

BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM  
GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR  
ENERGETIKAI GÉPEK ÉS RENDSZEREK TANSZÉK



# Előkeveréses égő alkalmazása megújuló tüzelőanyagokra

Tézisfüzet

írta: Józsa Viktor

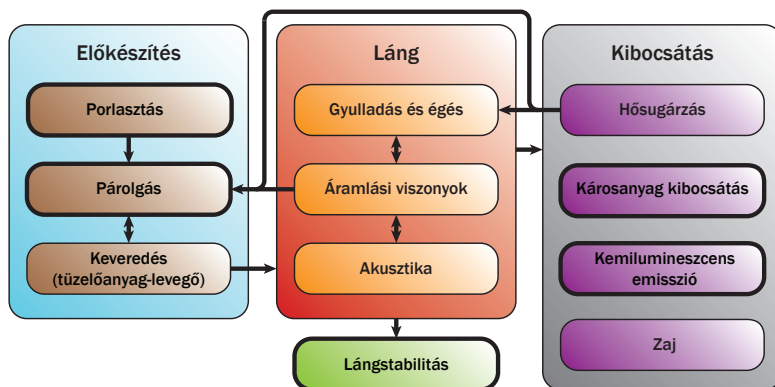
Témavezető  
Dr. Sztankó Krisztián

Budapest, 2016

# 1. A téma ismertetése, célkitűzés

A fosszilis tüzelőanyagok felhasználásának mértéke folyamatosan nő, amivel a klímaváltozás korrelál. Ezek a tények egyértelművé tették, hogy jelentős intézkedésekre van szükség a növekvő széndioxid kibocsátás visszaszorítására, ami később a fenntartható fejlődéshez vezet a karbonsemlegességen keresztül. Az Európai Unióban a kereskedelmi forgalomban kapható dízelolajhoz kötelező megújuló tüzelőanyagot keverni. Ezt átészterezett repceolajból fedezik, míg a világ többi részén más növényi olajokat használnak hasonló céllal. A jelenlegi dolgozat elsősorban a nyers repceolaj tüzelését vizsgálja, ami versenyképesebb a szokványos tüzelőanyagokhoz képest, mivel az átészterezés műveletét nem tartalmazza. A nyers növényi olajjal való tüzelés megköveteli a stacionárius üzemet, így a potenciális alkalmazások például a kazánok, a tüzelőberendezések és a gázturbinák.

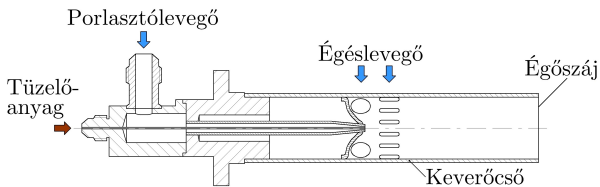
A tüzelőanyag származásától függetlenül folyamatosan szigorodó rendeletek és szabványok maximalizálják a megengedhető károsanyag-kibocsátást. Annak érdekében, hogy az előírt határértékeket betarthassuk, ma széles körben tüzelnek tüzelőanyagban szegény keveréket. Ez az jelenti, hogy az égőtérben a szöchiometrikus viszonyokhoz képest léghfelesleg található. Így a tüzelőanyag teljesen elég, mivel rendelkezésre áll a szükséges oxigénmennyiség. A maradék légmennyiség pedig a hőkapacitásán keresztül csökkenti az égés vég-hőmérsékletét, így alacsonyabb  $\text{NO}_x$  kibocsátást eredményezve. Az 1. ábra szemlélteti a folyadéktüzelés fontosabb lépéseit.



1. ábra. Az előkeveréses tüzelés elsődleges mechanizmusa és a közöttük lévő kapcsolat. A vastag keret jelöli a vizsgált jelenségeket.

