009.)
 11. Zöldy, Hollo, Thernesz: Butanol as diesel extender option for internal combustion engines. SAE 2010 World Congress. Hivatkozott cikk: **Laza T.**, Kecskés R., Bereczky Á., Penninger A.: Examination of burning process of regenerative liquid fuel and alcohol

mixtures in diesel engine. *Periodica Politechnica ser. Mech. Eng.* Vol. 50, No. 1, pp. 11-29, HU ISSN 0324-6051 (2006.)

12. Zöldy, Hollo, Thernesz: Butanol as diesel extender option for internal combustion engines. SAE 2010 World Congress. Hivatkozott cikk: **T. Laza**, Á. Bereczky: Influence of higher alcohols on the emissions of diesel engine operated with rape seed oil. 4th European Combustion Meeting, Béc, ISBN 978-3-902655-06-6 (2009.)



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM

GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR DOKTORI TANÁCSA

DOKTORI TÉZISFÜZET

Írta:

Laza Tamás

okleveles gépészmérnök

FOLYÉKONY BIO-TÜZELŐANYAGOK
FELHASZNÁLÁSA HŐERŐGÉPEKBEN

című témakörből, amellyel a PhD fokozat elnyerésére pályázik

Budapest, 2010

I. A kutatások előzménye

A világ villamosenergia-igénye, és ezzel együtt az üvegházhatást okozó gázok kibocsátása is egyre nő. A növekedés üteme megújuló energiaforrások használatával csökkenthető.

Magyarországon az egyik legjelentősebb megújuló energia a biomassa. Az ebből nyerhető két legfontosabb folyékony tüzelőanyag az alkohol és a növényi olaj, ill. annak észterezett változata. Az észterezett növényi olaj felhasználása már több országban bevezetett gyakorlat, azonban az előállítás költséges. Ezen megfontolások miatt munkámban a hidegen sajtolt repceolajjal foglalkozom.

Lehetséges alkalmazási terület a repceolaj számára mezőgazdasági területeken traktorok meghajtásán kívül a helyben történő hasznosítás, az ún. decentralizált energiatermelés. Ennek egyik lehetséges megvalósítása a fixen telepített, generátorral ellátott mikrogázturbina vagy dízelmotor.

Új tüzelőanyagok felhasználásakor két út kínálkozik: vagy a tüzelőanyagot módosítjuk úgy, hogy a régi berendezésben is felhasználható legyen, vagy a berendezést tesszük alkalmassá az új tüzelőanyag felhasználására.

Modern gázturbinák NO_x -kibocsátásának csökkenését alapvetően megnövelt légfelesleg-tényezőjű üzemmel érik el. A módszernek azonban vannak korlátai, mert a nagy légfeleslegű lángok égési instabilitásra hajlamosak, ami jelenthet termoakusztikus lengést (akusztikusan öngerjesztő lángok kialakulását), instabil gyújtást, vagy helyi lángkialvást is. Az aktuális gázturbina-kutatás egyik központi feladata a termoakusztikus lengések vizsgálata.

Nyers repceolaj viszkozitása, párolgási tulajdonsága nagymértékben eltér a dízelolajétól, felhasználása során a motor égésterében a repceolaj lerakódásokat okoz, ezért szükséges a tüzelőanyag módosítása. A módosított tüzelőanyag repce-metilészter (RME). Az RME előállítása azonban költséges, gyártása során keletkező melléktermékek pedig külön problémák forrása.

II. Irodalom kritikai áttekintése

Akusztikusan öngerjesztő lángok

Irodalmi adatok alapján nyilvánvaló, hogy gázturbinában repceolajat fel lehet használni (pl. [Ardy, 1995], [Juste, 2000], [Gökalp, 2004]). Sajnos a szerzők nem vizsgálták, hogy gázturbina-porlasztóval megvalósított repceolaj tüzelés milyen porlasztási minőséget kíván és az hogyan valósítható meg. Juste tapasztalatai szerint bio-tüzelőanyagok felhasználásakor gyakrabban alakulnak ki akusztikusan öngerjesztő lángok, azonban az ilyenkor kialakuló porlasztási képet nem vizsgálta meg részletesen.

Herman perdítőelemes nyomásporlasztóval juttatta be a tüzelőanyagot a modell-tüzelőtérbe [Herman, 1995]. Mérései során Lézer-Doppler Anemométerrel (LDA-val) mérte a levegő és a folyadék áramlását. Megállapította, hogy tüztéri oszcilláció esetén a tüzelőanyag egyenetlenül jut a tüzelőtérbe, így a hőfelszabadulás is egyenetlenné válik, valamint a lángfront helye is periodikusan változik. Javaslatára szerint az egyik lehetséges megoldás az oszcilláció elkerülésére más reakciókinetikai tulajdonságokkal rendelkező tüzelőanyag alkalmazása.

Müller külső keverésű segédkezes porlasztó filmenterítőjén kialakuló porlasztást vizsgálta meg, a létrejövő lengést a primer és szekunder levegő szinusz-szerű gerjesztésével szimulálta [Müller, 2005]. A viszkozitás felezésével az átlagos Sauter középátmérő csak mintegy 6%-kal változott, azonban a felületi feszültség háromszorozásával 51%-kal nőtt. A pulzáció

amplitúdójának felezésekor, majd negyedeléskor nem változott a cseppátmérő. Munkája alapján várhatóan nagyobb cseppeket kapunk repceolajnál.

Belső égésű motorok

Belső égésű motorokban sokan és sokféleképpen használtak növényi olajat (nyersen, észterezetten, alkohollal, benzinnel keverve, közvetlen befecskendezésű, előkamrás motorban, állandó/változó terhelésen és fordulatszámokon stb.). A motor üzemére és a mérési eredményekre a felhasznált növényi olaj minősége (évjárat stb.) is hatással van. Éppen ezért az irodalomban található eredményeket nehéz egységesíteni, mert a vizsgálatok nem azonos körülmények között készültek.

A repceolaj tulajdonságait különböző módon próbálták a dízelolajéhoz hasonlóná tenni. Zöldy munkájában a biodízel, a dízelolaj és az etanol hármaskverékének a viszkozitását és cetánszámát vizsgálta meg [Zöldy, 2007].

Plassmann mérései alapján a metanol benzinnel és vízzel jól elegyedik, dízelolajjal rosszul, növényi olajjal még rosszabbul [Plassmann, 1974].

Karabektas izobutanolt elegyített dízelolajhoz (5, 10, 15 és 20 V/V%-ban), ennek hatását vizsgálta a teljesítményre és az emisszióra, egyhengeres, közvetlen befecskendezésű dízelmotorban [Karabektas, 2009]. Az NO_x és a CO emissziók csökkenését, a CH emissziók növekedését tapasztalta. Véggöveketetése szerint az izobutanol jól, szétválás nélkül elegyedik a dízelolajjal, felhasználásához a motoron nem szükséges átalakításokat végezni. Munkája során nem jutott el addig, hogy kísérleteit repceolajjal elegyített alkohollal is elvégezze.

Spessert munkatársaival egyhengeres dízelmotorokat vizsgált meg repce-, napraforgó-, dízelolaj- és RME-üzemben [Spessert, 2007]. A vizsgálat folyamán mérték a teljesítményt, a nyomatékot, az emissziót, a befecskendezőrendszerben felépülő nyomást, a szag- és zajkibocsátást.

Kumar munkatársaival méréseik során egyhengeres motorban, állandó fordulatszámokon vizsgálta meg a károsanyag-emissziókat növényi olajjal (ricinus), növényi olaj + metanol elegyével, dízelolajjal, valamint növényolajszterrel [Kumar, 2003]. Méréseik során az alkohol csökkentette a füstölést. Az NO_x-kibocsátás alacsonyabb volt növényi olajjal, mint dízelolajjal (ez az alacsonyabb égési hőmérsékletnek tudható be). Növényi olaj és észterei keverékének égése hosszabb diffúziós szakaszt mutatott fel, mint a dízelolaj. Méréseik alapján a gyulladási késedelem a növényi olajjal nagyobb, mint dízelolajjal, a csúcsnyomás, valamint a nyomásnövekedés a növényi olajjal végzett méréseknél volt a legkisebb.

Irodalmi hivatkozások

- [Herman, 1995] HERMAN, ZANGL, GLEIS: *Untersuchung der Anregungsmechanismen selbsterregter Verbrennungsschwingungen an einem Verbrennungssystem mit Flüssigkraftstoff*. Kutatási jelentés, Nr. 1193, VDI, Düsseldorf, 1995.
- [Müller, 2005] MÜLLER, HEHLE, KOCH: *Zerstäubungsverhalten von Airblastdüsen bei oszillierenden Strömungen*. VDI-Berichte Nr. 1888. pp. 249-257, 2005.

- [Ardy, 1995] ARDY, BARBUCCI, BENELLI: *Development of Gas Turbine Combustor Fed with Bio-Fuel Oil*. Proc. Second Biomass Conference of the Americas, pp. 429-438, 1995.
- [Juste, 2000] JUSTE, MONFORT: *Preliminary test on combustion of wood derived fast pyrolysis oils in a gas turbine combustor*. Biomass and Bioenergy, 2000.
- [Gökalp, 2004] GÖKALP, LEBAS: *Alternative fuels for industrial gas turbines (AFTUR)*. Applied Thermal Engineering, vol. 19., pp. 119-128, 2004.
- [Kumar, 2003] KUMAR, RAMESH, NAGALINGAM: *An experimental comparison of methods to use methanol and Jatropha oil in a compression ignition engine*. Biomass and Bioenergy, vol. 25., pp. 309 - 318, 2003.
- [Spessert, 2007] SPESSERT, SCHLEICHER: *Einfluss von Biokraftstoffen auf die Abgas- und Geräuschemission kleiner Industriedieselmotoren*. MTZ, vol. 68/3., pp. 212-222, 2007.
- [Plassmann, 1974] PLASSMANN, HASSEL: *Neuen Kraftstoffen auf der Spur*. Bundesministerium für Forschung und Technologie, Bonn, 1974.
- [Karabektas, 2009] KARABEKTAS, HOSUZ: *Performance and emission characteristics of a diesel engine using isobutanol–diesel fuel blends*. Renewable Energy, vol. 34/6, 2009.
- [Zöldy 2007] ZÖLDY: *Bioethanol-biodiesel-diesel oil blends effect on cetane number and viscosity*. 6th International ColloquimFuels, Technische Akademie Esslingen, Németország, 2007.

III. Célkitűzések

Mind a gázturbinás, mind a dízelmotoros felhasználás alapja a felhasznált folyékony tüzelőanyag megfelelő minőségű porlasztása. Mivel a repceolaj sűrűsége és felületi feszültsége eltér a hagyományos gázturbina- tüzelőanyagétól (pl. kerozin) és a dízelolajétól, ezért szükséges a megújuló tüzelőanyag porlaszthatóságának külön vizsgálata.

A fentiek alapján a disszertációban célul tűztem ki a repceolaj különböző porlasztókkal kapott porlasztási képének, a szegény üzemben fellépő termoakusztikus lengésének, továbbá a belső égésű motorban történő alkalmazásának vizsgálatát.

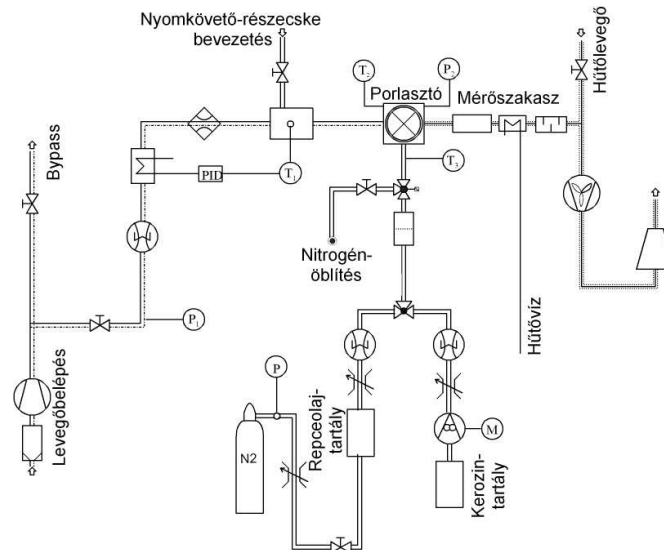
Munkám során egy külső keverésű segédközeges porlasztóval ellátott modell gázturbina-tüzelőtérben, a hagyományos (kerozin jet-A) és a megújuló (repceolaj) gázturbina-tüzelőanyag felhasználása során, szegény üzemben kialakuló termoakusztikus lengéseket hasonlítom össze. Külön figyelmet fordítok a különböző tüzelőanyagok felhasználása során kialakuló lengések fázisfelbontott vizsgálatára. Vizsgálni kívánom a cseppek sebességét, haladási irányát, átmérőjét.

A növényi olaj motorikus felhasználásának vizsgálata folyamán megvizsgálom a növényi olaj égési sebességének növelési lehetőségét. Ezért különböző, magasabb rendű alkoholokat elegyíték hozzá. Az így kapott tüzelőanyagok motorikus felhasználhatóságán kívül megvizsgálom a tárolás, és a szállíthatóság szempontjából fontos tulajdonságait is, mint például a lobbanáspontot, viszkozitást, sűrűséget, hidegszűrési határhőmérsékletet.

Dolgozatomban (amely 93 oldalon 5 fejezetben 64 ábrát, 129 tételes irodalomjegyzéket, továbbá 11 oldal függelék tartalmaz) bemutatom a célkitűzések elérése érdekében végzett kutatási munkát, a felhasznált kísérleti berendezéseket és az elméleti összefüggéseket.

IV. Vizsgálati módszerek

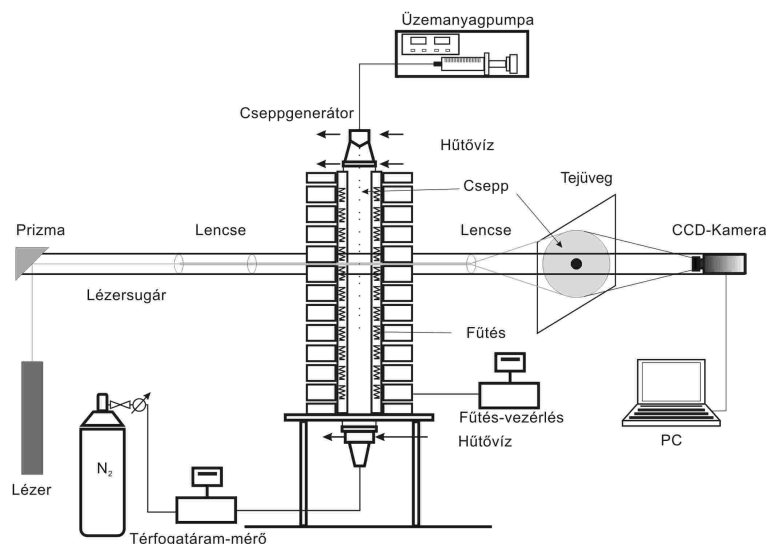
Az akusztikusan öngerjesztő lángok vizsgálatához felépítettem egy kísérleti gázturbina-tüzelőteret (1. ábra). A berendezés konstrukciójánál fogva kizárja a nem öngerjesztő akusztikus lengések kialakulását. A tüzelőtér felépítése lehetővé tette a porlasztmány nagy felületű (lézersík, PIV) és pontszerű (PDA) érintésmentes vizsgálatát. A felhasznált mérőeszközök az oszcilláló láng fázisfelbontott analizálására adtak lehetőséget (cseppméret, cseppsebesség).



1. ábra. Akusztikusan öngerjesztő lángok vizsgálatához felépített kísérleti gázturbina-tüzelőtér

A repceolaj és a repceolaj – magasabb rendű alkoholok elegyének belső égésű motorban történő vizsgálatát egy CFR cetánszámmérő egységen végeztem.

A párolgási tulajdonságok elemzéséhez az elterjedt TGA-n túl lézeres árnyékgráfiát alkalmaztam.



2. ábra. Lézeres árnyékgráfia felépítése

Az elegyek többi fizikai paraméterét (lobbanáspont, égéshő, sűrűség, viszkozitás, hidegszűrési határhőmérséklet, oxidációs stabilitás stb.) a vonatkozó szabvány előírásainak megfelelően végeztem.

V. Új tudományos eredmények

1. Nagy viszkozitású tüzelőanyagok esetében is ugyanolyan cseppméretű (SMD) porlasztás érhető el perdítőelemes nyomásporlasztóval, mint belső keverésű segédközegees porlasztóval, ezért célszerűbb az energetikailag kedvezőbb nyomásporlasztó használata. Perdítőelemes nyomásporlasztó esetében a 10 bar-on 60 °C-os hőmérséklet 50%-os megemelése annyit javít a folyadék porlaszthatóságán, mint a 60%-kal magasabb nyomás kisebb mértékű, csak 30%-os hőmérsékletemelése. Mindezt kísérletekkel igazoltam [1], [2].
2. Akusztikusan öngerjesztő lángok esetén, külső keverésű, ellentétes perdületű segédközegees porlasztó alkalmazásakor mind kerozin, mind a nagyobb viszkozitású és nehezebben párologó repceolaj tüzelőanyag esetében, a cseppek axiális irányára az oszcilláció fázisszöge nincs hatással, axiális és tangenciális sebességre viszont igen. Az oszcilláció hatása az axiális sebességre a 100%-kal nagyobb felületi feszültségű és 130%-kal nagyobb viszkozitású repceolaj esetén (a maximális értékhez viszonyítva) -36%, míg kerozin esetében -50%. Az oszcilláció tangenciális sebességre gyakorolt hatása rendre -20% és -33% [3], [4], [5], [6], [7].
3. Kísérletekkel igazoltam, hogy oszcilláló égés esetén a repceolaj, illetve a kerozin tüzelőanyag hasonló CO és NO_x károsanyag képződési lefolyást eredményez, mind a légfelesleg, mind pedig a bevezetett hőteljesítmény függvényében [3], [4], [5], [6], [7].
4. Bebizonyítottam, hogy repceolajjal a vizsgált magasabb rendű alkoholok 20 V/V%-ig térfogati kontrakció nélkül elegyednek. Mint ismeretes, az egyszerű alkoholok a repceolajjal nem elegyednek, vízzel történő elegyítésükkor viszont jelentős a térfogati kontrakció (etanol – víz 50 V/V%-os elegyénél a 3,7%-ot is eléri, de általában 1-2% körüli) [9].
5. Előkamrás egyhengeres dízelmotorban célszerű a repceolajhoz butanolt, vagy propanolt elegyíteni a viszkozitás csökkentése és az égési folyamat javítása érdekében, 20 V/V%-ig. Motorikus felhasználás szempontjából a vizsgált alkoholok közül a butanol a propanolnál kedvezőbb tulajdonságú, a fűtőértéke miatt. Az alkoholoknak az elegyek cetánszámára, viszkozitására gyakorolt hatásuk megegyezik. A hidegszűrhetőségi határhőmérsékletet a 20 V/V% butanol is lecsökkenti a nyári előírásnak megfelelő szintre, az elegyített alkohol az oxidációs stabilitására nincs hatással. A butanol jobban csökkenti (azonos térfogat% esetén) az elegy lobbanáspontját, ezért fokozottan tűz- és robbanásveszélyes [8], [10], [11], [12].
6. Igazoltam azt a feltételezést, miszerint a motor égésterében az alkohol-repceolaj elegy égése két lépcsőben játszódik le: a magasabb cetánszámú repceolaj gyullad meg először, és ennek lángja gyújtja meg az elegyből kipárolgott, jó kompressziótűrűségű alkoholt. Kísérletekkel igazoltam, hogy a repceolaj-alkohol cseppből az alkohol párologása már alacsony (30 °C alatti) hőmérsékleten elkezdődik, a kipárolgás részaránya a hőmérséklet növelésével nő. 180 °C fölött a csepp már nem tartalmaz

alkoholt, csak repceolajat, amely viszont ezen a hőmérsékleten még nem párolog [10], [12], [13].

7. Mérésekkel bizonyítottam, hogy az előkamrás dízelmotorban felhasznált repceolaj – magasabb rendű alkoholok elegyének a károsanyag kibocsátására az alkohol hatása - típusától függetlenül - azonos nagyságrendben van. Kimutattam, hogy 10 és 20 V/V% magasabb rendű alkohol repceolajhoz történő elegyítése esetén a károsanyag-kibocsátás változása az alkoholtartalommal nem lineáris. A változás függvényét a mérési pontok grafikonjával megadtam [14], [15].