A disszertációban a vastagon keretezett jelenségek kerülnek bemutatásra. A folyamat a porlasztással kezdődik, ami biztosítja a megfelelően ki-

csiny cseppméretet, melyek elpárolognak, majd elkeverednek az égéslevegővel a lángfront elérése előtt. A megfelelő keveredés biztosítja a forró pontok eltűntetését, amely progresszíven növekvő  $\text{NO}_x$  kibocsátáshoz vezethet. Az égés a tüzelőanyag gyulladásával kezdődik, amit az áramlási viszonyok és a tüzelőanyag tulajdonságai nagyban meghatároznak. Ha a lángterjedési sebesség nagyobb, mint az áramlási sebesség, a láng visszaég és károsíthatja az égőt. Ha viszont az áramlási sebesség a nagyobb, a láng leszakad. A nem megfelelő tervezés eredményeképp az akusztikai eredetű oszcillációk tönkretelhetik az égőt. A kibocsátás fogalma nem kizárólag a károsanyagokra utal. Ide tartozik a sugárzásos hőátadás az égőtér fala felé, a kemilumineszcens emisszió és az égési zaj is. A vizsgált égő a 2. ábrán látható, mely szegény körülmények közt üzemelő, előkeveréses, előpárologtató (LPP) rendszerű.

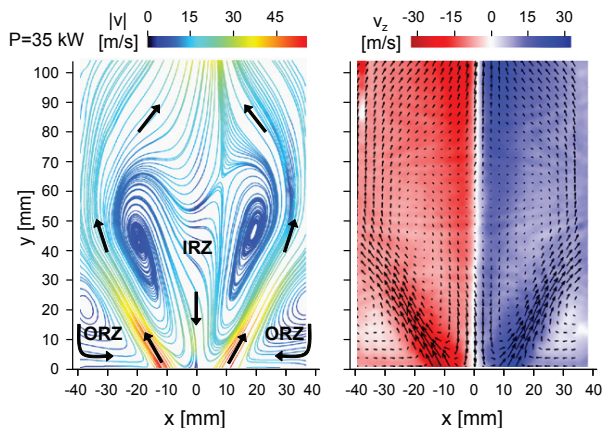


2. ábra. A vizsgált LPP égő.

A tüzelőanyag porlasztására egy egyszerű sugaras levegő segédközeges porlasztó szolgált. A folyamatot mivel nem lehet megfelelően sem analitikusan sem numerikusan közelíteni, ezért a szakirodalom több empirikus és félempirikus formulát ismer a térfogati-felületi, vagy más néven Sauter középátmérő (*SMD*) becslésére, mivel ez a paraméter a legfontosabb a párolgás szempontjából. Ebből a gondolatmenetből következik a disszertáció első célja: különböző *SMD* becslő formulák összevetése az alkalmazott egyszerű sugaras levegő segédközeges porlasztó mérése során kapott eredményekkel.

Bármennyire is kézenfekvőnek tűnik a tüzelőanyag-levegő keveréket szegényíteni a károsanyag-kibocsátás szempontjából, ezzel párhuzamosan lángstabilitási problémák merülnek fel. A szegényítésre használt túlzott légmennyiség lángkialváshoz vezet, amint az áramlási sebesség meghaladja a lángterjedési sebességet. Ezért a működési tartomány bővítésére perdületes áramlást alkalmaznak, így a 2. ábrán is a téglalap keresztmetszetű nyílások  $45^\circ$ -os perdítőelemek. Ha az áramlás kellően perdületes, egy belső és egy külső recirkulációs zóna (IRZ és ORZ) alakul ki az égő szája fölött, ahogy azt a 3. ábra mutatja. Az ORZ „kitölthető” szilárd anyaggal, mely egy folytatólagos diffúzor geometriáját eredményezi. Azonban a diffúzor falán kialakuló határréteg befolyásolja a lángfűvési stabilitást.