VI. A tézispontokhoz kapcsolódó tudományos közlemények

- [1] LAZA, MEIER, PENNINGER: *Untersuchungen zur Einsetzbarkeit von rohem Rapsöl für die Verbrennung in Gasturbinen*. 14. Frühlingsakademie. München, Németország, pp. 37-43. (2002.)
- [2] LAZA, MEIER, KOCH: *Untersuchungen zum Einsatz von Rapsöl in Gasturbinen*. Internationale Conference on Heat Engines and Environmental Protection, Balatonfüred, pp. 99-106. (2003.)
- [3] LAZA, KOCH, PENNINGER: *A kerozin és repceolaj gázturbinaszpecifikus vizsgálata II*. Magyar Energetika, XIII:(5) pp. 3-8. (2005)
- [4] LAZA, KOCH, PENNINGER: *Examination of kerosine and rape oil with specification of gas turbine*. Gépészet 2004, pp. 622-626. (2004.)
- [5] LAZA, KOCH, PENNINGER: *Kerozin és repceolaj gázturbinaszpecifikus vizsgálata*. Magyar Energetika, XII:(5) pp. 28-33. (2004.)
- [6] LAZA, KOCH, PENNINGER: *Analysis of oscillation of gas turbine combustion in case of rape seed oil and kerosine jet-a fuel*. microCAD2005, Miskolc, pp. 49-54. (2005.)
- [7] LAZA, KOCH, PENNINGER: *Analysis der Oszillation eines rapsölbetriebenen Kleingasturbinenbrenner*. 22. Deutscher Flammentag, Braunschweig, VDI-BERICHT 1888: pp. 673-679. (2005.)
- [8] LAZA, PENNINGER: *Repceolaj és magasabb rendű alkoholok keverékének viszkozitása*. Energiagazdálkodás, Budapest, 46:(5) pp. 3-5. (2005.)
- [9] LAZA, TÓVÁRI, PENNINGER: *Investigation of Density and Heat Value of Rape Seed Oil and Rape Seed Oil + Alcohol Mixtures*. Proc. of International Conference of Energetics and Electrical Engineering, Kolozsvár, pp. 65-69. (2006.)
- [10] LAZA, KERÉKES, PENNINGER: *A repceolaj, valamint a repceolaj és magasabb rendű alkohol-keverékek tűzveszélyességének meghatározása*. Szent István Egyetem Tudományos Közlemények, Budapest, 3:(1) pp. 40-44. (2006.)
- [11] LAZA, KECSKÉS, BERECZKY, PENNINGER: *Examination of burning process of regenerative liquid fuel and alcohol mixtures in diesel engine*. Periodica Politechnica ser. Mech. Eng., Budapest, 50:(1) pp. 11-29. (2006.)
- [12] LAZA, BERECZKY: *Determination of the Evaporation Constant in Case of Pure and with Alcohol Mixed Rape Seed Oil*. Proc. of 6th International Conference in Mechanical Engineering, Brasov, pp. 232-237. (2008.)

- [13] **LAZA**: *Pilot Test and Theoretical Analysis of Evaporation of One and More Component Fuel.s* Periodica Polytechnica-Mechanical Engineering 52:(2) pp. 67-71. ISSN: 0324-6051 (2009.)
- [14] **LAZA**, **BERECZKY**: *Influence of Higher Alcohols on the Combustion Pressure of Diesel Engine Operated with Rape Seed Oil.* Acta Mechanica Slovaca, 13:(3) pp. 54-61. (2009.)
- [15] **LAZA**, **BERECZKY**: *Magasabb rendű alkohol hatása dízelmotorban lejátszódó égési folyamatokra repceolaj tüzelőanyag esetén.* Energiagazdálkodás, 50:(6) pp. 19-24. (2009.)

VII. Az értekezés témaköréhez kapcsolódó publikációk

1. **T. Laza**, R. Koch, A. Penninger: Analysis of Burning Behavior of Liquid Fuel Based on Biomass and Kerosine Jet A. 7. International Conference on Heat Engines and Environmental Protection, pp. 171-177., ISBN 963 420 840 1, Balatonfüred (2005.)
2. **Laza T.**, Penninger A.: Repceolaj, valamint repceolaj és metanol keverékének párolgási tulajdonságai és viszkozitása. Energiagazdálkodás 46. évf. II. szám pp. 17-21. ISSN 0021-0757, Budapest, (2005.)
3. Losonczi B., Hermanutz P., **Laza T.**, Bereczky Á., Kecskés R., Meggyes A.: Investigation of Combustion Process of Pure and Refuse Vegetable Oil in Diesel Engine. Gépészet 2006, ISBN 963 593 465 3, Budapest (2006.)
4. **Laza T.**, Sabino J., Carvalho I., Bereczky Á., Penninger A.: Pilot Test and Theoretical Analysis of One and More Component Fuel. Gépészet 2006, ISBN 963 593 465 3, Budapest (2006.)
5. **Laza T.**, Tóvári P., Penninger A.: Investigation of Density and Heat Value of Rape Seed Oil and Rape Seed Oil + Alcohol Mixtures. International Conference of Energetics and Electrical Engineering, pp. 65-69. ISSN 1842-4546 Kolozsvár (2006.)
6. **Laza T.**, Kerekes Zs., Penninger A.: Repceolaj valamint repceolaj és magasabb rendű alkoholok égéstörvényének elemzése az elegyek lobbanáspontja alapján. Energiagazdálkodás, 47. évf. V. sz. pp. 6-9. ISSN 0021-0757 (2006.)
7. **Laza T.**, Stauch R., Penninger A.: Theoretical and practical analysis of the evaporation of vegetable oils and fatty acids. 8. International Conference on Heat Engines and Environmental Protection, pp. 75-79., Balatonfüred, ISBN 978 963 420 907 2 (2007.)
8. **Laza T.**, Penninger A.: Repceolaj és magasabb rendű alkohol elegyek párolgási folyamatának elemzése. 3. évf. III. sz. pp. 16-18. Bioenergia ISSN 1788-487X (2008.)
9. **Laza T.**, Bereczky Á.: Magasabb rendű alkoholok repceolaj belső égésű motorban való felhasználhatóságára gyakorolt hatása. Tüki, 42. Ipari Szeminárium, Dunaújváros, ISBN 978-963-06-6543-8 (2008.)
10. **Laza T.**, Penninger A.: Analysis of spray combustion of liquid biomass comparing with kerosene. 4th European Combustion Meeting, Bécs, ISBN 978-3-902655-06-6 (2009.)

11. **T. Laza**, **Á. Bereczky**: Influence of higher alcohols on the emissions of diesel engine operated with rape seed oil. 4th European Combustion Meeting, Bécs, ISBN 978-3-902655-06-6 (2009.)
12. **Laza T.**, **Bereczky Á.**: Influence of higher alcohols on the Combustion Pressure of Diesel Engine Operated with Rape Seed Oil. 9th International Conference on Heat Engine and Environmental Protection, Balatonfüred. pp. 45-51. ISBN 978-963-420-979-9 (2009.)
13. **Bereczky Á.**, **Laza T.**: Ersetzen des Dieselöls durch Rapsöl mit beigemischten Alkoholen höheren Grades. 24. Deutscher Flammentag: Verbrennung und Feuerung. Bochum, Németország, VDI Verlag, pp. 511-514. ISBN 978-3-18-092056-6 (2009.)
14. **T. Laza**, **Á. Bereczky**, **A. Penninger**: Energetische und Motorische Verwendung der Erneuerbaren Energiequellen. 9. Magdeburger Maschinenbau-Tage, pp. 57-64. Magdeburg, Németország. ISBN 978-3-940961-36-5 (2009.)
15. **Penninger A.**, **Meggyes A.**, **Laza T.**: Gázturbinatűztér oszcillációjának vizsgálata megújuló tüzelőanyag esetén. X. ENELKO, Románia, Marosvásárhely, pp. 130-134. ISSN 1842-4546 (2009.)
16. **Kovács V.**, **Laza T.**, **Török Á.**: Hazai, közlekedési célú, növényi alapú, bio-tüzelőanyag felhasználás analitikai vizsgálata, Közlekedéstudományi Szemle V. pp. 36-39. ISSN: 0023-4362 (2009.)
17. **Bereczky Á.**, **Laza T.**: Magasabb rendű alkohol hatása dízelmotorban lejátszódó égési folyamatokra repceolaj tüzelőanyag esetén. Energiagazdálkodás, pp. 19-24. ISSN: 0021-0757 (2009.)
18. **Laza**: Pilot Test and Theoretical Analysis of Evaporation of One and More Component Fuels Periodica Polytechnica-Mechanical Engineering 52:(2) pp. 67-71. ISSN: 0324-6051 (2009).
19. **Kovács**, **Laza**, **Török**: Növényi alapú biotüzelőanyag-felhasználás közlekedési célú nemzetgazdasági optimalása. Magyar Energetika, XVI, (6) pp. 26-29. ISSN: 1216-8599 (2009.)

VIII. Hivatkozások

1. **Zöldy Máté**: Megújuló tüzelőanyagok adagolásának hatása a gázolaj viszkozitására, Autótechnika, 2005/8 HU ISSN 1588 9858. Hivatkozott cikk: **Laza**, **Penninger**: Repceolaj, valamint repceolaj és metanol keverékének párolgási tulajdonságai és viszkozitása. Energiagazdálkodás 46. évf. II. szám pp. 17-21. ISSN 0021-0757, Budapest (2005.)
2. **Zöldy Máté**, **Kecskés Róbert**: Megújuló motorhajtóanyagok keverésének hatása az égésfolyamatra és az emisszióra, Gép 2006/5, ISSN 0016-8572. Hivatkozott cikk: **Á. Bereczky**, **A. Meggyes**, **T. Laza**, **R. Kecskés**: Examination of Burning Processes of Regenerative Liquid Fuel and Alcohol Mixtures in Diesel Engine. 7. International Conference on Heat Engines and Environmental Protection, pp. 166-171., ISBN 963 420 840 1, Balatonfüred (2005.)
3. **Zöldy, M.**: Bioethanol-biodiesel-diesel oil blends effect on cetane number and viscosity, 6th International Colloquim Fuels 2007, Technische Akademie Esslingen, 2007 01.10-11,

- ISBN 3-924813-67-1. Hivatkozott cikk: Á. Bereczky, A. Meggyes, **T. Laza**, R. Kecskés: Examination of Burning Processes of Regenerative Liquid Fuel and Alcohol Mixtures in Diesel Engine. 7. International Conference on Heat Engines and Environmental Protection, pp. 166-171., ISBN 963 420 840 1, Balatonfüred (2005.)
4. Reményi Károly: Megújuló Energiák. Energiaforrások és hasznosításuk. Akadémiai kiadó (2007.) ISBN 978 963 05 8458 6. Hivatkozott cikk: **Laza**, Penninger: Repceolaj, valamint repceolaj és metanol keverékének párolgási tulajdonságai és viszkozitása. Energiagazdálkodás 46. évf. II. szám pp. 17-21. ISSN 0021-0757, Budapest, (2005.)
 5. Dr. Zöldy Máté: Significance of application technique of fuel containing biocomponents, MOL SP SD & HSE special issue, 2009/3 ISSN 2060-338X pp 133-139. Hivatkozott cikk: Bereczky Á.; Meggyes, A.; **Laza, T.**; Kecskés, R.: Examination of burning process of regenerativ liquid fuel and alcohol mixtures in diesel engine. Heat Engines and Environmental Protection, ISBN 963 420 840 1, Balatonfüred (2005.)
 6. Martina Slezáková, Daniel Bratský: Diesel Fuels from Renewable Sources. 44th International Petroleum Conference, Bratislava, Slovak Republic. Hivatkozott cikk: **Laza, T.**, Kecskés, R., Bereczky, Á., Penninger, A.: Examination of burning processes of regenerative liquid fuel and alcohol mixtures in diesel engine. Periodical Polytechnica Ser. Mech. Eng., 50 (1), 11-29. (2006.)
 7. Viktória Barbara Kovács, Attila Meggyes: Energetic Utilisation of Pyrolysis Gases in IC Engine. Acta Polytechnica Hungarica Vol. 6, No. 4, 2009. Hivatkozott cikk: **Laza, T.**, Bereczky Á.: Determination of the Evaporation Constant in Case of Pure and with Alcohol Mixed Rape Seed Oil., in Proceedings of 16th International Conference in Mechanical Engineering, Brasov, May 1-4, 2008, pp. 232-237
 8. S. Szwaja, J. D. Naber: Combustion of n-butanol in a spark-ignition IC engine. Fuel xxx (2009) xxxxxx. Hivatkozott cikk: **Laza T.**, Kecskés R., Bereczky Á., Penninger A.: Examination of burning processes of regenerative liquid fuel and alcohol mixtures in diesel engine. Periodica Polytech Mech Eng; 50 (1):1129. (2006.)
 9. Martina Slezáková, Daniel Bratsky: Aplikácia Repkového Oleaj Ako Paliva Pre Neupravené Dieselové Motory. Aprochem 2009 Odpadové fórum 2009. 20.22. 4. 2009 Milovy pp. 1381-1388. Hivatkozott cikk: **Laza T.**, Kecskés R., Bereczky Á., Penninger A.: Examination of burning processes of regenerative liquid fuel and alcohol mixtures in diesel engine. Periodica Polytech Mech Eng; 50 (1):1129. (2006.)
 10. Penninger Antal: The Development of the Environmental Industry by the Utilisation of the Energetics Potential. In: István Fodor: The Role of Environmental Industry in The Regional Reindustrialisation in Hungary. Debrecen, MTA, 2009. pp. 127-144 ISBN: 978-963-9899-15-5. Hivatkozott cikk: **T. Laza**, Á. Bereczky: Influence of higher alcohols on the emissions of diesel engine operated with rape seed oil. 4th European Combustion Meeting, Bécs, ISBN 978-3-902655-06-6 (2009.)
 11. Zöldy, Hollo, Thernesz: Butanol as diesel extender option for internal combustion engines. SAE 2010 World Congress. Hivatkozott cikk: **Laza T.**, Kecskés R., Bereczky Á., Penninger A.: Examination of burning process of regenerative liquid fuel and alcohol

mixtures in diesel engine. *Periodica Politechnica ser. Mech. Eng.* Vol. 50, No. 1, pp. 11-29, HU ISSN 0324-6051 (2006.)

12. Zöldy, Hollo, Thernesz: Butanol as diesel extender option for internal combustion engines. SAE 2010 World Congress. Hivatkozott cikk: **T. Laza**, Á. Bereczky: Influence of higher alcohols on the emissions of diesel engine operated with rape seed oil. 4th European Combustion Meeting, Béc, ISBN 978-3-902655-06-6 (2009.)



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM

GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR DOKTORI TANÁCSA

DOKTORI TÉZISFÜZET

Írta:

Laza Tamás

okleveles gépészmérnök

FOLYÉKONY BIO-TÜZELŐANYAGOK
FELHASZNÁLÁSA HŐERŐGÉPEKBEN

című témakörből, amellyel a PhD fokozat elnyerésére pályázik

Budapest, 2010

I. A kutatások előzménye

A világ villamosenergia-igénye, és ezzel együtt az üvegházhatást okozó gázok kibocsátása is egyre nő. A növekedés üteme megújuló energiaforrások használatával csökkenthető.

Magyarországon az egyik legjelentősebb megújuló energia a biomassa. Az ebből nyerhető két legfontosabb folyékony tüzelőanyag az alkohol és a növényi olaj, ill. annak észterezett változata. Az észterezett növényi olaj felhasználása már több országban bevezetett gyakorlat, azonban az előállítás költséges. Ezen megfontolások miatt munkámban a hidegen sajtolt repceolajjal foglalkozom.

Lehetséges alkalmazási terület a repceolaj számára mezőgazdasági területeken traktorok meghajtásán kívül a helyben történő hasznosítás, az ún. decentralizált energiatermelés. Ennek egyik lehetséges megvalósítása a fixen telepített, generátorral ellátott mikrogázturbina vagy dízelmotor.

Új tüzelőanyagok felhasználásakor két út kínálkozik: vagy a tüzelőanyagot módosítjuk úgy, hogy a régi berendezésben is felhasználható legyen, vagy a berendezést tesszük alkalmassá az új tüzelőanyag felhasználására.

Modern gázturbinák NO_x -kibocsátásának csökkenését alapvetően megnövelt légfelesleg-tényezőjű üzemmel érik el. A módszernek azonban vannak korlátai, mert a nagy légfeleslegű lángok égési instabilitásra hajlamosak, ami jelenthet termoakusztikus lengést (akusztikusan öngerjesztő lángok kialakulását), instabil gyújtást, vagy helyi lángkialvást is. Az aktuális gázturbina-kutatás egyik központi feladata a termoakusztikus lengések vizsgálata.

Nyers repceolaj viszkozitása, párolgási tulajdonsága nagymértékben eltér a dízelolajétól, felhasználása során a motor égésterében a repceolaj lerakódásokat okoz, ezért szükséges a tüzelőanyag módosítása. A módosított tüzelőanyag repce-metilészter (RME). Az RME előállítása azonban költséges, gyártása során keletkező melléktermékek pedig külön problémák forrása.

II. Irodalom kritikai áttekintése

Akusztikusan öngerjesztő lángok

Irodalmi adatok alapján nyilvánvaló, hogy gázturbinában repceolajat fel lehet használni (pl. [Ardy, 1995], [Juste, 2000], [Gökalp, 2004]). Sajnos a szerzők nem vizsgálták, hogy gázturbina-porlasztóval megvalósított repceolaj tüzelés milyen porlasztási minőséget kíván és az hogyan valósítható meg. Juste tapasztalatai szerint bio-tüzelőanyagok felhasználásakor gyakrabban alakulnak ki akusztikusan öngerjesztő lángok, azonban az ilyenkor kialakuló porlasztási képet nem vizsgálta meg részletesen.

Herman perdítőelemes nyomásporlasztóval juttatta be a tüzelőanyagot a modell-tüzelőtérbe [Herman, 1995]. Mérései során Lézer-Doppler Anemométerrel (LDA-val) mérte a levegő és a folyadék áramlását. Megállapította, hogy tüztéri oszcilláció esetén a tüzelőanyag egyenetlenül jut a tüzelőtérbe, így a hőfelszabadulás is egyenetlenné válik, valamint a lángfront helye is periodikusan változik. Javaslatára szerint az egyik lehetséges megoldás az oszcilláció elkerülésére más reakciókinetikai tulajdonságokkal rendelkező tüzelőanyag alkalmazása.

Müller külső keverésű segédkezes porlasztó filmenterítőjén kialakuló porlasztást vizsgálta meg, a létrejövő lengést a primer és szekunder levegő szinusz-szerű gerjesztésével szimulálta [Müller, 2005]. A viszkozitás felezésével az átlagos Sauter középátmérő csak mintegy 6%-kal változott, azonban a felületi feszültség háromszorozásával 51%-kal nőtt. A pulzáció

amplitúdójának felezésekor, majd negyedeléskor nem változott a cseppátmérő. Munkája alapján várhatóan nagyobb cseppeket kapunk repceolajnál.

Belső égésű motorok

Belső égésű motorokban sokan és sokféleképpen használtak növényi olajat (nyersen, észterezetten, alkohollal, benzinnel keverve, közvetlen befecskendezésű, előkamrás motorban, állandó/változó terhelésen és fordulatszámokon stb.). A motor üzemére és a mérési eredményekre a felhasznált növényi olaj minősége (évjárat stb.) is hatással van. Éppen ezért az irodalomban található eredményeket nehéz egységesíteni, mert a vizsgálatok nem azonos körülmények között készültek.

A repceolaj tulajdonságait különböző módon próbálták a dízelolajéhoz hasonlóná tenni. Zöldy munkájában a biodízel, a dízelolaj és az etanol hármaskverékének a viszkozitását és cetánszámát vizsgálta meg [Zöldy, 2007].

Plassmann mérései alapján a metanol benzinnel és vízzel jól elegyedik, dízelolajjal rosszul, növényi olajjal még rosszabbul [Plassmann, 1974].

Karabektas izobutanolt elegyített dízelolajhoz (5, 10, 15 és 20 V/V%-ban), ennek hatását vizsgálta a teljesítményre és az emisszióra, egyhengeres, közvetlen befecskendezésű dízelmotorban [Karabektas, 2009]. Az NO_x és a CO emissziók csökkenését, a CH emissziók növekedését tapasztalta. Véggövektetése szerint az izobutanol jól, szétválás nélkül elegyedik a dízelolajjal, felhasználásához a motoron nem szükséges átalakításokat végezni. Munkája során nem jutott el addig, hogy kísérleteit repceolajjal elegyített alkohollal is elvégezze.

Spessert munkatársaival egyhengeres dízelmotorokat vizsgált meg repce-, napraforgó-, dízelolaj- és RME-üzemben [Spessert, 2007]. A vizsgálat folyamán mérték a teljesítményt, a nyomatókot, az emissziót, a befecskendezőrendszerben felépülő nyomást, a szag- és zajkibocsátást.

Kumar munkatársaival méréseik során egyhengeres motorban, állandó fordulatszámokon vizsgálta meg a károsanyag-emissziókat növényi olajjal (ricinus), növényi olaj + metanol elegyével, dízelolajjal, valamint növényolajszterrel [Kumar, 2003]. Méréseik során az alkohol csökkentette a füstölést. Az NO_x-kibocsátás alacsonyabb volt növényi olajjal, mint dízelolajjal (ez az alacsonyabb égési hőmérsékletnek tudható be). Növényi olaj és észterei keverékének égése hosszabb diffúziós szakaszt mutatott fel, mint a dízelolaj. Méréseik alapján a gyulladási késedelem a növényi olajjal nagyobb, mint dízelolajjal, a csúcsnyomás, valamint a nyomásnövekedés a növényi olajjal végzett méréseknél volt a legkisebb.

Irodalmi hivatkozások

- [Herman, 1995] HERMAN, ZANGL, GLEIS: *Untersuchung der Anregungsmechanismen selbsterregter Verbrennungsschwingungen an einem Verbrennungssystem mit Flüssigkraftstoff*. Kutatási jelentés, Nr. 1193, VDI, Düsseldorf, 1995.
- [Müller, 2005] MÜLLER, HEHLE, KOCH: *Zerstäubungsverhalten von Airblastdüsen bei oszillierenden Strömungen*. VDI-Berichte Nr. 1888. pp. 249-257, 2005.