Manapság a változtatható terhelési állapot egyre nagyobb figyelmet kap



3. ábra. Az IRZ és az ORZ V alakú láng esetén, 35 kW tüzelési teljesítmény mellett. A bal oldali rész mutatja az áramlási sebesség abszolút értékét, míg a jobb oldali a tangenciális sebességeloszlást [1].

számos tüzelési alkalmazásban, így az energiatermelésben is. Az emissziós határértékek betartása azonban részterhelésen is ugyanúgy kötelező, mint teljes terhelés mellett. Ez viszont megfelelő tüzelés-szabályozást követel meg. Erre a feladatra kiválóan alkalmas a spektrofotométer, mely ipari körülmények esetén is alkalmazható és megfelelő optikai hozzáférés mellett valós idejű adatot szolgáltat. Ebből kifolyólag az utolsó téma a dízel- és repceolaj lángok kemilumineszcens emissziójának a vizsgálata.

## 2. Vizsgálati módszerek

A porlasztás mérését egy Fázis Doppler Anemométer segítségével végeztük el tüzelésmentes esetben. A 2. ábrán látható égőről ehhez a keverőcsövet eltávolítottuk, hogy a porlasztást elkülönítsük az egyéb hatásoktól. A permet tengelyszimmetrikusnak bizonyult, így ezt négy átmérő mentén vizsgáltuk 10, 15, 26,7 és 50 mm axiális távolságokban. A porlasztási túlnyomást,  $p_g$ , 0,3-tól 3,1 bar-ig növeltük összesen kilenc lépésben. Az adatgyűjtést 20.000 egyedi részecskéig vagy 15 másodpercig végeztük. Az időkorlát a kerületi, hígabb permet vizsgálata esetén vált szükségessé. Ezután az *SMD*-t határoztuk meg minden egyes mérési pontban. A porlasztmányt 50 mm axiális távolságban találtuk kifejeletnek. Így az első tézispont valamennyi porlasztónyomás és ez utóbbi axiális távolság összes mérési eredménye alapján került kidolgozásra.

Alacsony perdület-paraméter esetén az égőt egyenes lángalak jellemzi. A

perdület-paraméter növelése érdekében az égéslevegő mennyiségét növeltük rögzített porlasztónyomás mellett. Ennek hatására a láng szétnyílt V alakúra. Mielőtt ez az állapot bekövetkezett volna, egy bistabil régiót találunk, ahol a két említett lángalak közti véletlenszerű átmenetet tapasztalunk. Azt a lángalakot figyelhetjük meg itt átlagosan hosszabb ideig, amelyik stabil állapotához közelebb vagyunk. A méréseket alacsony égéslevegő tömegáramról indítottuk, melyet folyamatosan növeltünk. A láng alakja kezdetben egyenes volt és később vált bistabillá. Azonban a V alakot csak bizonyos esetekben sikerült elérni, mivel magas porlasztónyomáson a lánglefúvási stabilitási határba előbb ütköztünk. Az égés- és a porlasztólevegő tömegáramát mérő rotaméterek alkalmazása mellett 30 és 480 képkocka/másodperc sebességű normál, illetve nagysebességű felvételt készítettünk. Így összehasonlíthatóvá vált a lánglefúvás mechanizmusa az eredeti és a diffúzoros égőkialakítások mellett, ami a második tézispont kimondásához vezetett.

A spektrofotométeres vizsgálatokhoz a spektrumot a 260–580 nm-es hullámhossz-tartományban vizsgáltuk. Itt a legfontosabb kemilumineszcens kibocsátók az OH\* 310 nm-en, a CH\* 431 nm-en és a C<sub>2</sub>\* 516 nm-en, ahol a \* jelöli a gerjesztett állapotú gyököket. A kemilumineszcens intenzitásúcsok aránya a helyi légfesleleg-tényezővel arányos. Ezt a vizsgálatot dízel- és repceolaj tüzelése esetén egyaránt elvégeztük. A láng térbeli vizsgálata során kiderült, hogy a legerősebb intenzitásjellet a forgástengelyen, épp az égőszáj fölött találtuk. A mérési stratégia a következő volt: az égéslevegő tömegáramát fix lépésközzel növeltük egészen a lánglefúvási stabilitási határig, míg a porlasztónyomást állandó értéken tartottuk. Aztán ezt a sorozatot többször megismételtük különböző porlasztónyomásokon. Így a szisztematikus mérési sorozat, ami aztán a harmadik és a negyedik tézispontok kimondásához vezetett, tartalmazza az említett gyökök kemilumineszcens intenzitásarányának a vizsgálatán alapul légfesleleg-tényező függvényében.