- [Ardy, 1995] ARDY, BARBUCCI, BENELLI: *Development of Gas Turbine Combustor Fed with Bio-Fuel Oil*. Proc. Second Biomass Conference of the Americas, pp. 429-438, 1995.
- [Juste, 2000] JUSTE, MONFORT: *Preliminary test on combustion of wood derived fast pyrolysis oils in a gas turbine combustor*. Biomass and Bioenergy, 2000.
- [Gökalp, 2004] GÖKALP, LEBAS: *Alternative fuels for industrial gas turbines (AFTUR)*. Applied Thermal Engineering, vol. 19., pp. 119-128, 2004.
- [Kumar, 2003] KUMAR, RAMESH, NAGALINGAM: *An experimental comparison of methods to use methanol and Jatropha oil in a compression ignition engine*. Biomass and Bioenergy, vol. 25., pp. 309 - 318, 2003.
- [Spessert, 2007] SPESSERT, SCHLEICHER: *Einfluss von Biokraftstoffen auf die Abgas- und Geräuschemission kleiner Industriedieselmotoren*. MTZ, vol. 68/3., pp. 212-222, 2007.
- [Plassmann, 1974] PLASSMANN, HASSEL: *Neuen Kraftstoffen auf der Spur*. Bundesministerium für Forschung und Technologie, Bonn, 1974.
- [Karabektas, 2009] KARABEKTAS, HOSUZ: *Performance and emission characteristics of a diesel engine using isobutanol–diesel fuel blends*. Renewable Energy, vol. 34/6, 2009.
- [Zöldy 2007] ZÖLDY: *Bioethanol-biodiesel-diesel oil blends effect on cetane number and viscosity*. 6th International ColloquimFuels, Technische Akademie Esslingen, Németország, 2007.

III. Célkitűzések

Mind a gázturbinás, mind a dízelmotoros felhasználás alapja a felhasznált folyékony tüzelőanyag megfelelő minőségű porlasztása. Mivel a repceolaj sűrűsége és felületi feszültsége eltér a hagyományos gázturbina- tüzelőanyagétól (pl. kerozin) és a dízelolajétól, ezért szükséges a megújuló tüzelőanyag porlaszthatóságának külön vizsgálata.

A fentiek alapján a disszertációban célul tűztem ki a repceolaj különböző porlasztókkal kapott porlasztási képének, a szegény üzemben fellépő termoakusztikus lengésének, továbbá a belső égésű motorban történő alkalmazásának vizsgálatát.

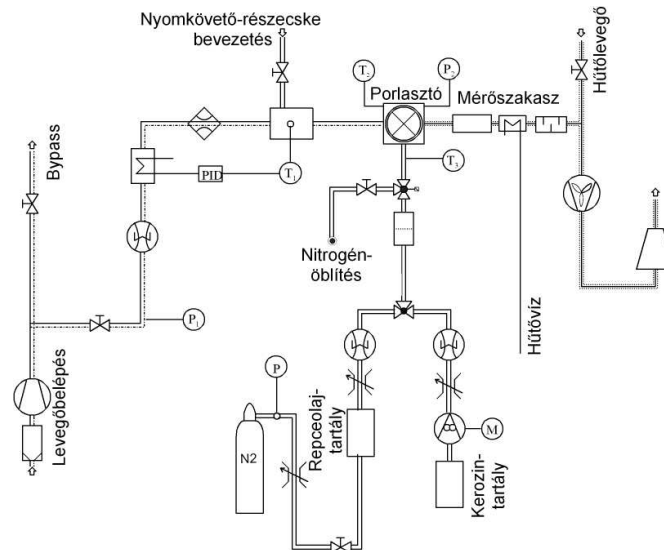
Munkám során egy külső keverésű segédközeges porlasztóval ellátott modell gázturbina-tüzelőtérben, a hagyományos (kerozin jet-A) és a megújuló (repceolaj) gázturbina-tüzelőanyag felhasználása során, szegény üzemben kialakuló termoakusztikus lengéseket hasonlítom össze. Külön figyelmet fordítok a különböző tüzelőanyagok felhasználása során kialakuló lengések fázisfelbontott vizsgálatára. Vizsgálni kívánom a cseppek sebességét, haladási irányát, átmérőjét.

A növényi olaj motorikus felhasználásának vizsgálata folyamán megvizsgálom a növényi olaj égési sebességének növelési lehetőségét. Ezért különböző, magasabb rendű alkoholokat elegyíték hozzá. Az így kapott tüzelőanyagok motorikus felhasználhatóságán kívül megvizsgálom a tárolás, és a szállíthatóság szempontjából fontos tulajdonságait is, mint például a lobbanáspontot, viszkozitást, sűrűséget, hidegszűrési határhőmérsékletet.

Dolgozatomban (amely 93 oldalon 5 fejezetben 64 ábrát, 129 tételes irodalomjegyzéket, továbbá 11 oldal függelék tartalmaz) bemutatom a célkitűzések elérése érdekében végzett kutatási munkát, a felhasznált kísérleti berendezéseket és az elméleti összefüggéseket.

IV. Vizsgálati módszerek

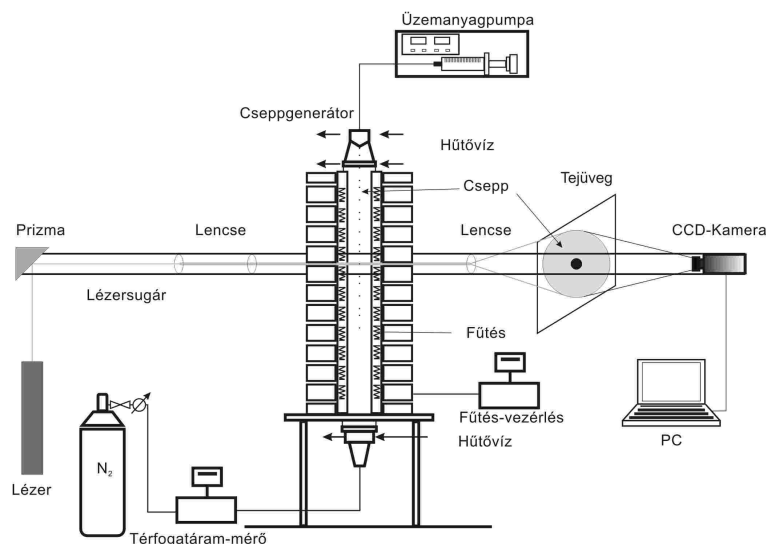
Az akusztikusan öngerjesztő lángok vizsgálatához felépíttem egy kísérleti gázturbina-tüzelőteret (1. ábra). A berendezés konstrukciójánál fogva kizárja a nem öngerjesztő akusztikus lengések kialakulását. A tüzelőtér felépítése lehetővé tette a porlasztmány nagy felületű (lézersík, PIV) és pontszerű (PDA) érintésmentes vizsgálatát. A felhasznált mérőeszközök az oszcilláló láng fázisfelbontott analizálására adtak lehetőséget (cseppméret, cseppsebesség).



1. ábra. Akusztikusan öngerjesztő lángok vizsgálatához felépített kísérleti gázturbina-tüzelőtér

A repceolaj és a repceolaj – magasabb rendű alkoholok elegyének belső égésű motorban történő vizsgálatát egy CFR cetánszámmérő egységen végeztem.

A párolgási tulajdonságok elemzéséhez az elterjedt TGA-n túl lézeres árnyékgráfiát alkalmaztam.



2. ábra. Lézeres árnyékgráfia felépítése

Az elegyek többi fizikai paraméterét (lobbanáspont, égéshő, sűrűség, viszkozitás, hidegszűrési határhőmérséklet, oxidációs stabilitás stb.) a vonatkozó szabvány előírásainak megfelelően végeztem.

V. Új tudományos eredmények

1. Nagy viszkozitású tüzelőanyagok esetében is ugyanolyan cseppméretű (SMD) porlasztás érhető el perdítőelemes nyomásporlasztóval, mint belső keverésű segédközegees porlasztóval, ezért célszerűbb az energetikailag kedvezőbb nyomásporlasztó használata. Perdítőelemes nyomásporlasztó esetében a 10 bar-on 60 °C-os hőmérséklet 50%-os megemelése annyit javít a folyadék porlaszthatóságán, mint a 60%-kal magasabb nyomás kisebb mértékű, csak 30%-os hőmérsékletemelése. Mindezt kísérletekkel igazoltam [1], [2].
2. Akusztikusan öngerjesztő lángok esetén, külső keverésű, ellentétes perdületű segédközegees porlasztó alkalmazásakor mind kerozin, mind a nagyobb viszkozitású és nehezebben párologó repceolaj tüzelőanyag esetében, a cseppek axiális irányára az oszcilláció fázisszöge nincs hatással, axiális és tangenciális sebességre viszont igen. Az oszcilláció hatása az axiális sebességre a 100%-kal nagyobb felületi feszültségű és 130%-kal nagyobb viszkozitású repceolaj esetén (a maximális értékhez viszonyítva) -36%, míg kerozin esetében -50%. Az oszcilláció tangenciális sebességre gyakorolt hatása rendre -20% és -33% [3], [4], [5], [6], [7].
3. Kísérletekkel igazoltam, hogy oszcilláló égés esetén a repceolaj, illetve a kerozin tüzelőanyag hasonló CO és NO_x károsanyag képződési lefolyást eredményez, mind a légfelesleg, mind pedig a bevezetett hőteljesítmény függvényében [3], [4], [5], [6], [7].
4. Bebizonyítottam, hogy repceolajjal a vizsgált magasabb rendű alkoholok 20 V/V%-ig térfogati kontrakció nélkül elegyednek. Mint ismeretes, az egyszerű alkoholok a repceolajjal nem elegyednek, vízzel történő elegyítésükkor viszont jelentős a térfogati kontrakció (etanol – víz 50 V/V%-os elegyénél a 3,7%-ot is eléri, de általában 1-2% körüli) [9].
5. Előkamrás egyhengeres dízelmotorban célszerű a repceolajhoz butanolt, vagy propanolt elegyíteni a viszkozitás csökkentése és az égési folyamat javítása érdekében, 20 V/V%-ig. Motorikus felhasználás szempontjából a vizsgált alkoholok közül a butanol a propanolnál kedvezőbb tulajdonságú, a fűtőértéke miatt. Az alkoholoknak az elegyek cetánszámára, viszkozitására gyakorolt hatásuk megegyezik. A hidegszűrhetőségi határhőmérsékletet a 20 V/V% butanol is lecsökkenti a nyári előírásnak megfelelő szintre, az elegyített alkohol az oxidációs stabilitására nincs hatással. A butanol jobban csökkenti (azonos térfogat% esetén) az elegy lobbanáspontját, ezért fokozottan tűz- és robbanásveszélyes [8], [10], [11], [12].
6. Igazoltam azt a feltételezést, miszerint a motor égésterében az alkohol-repceolaj elegy égése két lépcsőben játszódik le: a magasabb cetánszámú repceolaj gyullad meg először, és ennek lángja gyújtja meg az elegyből kipárolgott, jó kompressziótűrűségű alkoholt. Kísérletekkel igazoltam, hogy a repceolaj-alkohol cseppből az alkohol párologása már alacsony (30 °C alatti) hőmérsékleten elkezdődik, a kipárolgás részaránya a hőmérséklet növelésével nő. 180 °C fölött a csepp már nem tartalmaz

alkoholt, csak repceolajat, amely viszont ezen a hőmérsékleten még nem párolog [10], [12], [13].

7. Mérésekkel bizonyítottam, hogy az előkamrás dízelmotorban felhasznált repceolaj – magasabb rendű alkoholok elegyének a károsanyag kibocsátására az alkohol hatása - típusától függetlenül - azonos nagyságrendben van. Kimutattam, hogy 10 és 20 V/V% magasabb rendű alkohol repceolajhoz történő elegyítése esetén a károsanyag-kibocsátás változása az alkoholtartalommal nem lineáris. A változás függvényét a mérési pontok grafikonjával megadtam [14], [15].

VI. A tézispontokhoz kapcsolódó tudományos közlemények

- [1] LAZA, MEIER, PENNINGER: *Untersuchungen zur Einsetzbarkeit von rohem Rapsöl für die Verbrennung in Gasturbinen*. 14. Frühlingsakademie. München, Németország, pp. 37-43. (2002.)
- [2] LAZA, MEIER, KOCH: *Untersuchungen zum Einsatz von Rapsöl in Gasturbinen*. Internationale Conference on Heat Engines and Environmental Protection, Balatonfüred, pp. 99-106. (2003.)
- [3] LAZA, KOCH, PENNINGER: *A kerozin és repceolaj gázturbinaszpecifikus vizsgálata II*. Magyar Energetika, XIII:(5) pp. 3-8. (2005)
- [4] LAZA, KOCH, PENNINGER: *Examination of kerosine and rape oil with specification of gas turbine*. Gépészet 2004, pp. 622-626. (2004.)
- [5] LAZA, KOCH, PENNINGER: *Kerozin és repceolaj gázturbinaszpecifikus vizsgálata*. Magyar Energetika, XII:(5) pp. 28-33. (2004.)
- [6] LAZA, KOCH, PENNINGER: *Analysis of oscillation of gas turbine combustion in case of rape seed oil and kerosine jet-a fuel*. microCAD2005, Miskolc, pp. 49-54. (2005.)
- [7] LAZA, KOCH, PENNINGER: *Analysis der Oszillation eines rapsölbetriebenen Kleingasturbinenbrenner*. 22. Deutscher Flammentag, Braunschweig, VDI-BERICHT 1888: pp. 673-679. (2005.)
- [8] LAZA, PENNINGER: *Repceolaj és magasabb rendű alkoholok keverékének viszkozitása*. Energiagazdálkodás, Budapest, 46:(5) pp. 3-5. (2005.)
- [9] LAZA, TÓVÁRI, PENNINGER: *Investigation of Density and Heat Value of Rape Seed Oil and Rape Seed Oil + Alcohol Mixtures*. Proc. of International Conference of Energetics and Electrical Engineering, Kolozsvár, pp. 65-69. (2006.)
- [10] LAZA, KERÉKES, PENNINGER: *A repceolaj, valamint a repceolaj és magasabb rendű alkohol-keverékek tűzveszélyességének meghatározása*. Szent István Egyetem Tudományos Közlemények, Budapest, 3:(1) pp. 40-44. (2006.)
- [11] LAZA, KECSKÉS, BERECZKY, PENNINGER: *Examination of burning process of regenerative liquid fuel and alcohol mixtures in diesel engine*. Periodica Politechnica ser. Mech. Eng., Budapest, 50:(1) pp. 11-29. (2006.)
- [12] LAZA, BERECZKY: *Determination of the Evaporation Constant in Case of Pure and with Alcohol Mixed Rape Seed Oil*. Proc. of 6th International Conference in Mechanical Engineering, Brasov, pp. 232-237. (2008.)

- [13] **LAZA**: *Pilot Test and Theoretical Analysis of Evaporation of One and More Component Fuel.s* Periodica Polytechnica-Mechanical Engineering 52:(2) pp. 67-71. ISSN: 0324-6051 (2009.)
- [14] **LAZA**, **BERECZKY**: *Influence of Higher Alcohols on the Combustion Pressure of Diesel Engine Operated with Rape Seed Oil.* Acta Mechanica Slovaca, 13:(3) pp. 54-61. (2009.)
- [15] **LAZA**, **BERECZKY**: *Magasabb rendű alkohol hatása dízelmotorban lejátszódó égési folyamatokra repceolaj tüzelőanyag esetén.* Energiagazdálkodás, 50:(6) pp. 19-24. (2009.)

VII. Az értekezés témaköréhez kapcsolódó publikációk

1. **T. Laza**, R. Koch, A. Penninger: Analysis of Burning Behavior of Liquid Fuel Based on Biomass and Kerosine Jet A. 7. International Conference on Heat Engines and Environmental Protection, pp. 171-177., ISBN 963 420 840 1, Balatonfüred (2005.)
2. **Laza T.**, Penninger A.: Repceolaj, valamint repceolaj és metanol keverékének párolgási tulajdonságai és viszkozitása. Energiagazdálkodás 46. évf. II. szám pp. 17-21. ISSN 0021-0757, Budapest, (2005.)
3. Losonczi B., Hermanutz P., **Laza T.**, Bereczky Á., Kecskés R., Meggyes A.: Investigation of Combustion Process of Pure and Refuse Vegetable Oil in Diesel Engine. Gépészet 2006, ISBN 963 593 465 3, Budapest (2006.)
4. **Laza T.**, Sabino J., Carvalho I., Bereczky Á., Penninger A.: Pilot Test and Theoretical Analysis of One and More Component Fuel. Gépészet 2006, ISBN 963 593 465 3, Budapest (2006.)
5. **Laza T.**, Tóvári P., Penninger A.: Investigation of Density and Heat Value of Rape Seed Oil and Rape Seed Oil + Alcohol Mixtures. International Conference of Energetics and Electrical Engineering, pp. 65-69. ISSN 1842-4546 Kolozsvár (2006.)
6. **Laza T.**, Kerekes Zs., Penninger A.: Repceolaj valamint repceolaj és magasabb rendű alkoholok égéstörvényének elemzése az elegyek lobbanáspontja alapján. Energiagazdálkodás, 47. évf. V. sz. pp. 6-9. ISSN 0021-0757 (2006.)
7. **Laza T.**, Stauch R., Penninger A.: Theoretical and practical analysis of the evaporation of vegetable oils and fatty acids. 8. International Conference on Heat Engines and Environmental Protection, pp. 75-79., Balatonfüred, ISBN 978 963 420 907 2 (2007.)
8. **Laza T.**, Penninger A.: Repceolaj és magasabb rendű alkohol elegyek párolgási folyamatának elemzése. 3. évf. III. sz. pp. 16-18. Bioenergia ISSN 1788-487X (2008.)
9. **Laza T.**, Bereczky Á.: Magasabb rendű alkoholok repceolaj belső égésű motorban való felhasználhatóságára gyakorolt hatása. Tüki, 42. Ipari Szeminárium, Dunaújváros, ISBN 978-963-06-6543-8 (2008.)
10. **Laza T.**, Penninger A.: Analysis of spray combustion of liquid biomass comparing with kerosene. 4th European Combustion Meeting, Bécs, ISBN 978-3-902655-06-6 (2009.)

11. **T. Laza**, Á. Bereczky: Influence of higher alcohols on the emissions of diesel engine operated with rape seed oil. 4th European Combustion Meeting, Bécs, ISBN 978-3-902655-06-6 (2009.)
12. **Laza T.**, Bereczky Á.: Influence of higher alcohols on the Combustion Pressure of Diesel Engine Operated with Rape Seed Oil. 9th International Conference on Heat Engine and Environmental Protection, Balatonfüred. pp. 45-51. ISBN 978-963-420-979-9 (2009.)
13. Bereczky Á., **Laza T.**: Ersetzen des Dieselöls durch Rapsöl mit beigemischten Alkoholen höheren Grades. 24. Deutscher Flammentag: Verbrennung und Feuerung. Bochum, Németország, VDI Verlag, pp. 511-514. ISBN 978-3-18-092056-6 (2009.)
14. **T. Laza**, Á. Bereczky, A. Penninger: Energetische und Motorische Verwendung der Erneuerbaren Energiequellen. 9. Magdeburger Maschinenbau-Tage, pp. 57-64. Magdeburg, Németország. ISBN 978-3-940961-36-5 (2009.)
15. Penninger A., Meggyes A., **Laza T.**: Gázturbinatűztér oszcillációjának vizsgálata megújuló tüzelőanyag esetén. X. ENELKO, Románia, Marosvásárhely, pp. 130-134. ISSN 1842-4546 (2009.)
16. Kovács V., **Laza T.**, Török Á.: Hazai, közlekedési célú, növényi alapú, bio-tüzelőanyag felhasználás analitikai vizsgálata, Közlekedéstudományi Szemle V. pp. 36-39. ISSN: 0023-4362 (2009.)
17. Bereczky Á., **Laza T.**: Magasabb rendű alkohol hatása dízelmotorban lejátszódó égési folyamatokra repceolaj tüzelőanyag esetén. Energiagazdálkodás, pp. 19-24. ISSN: 0021-0757 (2009.)
18. **Laza**: Pilot Test and Theoretical Analysis of Evaporation of One and More Component Fuels Periodica Polytechnica-Mechanical Engineering 52:(2) pp. 67-71. ISSN: 0324-6051 (2009).
19. Kovács, **Laza**, Török: Növényi alapú biotüzelőanyag-felhasználás közlekedési célú nemzetgazdasági optimalása. Magyar Energetika, XVI, (6) pp. 26-29. ISSN: 1216-8599 (2009.)

VIII. Hivatkozások

1. Zöldy Máté: Megújuló tüzelőanyagok adagolásának hatása a gázolaj viszkozitására, Autótechnika, 2005/8 HU ISSN 1588 9858. Hivatkozott cikk: **Laza**, Penninger: Repceolaj, valamint repceolaj és metanol keverékének párolgási tulajdonságai és viszkozitása. Energiagazdálkodás 46. évf. II. szám pp. 17-21. ISSN 0021-0757, Budapest (2005.)
2. Zöldy Máté, Kecskés Róbert: Megújuló motorhajtóanyagok keverésének hatása az égésfolyamatra és az emisszióra, Gép 2006/5, ISSN 0016-8572. Hivatkozott cikk: Á. Bereczky, A. Meggyes, **T. Laza**, R. Kecskés: Examination of Burning Processes of Regenerative Liquid Fuel and Alcohol Mixtures in Diesel Engine. 7. International Conference on Heat Engines and Environmental Protection, pp. 166-171., ISBN 963 420 840 1, Balatonfüred (2005.)
3. Zöldy, M.: Bioethanol-biodiesel-diesel oil blends effect on cetane number and viscosity, 6th International Colloquim Fuels 2007, Technische Akademie Esslingen, 2007 01.10-11,

- ISBN 3-924813-67-1. Hivatkozott cikk: Á. Bereczky, A. Meggyes, **T. Laza**, R. Kecskés: Examination of Burning Processes of Regenerative Liquid Fuel and Alcohol Mixtures in Diesel Engine. 7. International Conference on Heat Engines and Environmental Protection, pp. 166-171., ISBN 963 420 840 1, Balatonfüred (2005.)
4. Reményi Károly: Megújuló Energiák. Energiaforrások és hasznosításuk. Akadémiai kiadó (2007.) ISBN 978 963 05 8458 6. Hivatkozott cikk: **Laza**, Penninger: Repceolaj, valamint repceolaj és metanol keverékének párolgási tulajdonságai és viszkozitása. Energiagazdálkodás 46. évf. II. szám pp. 17-21. ISSN 0021-0757, Budapest, (2005.)
 5. Dr. Zöldy Máté: Significance of application technique of fuel containing biocomponents, MOL SP SD & HSE special issue, 2009/3 ISSN 2060-338X pp 133-139. Hivatkozott cikk: Bereczky Á.; Meggyes, A.; **Laza, T.**; Kecskés, R.: Examination of burning process of regenerativ liquid fuel and alcohol mixtures in diesel engine. Heat Engines and Environmental Protection, ISBN 963 420 840 1, Balatonfüred (2005.)
 6. Martina Slezáková, Daniel Bratský: Diesel Fuels from Renewable Sources. 44th International Petroleum Conference, Bratislava, Slovak Republic. Hivatkozott cikk: **Laza, T.**, Kecskés, R., Bereczky, Á., Penninger, A.: Examination of burning processes of regenerative liquid fuel and alcohol mixtures in diesel engine. Periodical Polytechnica Ser. Mech. Eng., 50 (1), 11-29. (2006.)
 7. Viktória Barbara Kovács, Attila Meggyes: Energetic Utilisation of Pyrolysis Gases in IC Engine. Acta Polytechnica Hungarica Vol. 6, No. 4, 2009. Hivatkozott cikk: **Laza, T.**, Bereczky Á.: Determination of the Evaporation Constant in Case of Pure and with Alcohol Mixed Rape Seed Oil., in Proceedings of 16th International Conference in Mechanical Engineering, Brasov, May 1-4, 2008, pp. 232-237
 8. S. Szwaja, J. D. Naber: Combustion of n-butanol in a spark-ignition IC engine. Fuel xxx (2009) xxxxxx. Hivatkozott cikk: **Laza T.**, Kecskés R., Bereczky Á., Penninger A.: Examination of burning processes of regenerative liquid fuel and alcohol mixtures in diesel engine. Periodica Polytech Mech Eng; 50 (1):1129. (2006.)
 9. Martina Slezáková, Daniel Bratsky: Aplikácia Repkového Oleaj Ako Paliva Pre Neupravené Dieselové Motory. Aprochem 2009 Odpadové fórum 2009. 20.22. 4. 2009 Milovy pp. 1381-1388. Hivatkozott cikk: **Laza T.**, Kecskés R., Bereczky Á., Penninger A.: Examination of burning processes of regenerative liquid fuel and alcohol mixtures in diesel engine. Periodica Polytech Mech Eng; 50 (1):1129. (2006.)
 10. Penninger Antal: The Development of the Environmental Industry by the Utilisation of the Energetics Potential. In: István Fodor: The Role of Environmental Industry in The Regional Reindustrialisation in Hungary. Debrecen, MTA, 2009. pp. 127-144 ISBN: 978-963-9899-15-5. Hivatkozott cikk: **T. Laza**, Á. Bereczky: Influence of higher alcohols on the emissions of diesel engine operated with rape seed oil. 4th European Combustion Meeting, Bécs, ISBN 978-3-902655-06-6 (2009.)
 11. Zöldy, Hollo, Thernesz: Butanol as diesel extender option for internal combustion engines. SAE 2010 World Congress. Hivatkozott cikk: **Laza T.**, Kecskés R., Bereczky Á., Penninger A.: Examination of burning process of regenerative liquid fuel and alcohol

mixtures in diesel engine. *Periodica Politechnica ser. Mech. Eng.* Vol. 50, No. 1, pp. 11-29, HU ISSN 0324-6051 (2006.)

12. Zöldy, Hollo, Thernesz: Butanol as diesel extender option for internal combustion engines. SAE 2010 World Congress. Hivatkozott cikk: **T. Laza**, Á. Bereczky: Influence of higher alcohols on the emissions of diesel engine operated with rape seed oil. 4th European Combustion Meeting, Béc, ISBN 978-3-902655-06-6 (2009.)



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM

GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR DOKTORI TANÁCSA

DOKTORI TÉZISFÜZET

Írta:

Laza Tamás

okleveles gépészmérnök

FOLYÉKONY BIO-TÜZELŐANYAGOK
FELHASZNÁLÁSA HŐERŐGÉPEKBEN

című témakörből, amellyel a PhD fokozat elnyerésére pályázik

Budapest, 2010

I. A kutatások előzménye

A világ villamosenergia-igénye, és ezzel együtt az üvegházhatást okozó gázok kibocsátása is egyre nő. A növekedés üteme megújuló energiaforrások használatával csökkenthető.

Magyarországon az egyik legjelentősebb megújuló energia a biomassa. Az ebből nyerhető két legfontosabb folyékony tüzelőanyag az alkohol és a növényi olaj, ill. annak észterezett változata. Az észterezett növényi olaj felhasználása már több országban bevezetett gyakorlat, azonban az előállítás költséges. Ezen megfontolások miatt munkámban a hidegen sajtolt repceolajjal foglalkozom.

Lehetséges alkalmazási terület a repceolaj számára mezőgazdasági területeken traktorok meghajtásán kívül a helyben történő hasznosítás, az ún. decentralizált energiatermelés. Ennek egyik lehetséges megvalósítása a fixen telepített, generátorral ellátott mikrogázturbina vagy dízelmotor.

Új tüzelőanyagok felhasználásakor két út kínálkozik: vagy a tüzelőanyagot módosítjuk úgy, hogy a régi berendezésben is felhasználható legyen, vagy a berendezést tesszük alkalmassá az új tüzelőanyag felhasználására.

Modern gázturbinák NO_x -kibocsátásának csökkenését alapvetően megnövelt légfelesleg-tényezőjű üzemmel érik el. A módszernek azonban vannak korlátai, mert a nagy légfeleslegű lángok égési instabilitásra hajlamosak, ami jelenthet termoakusztikus lengést (akusztikusan öngerjesztő lángok kialakulását), instabil gyújtást, vagy helyi lángkialvást is. Az aktuális gázturbina-kutatás egyik központi feladata a termoakusztikus lengések vizsgálata.

Nyers repceolaj viszkozitása, párolgási tulajdonsága nagymértékben eltér a dízelolajétól, felhasználása során a motor égésterében a repceolaj lerakódásokat okoz, ezért szükséges a tüzelőanyag módosítása. A módosított tüzelőanyag repce-metilészter (RME). Az RME előállítása azonban költséges, gyártása során keletkező melléktermékek pedig külön problémák forrása.

II. Irodalom kritikai áttekintése

Akusztikusan öngerjesztő lángok

Irodalmi adatok alapján nyilvánvaló, hogy gázturbinában repceolajat fel lehet használni (pl. [Ardy, 1995], [Juste, 2000], [Gökalp, 2004]). Sajnos a szerzők nem vizsgálták, hogy gázturbina-porlasztóval megvalósított repceolaj tüzelés milyen porlasztási minőséget kíván és az hogyan valósítható meg. Juste tapasztalatai szerint bio-tüzelőanyagok felhasználásakor gyakrabban alakulnak ki akusztikusan öngerjesztő lángok, azonban az ilyenkor kialakuló porlasztási képet nem vizsgálta meg részletesen.

Herman perdítőelemes nyomásporlasztóval juttatta be a tüzelőanyagot a modell-tüzelőtérbe [Herman, 1995]. Mérései során Lézer-Doppler Anemométerrel (LDA-val) mérte a levegő és a folyadék áramlását. Megállapította, hogy tüztéri oszcilláció esetén a tüzelőanyag egyenetlenül jut a tüzelőtérbe, így a hőfelszabadulás is egyenetlenné válik, valamint a lángfront helye is periodikusan változik. Javaslatára szerint az egyik lehetséges megoldás az oszcilláció elkerülésére más reakciókinetikai tulajdonságokkal rendelkező tüzelőanyag alkalmazása.

Müller külső keverésű segédkezes porlasztó filmenterítőjén kialakuló porlasztást vizsgálta meg, a létrejövő lengést a primer és szekunder levegő szinusz-szerű gerjesztésével szimulálta [Müller, 2005]. A viszkozitás felezésével az átlagos Sauter középátmérő csak mintegy 6%-kal változott, azonban a felületi feszültség háromszorozásával 51%-kal nőtt. A pulzáció

amplitúdójának felezésekor, majd negyedeléskor nem változott a cseppátmérő. Munkája alapján várhatóan nagyobb cseppeket kapunk repceolajnál.

Belső égésű motorok

Belső égésű motorokban sokan és sokféleképpen használtak növényi olajat (nyersen, észterezetten, alkohollal, benzinnel keverve, közvetlen befecskendezésű, előkamrás motorban, állandó/változó terhelésen és fordulatszámra stb.). A motor üzemére és a mérési eredményekre a felhasznált növényi olaj minősége (évjárat stb.) is hatással van. Éppen ezért az irodalomban található eredményeket nehéz egységesíteni, mert a vizsgálatok nem azonos körülmények között készültek.

A repceolaj tulajdonságait különböző módon próbálták a dízelolajéhoz hasonlónak tenni. Zöldy munkájában a biodízel, a dízelolaj és az etanol hármasképletű keverékének a viszkozitását és cetánszámát vizsgálta meg [Zöldy, 2007].

Plassmann mérései alapján a metanol benzinnel és vízzel jól elegyedik, dízelolajjal rosszul, növényi olajjal még rosszabbul [Plassmann, 1974].

Karabektas izobutanolt elegyített dízelolajhoz (5, 10, 15 és 20 V/V%-ban), ennek hatását vizsgálta a teljesítményre és az emisszióra, egyhengeres, közvetlen befecskendezésű dízelmotorban [Karabektas, 2009]. Az NO_x és a CO emissziók csökkenését, a CH emissziók növekedését tapasztalta. Véggöveztetése szerint az izobutanol jól, szétválás nélkül elegyedik a dízelolajjal, felhasználásához a motoron nem szükséges átalakításokat végezni. Munkája során nem jutott el addig, hogy kísérleteit repceolajjal elegyített alkohollal is elvégezze.

Spessert munkatársaival egyhengeres dízelmotorokat vizsgált meg repce-, napraforgó-, dízelolaj- és RME-üzemben [Spessert, 2007]. A vizsgálat folyamán mérték a teljesítményt, a nyomatékot, az emissziót, a befecskendezőrendszerben felépülő nyomást, a szag- és zajkibocsátást.

Kumar munkatársaival méréseik során egyhengeres motorban, állandó fordulatszámra vizsgálta meg a károsanyag-emissziókat növényi olajjal (ricinus), növényi olaj + metanol elegyével, dízelolajjal, valamint növényolajszterrel [Kumar, 2003]. Méréseik során az alkohol csökkentette a füstölést. Az NO_x-kibocsátás alacsonyabb volt növényi olajjal, mint dízelolajjal (ez az alacsonyabb égési hőmérsékletnek tudható be). Növényi olaj és észterei keverékének égése hosszabb diffúziós szakaszt mutatott fel, mint a dízelolaj. Méréseik alapján a gyulladási késedelem a növényi olajjal nagyobb, mint dízelolajjal, a csúcsnyomás, valamint a nyomásnövekedés a növényi olajjal végzett méréseknél volt a legkisebb.

Irodalmi hivatkozások

- [Herman, 1995] HERMAN, ZANGL, GLEIS: *Untersuchung der Anregungsmechanismen selbsterregter Verbrennungsschwingungen an einem Verbrennungssystem mit Flüssigkraftstoff*. Kutatási jelentés, Nr. 1193, VDI, Düsseldorf, 1995.
- [Müller, 2005] MÜLLER, HEHLE, KOCH: *Zerstäubungsverhalten von Airblastdüsen bei oszillierenden Strömungen*. VDI-Berichte Nr. 1888. pp. 249-257, 2005.

- [Ardy, 1995] ARDY, BARBUCCI, BENELLI: *Development of Gas Turbine Combustor Fed with Bio-Fuel Oil*. Proc. Second Biomass Conference of the Americas, pp. 429-438, 1995.
- [Juste, 2000] JUSTE, MONFORT: *Preliminary test on combustion of wood derived fast pyrolysis oils in a gas turbine combustor*. Biomass and Bioenergy, 2000.
- [Gökalp, 2004] GÖKALP, LEBAS: *Alternative fuels for industrial gas turbines (AFTUR)*. Applied Thermal Engineering, vol. 19., pp. 119-128, 2004.
- [Kumar, 2003] KUMAR, RAMESH, NAGALINGAM: *An experimental comparison of methods to use methanol and Jatropha oil in a compression ignition engine*. Biomass and Bioenergy, vol. 25., pp. 309 - 318, 2003.
- [Spessert, 2007] SPESSERT, SCHLEICHER: *Einfluss von Biokraftstoffen auf die Abgas- und Geräuschemission kleiner Industriedieselmotoren*. MTZ, vol. 68/3., pp. 212-222, 2007.
- [Plassmann, 1974] PLASSMANN, HASSEL: *Neuen Kraftstoffen auf der Spur*. Bundesministerium für Forschung und Technologie, Bonn, 1974.
- [Karabektas, 2009] KARABEKTAS, HOSUZ: *Performance and emission characteristics of a diesel engine using isobutanol–diesel fuel blends*. Renewable Energy, vol. 34/6, 2009.
- [Zöldy 2007] ZÖLDY: *Bioethanol-biodiesel-diesel oil blends effect on cetane number and viscosity*. 6th International ColloquimFuels, Technische Akademie Esslingen, Németország, 2007.

III. Célkitűzések

Mind a gázturbinás, mind a dízelmotoros felhasználás alapja a felhasznált folyékony tüzelőanyag megfelelő minőségű porlasztása. Mivel a repceolaj sűrűsége és felületi feszültsége eltér a hagyományos gázturbina- tüzelőanyagétól (pl. kerozin) és a dízelolajétól, ezért szükséges a megújuló tüzelőanyag porlaszthatóságának külön vizsgálata.

A fentiek alapján a disszertációban célul tűztem ki a repceolaj különböző porlasztókkal kapott porlasztási képének, a szegény üzemben fellépő termoakusztikus lengésének, továbbá a belső égésű motorban történő alkalmazásának vizsgálatát.

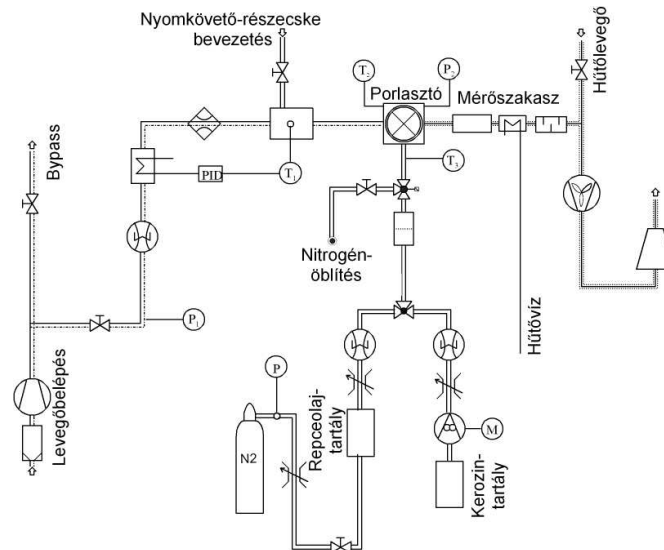
Munkám során egy külső keverésű segédközeges porlasztóval ellátott modell gázturbina-tüzelőtérben, a hagyományos (kerozin jet-A) és a megújuló (repceolaj) gázturbina-tüzelőanyag felhasználása során, szegény üzemben kialakuló termoakusztikus lengéseket hasonlítom össze. Külön figyelmet fordítok a különböző tüzelőanyagok felhasználása során kialakuló lengések fázisfelbontott vizsgálatára. Vizsgálni kívánom a cseppek sebességét, haladási irányát, átmérőjét.

A növényi olaj motorikus felhasználásának vizsgálata folyamán megvizsgálom a növényi olaj égési sebességének növelési lehetőségét. Ezért különböző, magasabb rendű alkoholokat elegyíték hozzá. Az így kapott tüzelőanyagok motorikus felhasználhatóságán kívül megvizsgálom a tárolás, és a szállíthatóság szempontjából fontos tulajdonságait is, mint például a lobbanáspontot, viszkozitást, sűrűséget, hidegszűrési határhőmérsékletet.

Dolgozatomban (amely 93 oldalon 5 fejezetben 64 ábrát, 129 tételes irodalomjegyzéket, továbbá 11 oldal függelék tartalmaz) bemutatom a célkitűzések elérése érdekében végzett kutatási munkát, a felhasznált kísérleti berendezéseket és az elméleti összefüggéseket.

IV. Vizsgálati módszerek

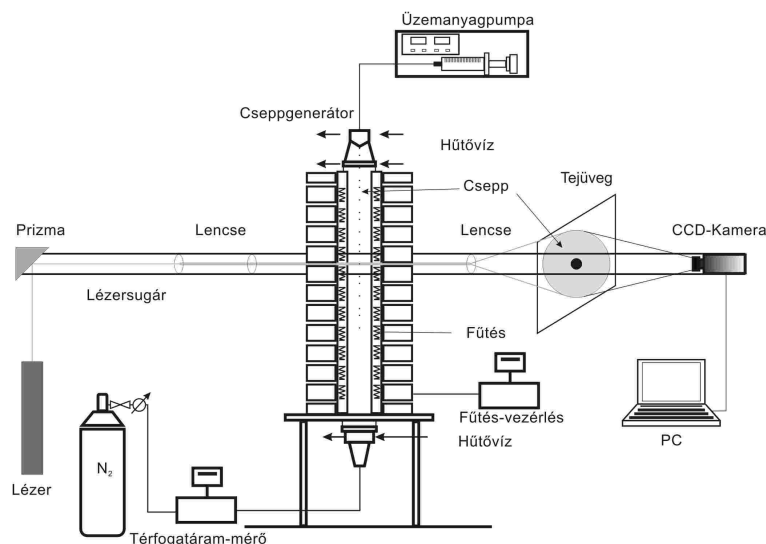
Az akusztikusan öngerjesztő lángok vizsgálatához felépítettem egy kísérleti gázturbina-tüzelőteret (1. ábra). A berendezés konstrukciójánál fogva kizárja a nem öngerjesztő akusztikus lengések kialakulását. A tüzelőtér felépítése lehetővé tette a porlasztmány nagy felületű (lézersík, PIV) és pontszerű (PDA) érintésmentes vizsgálatát. A felhasznált mérőeszközök az oszcilláló láng fázisfelbontott analizálására adtak lehetőséget (cseppméret, cseppsebesség).



1. ábra. Akusztikusan öngerjesztő lángok vizsgálatához felépített kísérleti gázturbina-tüzelőtér

A repceolaj és a repceolaj – magasabb rendű alkoholok elegyének belső égésű motorban történő vizsgálatát egy CFR cetánszámmérő egységen végeztem.

A párolgási tulajdonságok elemzéséhez az elterjedt TGA-n túl lézeres árnyékgráfiát alkalmaztam.



2. ábra. Lézeres árnyékgráfia felépítése

Az elegyek többi fizikai paraméterét (lobbanáspont, égéshő, sűrűség, viszkozitás, hidegszűrési határhőmérséklet, oxidációs stabilitás stb.) a vonatkozó szabvány előírásainak megfelelően végeztem.