### 3. A kutatás eredményei és a tézisek ismertetése

Az (1) egyenlet a porlasztás irodalmában a legismertebb képlet az *SMD* becsülésére egyszerű sugaras levegő segédközeges porlasztókra.

$$SMD/d_0 = (AWe_A^{-0.5} + BOh_L)(1 + 1/ALR), \quad (1)$$

ahol  $d_0$  a folyadéksugár kezdeti átmérője,  $We_A$  a Weber szám a porlasztólevegő tulajdonságai alapján,  $Oh_L$  az Ohnesorge szám a folyadék tulajdonságai alapján és  $ALR$  a levegő és a folyadék tömegáramának aránya.  $A$  és  $B$  konstansok. Ezt Lefebvre [2] vezette le különböző kialakítású levegő segédközeges porlasztók tekintélyes mennyiségű mérési adatára támaszkodva.

Ebből kifolyólag az (1) egyenlet alkalmazása a bemutatott égőre nem korlátozza a kapcsolódó tézist egy egyedi geometriára. Ráadásul Rizk and Lefebvre [3] kutatásaival is szorosan összhangban voltak a mérési eredmények, azonban ők egy kitevők szempontjából enyhén módosított verzióját használták az (1) egyenletnek. Mivel az (1) meghatározásához a mérési adatok a  $p_g = 0.01 - 0.2$  bar tartományból származtak, ezért a kutatás a célja a formula érvényességi tartományának a kiterjesztése volt dízelolaj nagysebességű porlasztása ( $p_g = 0.3 - 3.1$  bar) esetén.

Heng és munkatársai [4] jelentősen hozzájárultak a porlasztás irodalmához, mivel lehetőségük volt publikálni egy gázturbina tűzterének mérési eredményeit, tüzelésmentes esetben. A vizsgálatuk során levegő segédközeget porlasztót alkalmaztak. A környezeti nyomást egészen 12 bar-ig emelték. Azt a következtetést vonták le, hogy az *SMD* számértéke nem függ a környezeti nyomástól, csak az említett dimenziótlan számoktól. Így az alább kimondott tézis nem csak környezeti viszonyok mellett érvényes.

Varga és munkatársai [5] arra a következtetésre jutottak méréses úton, hogy  $SMD \sim We^{-1/2}$ -nel nagysebességű porlasztás esetén. Ezt az eredményt megelőzte Lefebvre [6] elméleti okfejtése, miszerint nagysebességű porlasztás mellett a viszkozitás hatása elenyésző a rövid ideig tartó interakció miatt. Ezek alapján a következő tézist fogalmaztam meg:

## 1. Tézis

**Dízelolaj egyszerű sugaras levegő segédközeget porlasztása mellett a következő félempirikus formula becsli a permet térfogati-felületi közepes cseppátmérőjét (*SMD*) a Mach szám,  $Ma = 0.6 - 1.6$ , illetve levegő-tüzelőanyag tömegáram arány,  $ALR = 0.78 - 2.3$  esetén:**

$$SMD = 0.66d_0 We_A^{-0.5} (1 + 1/ALR),$$

ahol  $d_0$  a folyadéksugár kezdeti átmérője és  $We_A$  a Weber szám a porlasztólevegő tulajdonságai alapján. [P1-P3]