V. Új tudományos eredmények

1. Nagy viszkozitású tüzelőanyagok esetében is ugyanolyan cseppméretű (SMD) porlasztás érhető el perdítőelemes nyomásporlasztóval, mint belső keverésű segédközegees porlasztóval, ezért célszerűbb az energetikailag kedvezőbb nyomásporlasztó használata. Perdítőelemes nyomásporlasztó esetében a 10 bar-on 60 °C-os hőmérséklet 50%-os megemelése annyit javít a folyadék porlaszthatóságán, mint a 60%-kal magasabb nyomás kisebb mértékű, csak 30%-os hőmérsékletemelése. Mindezt kísérletekkel igazoltam [1], [2].
2. Akusztikusan öngerjesztő lángok esetén, külső keverésű, ellentétes perdületű segédközegees porlasztó alkalmazásakor mind kerozin, mind a nagyobb viszkozitású és nehezebben párolgó repceolaj tüzelőanyag esetében, a cseppek axiális irányára az oszcilláció fázisszöge nincs hatással, axiális és tangenciális sebességre viszont igen. Az oszcilláció hatása az axiális sebességre a 100%-kal nagyobb felületi feszültségű és 130%-kal nagyobb viszkozitású repceolaj esetén (a maximális értékhez viszonyítva) -36%, míg kerozin esetében -50%. Az oszcilláció tangenciális sebességre gyakorolt hatása rendre -20% és -33% [3], [4], [5], [6], [7].
3. Kísérletekkel igazoltam, hogy oszcilláló égés esetén a repceolaj, illetve a kerozin tüzelőanyag hasonló CO és NO_x károsanyag képződési lefolyást eredményez, mind a légfelesleg, mind pedig a bevezetett hőteljesítmény függvényében [3], [4], [5], [6], [7].
4. Bebizonyítottam, hogy repceolajjal a vizsgált magasabb rendű alkoholok 20 V/V%-ig térfogati kontrakció nélkül elegyednek. Mint ismeretes, az egyszerű alkoholok a repceolajjal nem elegyednek, vízzel történő elegyítésükkor viszont jelentős a térfogati kontrakció (etanol – víz 50 V/V%-os elegyénél a 3,7%-ot is eléri, de általában 1-2% körüli) [9].
5. Előkamrás egyhengeres dízelmotorban célszerű a repceolajhoz butanolt, vagy propanolt elegyíteni a viszkozitás csökkentése és az égési folyamat javítása érdekében, 20 V/V%-ig. Motorikus felhasználás szempontjából a vizsgált alkoholok közül a butanol a propanolnál kedvezőbb tulajdonságú, a fűtőértéke miatt. Az alkoholoknak az elegyek cetánszámára, viszkozitására gyakorolt hatásuk megegyezik. A hidegszűrhetőségi határhőmérsékletet a 20 V/V% butanol is lecsökkenti a nyári előírásnak megfelelő szintre, az elegyített alkohol az oxidációs stabilitására nincs hatással. A butanol jobban csökkenti (azonos térfogat% esetén) az elegy lobbanáspontját, ezért fokozottan tűz- és robbanásveszélyes [8], [10], [11], [12].
6. Igazoltam azt a feltételezést, miszerint a motor égésterében az alkohol-repceolaj elegy égése két lépcsőben játszódik le: a magasabb cetánszámú repceolaj gyullad meg először, és ennek lángja gyújtja meg az elegyből kipárolgott, jó kompressziótűrűségű alkoholt. Kísérletekkel igazoltam, hogy a repceolaj-alkohol cseppből az alkohol párolgása már alacsony (30 °C alatti) hőmérsékleten elkezdődik, a kipárolgás részaránya a hőmérséklet növelésével nő. 180 °C fölött a csepp már nem tartalmaz

alkoholt, csak repceolajat, amely viszont ezen a hőmérsékleten még nem párolog [10], [12], [13].

7. Mérésekkel bizonyítottam, hogy az előkamrás dízelmotorban felhasznált repceolaj – magasabb rendű alkoholok elegyének a károsanyag kibocsátására az alkohol hatása - típusától függetlenül - azonos nagyságrendben van. Kimutattam, hogy 10 és 20 V/V% magasabb rendű alkohol repceolajhoz történő elegyítése esetén a károsanyag-kibocsátás változása az alkoholtartalommal nem lineáris. A változás függvényét a mérési pontok grafikonjával megadtam [14], [15].

VI. A tézispontokhoz kapcsolódó tudományos közlemények

- [1] LAZA, MEIER, PENNINGER: *Untersuchungen zur Einsetzbarkeit von rohem Rapsöl für die Verbrennung in Gasturbinen*. 14. Frühlingsakademie. München, Németország, pp. 37-43. (2002.)
- [2] LAZA, MEIER, KOCH: *Untersuchungen zum Einsatz von Rapsöl in Gasturbinen*. Internationale Conference on Heat Engines and Environmental Protection, Balatonfüred, pp. 99-106. (2003.)
- [3] LAZA, KOCH, PENNINGER: *A kerozin és repceolaj gázturbinaszpecifikus vizsgálata II*. Magyar Energetika, XIII:(5) pp. 3-8. (2005)
- [4] LAZA, KOCH, PENNINGER: *Examination of kerosine and rape oil with specification of gas turbine*. Gépészet 2004, pp. 622-626. (2004.)
- [5] LAZA, KOCH, PENNINGER: *Kerozin és repceolaj gázturbinaszpecifikus vizsgálata*. Magyar Energetika, XII:(5) pp. 28-33. (2004.)
- [6] LAZA, KOCH, PENNINGER: *Analysis of oscillation of gas turbine combustion in case of rape seed oil and kerosine jet-a fuel*. microCAD2005, Miskolc, pp. 49-54. (2005.)
- [7] LAZA, KOCH, PENNINGER: *Analysis der Oszillation eines rapsölbetriebenen Kleingasturbinenbrenner*. 22. Deutscher Flammentag, Braunschweig, VDI-BERICHT 1888: pp. 673-679. (2005.)
- [8] LAZA, PENNINGER: *Repceolaj és magasabb rendű alkoholok keverékének viszkozitása*. Energiagazdálkodás, Budapest, 46:(5) pp. 3-5. (2005.)
- [9] LAZA, TÓVÁRI, PENNINGER: *Investigation of Density and Heat Value of Rape Seed Oil and Rape Seed Oil + Alcohol Mixtures*. Proc. of International Conference of Energetics and Electrical Engineering, Kolozsvár, pp. 65-69. (2006.)
- [10] LAZA, KERÉKES, PENNINGER: *A repceolaj, valamint a repceolaj és magasabb rendű alkohol-keverékek tűzveszélyességének meghatározása*. Szent István Egyetem Tudományos Közlemények, Budapest, 3:(1) pp. 40-44. (2006.)
- [11] LAZA, KECSKÉS, BEREZKY, PENNINGER: *Examination of burning process of regenerative liquid fuel and alcohol mixtures in diesel engine*. Periodica Politechnica ser. Mech. Eng., Budapest, 50:(1) pp. 11-29. (2006.)
- [12] LAZA, BEREZKY: *Determination of the Evaporation Constant in Case of Pure and with Alcohol Mixed Rape Seed Oil*. Proc. of 6th International Conference in Mechanical Engineering, Brasov, pp. 232-237. (2008.)

- [13] **LAZA**: *Pilot Test and Theoretical Analysis of Evaporation of One and More Component Fuel.s* Periodica Polytechnica-Mechanical Engineering 52:(2) pp. 67-71. ISSN: 0324-6051 (2009.)
- [14] **LAZA**, **BERECZKY**: *Influence of Higher Alcohols on the Combustion Pressure of Diesel Engine Operated with Rape Seed Oil.* Acta Mechanica Slovaca, 13:(3) pp. 54-61. (2009.)
- [15] **LAZA**, **BERECZKY**: *Magasabb rendű alkohol hatása dízelmotorban lejátszódó égési folyamatokra repceolaj tüzelőanyag esetén.* Energiagazdálkodás, 50:(6) pp. 19-24. (2009.)

VII. Az értekezés témaköréhez kapcsolódó publikációk

1. **T. Laza**, R. Koch, A. Penninger: Analysis of Burning Behavior of Liquid Fuel Based on Biomass and Kerosine Jet A. 7. International Conference on Heat Engines and Environmental Protection, pp. 171-177., ISBN 963 420 840 1, Balatonfüred (2005.)
2. **Laza T.**, Penninger A.: Repceolaj, valamint repceolaj és metanol keverékének párolgási tulajdonságai és viszkozitása. Energiagazdálkodás 46. évf. II. szám pp. 17-21. ISSN 0021-0757, Budapest, (2005.)
3. Losonczi B., Hermanutz P., **Laza T.**, Bereczky Á., Kecskés R., Meggyes A.: Investigation of Combustion Process of Pure and Refuse Vegetable Oil in Diesel Engine. Gépészet 2006, ISBN 963 593 465 3, Budapest (2006.)
4. **Laza T.**, Sabino J., Carvalho I., Bereczky Á., Penninger A.: Pilot Test and Theoretical Analysis of One and More Component Fuel. Gépészet 2006, ISBN 963 593 465 3, Budapest (2006.)
5. **Laza T.**, Tóvári P., Penninger A.: Investigation of Density and Heat Value of Rape Seed Oil and Rape Seed Oil + Alcohol Mixtures. International Conference of Energetics and Electrical Engineering, pp. 65-69. ISSN 1842-4546 Kolozsvár (2006.)
6. **Laza T.**, Kerekes Zs., Penninger A.: Repceolaj valamint repceolaj és magasabb rendű alkoholok égéstörvényének elemzése az elegyek lobbanáspontja alapján. Energiagazdálkodás, 47. évf. V. sz. pp. 6-9. ISSN 0021-0757 (2006.)
7. **Laza T.**, Stauch R., Penninger A.: Theoretical and practical analysis of the evaporation of vegetable oils and fatty acids. 8. International Conference on Heat Engines and Environmental Protection, pp. 75-79., Balatonfüred, ISBN 978 963 420 907 2 (2007.)
8. **Laza T.**, Penninger A.: Repceolaj és magasabb rendű alkohol elegyek párolgási folyamatának elemzése. 3. évf. III. sz. pp. 16-18. Bioenergia ISSN 1788-487X (2008.)
9. **Laza T.**, Bereczky Á.: Magasabb rendű alkoholok repceolaj belső égésű motorban való felhasználhatóságára gyakorolt hatása. Tüki, 42. Ipari Szeminárium, Dunaújváros, ISBN 978-963-06-6543-8 (2008.)
10. **Laza T.**, Penninger A.: Analysis of spray combustion of liquid biomass comparing with kerosene. 4th European Combustion Meeting, Bécs, ISBN 978-3-902655-06-6 (2009.)

11. **T. Laza**, Á. Bereczky: Influence of higher alcohols on the emissions of diesel engine operated with rape seed oil. 4th European Combustion Meeting, Bécs, ISBN 978-3-902655-06-6 (2009.)
12. **Laza T.**, Bereczky Á.: Influence of higher alcohols on the Combustion Pressure of Diesel Engine Operated with Rape Seed Oil. 9th International Conference on Heat Engine and Environmental Protection, Balatonfüred. pp. 45-51. ISBN 978-963-420-979-9 (2009.)
13. Bereczky Á., **Laza T.**: Ersetzen des Dieselöls durch Rapsöl mit beigemischten Alkoholen höheren Grades. 24. Deutscher Flammentag: Verbrennung und Feuerung. Bochum, Németország, VDI Verlag, pp. 511-514. ISBN 978-3-18-092056-6 (2009.)
14. **T. Laza**, Á. Bereczky, A. Penninger: Energetische und Motorische Verwendung der Erneuerbaren Energiequellen. 9. Magdeburger Maschinenbau-Tage, pp. 57-64. Magdeburg, Németország. ISBN 978-3-940961-36-5 (2009.)
15. Penninger A., Meggyes A., **Laza T.**: Gázturbinatűztér oszcillációjának vizsgálata megújuló tüzelőanyag esetén. X. ENELKO, Románia, Marosvásárhely, pp. 130-134. ISSN 1842-4546 (2009.)
16. Kovács V., **Laza T.**, Török Á.: Hazai, közlekedési célú, növényi alapú, bio-tüzelőanyag felhasználás analitikai vizsgálata, Közlekedéstudományi Szemle V. pp. 36-39. ISSN: 0023-4362 (2009.)
17. Bereczky Á., **Laza T.**: Magasabb rendű alkohol hatása dízelmotorban lejátszódó égési folyamatokra repceolaj tüzelőanyag esetén. Energiagazdálkodás, pp. 19-24. ISSN: 0021-0757 (2009.)
18. **Laza**: Pilot Test and Theoretical Analysis of Evaporation of One and More Component Fuels Periodica Polytechnica-Mechanical Engineering 52:(2) pp. 67-71. ISSN: 0324-6051 (2009).
19. Kovács, **Laza**, Török: Növényi alapú biotüzelőanyag-felhasználás közlekedési célú nemzetgazdasági optimalása. Magyar Energetika, XVI, (6) pp. 26-29. ISSN: 1216-8599 (2009.)

VIII. Hivatkozások

1. Zöldy Máté: Megújuló tüzelőanyagok adagolásának hatása a gázolaj viszkozitására, Autótechnika, 2005/8 HU ISSN 1588 9858. Hivatkozott cikk: **Laza**, Penninger: Repceolaj, valamint repceolaj és metanol keverékének párolgási tulajdonságai és viszkozitása. Energiagazdálkodás 46. évf. II. szám pp. 17-21. ISSN 0021-0757, Budapest (2005.)
2. Zöldy Máté, Kecskés Róbert: Megújuló motorhajtóanyagok keverésének hatása az égésfolyamatra és az emisszióra, Gép 2006/5, ISSN 0016-8572. Hivatkozott cikk: Á. Bereczky, A. Meggyes, **T. Laza**, R. Kecskés: Examination of Burning Processes of Regenerative Liquid Fuel and Alcohol Mixtures in Diesel Engine. 7. International Conference on Heat Engines and Environmental Protection, pp. 166-171., ISBN 963 420 840 1, Balatonfüred (2005.)
3. Zöldy, M.: Bioethanol-biodiesel-diesel oil blends effect on cetane number and viscosity, 6th International Colloquim Fuels 2007, Technische Akademie Esslingen, 2007 01.10-11,

- ISBN 3-924813-67-1. Hivatkozott cikk: Á. Bereczky, A. Meggyes, **T. Laza**, R. Kecskés: Examination of Burning Processes of Regenerative Liquid Fuel and Alcohol Mixtures in Diesel Engine. 7. International Conference on Heat Engines and Environmental Protection, pp. 166-171., ISBN 963 420 840 1, Balatonfüred (2005.)
4. Reményi Károly: Megújuló Energiák. Energiaforrások és hasznosításuk. Akadémiai kiadó (2007.) ISBN 978 963 05 8458 6. Hivatkozott cikk: **Laza**, Penninger: Repceolaj, valamint repceolaj és metanol keverékének párolgási tulajdonságai és viszkozitása. Energiagazdálkodás 46. évf. II. szám pp. 17-21. ISSN 0021-0757, Budapest, (2005.)
 5. Dr. Zöldy Máté: Significance of application technique of fuel containing biocomponents, MOL SP SD & HSE special issue, 2009/3 ISSN 2060-338X pp 133-139. Hivatkozott cikk: Bereczky Á.; Meggyes, A.; **Laza, T.**; Kecskés, R.: Examination of burning process of regenerativ liquid fuel and alcohol mixtures in diesel engine. Heat Engines and Environmental Protection, ISBN 963 420 840 1, Balatonfüred (2005.)
 6. Martina Slezáková, Daniel Bratský: Diesel Fuels from Renewable Sources. 44th International Petroleum Conference, Bratislava, Slovak Republic. Hivatkozott cikk: **Laza, T.**, Kecskés, R., Bereczky, Á., Penninger, A.: Examination of burning processes of regenerative liquid fuel and alcohol mixtures in diesel engine. Periodical Polytechnica Ser. Mech. Eng., 50 (1), 11-29. (2006.)
 7. Viktória Barbara Kovács, Attila Meggyes: Energetic Utilisation of Pyrolysis Gases in IC Engine. Acta Polytechnica Hungarica Vol. 6, No. 4, 2009. Hivatkozott cikk: **Laza, T.**, Bereczky Á.: Determination of the Evaporation Constant in Case of Pure and with Alcohol Mixed Rape Seed Oil., in Proceedings of 16th International Conference in Mechanical Engineering, Brasov, May 1-4, 2008, pp. 232-237
 8. S. Szwaja, J. D. Naber: Combustion of n-butanol in a spark-ignition IC engine. Fuel xxx (2009) xxxxxx. Hivatkozott cikk: **Laza T.**, Kecskés R., Bereczky Á., Penninger A.: Examination of burning processes of regenerative liquid fuel and alcohol mixtures in diesel engine. Periodica Polytech Mech Eng; 50 (1):1129. (2006.)
 9. Martina Slezáková, Daniel Bratsky: Aplikácia Repkového Oleaj Ako Paliva Pre Neupravené Dieselové Motory. Aprochem 2009 Odpadové fórum 2009. 20.22. 4. 2009 Milovy pp. 1381-1388. Hivatkozott cikk: **Laza T.**, Kecskés R., Bereczky Á., Penninger A.: Examination of burning processes of regenerative liquid fuel and alcohol mixtures in diesel engine. Periodica Polytech Mech Eng; 50 (1):1129. (2006.)
 10. Penninger Antal: The Development of the Environmental Industry by the Utilisation of the Energetics Potential. In: István Fodor: The Role of Environmental Industry in The Regional Reindustrialisation in Hungary. Debrecen, MTA, 2009. pp. 127-144 ISBN: 978-963-9899-15-5. Hivatkozott cikk: **T. Laza**, Á. Bereczky: Influence of higher alcohols on the emissions of diesel engine operated with rape seed oil. 4th European Combustion Meeting, Bécs, ISBN 978-3-902655-06-6 (2009.)
 11. Zöldy, Hollo, Thernesz: Butanol as diesel extender option for internal combustion engines. SAE 2010 World Congress. Hivatkozott cikk: **Laza T.**, Kecskés R., Bereczky Á., Penninger A.: Examination of burning process of regenerative liquid fuel and alcohol

mixtures in diesel engine. *Periodica Politechnica ser. Mech. Eng.* Vol. 50, No. 1, pp. 11-29, HU ISSN 0324-6051 (2006.)

12. Zöldy, Hollo, Thernesz: Butanol as diesel extender option for internal combustion engines. SAE 2010 World Congress. Hivatkozott cikk: **T. Laza**, Á. Bereczky: Influence of higher alcohols on the emissions of diesel engine operated with rape seed oil. 4th European Combustion Meeting, Béc, ISBN 978-3-902655-06-6 (2009.)



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM

GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR DOKTORI TANÁCSA

DOKTORI TÉZISFÜZET

Írta:

Laza Tamás

okleveles gépészmérnök

FOLYÉKONY BIO-TÜZELŐANYAGOK
FELHASZNÁLÁSA HŐERŐGÉPEKBEN

című témakörből, amellyel a PhD fokozat elnyerésére pályázik

Budapest, 2010

I. A kutatások előzménye

A világ villamosenergia-igénye, és ezzel együtt az üvegházhatást okozó gázok kibocsátása is egyre nő. A növekedés üteme megújuló energiaforrások használatával csökkenthető.

Magyarországon az egyik legjelentősebb megújuló energia a biomassza. Az ebből nyerhető két legfontosabb folyékony tüzelőanyag az alkohol és a növényi olaj, ill. annak észterezett változata. Az észterezett növényi olaj felhasználása már több országban bevezetett gyakorlat, azonban az előállítás költséges. Ezen megfontolások miatt munkámban a hidegen sajtolt repceolajjal foglalkozom.

Lehetséges alkalmazási terület a repceolaj számára mezőgazdasági területeken traktorok meghajtásán kívül a helyben történő hasznosítás, az ún. decentralizált energiatermelés. Ennek egyik lehetséges megvalósítása a fixen telepített, generátorral ellátott mikrogázturbina vagy dízelmotor.

Új tüzelőanyagok felhasználásakor két út kínálkozik: vagy a tüzelőanyagot módosítjuk úgy, hogy a régi berendezésben is felhasználható legyen, vagy a berendezést tesszük alkalmassá az új tüzelőanyag felhasználására.

Modern gázturbinák NO_x -kibocsátásának csökkenését alapvetően megnövelt légfelesleg-tényezőjű üzemmel érik el. A módszernek azonban vannak korlátai, mert a nagy légfeleslegű lángok égési instabilitásra hajlamosak, ami jelenthet termoakusztikus lengést (akusztikusan öngerjesztő lángok kialakulását), instabil gyújtást, vagy helyi lángkialvást is. Az aktuális gázturbina-kutatás egyik központi feladata a termoakusztikus lengések vizsgálata.

Nyers repceolaj viszkozitása, párolgási tulajdonsága nagymértékben eltér a dízelolajétól, felhasználása során a motor égésterében a repceolaj lerakódásokat okoz, ezért szükséges a tüzelőanyag módosítása. A módosított tüzelőanyag repce-metilészter (RME). Az RME előállítása azonban költséges, gyártása során keletkező melléktermékek pedig külön problémák forrása.

II. Irodalom kritikai áttekintése

Akusztikusan öngerjesztő lángok

Irodalmi adatok alapján nyilvánvaló, hogy gázturbinában repceolajat fel lehet használni (pl. [Ardy, 1995], [Juste, 2000], [Gökalp, 2004]). Sajnos a szerzők nem vizsgálták, hogy gázturbina-porlasztóval megvalósított repceolaj tüzelés milyen porlasztási minőséget kíván és az hogyan valósítható meg. Juste tapasztalatai szerint bio-tüzelőanyagok felhasználásakor gyakrabban alakulnak ki akusztikusan öngerjesztő lángok, azonban az ilyenkor kialakuló porlasztási képet nem vizsgálta meg részletesen.

Herman perdítőelemes nyomásporlasztóval juttatta be a tüzelőanyagot a modell-tüzelőtérbe [Herman, 1995]. Mérései során Lézer-Doppler Anemométerrel (LDA-val) mérte a levegő és a folyadék áramlását. Megállapította, hogy tüztéri oszcilláció esetén a tüzelőanyag egyenetlenül jut a tüzelőtérbe, így a hőfelszabadulás is egyenetlenné válik, valamint a lángfront helye is periodikusan változik. Javaslatára szerint az egyik lehetséges megoldás az oszcilláció elkerülésére más reakciókinetikai tulajdonságokkal rendelkező tüzelőanyag alkalmazása.