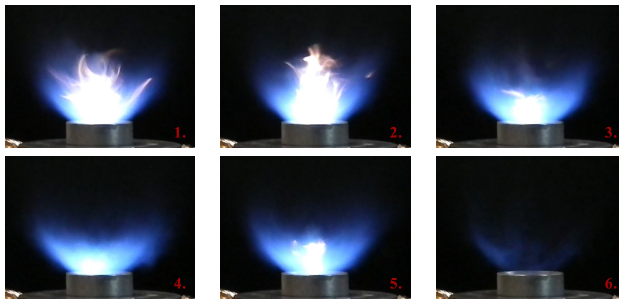
A mérések tanulsága szerint megfelelő diffúzorok alkalmazásával a lángle-fűvási stabilitási határ jelentősen kitolható. Például 15°-os és 30°-os diffúzorok az eredeti égőhöz képest 42%-os növekedést eredményeztek. Ennek okát 30 képkocka/másodperc sebességű filmfelvételek segítségével a 4. és az 5. ábrák mutatják be. A képsorok az eredeti égő és egy 45°-os diffúzor viselkedését szemléltetik.

A két ábra első képkockája a lángkialvás előtt 1 másodperccel készült. A további öt azt mutatja, amikor a láng még megfigyelhető volt. Az eredeti esetben egyértelmű, hogy a láng felemelkedik és a reakciók befagynak. Ez a

klasszikus lángfúvás esete, ahol az áramlási sebesség felülkerekedik a lángterjedési sebességen. Így a láng stabilitása már tovább nem biztosítható.



4. ábra. A lángfúvás képsora az eredeti égő esetén,  $p_g = 0.7$  bar.



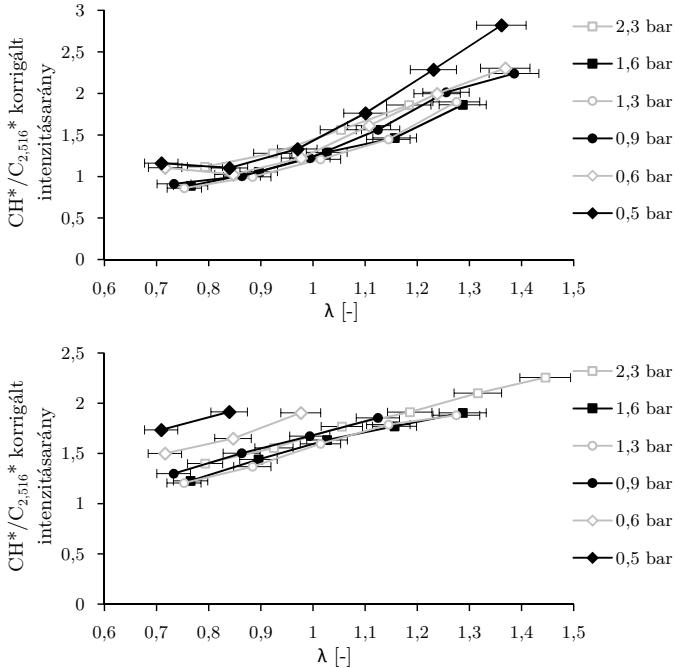
5. ábra. A lángfúvás képsora egy 45°-os diffúzor esetén,  $p_g = 0.7$  bar.

Mivel a diffúzorok helyettesítik az ORZ-t, ezért a V alakú láng kiterjed egészen a diffúzor faláig. Azonban a fal mentén megjelenő határrétegben az áramlási sebesség alacsonyabb, mint a főáramlásban. Így a lángfúvás nagyobb égéslevegő-áram mellett következik be, mivel a határréteg még mindig biztosítja a stabil égést, ami képes begyűjtani a közepén áramló keveréket is, ahol már az áramlási sebesség egyértelműen meghaladja a lángterjedési sebességet. Ebből következik, hogy az 5. ábra utolsó képkockáján a láng utoljára a diffúzor fala mentén látható. Az eredményét az alábbi tézis foglalja össze:

## 2. Tézis

A V alakú, erősen perdületes lángok lánglefűvási stabilitása előkeveréses égők esetén növelhető, ha az égőszájra olyan diffúzort illesztünk, ami helyettesíti a külső recirkulációs zónát. Ebben az esetben a falon megjelenő áramlási határréteg biztosítja a lánglefűvási stabilitás növekedést. [P4-P9]

Perdületes áramlások esetén az áramképek, a lángalakok és a kapcsolódó jelenségek az irodalomban jól dokumentáltak (pl. Beér [7] és Syred [8, 9] munkáiban). A mérések során egyenes, bistabil és V alakú üzemet különböztettünk meg, amelyek természetesen az  $\text{OH}^*$ , a  $\text{CH}^*$  és a  $\text{C}_{2,516}^*$  kemilumineszcens intenzitásokban is jelentős változásokat eredményeztek. Azonban ezek intenzitásaránya simán viselkedik a légfelesleg-tényező függvényében, ahogy azt a 6. ábra szemlélteti.



6. ábra. Korrigált  $\text{CH}^*/\text{C}_{2,516}^*$  intenzitásarány dízel- (felül) és repceolaj tüzelése esetén (alul).

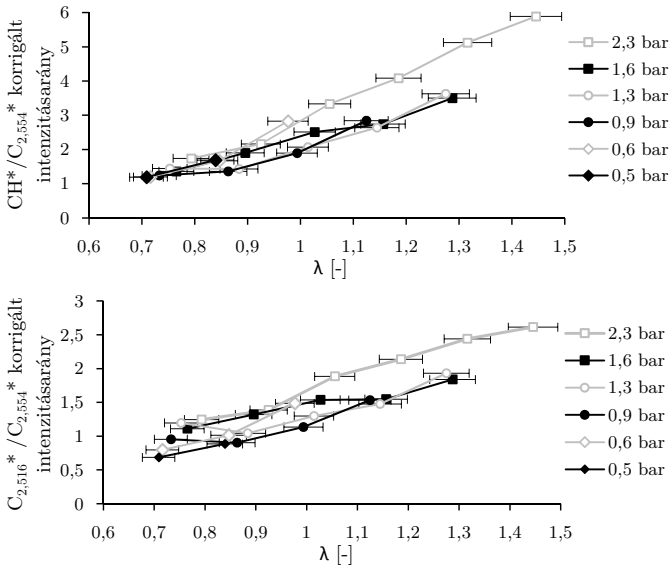
A repceolaj-tüzelés sem bistabil, sem V lángalak esetén nem maradt stabil

a dízelolaj-tüzeléssel ellentétben. Ezért a mérési pontok száma a porlasztónyomással együtt növekszik a perdület-paraméter csökkenése mellett. Tehát az említett tartományok kialakulása késleltethető, ami biztosítja a stabil üzemet magasabb égéslevegő-áram mellett is. Így a láng egyenes és gyengén perdületes marad. Ezek alapján az alábbi tézispont fogalmazható meg:

### 3. Tézis

**Előkeveréses égők esetében az  $\text{OH}^*/\text{CH}^*$ ,  $\text{OH}^*/\text{C}_{2,516}^*$ , és  $\text{CH}^*/\text{C}_{2,516}^*$  kemilumineszcens intenzitásarányok értékeit a léglevesleg-tényező függvényében vizsgálva nincsenek ugrásszerű változások. Akkor sem, ha a láng hossza – és így az alakja – hirtelen megváltozik a precesszáló örvénymag leszakadásának következtében. [P9, P10]**

Az  $\text{S}(2,3) \text{A}^3\Pi_g - \text{X}^3\Pi_u$  elektron átmenet felelős a  $\text{C}_2^*$  kemilumineszcens emissziójáért [10], beleértve az 554 nm-en található kemilumineszcens intenzitáscsúcsot. A  $\text{C}_{2,554}^*$  dízelolaj-tüzelés esetén is megfigyelhető relatíve kis intenzitással, de nem a teljes vizsgálati tartományban. Azonban a repceolaj-tüzelést sokkal jelentősebb  $\text{C}_{2,554}^*$  emisszió jellemzi, amelyet lángdiagnosztikai célokra is lehet már használni. Az eredmények a 7. ábrán láthatóak.