Müller külső keverésű segédkezes porlasztó filmenterítőjén kialakuló porlasztást vizsgálta meg, a létrejövő lengést a primer és szekunder levegő szinusz-szerű gerjesztésével szimulálta [Müller, 2005]. A viszkozitás felezésével az átlagos Sauter középátmérő csak mintegy 6%-kal változott, azonban a felületi feszültség háromszorozásával 51%-kal nőtt. A pulzáció

amplitúdójának felezésekor, majd negyedeléskor nem változott a cseppátmérő. Munkája alapján várhatóan nagyobb cseppeket kapunk repceolajnál.

Belső égésű motorok

Belső égésű motorokban sokan és sokféleképpen használtak növényi olajat (nyersen, észterezetten, alkohollal, benzinnel keverve, közvetlen befecskendezésű, előkamrás motorban, állandó/változó terhelésen és fordulatszámokon stb.). A motor üzemére és a mérési eredményekre a felhasznált növényi olaj minősége (évjárat stb.) is hatással van. Éppen ezért az irodalomban található eredményeket nehéz egységesíteni, mert a vizsgálatok nem azonos körülmények között készültek.

A repceolaj tulajdonságait különböző módon próbálták a dízelolajéhoz hasonlóná tenni. Zöldy munkájában a biodízel, a dízelolaj és az etanol hármaskverékének a viszkozitását és cetánszámát vizsgálta meg [Zöldy, 2007].

Plassmann mérései alapján a metanol benzinnel és vízzel jól elegyedik, dízelolajjal rosszul, növényi olajjal még rosszabbul [Plassmann, 1974].

Karabektas izobutanolt elegyített dízelolajhoz (5, 10, 15 és 20 V/V%-ban), ennek hatását vizsgálta a teljesítményre és az emisszióra, egyhengeres, közvetlen befecskendezésű dízelmotorban [Karabektas, 2009]. Az NO_x és a CO emissziók csökkenését, a CH emissziók növekedését tapasztalta. Véggövektetése szerint az izobutanol jól, szétválás nélkül elegyedik a dízelolajjal, felhasználásához a motoron nem szükséges átalakításokat végezni. Munkája során nem jutott el addig, hogy kísérleteit repceolajjal elegyített alkohollal is elvégezze.

Spessert munkatársaival egyhengeres dízelmotorokat vizsgált meg repce-, napraforgó-, dízelolaj- és RME-üzemben [Spessert, 2007]. A vizsgálat folyamán mérték a teljesítményt, a nyomatékot, az emissziót, a befecskendezőrendszerben felépülő nyomást, a szag- és zajkibocsátást.

Kumar munkatársaival méréseik során egyhengeres motorban, állandó fordulatszámokon vizsgálta meg a károsanyag-emissziókat növényi olajjal (ricinus), növényi olaj + metanol elegyével, dízelolajjal, valamint növényolajszterrel [Kumar, 2003]. Méréseik során az alkohol csökkentette a füstölést. Az NO_x-kibocsátás alacsonyabb volt növényi olajjal, mint dízelolajjal (ez az alacsonyabb égési hőmérsékletnek tudható be). Növényi olaj és észterei keverékének égése hosszabb diffúziós szakaszt mutatott fel, mint a dízelolaj. Méréseik alapján a gyulladási késedelem a növényi olajjal nagyobb, mint dízelolajjal, a csúcsnyomás, valamint a nyomásnövekedés a növényi olajjal végzett méréseknél volt a legkisebb.

Irodalmi hivatkozások

- [Herman, 1995] HERMAN, ZANGL, GLEIS: *Untersuchung der Anregungsmechanismen selbsterregter Verbrennungsschwingungen an einem Verbrennungssystem mit Flüssigkraftstoff*. Kutatási jelentés, Nr. 1193, VDI, Düsseldorf, 1995.
- [Müller, 2005] MÜLLER, HEHLE, KOCH: *Zerstäubungsverhalten von Airblastdüsen bei oszillierenden Strömungen*. VDI-Berichte Nr. 1888. pp. 249-257, 2005.

- [Ardy, 1995] ARDY, BARBUCCI, BENELLI: *Development of Gas Turbine Combustor Fed with Bio-Fuel Oil*. Proc. Second Biomass Conference of the Americas, pp. 429-438, 1995.
- [Juste, 2000] JUSTE, MONFORT: *Preliminary test on combustion of wood derived fast pyrolysis oils in a gas turbine combustor*. Biomass and Bioenergy, 2000.
- [Gökalp, 2004] GÖKALP, LEBAS: *Alternative fuels for industrial gas turbines (AFTUR)*. Applied Thermal Engineering, vol. 19., pp. 119-128, 2004.
- [Kumar, 2003] KUMAR, RAMESH, NAGALINGAM: *An experimental comparison of methods to use methanol and Jatropha oil in a compression ignition engine*. Biomass and Bioenergy, vol. 25., pp. 309 - 318, 2003.
- [Spessert, 2007] SPESSERT, SCHLEICHER: *Einfluss von Biokraftstoffen auf die Abgas- und Geräuschemission kleiner Industriedieselmotoren*. MTZ, vol. 68/3., pp. 212-222, 2007.
- [Plassmann, 1974] PLASSMANN, HASSEL: *Neuen Kraftstoffen auf der Spur*. Bundesministerium für Forschung und Technologie, Bonn, 1974.
- [Karabektas, 2009] KARABEKTAS, HOSUZ: *Performance and emission characteristics of a diesel engine using isobutanol–diesel fuel blends*. Renewable Energy, vol. 34/6, 2009.
- [Zöldy 2007] ZÖLDY: *Bioethanol-biodiesel-diesel oil blends effect on cetane number and viscosity*. 6th International ColloquimFuels, Technische Akademie Esslingen, Németország, 2007.

III. Célkitűzések

Mind a gázturbinás, mind a dízelmotoros felhasználás alapja a felhasznált folyékony tüzelőanyag megfelelő minőségű porlasztása. Mivel a repceolaj sűrűsége és felületi feszültsége eltér a hagyományos gázturbina- tüzelőanyagétól (pl. kerozin) és a dízelolajétól, ezért szükséges a megújuló tüzelőanyag porlaszthatóságának külön vizsgálata.

A fentiek alapján a disszertációban célul tűztem ki a repceolaj különböző porlasztókkal kapott porlasztási képének, a szegény üzemben fellépő termoakusztikus lengésének, továbbá a belső égésű motorban történő alkalmazásának vizsgálatát.

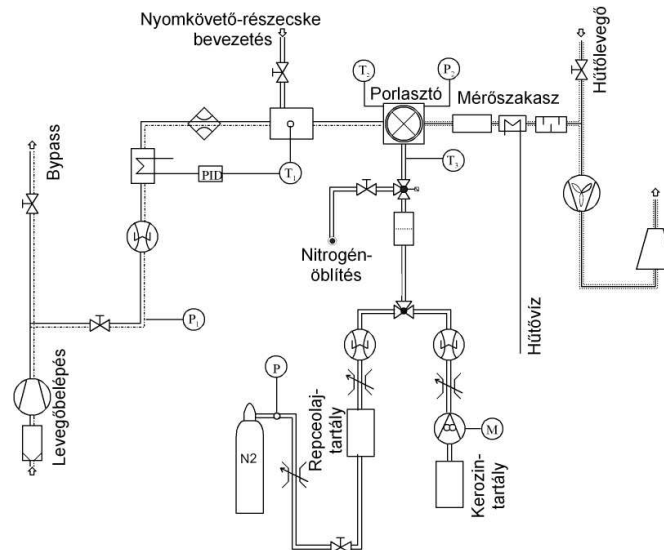
Munkám során egy külső keverésű segédközeges porlasztóval ellátott modell gázturbina-tüzelőtérben, a hagyományos (kerozin jet-A) és a megújuló (repceolaj) gázturbina-tüzelőanyag felhasználása során, szegény üzemben kialakuló termoakusztikus lengéseket hasonlítom össze. Külön figyelmet fordítok a különböző tüzelőanyagok felhasználása során kialakuló lengések fázisfelbontott vizsgálatára. Vizsgálni kívánom a cseppek sebességét, haladási irányát, átmérőjét.

A növényi olaj motorikus felhasználásának vizsgálata folyamán megvizsgálom a növényi olaj égési sebességének növelési lehetőségét. Ezért különböző, magasabb rendű alkoholokat elegyíték hozzá. Az így kapott tüzelőanyagok motorikus felhasználhatóságán kívül megvizsgálom a tárolás, és a szállíthatóság szempontjából fontos tulajdonságait is, mint például a lobbanáspontot, viszkozitást, sűrűséget, hidegszűrési határhőmérsékletet.

Dolgozatomban (amely 93 oldalon 5 fejezetben 64 ábrát, 129 tételes irodalomjegyzéket, továbbá 11 oldal függelék tartalmaz) bemutatom a célkitűzések elérése érdekében végzett kutatási munkát, a felhasznált kísérleti berendezéseket és az elméleti összefüggéseket.

IV. Vizsgálati módszerek

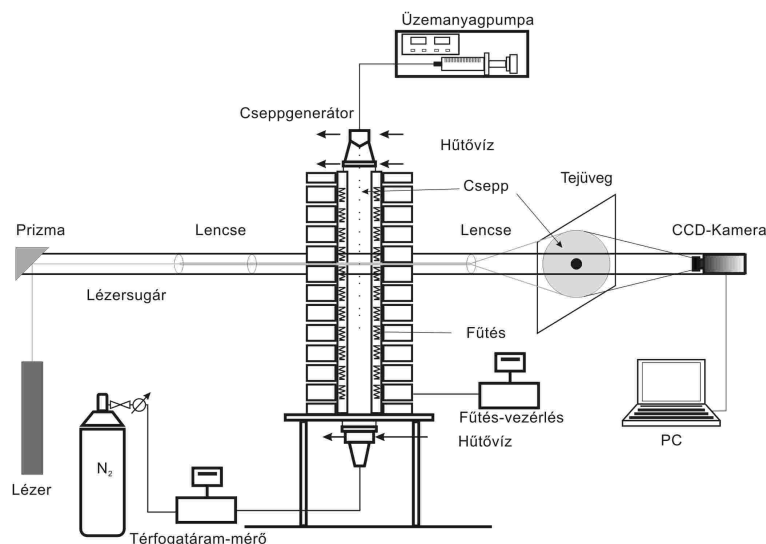
Az akusztikusan öngerjesztő lángok vizsgálatához felépítettem egy kísérleti gázturbina-tüzelőteret (1. ábra). A berendezés konstrukciójánál fogva kizárja a nem öngerjesztő akusztikus lengések kialakulását. A tüzelőtér felépítése lehetővé tette a porlasztmány nagy felületű (lézersík, PIV) és pontszerű (PDA) érintésmentes vizsgálatát. A felhasznált mérőeszközök az oszcilláló láng fázisfelbontott analizálására adtak lehetőséget (cseppméret, cseppsebesség).



1. ábra. Akusztikusan öngerjesztő lángok vizsgálatához felépített kísérleti gázturbina-tüzelőtér

A repceolaj és a repceolaj – magasabb rendű alkoholok elegyének belső égésű motorban történő vizsgálatát egy CFR cetánszámmérő egységen végeztem.

A párolgási tulajdonságok elemzéséhez az elterjedt TGA-n túl lézeres árnyékgráfiát alkalmaztam.



2. ábra. Lézeres árnyékgráfia felépítése

Az elegyek többi fizikai paraméterét (lobbanáspont, égéshő, sűrűség, viszkozitás, hidegszűrési határhőmérséklet, oxidációs stabilitás stb.) a vonatkozó szabvány előírásainak megfelelően végeztem.

V. Új tudományos eredmények

1. Nagy viszkozitású tüzelőanyagok esetében is ugyanolyan cseppméretű (SMD) porlasztás érhető el perdítőelemes nyomásporlasztóval, mint belső keverésű segédközegees porlasztóval, ezért célszerűbb az energetikailag kedvezőbb nyomásporlasztó használata. Perdítőelemes nyomásporlasztó esetében a 10 bar-on 60 °C-os hőmérséklet 50%-os megemelése annyit javít a folyadék porlaszthatóságán, mint a 60%-kal magasabb nyomás kisebb mértékű, csak 30%-os hőmérsékletemelése. Mindezt kísérletekkel igazoltam [1], [2].
2. Akusztikusan öngerjesztő lángok esetén, külső keverésű, ellentétes perdületű segédközegees porlasztó alkalmazásakor mind kerozin, mind a nagyobb viszkozitású és nehezebben párolgó repceolaj tüzelőanyag esetében, a cseppek axiális irányára az oszcilláció fázisszöge nincs hatással, axiális és tangenciális sebességre viszont igen. Az oszcilláció hatása az axiális sebességre a 100%-kal nagyobb felületi feszültségű és 130%-kal nagyobb viszkozitású repceolaj esetén (a maximális értékhez viszonyítva) -36%, míg kerozin esetében -50%. Az oszcilláció tangenciális sebességre gyakorolt hatása rendre -20% és -33% [3], [4], [5], [6], [7].
3. Kísérletekkel igazoltam, hogy oszcilláló égés esetén a repceolaj, illetve a kerozin tüzelőanyag hasonló CO és NO_x károsanyag képződési lefolyást eredményez, mind a légfelesleg, mind pedig a bevezetett hőteljesítmény függvényében [3], [4], [5], [6], [7].
4. Bebizonyítottam, hogy repceolajjal a vizsgált magasabb rendű alkoholok 20 V/V%-ig térfogati kontrakció nélkül elegyednek. Mint ismeretes, az egyszerű alkoholok a repceolajjal nem elegyednek, vízzel történő elegyítésükkor viszont jelentős a térfogati kontrakció (etanol – víz 50 V/V%-os elegyénél a 3,7%-ot is eléri, de általában 1-2% körüli) [9].
5. Előkamrás egyhengeres dízelmotorban célszerű a repceolajhoz butanolt, vagy propanolt elegyíteni a viszkozitás csökkentése és az égési folyamat javítása érdekében, 20 V/V%-ig. Motorikus felhasználás szempontjából a vizsgált alkoholok közül a butanol a propanolnál kedvezőbb tulajdonságú, a fűtőértéke miatt. Az alkoholoknak az elegyek cetánszámára, viszkozitására gyakorolt hatásuk megegyezik. A hidegszűrhetőségi határhőmérsékletet a 20 V/V% butanol is lecsökkenti a nyári előírásnak megfelelő szintre, az elegyített alkohol az oxidációs stabilitására nincs hatással. A butanol jobban csökkenti (azonos térfogat% esetén) az elegy lobbanáspontját, ezért fokozottan tűz- és robbanásveszélyes [8], [10], [11], [12].
6. Igazoltam azt a feltételezést, miszerint a motor égésterében az alkohol-repceolaj elegy égése két lépcsőben játszódik le: a magasabb cetánszámú repceolaj gyullad meg először, és ennek lángja gyújtja meg az elegyből kipárolgott, jó kompressziótűrűségű alkoholt. Kísérletekkel igazoltam, hogy a repceolaj-alkohol cseppből az alkohol párolgása már alacsony (30 °C alatti) hőmérsékleten elkezdődik, a kipárolgás részaránya a hőmérséklet növelésével nő. 180 °C fölött a csepp már nem tartalmaz

alkoholt, csak repceolajat, amely viszont ezen a hőmérsékleten még nem párolog [10], [12], [13].

7. Mérésekkel bizonyítottam, hogy az előkamrás dízelmotorban felhasznált repceolaj – magasabb rendű alkoholok elegyének a károsanyag kibocsátására az alkohol hatása - típusától függetlenül - azonos nagyságrendben van. Kimutattam, hogy 10 és 20 V/V% magasabb rendű alkohol repceolajhoz történő elegyítése esetén a károsanyag-kibocsátás változása az alkoholtartalommal nem lineáris. A változás függvényét a mérési pontok grafikonjával megadtam [14], [15].

VI. A tézispontokhoz kapcsolódó tudományos közlemények

- [1] LAZA, MEIER, PENNINGER: *Untersuchungen zur Einsetzbarkeit von rohem Rapsöl für die Verbrennung in Gasturbinen*. 14. Frühlingsakademie. München, Németország, pp. 37-43. (2002.)
- [2] LAZA, MEIER, KOCH: *Untersuchungen zum Einsatz von Rapsöl in Gasturbinen*. Internationale Conference on Heat Engines and Environmental Protection, Balatonfüred, pp. 99-106. (2003.)
- [3] LAZA, KOCH, PENNINGER: *A kerozin és repceolaj gázturbinaszpecifikus vizsgálata II*. Magyar Energetika, XIII:(5) pp. 3-8. (2005)
- [4] LAZA, KOCH, PENNINGER: *Examination of kerosine and rape oil with specification of gas turbine*. Gépészet 2004, pp. 622-626. (2004.)
- [5] LAZA, KOCH, PENNINGER: *Kerozin és repceolaj gázturbinaszpecifikus vizsgálata*. Magyar Energetika, XII:(5) pp. 28-33. (2004.)
- [6] LAZA, KOCH, PENNINGER: *Analysis of oscillation of gas turbine combustion in case of rape seed oil and kerosine jet-a fuel*. microCAD2005, Miskolc, pp. 49-54. (2005.)
- [7] LAZA, KOCH, PENNINGER: *Analysis der Oszillation eines rapsölbetriebenen Kleingasturbinenbrenner*. 22. Deutscher Flammentag, Braunschweig, VDI-BERICHT 1888: pp. 673-679. (2005.)
- [8] LAZA, PENNINGER: *Repceolaj és magasabb rendű alkoholok keverékének viszkozitása*. Energiagazdálkodás, Budapest, 46:(5) pp. 3-5. (2005.)
- [9] LAZA, TÓVÁRI, PENNINGER: *Investigation of Density and Heat Value of Rape Seed Oil and Rape Seed Oil + Alcohol Mixtures*. Proc. of International Conference of Energetics and Electrical Engineering, Kolozsvár, pp. 65-69. (2006.)
- [10] LAZA, KERÉKES, PENNINGER: *A repceolaj, valamint a repceolaj és magasabb rendű alkohol-keverékek tűzveszélyességének meghatározása*. Szent István Egyetem Tudományos Közlemények, Budapest, 3:(1) pp. 40-44. (2006.)
- [11] LAZA, KECSKÉS, BERECZKY, PENNINGER: *Examination of burning process of regenerative liquid fuel and alcohol mixtures in diesel engine*. Periodica Politechnica ser. Mech. Eng., Budapest, 50:(1) pp. 11-29. (2006.)
- [12] LAZA, BERECZKY: *Determination of the Evaporation Constant in Case of Pure and with Alcohol Mixed Rape Seed Oil*. Proc. of 6th International Conference in Mechanical Engineering, Brasov, pp. 232-237. (2008.)

- [13] **LAZA**: *Pilot Test and Theoretical Analysis of Evaporation of One and More Component Fuel.s* Periodica Polytechnica-Mechanical Engineering 52:(2) pp. 67-71. ISSN: 0324-6051 (2009.)
- [14] **LAZA**, **BERECZKY**: *Influence of Higher Alcohols on the Combustion Pressure of Diesel Engine Operated with Rape Seed Oil.* Acta Mechanica Slovaca, 13:(3) pp. 54-61. (2009.)
- [15] **LAZA**, **BERECZKY**: *Magasabb rendű alkohol hatása dízelmotorban lejátszódó égési folyamatokra repceolaj tüzelőanyag esetén.* Energiagazdálkodás, 50:(6) pp. 19-24. (2009.)

VII. Az értekezés témaköréhez kapcsolódó publikációk

1. **T. Laza**, R. Koch, A. Penninger: Analysis of Burning Behavior of Liquid Fuel Based on Biomass and Kerosine Jet A. 7. International Conference on Heat Engines and Environmental Protection, pp. 171-177., ISBN 963 420 840 1, Balatonfüred (2005.)
2. **Laza T.**, Penninger A.: Repceolaj, valamint repceolaj és metanol keverékének párolgási tulajdonságai és viszkozitása. Energiagazdálkodás 46. évf. II. szám pp. 17-21. ISSN 0021-0757, Budapest, (2005.)
3. Losonczi B., Hermanutz P., **Laza T.**, Bereczky Á., Kecskés R., Meggyes A.: Investigation of Combustion Process of Pure and Refuse Vegetable Oil in Diesel Engine. Gépészet 2006, ISBN 963 593 465 3, Budapest (2006.)
4. **Laza T.**, Sabino J., Carvalho I., Bereczky Á., Penninger A.: Pilot Test and Theoretical Analysis of One and More Component Fuel. Gépészet 2006, ISBN 963 593 465 3, Budapest (2006.)
5. **Laza T.**, Tóvári P., Penninger A.: Investigation of Density and Heat Value of Rape Seed Oil and Rape Seed Oil + Alcohol Mixtures. International Conference of Energetics and Electrical Engineering, pp. 65-69. ISSN 1842-4546 Kolozsvár (2006.)
6. **Laza T.**, Kerekes Zs., Penninger A.: Repceolaj valamint repceolaj és magasabb rendű alkoholok égéstörvényének elemzése az elegyek lobbanáspontja alapján. Energiagazdálkodás, 47. évf. V. sz. pp. 6-9. ISSN 0021-0757 (2006.)
7. **Laza T.**, Stauch R., Penninger A.: Theoretical and practical analysis of the evaporation of vegetable oils and fatty acids. 8. International Conference on Heat Engines and Environmental Protection, pp. 75-79., Balatonfüred, ISBN 978 963 420 907 2 (2007.)
8. **Laza T.**, Penninger A.: Repceolaj és magasabb rendű alkohol elegyek párolgási folyamatának elemzése. 3. évf. III. sz. pp. 16-18. Bioenergia ISSN 1788-487X (2008.)
9. **Laza T.**, Bereczky Á.: Magasabb rendű alkoholok repceolaj belső égésű motorban való felhasználhatóságára gyakorolt hatása. Tüki, 42. Ipari Szeminárium, Dunaújváros, ISBN 978-963-06-6543-8 (2008.)
10. **Laza T.**, Penninger A.: Analysis of spray combustion of liquid biomass comparing with kerosene. 4th European Combustion Meeting, Bécs, ISBN 978-3-902655-06-6 (2009.)

11. **T. Laza**, **Á. Bereczky**: Influence of higher alcohols on the emissions of diesel engine operated with rape seed oil. 4th European Combustion Meeting, Bécs, ISBN 978-3-902655-06-6 (2009.)
12. **Laza T.**, **Bereczky Á.**: Influence of higher alcohols on the Combustion Pressure of Diesel Engine Operated with Rape Seed Oil. 9th International Conference on Heat Engine and Environmental Protection, Balatonfüred. pp. 45-51. ISBN 978-963-420-979-9 (2009.)
13. **Bereczky Á.**, **Laza T.**: Ersetzen des Dieselöls durch Rapsöl mit beigemischten Alkoholen höheren Grades. 24. Deutscher Flammentag: Verbrennung und Feuerung. Bochum, Németország, VDI Verlag, pp. 511-514. ISBN 978-3-18-092056-6 (2009.)
14. **T. Laza**, **Á. Bereczky**, **A. Penninger**: Energetische und Motorische Verwendung der Erneuerbaren Energiequellen. 9. Magdeburger Maschinenbau-Tage, pp. 57-64. Magdeburg, Németország. ISBN 978-3-940961-36-5 (2009.)
15. **Penninger A.**, **Meggyes A.**, **Laza T.**: Gázturbinatűztér oszcillációjának vizsgálata megújuló tüzelőanyag esetén. X. ENELKO, Románia, Marosvásárhely, pp. 130-134. ISSN 1842-4546 (2009.)
16. **Kovács V.**, **Laza T.**, **Török Á.**: Hazai, közlekedési célú, növényi alapú, bio-tüzelőanyag felhasználás analitikai vizsgálata, Közlekedéstudományi Szemle V. pp. 36-39. ISSN: 0023-4362 (2009.)
17. **Bereczky Á.**, **Laza T.**: Magasabb rendű alkohol hatása dízelmotorban lejátszódó égési folyamatokra repceolaj tüzelőanyag esetén. Energiagazdálkodás, pp. 19-24. ISSN: 0021-0757 (2009.)
18. **Laza**: Pilot Test and Theoretical Analysis of Evaporation of One and More Component Fuels Periodica Polytechnica-Mechanical Engineering 52:(2) pp. 67-71. ISSN: 0324-6051 (2009).
19. **Kovács**, **Laza**, **Török**: Növényi alapú biotüzelőanyag-felhasználás közlekedési célú nemzetgazdasági optimalása. Magyar Energetika, XVI, (6) pp. 26-29. ISSN: 1216-8599 (2009.)

VIII. Hivatkozások

1. **Zöldy Máté**: Megújuló tüzelőanyagok adagolásának hatása a gázolaj viszkozitására, Autótechnika, 2005/8 HU ISSN 1588 9858. Hivatkozott cikk: **Laza**, **Penninger**: Repceolaj, valamint repceolaj és metanol keverékének párolgási tulajdonságai és viszkozitása. Energiagazdálkodás 46. évf. II. szám pp. 17-21. ISSN 0021-0757, Budapest (2005.)
2. **Zöldy Máté**, **Kecskés Róbert**: Megújuló motorhajtóanyagok keverésének hatása az égésfolyamatra és az emisszióra, Gép 2006/5, ISSN 0016-8572. Hivatkozott cikk: **Á. Bereczky**, **A. Meggyes**, **T. Laza**, **R. Kecskés**: Examination of Burning Processes of Regenerative Liquid Fuel and Alcohol Mixtures in Diesel Engine. 7. International Conference on Heat Engines and Environmental Protection, pp. 166-171., ISBN 963 420 840 1, Balatonfüred (2005.)
3. **Zöldy, M.**: Bioethanol-biodiesel-diesel oil blends effect on cetane number and viscosity, 6th International Colloquim Fuels 2007, Technische Akademie Esslingen, 2007 01.10-11,

- ISBN 3-924813-67-1. Hivatkozott cikk: Á. Bereczky, A. Meggyes, **T. Laza**, R. Kecskés: Examination of Burning Processes of Regenerative Liquid Fuel and Alcohol Mixtures in Diesel Engine. 7. International Conference on Heat Engines and Environmental Protection, pp. 166-171., ISBN 963 420 840 1, Balatonfüred (2005.)
4. Reményi Károly: Megújuló Energiák. Energiaforrások és hasznosításuk. Akadémiai kiadó (2007.) ISBN 978 963 05 8458 6. Hivatkozott cikk: **Laza**, Penninger: Repceolaj, valamint repceolaj és metanol keverékének párolgási tulajdonságai és viszkozitása. Energiagazdálkodás 46. évf. II. szám pp. 17-21. ISSN 0021-0757, Budapest, (2005.)
 5. Dr. Zöldy Máté: Significance of application technique of fuel containing biocomponents, MOL SP SD & HSE special issue, 2009/3 ISSN 2060-338X pp 133-139. Hivatkozott cikk: Bereczky Á.; Meggyes, A.; **Laza, T.**; Kecskés, R.: Examination of burning process of regenerativ liquid fuel and alcohol mixtures in diesel engine. Heat Engines and Environmental Protection, ISBN 963 420 840 1, Balatonfüred (2005.)
 6. Martina Slezáková, Daniel Bratský: Diesel Fuels from Renewable Sources. 44th International Petroleum Conference, Bratislava, Slovak Republic. Hivatkozott cikk: **Laza, T.**, Kecskés, R., Bereczky, Á., Penninger, A.: Examination of burning processes of regenerative liquid fuel and alcohol mixtures in diesel engine. Periodical Polytechnica Ser. Mech. Eng., 50 (1), 11-29. (2006.)
 7. Viktória Barbara Kovács, Attila Meggyes: Energetic Utilisation of Pyrolysis Gases in IC Engine. Acta Polytechnica Hungarica Vol. 6, No. 4, 2009. Hivatkozott cikk: **Laza, T.**, Bereczky Á.: Determination of the Evaporation Constant in Case of Pure and with Alcohol Mixed Rape Seed Oil., in Proceedings of 16th International Conference in Mechanical Engineering, Brasov, May 1-4, 2008, pp. 232-237
 8. S. Szwaja, J. D. Naber: Combustion of n-butanol in a spark-ignition IC engine. Fuel xxx (2009) xxxxxx. Hivatkozott cikk: **Laza T.**, Kecskés R., Bereczky Á., Penninger A.: Examination of burning processes of regenerative liquid fuel and alcohol mixtures in diesel engine. Periodica Polytech Mech Eng; 50 (1):1129. (2006.)
 9. Martina Slezáková, Daniel Bratsky: Aplikácia Repkového Oleaj Ako Paliva Pre Neupravené Dieselové Motory. Aprochem 2009 Odpadové fórum 2009. 20.22. 4. 2009 Milovy pp. 1381-1388. Hivatkozott cikk: **Laza T.**, Kecskés R., Bereczky Á., Penninger A.: Examination of burning processes of regenerative liquid fuel and alcohol mixtures in diesel engine. Periodica Polytech Mech Eng; 50 (1):1129. (2006.)
 10. Penninger Antal: The Development of the Environmental Industry by the Utilisation of the Energetics Potential. In: István Fodor: The Role of Environmental Industry in The Regional Reindustrialisation in Hungary. Debrecen, MTA, 2009. pp. 127-144 ISBN: 978-963-9899-15-5. Hivatkozott cikk: **T. Laza**, Á. Bereczky: Influence of higher alcohols on the emissions of diesel engine operated with rape seed oil. 4th European Combustion Meeting, Bécs, ISBN 978-3-902655-06-6 (2009.)
 11. Zöldy, Hollo, Thernesz: Butanol as diesel extender option for internal combustion engines. SAE 2010 World Congress. Hivatkozott cikk: **Laza T.**, Kecskés R., Bereczky Á., Penninger A.: Examination of burning process of regenerative liquid fuel and alcohol

mixtures in diesel engine. *Periodica Politechnica ser. Mech. Eng.* Vol. 50, No. 1, pp. 11-29, HU ISSN 0324-6051 (2006.)

12. Zöldy, Hollo, Thernesz: Butanol as diesel extender option for internal combustion engines. SAE 2010 World Congress. Hivatkozott cikk: **T. Laza**, Á. Bereczky: Influence of higher alcohols on the emissions of diesel engine operated with rape seed oil. 4th European Combustion Meeting, Béc, ISBN 978-3-902655-06-6 (2009.)



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM

GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR DOKTORI TANÁCSA

DOKTORI TÉZISFÜZET

Írta:

Laza Tamás

okleveles gépészmérnök

FOLYÉKONY BIO-TÜZELŐANYAGOK
FELHASZNÁLÁSA HŐERŐGÉPEKBEN

című témakörből, amellyel a PhD fokozat elnyerésére pályázik

Budapest, 2010

I. A kutatások előzménye

A világ villamosenergia-igénye, és ezzel együtt az üvegházhatást okozó gázok kibocsátása is egyre nő. A növekedés üteme megújuló energiaforrások használatával csökkenthető.

Magyarországon az egyik legjelentősebb megújuló energia a biomassza. Az ebből nyerhető két legfontosabb folyékony tüzelőanyag az alkohol és a növényi olaj, ill. annak észterezett változata. Az észterezett növényi olaj felhasználása már több országban bevezetett gyakorlat, azonban az előállítás költséges. Ezen megfontolások miatt munkámban a hidegen sajtolt repceolajjal foglalkozom.

Lehetséges alkalmazási terület a repceolaj számára mezőgazdasági területeken traktorok meghajtásán kívül a helyben történő hasznosítás, az ún. decentralizált energiatermelés. Ennek egyik lehetséges megvalósítása a fixen telepített, generátorral ellátott mikrogázturbina vagy dízelmotor.

Új tüzelőanyagok felhasználásakor két út kínálkozik: vagy a tüzelőanyagot módosítjuk úgy, hogy a régi berendezésben is felhasználható legyen, vagy a berendezést tesszük alkalmassá az új tüzelőanyag felhasználására.

Modern gázturbinák NO_x -kibocsátásának csökkenését alapvetően megnövelt légfelesleg-tényezőjű üzemmellel érik el. A módszernek azonban vannak korlátai, mert a nagy légfeleslegű lángok égési instabilitásra hajlamosak, ami jelenthet termoakusztikus lengést (akusztikusan öngerjesztő lángok kialakulását), instabil gyújtást, vagy helyi lángkialvást is. Az aktuális gázturbina-kutatás egyik központi feladata a termoakusztikus lengések vizsgálata.

Nyers repceolaj viszkozitása, párolgási tulajdonsága nagymértékben eltér a dízelolajétól, felhasználása során a motor égésterében a repceolaj lerakódásokat okoz, ezért szükséges a tüzelőanyag módosítása. A módosított tüzelőanyag repce-metilészter (RME). Az RME előállítása azonban költséges, gyártása során keletkező melléktermékek pedig külön problémák forrása.

II. Irodalom kritikai áttekintése

Akusztikusan öngerjesztő lángok

Irodalmi adatok alapján nyilvánvaló, hogy gázturbinában repceolajat fel lehet használni (pl. [Ardy, 1995], [Juste, 2000], [Gökalp, 2004]). Sajnos a szerzők nem vizsgálták, hogy gázturbina-porlasztóval megvalósított repceolaj tüzelés milyen porlasztási minőséget kíván és az hogyan valósítható meg. Juste tapasztalatai szerint bio-tüzelőanyagok felhasználásakor gyakrabban alakulnak ki akusztikusan öngerjesztő lángok, azonban az ilyenkor kialakuló porlasztási képet nem vizsgálta meg részletesen.

Herman perdítőelemes nyomásporlasztóval juttatta be a tüzelőanyagot a modell-tüzelőtérbe [Herman, 1995]. Mérései során Lézer-Doppler Anemométerrel (LDA-val) mérte a levegő és a folyadék áramlását. Megállapította, hogy tüztéri oszcilláció esetén a tüzelőanyag egyenetlenül jut a tüzelőtérbe, így a hőfelszabadulás is egyenetlenné válik, valamint a lángfront helye is periodikusan változik. Javaslatára szerint az egyik lehetséges megoldás az oszcilláció elkerülésére más reakciókinetikai tulajdonságokkal rendelkező tüzelőanyag alkalmazása.

Müller külső keverésű segédkezes porlasztó filmenterítőjén kialakuló porlasztást vizsgálta meg, a létrejövő lengést a primer és szekunder levegő szinusz-szerű gerjesztésével szimulálta [Müller, 2005]. A viszkozitás felezésével az átlagos Sauter középátmérő csak mintegy 6%-kal változott, azonban a felületi feszültség háromszorozásával 51%-kal nőtt. A pulzáció

amplitúdójának felezésekor, majd negyedeléskor nem változott a cseppátmérő. Munkája alapján várhatóan nagyobb cseppeket kapunk repceolajnál.

Belső égésű motorok

Belső égésű motorokban sokan és sokféleképpen használtak növényi olajat (nyersen, észterezetten, alkohollal, benzinnel keverve, közvetlen befecskendezésű, előkamrás motorban, állandó/változó terhelésen és fordulatszámokon stb.). A motor üzemére és a mérési eredményekre a felhasznált növényi olaj minősége (évjárat stb.) is hatással van. Éppen ezért az irodalomban található eredményeket nehéz egységesíteni, mert a vizsgálatok nem azonos körülmények között készültek.

A repceolaj tulajdonságait különböző módon próbálták a dízelolajéhoz hasonlóná tenni. Zöldy munkájában a biodízel, a dízelolaj és az etanol hármasképletű keverékének a viszkozitását és cetánszámát vizsgálta meg [Zöldy, 2007].

Plassmann mérései alapján a metanol benzinnel és vízzel jól elegyedik, dízelolajjal rosszul, növényi olajjal még rosszabbul [Plassmann, 1974].

Karabektas izobutanolt elegyített dízelolajhoz (5, 10, 15 és 20 V/V%-ban), ennek hatását vizsgálta a teljesítményre és az emisszióra, egyhengeres, közvetlen befecskendezésű dízelmotorban [Karabektas, 2009]. Az NO_x és a CO emissziók csökkenését, a CH emissziók növekedését tapasztalta. Véggöveketetése szerint az izobutanol jól, szétválás nélkül elegyedik a dízelolajjal, felhasználásához a motoron nem szükséges átalakításokat végezni. Munkája során nem jutott el addig, hogy kísérleteit repceolajjal elegyített alkohollal is elvégezze.

Spessert munkatársaival egyhengeres dízelmotorokat vizsgált meg repce-, napraforgó-, dízelolaj- és RME-üzemben [Spessert, 2007]. A vizsgálat folyamán mérték a teljesítményt, a nyomatékot, az emissziót, a befecskendezőrendszerben felépülő nyomást, a szag- és zajkibocsátást.

Kumar munkatársaival méréseik során egyhengeres motorban, állandó fordulatszámokon vizsgálta meg a károsanyag-emissziókat növényi olajjal (ricinus), növényi olaj + metanol elegyével, dízelolajjal, valamint növényolajszterrel [Kumar, 2003]. Méréseik során az alkohol csökkentette a füstölést. Az NO_x-kibocsátás alacsonyabb volt növényi olajjal, mint dízelolajjal (ez az alacsonyabb égési hőmérsékletnek tudható be). Növényi olaj és észterei keverékének égése hosszabb diffúziós szakaszt mutatott fel, mint a dízelolaj. Méréseik alapján a gyulladási késedelem a növényi olajjal nagyobb, mint dízelolajjal, a csúcsnyomás, valamint a nyomásnövekedés a növényi olajjal végzett méréseknél volt a legkisebb.

Irodalmi hivatkozások

- [Herman, 1995] HERMAN, ZANGL, GLEIS: *Untersuchung der Anregungsmechanismen selbsterregter Verbrennungsschwingungen an einem Verbrennungssystem mit Flüssigkraftstoff*. Kutatási jelentés, Nr. 1193, VDI, Düsseldorf, 1995.
- [Müller, 2005] MÜLLER, HEHLE, KOCH: *Zerstäubungsverhalten von Airblastdüsen bei oszillierenden Strömungen*. VDI-Berichte Nr. 1888. pp. 249-257, 2005.

- [Ardy, 1995] ARDY, BARBUCCI, BENELLI: *Development of Gas Turbine Combustor Fed with Bio-Fuel Oil*. Proc. Second Biomass Conference of the Americas, pp. 429-438, 1995.
- [Juste, 2000] JUSTE, MONFORT: *Preliminary test on combustion of wood derived fast pyrolysis oils in a gas turbine combustor*. Biomass and Bioenergy, 2000.
- [Gökalp, 2004] GÖKALP, LEBAS: *Alternative fuels for industrial gas turbines (AFTUR)*. Applied Thermal Engineering, vol. 19., pp. 119-128, 2004.
- [Kumar, 2003] KUMAR, RAMESH, NAGALINGAM: *An experimental comparison of methods to use methanol and Jatropha oil in a compression ignition engine*. Biomass and Bioenergy, vol. 25., pp. 309 - 318, 2003.
- [Spessert, 2007] SPESSERT, SCHLEICHER: *Einfluss von Biokraftstoffen auf die Abgas- und Geräuschemission kleiner Industriedieselmotoren*. MTZ, vol. 68/3., pp. 212-222, 2007.
- [Plassmann, 1974] PLASSMANN, HASSEL: *Neuen Kraftstoffen auf der Spur*. Bundesministerium für Forschung und Technologie, Bonn, 1974.
- [Karabektas, 2009] KARABEKTAS, HOSUZ: *Performance and emission characteristics of a diesel engine using isobutanol–diesel fuel blends*. Renewable Energy, vol. 34/6, 2009.
- [Zöldy 2007] ZÖLDY: *Bioethanol-biodiesel-diesel oil blends effect on cetane number and viscosity*. 6th International ColloquimFuels, Technische Akademie Esslingen, Németország, 2007.

III. Célkitűzések

Mind a gázturbinás, mind a dízelmotoros felhasználás alapja a felhasznált folyékony tüzelőanyag megfelelő minőségű porlasztása. Mivel a repceolaj sűrűsége és felületi feszültsége eltér a hagyományos gázturbina- tüzelőanyagétól (pl. kerozin) és a dízelolajétól, ezért szükséges a megújuló tüzelőanyag porlaszthatóságának külön vizsgálata.

A fentiek alapján a disszertációban célul tűztem ki a repceolaj különböző porlasztókkal kapott porlasztási képének, a szegény üzemben fellépő termoakusztikus lengésének, továbbá a belső égésű motorban történő alkalmazásának vizsgálatát.

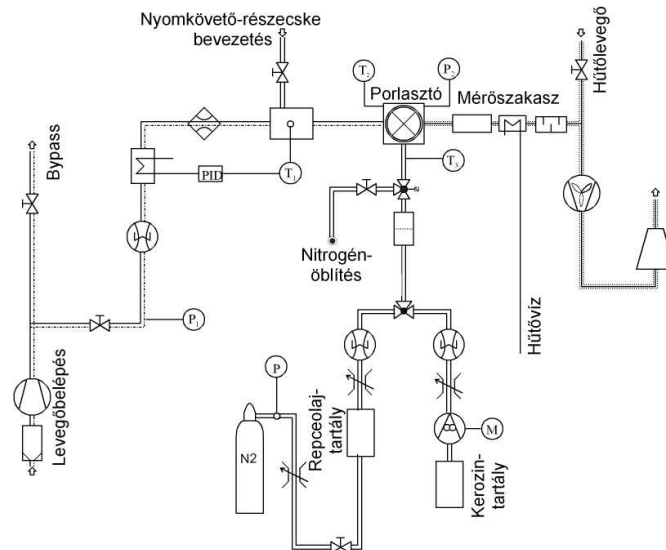
Munkám során egy külső keverésű segédközeges porlasztóval ellátott modell gázturbina-tüzelőtérben, a hagyományos (kerozin jet-A) és a megújuló (repceolaj) gázturbina-tüzelőanyag felhasználása során, szegény üzemben kialakuló termoakusztikus lengéseket hasonlítom össze. Külön figyelmet fordítok a különböző tüzelőanyagok felhasználása során kialakuló lengések fázisfelbontott vizsgálatára. Vizsgálni kívánom a cseppek sebességét, haladási irányát, átmérőjét.

A növényi olaj motorikus felhasználásának vizsgálata folyamán megvizsgálom a növényi olaj égési sebességének növelési lehetőségét. Ezért különböző, magasabb rendű alkoholokat elegyíték hozzá. Az így kapott tüzelőanyagok motorikus felhasználhatóságán kívül megvizsgálom a tárolás, és a szállíthatóság szempontjából fontos tulajdonságait is, mint például a lobbanáspontot, viszkozitást, sűrűséget, hidegszűrési határhőmérsékletet.

Dolgozatomban (amely 93 oldalon 5 fejezetben 64 ábrát, 129 tételes irodalomjegyzéket, továbbá 11 oldal függelék tartalmaz) bemutatom a célkitűzések elérése érdekében végzett kutatási munkát, a felhasznált kísérleti berendezéseket és az elméleti összefüggéseket.