7. ábra. Az  $\text{OH}^*$ , a  $\text{CH}^*$  és a  $\text{C}_{2,516}^*$   $\text{C}_{2,554}^*$ -gyel vett korrigált intenzitásaránya repceolaj-tüzelés esetén.

A trendek legfontosabb tulajdonságai, hogy közel lineárisak és a légfelesleg-tényező függvényében monoton növekednek. Az alacsonyabb porlasztónyomás-sok esetén látható kisebb számú mérési pont a korábban részletezett okokra vezethető vissza. Az újonnan azonosított intenzitáscsúcs és az ezzel nyert eredmények alapján a következő tudományos állítás mondható ki:

#### 4. Tézis

**Repceolaj atmoszférikus tüzelése során a vizsgált  $\lambda = 0.7 - 1.5$  légfelesleg-tényező tartományban, 554 nm-en egy jelentős  $C_2^*$  kemilumineszcens intenzitáscsúcs tapasztalható, a  $C_{2,554}^*$ . Az  $OH^*$ ,  $CH^*$ , és  $C_{2,516}^*$  csúcsokkal vett kemilumineszcens intenzitásaránya egyaránt monoton növekvő trendet mutat  $\lambda$  növelésével. [P9, P10]**

## 4. Az eredmények alkalmazása

A műszaki gyakorlatban levegő segédközeget porlasztást a vizsgált folyadéktüzelésen kívül széles körben alkalmaznak a gyógyászatban, a bevonatolásban, a festésben és a mezőgazdaságban is. A nagy porlasztónyomás homogénebb cseppeloszlást eredményez, amely hasznos lehet az említett területeken egyaránt. Ebből kifolyólag a növelt porlasztónyomás során keletkező átlagos cseppméret becslése kiemelt fontosságú. Ilyen körülmények mellett méréseket korábban nem lehetett végezni, mivel a Fázis Doppler Anemométer technológiája nem volt alkalmas a néhány mikron átmérőjű cseppek észlelésére. A '80-as években az alsó határ mintegy 10  $\mu\text{m}$  volt, ami napjainkban 0,2  $\mu\text{m}$ .

Diffúzorokat már régóta alkalmaznak égőkben, főként szénportüzelés esetén. Azonban a szisztematikus mérési sorozat és az eredmények alkalmazása folyadéktüzelés mellett új távlatokat nyit a még szegényebb körülmények közt üzemelő égők felé. Így alacsonyabb  $\text{NO}_x$  kibocsátás érhető el a jelenleginél, valamint a CO, az elégtelen szénhidrogén és a korom kibocsátása továbbra is elenyésző marad. Ez a koncepció fokozott érdeklődésre tehet szert, ha 2018-ban érvénybe lép az új szabvány, miszerint a ma megengedett  $\text{NO}_x$  és CO kibocsátási határértékek megfelelőnek.

Az erőművek manőverező képessége egyre fontosabbá válik, ahogy a szél- és naperőművek száma folyamatosan növekszik. Mivel az emissziós határértékeket részterhelésen is tartani kell, ezért egy megfelelő valós idejű, légfelesleg-tényező alapú tüzelés-szabályozásra van szükség. A spektrofotométeres rendszer alkalmas erre a feladatra a bemutatott mérési stratégiát követve. Így a hőerőművek versenyképessége jelentősen növelhető.