IV. Vizsgálati módszerek

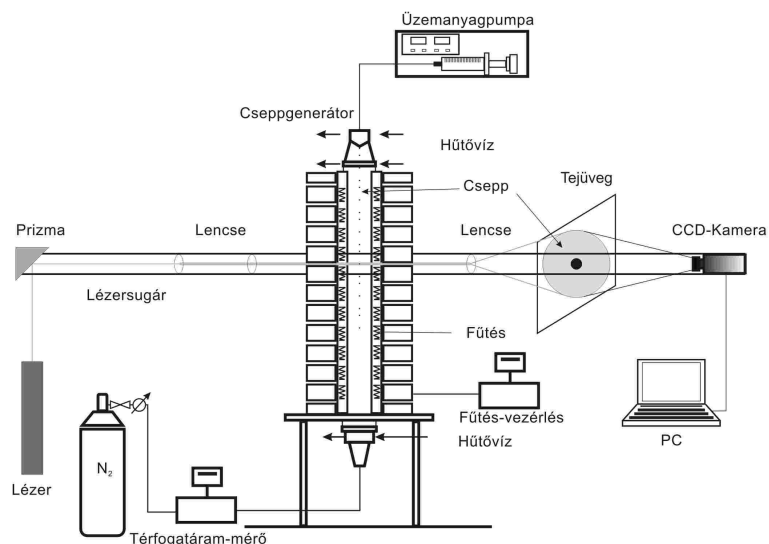
Az akusztikusan öngerjesztő lángok vizsgálatához felépítettem egy kísérleti gázturbina-tüzelőteret (1. ábra). A berendezés konstrukciójánál fogva kizárja a nem öngerjesztő akusztikus lengések kialakulását. A tüzelőtér felépítése lehetővé tette a porlasztmány nagy felületű (lézersík, PIV) és pontszerű (PDA) érintésmentes vizsgálatát. A felhasznált mérőeszközök az oszcilláló láng fázisfelbontott analizálására adtak lehetőséget (cseppméret, cseppsebesség).



1. ábra. Akusztikusan öngerjesztő lángok vizsgálatához felépített kísérleti gázturbina-tüzelőtér

A repceolaj és a repceolaj – magasabb rendű alkoholok elegyének belső égésű motorban történő vizsgálatát egy CFR cetánszámmérő egységen végeztem.

A párolgási tulajdonságok elemzéséhez az elterjedt TGA-n túl lézeres árnyékgráfiát alkalmaztam.



2. ábra. Lézeres árnyékgráfia felépítése

Az elegyek többi fizikai paramétereit (lobbanáspont, égéshő, sűrűség, viszkozitás, hidegszűrési határhőmérséklet, oxidációs stabilitás stb.) a vonatkozó szabvány előírásainak megfelelően végeztem.

V. Új tudományos eredmények

1. Nagy viszkozitású tüzelőanyagok esetében is ugyanolyan cseppméretű (SMD) porlasztás érhető el perdítőelemes nyomásporlasztóval, mint belső keverésű segédközegees porlasztóval, ezért célszerűbb az energetikailag kedvezőbb nyomásporlasztó használata. Perdítőelemes nyomásporlasztó esetében a 10 bar-on 60 °C-os hőmérséklet 50%-os megemelése annyit javít a folyadék porlaszthatóságán, mint a 60%-kal magasabb nyomás kisebb mértékű, csak 30%-os hőmérsékletemelése. Mindezt kísérletekkel igazoltam [1], [2].
2. Akusztikusan öngerjesztő lángok esetén, külső keverésű, ellentétes perdületű segédközegees porlasztó alkalmazásakor mind kerozin, mind a nagyobb viszkozitású és nehezebben párolgó repceolaj tüzelőanyag esetében, a cseppek axiális irányára az oszcilláció fázisszöge nincs hatással, axiális és tangenciális sebességre viszont igen. Az oszcilláció hatása az axiális sebességre a 100%-kal nagyobb felületi feszültségű és 130%-kal nagyobb viszkozitású repceolaj esetén (a maximális értékhez viszonyítva) -36%, míg kerozin esetében -50%. Az oszcilláció tangenciális sebességre gyakorolt hatása rendre -20% és -33% [3], [4], [5], [6], [7].
3. Kísérletekkel igazoltam, hogy oszcilláló égés esetén a repceolaj, illetve a kerozin tüzelőanyag hasonló CO és NO_x károsanyag képződési lefolyást eredményez, mind a légfelesleg, mind pedig a bevezetett hőteljesítmény függvényében [3], [4], [5], [6], [7].
4. Bebizonyítottam, hogy repceolajjal a vizsgált magasabb rendű alkoholok 20 V/V%-ig térfogati kontrakció nélkül elegyednek. Mint ismeretes, az egyszerű alkoholok a repceolajjal nem elegyednek, vízzel történő elegyítésükkor viszont jelentős a térfogati kontrakció (etanol – víz 50 V/V%-os elegyénél a 3,7%-ot is eléri, de általában 1-2% körüli) [9].
5. Előkamrás egyhengeres dízelmotorban célszerű a repceolajhoz butanolt, vagy propanolt elegyíteni a viszkozitás csökkentése és az égési folyamat javítása érdekében, 20 V/V%-ig. Motorikus felhasználás szempontjából a vizsgált alkoholok közül a butanol a propanolnál kedvezőbb tulajdonságú, a fűtőértéke miatt. Az alkoholoknak az elegyek cetánszámára, viszkozitására gyakorolt hatásuk megegyezik. A hidegszűrhetőségi határhőmérsékletet a 20 V/V% butanol is lecsökkenti a nyári előírásnak megfelelő szintre, az elegyített alkohol az oxidációs stabilitására nincs hatással. A butanol jobban csökkenti (azonos térfogat% esetén) az elegy lobbanáspontját, ezért fokozottan tűz- és robbanásveszélyes [8], [10], [11], [12].
6. Igazoltam azt a feltételezést, miszerint a motor égésterében az alkohol-repceolaj elegy égése két lépcsőben játszódik le: a magasabb cetánszámú repceolaj gyullad meg először, és ennek lángja gyújtja meg az elegyből kipárolgott, jó kompressziótűrűségű alkoholt. Kísérletekkel igazoltam, hogy a repceolaj-alkohol cseppből az alkohol párolgása már alacsony (30 °C alatti) hőmérsékleten elkezdődik, a kipárolgás részaránya a hőmérséklet növelésével nő. 180 °C fölött a csepp már nem tartalmaz

alkoholt, csak repceolajat, amely viszont ezen a hőmérsékleten még nem párolog [10], [12], [13].

7. Mérésekkel bizonyítottam, hogy az előkamrás dízelmotorban felhasznált repceolaj – magasabb rendű alkoholok elegyének a károsanyag kibocsátására az alkohol hatása - típusától függetlenül - azonos nagyságrendben van. Kimutattam, hogy 10 és 20 V/V% magasabb rendű alkohol repceolajhoz történő elegyítése esetén a károsanyag-kibocsátás változása az alkoholtartalommal nem lineáris. A változás függvényét a mérési pontok grafikonjával megadtam [14], [15].

VI. A tézispontokhoz kapcsolódó tudományos közlemények

- [1] LAZA, MEIER, PENNINGER: *Untersuchungen zur Einsetzbarkeit von rohem Rapsöl für die Verbrennung in Gasturbinen*. 14. Frühlingsakademie. München, Németország, pp. 37-43. (2002.)
- [2] LAZA, MEIER, KOCH: *Untersuchungen zum Einsatz von Rapsöl in Gasturbinen*. Internationale Conference on Heat Engines and Environmental Protection, Balatonfüred, pp. 99-106. (2003.)
- [3] LAZA, KOCH, PENNINGER: *A kerozin és repceolaj gázturbinaszpecifikus vizsgálata II*. Magyar Energetika, XIII:(5) pp. 3-8. (2005)
- [4] LAZA, KOCH, PENNINGER: *Examination of kerosine and rape oil with specification of gas turbine*. Gépészet 2004, pp. 622-626. (2004.)
- [5] LAZA, KOCH, PENNINGER: *Kerozin és repceolaj gázturbinaszpecifikus vizsgálata*. Magyar Energetika, XII:(5) pp. 28-33. (2004.)
- [6] LAZA, KOCH, PENNINGER: *Analysis of oscillation of gas turbine combustion in case of rape seed oil and kerosine jet-a fuel*. microCAD2005, Miskolc, pp. 49-54. (2005.)
- [7] LAZA, KOCH, PENNINGER: *Analysis der Oszillation eines rapsölbetriebenen Kleingasturbinenbrenner*. 22. Deutscher Flammentag, Braunschweig, VDI-BERICHT 1888: pp. 673-679. (2005.)
- [8] LAZA, PENNINGER: *Repceolaj és magasabb rendű alkoholok keverékének viszkozitása*. Energiagazdálkodás, Budapest, 46:(5) pp. 3-5. (2005.)
- [9] LAZA, TÓVÁRI, PENNINGER: *Investigation of Density and Heat Value of Rape Seed Oil and Rape Seed Oil + Alcohol Mixtures*. Proc. of International Conference of Energetics and Electrical Engineering, Kolozsvár, pp. 65-69. (2006.)
- [10] LAZA, KERÉKES, PENNINGER: *A repceolaj, valamint a repceolaj és magasabb rendű alkohol-keverékek tűzveszélyességének meghatározása*. Szent István Egyetem Tudományos Közlemények, Budapest, 3:(1) pp. 40-44. (2006.)
- [11] LAZA, KECSKÉS, BEREZKY, PENNINGER: *Examination of burning process of regenerative liquid fuel and alcohol mixtures in diesel engine*. Periodica Politechnica ser. Mech. Eng., Budapest, 50:(1) pp. 11-29. (2006.)
- [12] LAZA, BEREZKY: *Determination of the Evaporation Constant in Case of Pure and with Alcohol Mixed Rape Seed Oil*. Proc. of 6th International Conference in Mechanical Engineering, Brasov, pp. 232-237. (2008.)

- [13] **LAZA**: *Pilot Test and Theoretical Analysis of Evaporation of One and More Component Fuel.s* Periodica Polytechnica-Mechanical Engineering 52:(2) pp. 67-71. ISSN: 0324-6051 (2009.)
- [14] **LAZA**, **BERECZKY**: *Influence of Higher Alcohols on the Combustion Pressure of Diesel Engine Operated with Rape Seed Oil.* Acta Mechanica Slovaca, 13:(3) pp. 54-61. (2009.)
- [15] **LAZA**, **BERECZKY**: *Magasabb rendű alkohol hatása dízelmotorban lejátszódó égési folyamatokra repceolaj tüzelőanyag esetén.* Energiagazdálkodás, 50:(6) pp. 19-24. (2009.)

VII. Az értekezés témaköréhez kapcsolódó publikációk

1. **T. Laza**, R. Koch, A. Penninger: Analysis of Burning Behavior of Liquid Fuel Based on Biomass and Kerosine Jet A. 7. International Conference on Heat Engines and Environmental Protection, pp. 171-177., ISBN 963 420 840 1, Balatonfüred (2005.)
2. **Laza T.**, Penninger A.: Repceolaj, valamint repceolaj és metanol keverékének párolgási tulajdonságai és viszkozitása. Energiagazdálkodás 46. évf. II. szám pp. 17-21. ISSN 0021-0757, Budapest, (2005.)
3. Losonczi B., Hermanutz P., **Laza T.**, Bereczky Á., Kecskés R., Meggyes A.: Investigation of Combustion Process of Pure and Refuse Vegetable Oil in Diesel Engine. Gépészet 2006, ISBN 963 593 465 3, Budapest (2006.)
4. **Laza T.**, Sabino J., Carvalho I., Bereczky Á., Penninger A.: Pilot Test and Theoretical Analysis of One and More Component Fuel. Gépészet 2006, ISBN 963 593 465 3, Budapest (2006.)
5. **Laza T.**, Tóvári P., Penninger A.: Investigation of Density and Heat Value of Rape Seed Oil and Rape Seed Oil + Alcohol Mixtures. International Conference of Energetics and Electrical Engineering, pp. 65-69. ISSN 1842-4546 Kolozsvár (2006.)
6. **Laza T.**, Kerekes Zs., Penninger A.: Repceolaj valamint repceolaj és magasabb rendű alkoholok égéstörvényének elemzése az elegyek lobbanáspontja alapján. Energiagazdálkodás, 47. évf. V. sz. pp. 6-9. ISSN 0021-0757 (2006.)
7. **Laza T.**, Stauch R., Penninger A.: Theoretical and practical analysis of the evaporation of vegetable oils and fatty acids. 8. International Conference on Heat Engines and Environmental Protection, pp. 75-79., Balatonfüred, ISBN 978 963 420 907 2 (2007.)
8. **Laza T.**, Penninger A.: Repceolaj és magasabb rendű alkohol elegyek párolgási folyamatának elemzése. 3. évf. III. sz. pp. 16-18. Bioenergia ISSN 1788-487X (2008.)
9. **Laza T.**, Bereczky Á.: Magasabb rendű alkoholok repceolaj belső égésű motorban való felhasználhatóságára gyakorolt hatása. Tüki, 42. Ipari Szeminárium, Dunaújváros, ISBN 978-963-06-6543-8 (2008.)
10. **Laza T.**, Penninger A.: Analysis of spray combustion of liquid biomass comparing with kerosene. 4th European Combustion Meeting, Bécs, ISBN 978-3-902655-06-6 (2009.)

11. **T. Laza**, **Á. Bereczky**: Influence of higher alcohols on the emissions of diesel engine operated with rape seed oil. 4th European Combustion Meeting, Bécs, ISBN 978-3-902655-06-6 (2009.)
12. **Laza T.**, **Bereczky Á.**: Influence of higher alcohols on the Combustion Pressure of Diesel Engine Operated with Rape Seed Oil. 9th International Conference on Heat Engine and Environmental Protection, Balatonfüred. pp. 45-51. ISBN 978-963-420-979-9 (2009.)
13. **Bereczky Á.**, **Laza T.**: Ersetzen des Dieselöls durch Rapsöl mit beigemischten Alkoholen höheren Grades. 24. Deutscher Flammentag: Verbrennung und Feuerung. Bochum, Németország, VDI Verlag, pp. 511-514. ISBN 978-3-18-092056-6 (2009.)
14. **T. Laza**, **Á. Bereczky**, **A. Penninger**: Energetische und Motorische Verwendung der Erneuerbaren Energiequellen. 9. Magdeburger Maschinenbau-Tage, pp. 57-64. Magdeburg, Németország. ISBN 978-3-940961-36-5 (2009.)
15. **Penninger A.**, **Meggyes A.**, **Laza T.**: Gázturbinatűztér oszcillációjának vizsgálata megújuló tüzelőanyag esetén. X. ENELKO, Románia, Marosvásárhely, pp. 130-134. ISSN 1842-4546 (2009.)
16. **Kovács V.**, **Laza T.**, **Török Á.**: Hazai, közlekedési célú, növényi alapú, bio-tüzelőanyag felhasználás analitikai vizsgálata, Közlekedéstudományi Szemle V. pp. 36-39. ISSN: 0023-4362 (2009.)
17. **Bereczky Á.**, **Laza T.**: Magasabb rendű alkohol hatása dízelmotorban lejátszódó égési folyamatokra repceolaj tüzelőanyag esetén. Energiagazdálkodás, pp. 19-24. ISSN: 0021-0757 (2009.)
18. **Laza**: Pilot Test and Theoretical Analysis of Evaporation of One and More Component Fuels Periodica Polytechnica-Mechanical Engineering 52:(2) pp. 67-71. ISSN: 0324-6051 (2009).
19. **Kovács**, **Laza**, **Török**: Növényi alapú biotüzelőanyag-felhasználás közlekedési célú nemzetgazdasági optimalása. Magyar Energetika, XVI, (6) pp. 26-29. ISSN: 1216-8599 (2009.)

VIII. Hivatkozások

1. **Zöldy Máté**: Megújuló tüzelőanyagok adagolásának hatása a gázolaj viszkozitására, Autótechnika, 2005/8 HU ISSN 1588 9858. Hivatkozott cikk: **Laza**, **Penninger**: Repceolaj, valamint repceolaj és metanol keverékének párolgási tulajdonságai és viszkozitása. Energiagazdálkodás 46. évf. II. szám pp. 17-21. ISSN 0021-0757, Budapest (2005.)
2. **Zöldy Máté**, **Kecskés Róbert**: Megújuló motorhajtóanyagok keverésének hatása az égésfolyamatra és az emisszióra, Gép 2006/5, ISSN 0016-8572. Hivatkozott cikk: **Á. Bereczky**, **A. Meggyes**, **T. Laza**, **R. Kecskés**: Examination of Burning Processes of Regenerative Liquid Fuel and Alcohol Mixtures in Diesel Engine. 7. International Conference on Heat Engines and Environmental Protection, pp. 166-171., ISBN 963 420 840 1, Balatonfüred (2005.)
3. **Zöldy, M.**: Bioethanol-biodiesel-diesel oil blends effect on cetane number and viscosity, 6th International Colloquim Fuels 2007, Technische Akademie Esslingen, 2007 01.10-11,

- ISBN 3-924813-67-1. Hivatkozott cikk: Á. Bereczky, A. Meggyes, **T. Laza**, R. Kecskés: Examination of Burning Processes of Regenerative Liquid Fuel and Alcohol Mixtures in Diesel Engine. 7. International Conference on Heat Engines and Environmental Protection, pp. 166-171., ISBN 963 420 840 1, Balatonfüred (2005.)
4. Reményi Károly: Megújuló Energiák. Energiaforrások és hasznosításuk. Akadémiai kiadó (2007.) ISBN 978 963 05 8458 6. Hivatkozott cikk: **Laza**, Penninger: Repceolaj, valamint repceolaj és metanol keverékének párolgási tulajdonságai és viszkozitása. Energiagazdálkodás 46. évf. II. szám pp. 17-21. ISSN 0021-0757, Budapest, (2005.)
 5. Dr. Zöldy Máté: Significance of application technique of fuel containing biocomponents, MOL SP SD & HSE special issue, 2009/3 ISSN 2060-338X pp 133-139. Hivatkozott cikk: Bereczky Á.; Meggyes, A.; **Laza, T.**; Kecskés, R.: Examination of burning process of regenerativ liquid fuel and alcohol mixtures in diesel engine. Heat Engines and Environmental Protection, ISBN 963 420 840 1, Balatonfüred (2005.)
 6. Martina Slezáková, Daniel Bratský: Diesel Fuels from Renewable Sources. 44th International Petroleum Conference, Bratislava, Slovak Republic. Hivatkozott cikk: **Laza, T.**, Kecskés, R., Bereczky, Á., Penninger, A.: Examination of burning processes of regenerative liquid fuel and alcohol mixtures in diesel engine. Periodical Polytechnica Ser. Mech. Eng., 50 (1), 11-29. (2006.)
 7. Viktória Barbara Kovács, Attila Meggyes: Energetic Utilisation of Pyrolysis Gases in IC Engine. Acta Polytechnica Hungarica Vol. 6, No. 4, 2009. Hivatkozott cikk: **Laza, T.**, Bereczky Á.: Determination of the Evaporation Constant in Case of Pure and with Alcohol Mixed Rape Seed Oil., in Proceedings of 16th International Conference in Mechanical Engineering, Brasov, May 1-4, 2008, pp. 232-237
 8. S. Szwaja, J. D. Naber: Combustion of n-butanol in a spark-ignition IC engine. Fuel xxx (2009) xxxxxx. Hivatkozott cikk: **Laza T.**, Kecskés R., Bereczky Á., Penninger A.: Examination of burning processes of regenerative liquid fuel and alcohol mixtures in diesel engine. Periodica Polytech Mech Eng; 50 (1):1129. (2006.)
 9. Martina Slezáková, Daniel Bratsky: Aplikácia Repkového Oleaj Ako Paliva Pre Neupravené Dieselové Motory. Aprochem 2009 Odpadové fórum 2009. 20.22. 4. 2009 Milovy pp. 1381-1388. Hivatkozott cikk: **Laza T.**, Kecskés R., Bereczky Á., Penninger A.: Examination of burning processes of regenerative liquid fuel and alcohol mixtures in diesel engine. Periodica Polytech Mech Eng; 50 (1):1129. (2006.)
 10. Penninger Antal: The Development of the Environmental Industry by the Utilisation of the Energetics Potential. In: István Fodor: The Role of Environmental Industry in The Regional Reindustrialisation in Hungary. Debrecen, MTA, 2009. pp. 127-144 ISBN: 978-963-9899-15-5. Hivatkozott cikk: **T. Laza**, Á. Bereczky: Influence of higher alcohols on the emissions of diesel engine operated with rape seed oil. 4th European Combustion Meeting, Bécs, ISBN 978-3-902655-06-6 (2009.)
 11. Zöldy, Hollo, Thernesz: Butanol as diesel extender option for internal combustion engines. SAE 2010 World Congress. Hivatkozott cikk: **Laza T.**, Kecskés R., Bereczky Á., Penninger A.: Examination of burning process of regenerative liquid fuel and alcohol

mixtures in diesel engine. *Periodica Politechnica ser. Mech. Eng.* Vol. 50, No. 1, pp. 11-29, HU ISSN 0324-6051 (2006.)

12. Zöldy, Hollo, Thernesz: Butanol as diesel extender option for internal combustion engines. SAE 2010 World Congress. Hivatkozott cikk: **T. Laza**, Á. Bereczky: Influence of higher alcohols on the emissions of diesel engine operated with rape seed oil. 4th European Combustion Meeting, Béc, ISBN 978-3-902655-06-6 (2009.)