## Hivatkozások

- [1] Michael Stöhr, Isaac Boxx, Campbell D. Carter, and Wolfgang Meier. Experimental study of vortex-flame interaction in a gas turbine model combustor. *Combustion and Flame*, 159(8):2636–2649, aug 2012.
- [2] A. H. Lefebvre. Airblast atomization. *Progress in Energy and Combustion Science*, 6(3):233–261, jan 1980.
- [3] N. K. Rizk and A. H. Lefebvre. Spray Characteristics of Plain-Jet Airblast Atomizers. *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, 106(3):634–638, jul 1984.
- [4] Q. P. Heng, A K. Jasuja, and A. H. Lefebvre. Influence of air and fuel flows on gas turbine sprays at high pressures. *Symposium (International) on Combustion*, 26(2):2757–2762, 1996.
- [5] Christopher M. Varga, Juan C. Lasheras, and Emil J. Hopfinger. Initial breakup of a small-diameter liquid jet by a high-speed gas stream. *Journal of Fluid Mechanics*, 497(2003):405–434, dec 2003.
- [6] A. H. Lefebvre. Energy Considerations in Twin-Fluid Atomization. *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, 114(1):89–96, jan 1992.
- [7] J. M. Beer and N. A. Chigier. *Combustion aerodynamics*. Robert E. Krieger publishing company, inc., London, 1972.
- [8] N. Syred and J. M. Beér. Combustion in swirling flows: A review. *Combustion and Flame*, 23(2):143–201, 1974.
- [9] N. Syred. A review of oscillation mechanisms and the role of the precessing vortex core (PVC) in swirl combustion systems. *Progress in Energy and Combustion Science*, 32(2):93–161, jan 2006.
- [10] A. G. Gaydon. *The spectroscopy of flames*. Chapman and Hall Ltd., London, 2nd edition, 1974.

## Publikációk

- [P1] András Urbán, Matouš Zaremba, Milan Malý, Viktor Józsa, and Jan Jedelský. Droplet dynamics and characterization of high-velocity airblast atomization (benyújtott kézirat). *International Journal of Multiphase Flow*, 2016.

- [P2] Józsa Viktor és Urbán András. Egyszerű sugaras levegő segédközege porlasztó Sauter közepes cseppátmérőjének mérése és becslése (közlésre elfogadva). *Energiagazdálkodás*, 2016.
- [P3] Viktor Józsa and Dávid Csemány. Evaporation of renewable fuels in a lean premixed prevaporized burner. *Periodica Polytechnica, Mechanical Engineering*, 60(2):82–88, 2016.
- [P4] Viktor Józsa. Experimental stability analysis of air blast and steam blast gas turbine burner. In M. Mansour A. D’Anna, N. Selcuk, F. Bereta, editor, *Electronic proceedings of the 9th Mediterranean Combustion Symposium*, pages 1–12, Rhodes, Greece, 7-11 June, 2015.
- [P5] Viktor Józsa and Attila Kun-Balog. The effect of the flame shape on pollutant emission of premixed burner. In *Proceedings of the European Combustion Meeting*, pages P4–35, Budapest, 2015.
- [P6] Viktor Józsa and Attila Kun-Balog. Effect of flame shape on pollutant emissions in swirling flames. In *Proceedings of the 12th International Conference on Heat Engines and Environmental Protection*, pages 197–201, 2015.
- [P7] Hidegh Gyöngyvér és Józsa Viktor. Diffúzor alkalmazása perdületes égő lánglefúvási stabilitásának növelésére (közlésre elfogadva). *Energiagazdálkodás*, 2016.
- [P8] Viktor Józsa and Attila Kun-Balog. Stability and emission analysis of crude rapeseed oil combustion (benyújtott kézirat). *Fuel Processing Technology*, 2016.
- [P9] Viktor Józsa and Krisztián Sztankó. Flame emission spectroscopy measurement of a steam blast and air blast burner. *Thermal Science*, online first at TSCI150616062J, pages 1–11, 2016.
- [P10] Viktor Józsa and Attila Kun-Balog. Spectroscopic analysis of crude rapeseed oil flame. *Fuel Processing Technology*, 139:6–11, 2015.