

Perdületes dízelolaj láng akusztikai csúcsfrekvenciáinak elemzése Acoustic peak frequency analysis of a swirling diesel oil flame

NOVOTNI Gergely István, MSc hallgató, novigeri93@gmail.com
Dr. JÓZSA Viktor, egyetemi adjunktus, jozsa@energia.bme.hu

BME, Energetikai Gépek és Rendszerek Tanszék
1111 Budapest, Bertalan Lajos u. 4-6.
Tel/Fax: +36-1-463-2596 / +36-1-463-1762
<http://www.energia.bme.hu>

Absztrakt: A szigorodó emissziós követelmények miatt a tüzeléstechnikában szegény, a felső gyulladási határhoz közeli lángokat alkalmaznak. Jelen cikkben egy perdületes, előkeveréses, 15 kW tüzelési teljesítményű égőben tüzeltünk szabványos dízelolajat és vizsgáltuk a láng akusztikai spektrumát, valamint annak csúcsfrekvenciáit egyenes, átmeneti és V-alakú lángok esetén.

Kulcsszavak: Akusztikai spektrum, csúcsfrekvencia, perdületszám, lángstabilitás, folyadéktüzelés

Abstract: Due to the tightening emission standards, lean-premixed flames are used near the lean flammability limit. In this paper, a 15 kW lean-premixed, prevaporized swirl burner was used utilizing standard diesel oil. The acoustic spectrum and the peak frequencies were investigated in case of straight, transitory, and V-shaped flames.

Keywords: Acoustic spectrum, peak frequency, swirl-number, flames stability, liquid fuel combustion

1. BEVEZETÉS

A károsanyag-kibocsátás csökkentése az elmúlt évtizedekben folyamatos fejlődésen ment keresztül, mind a tüzelés során keletkező károsanyag-redukció, mind a tüztér után való leválasztás területén. A nitrogén-oxid csökkentés egy hatékony, első lépésként megtehető módja a tüzelésbe való beavatkozási módszerek közül az adiabatikus lánghőmérséklet csökkentése, mely elérhető a tüzeléshez alkalmazott légszelesleg-tényező, λ , növelésével [1]. Azonban ennek a felső határa atmoszférikus körülmények mellett közel $\lambda = 2$ [2], ezért a láng stabilizálásának elősegítése érdekében perdítőelemeket alkalmaznak.

Megkülönböztetünk gyengén és erősen perdületes lángokat. A gyengén perdületes lángok esetén egy spirális szerkezetű, de egyenes lángot tapasztalunk. Erősen perdületes esetben a precesszáló örvénymag leszakad és egy külső, valamint egy belső recirkulációs zóna alakul ki, maga a láng pedig ezek között V alakban stabilizálódik [3]. A kettő közti határ nem éles, turbulens lángoknál a két stabil forma között egy átmeneti szakaszt találunk, ahol a két lángalak váltakozik véletlenszerűen és mindig az a lángalak van nagyobb arányban jelen, amelyikhez közelebb állunk perdület szempontjából [4]. A három tartományt az 1. ábra szemlélteti.



1. ábra

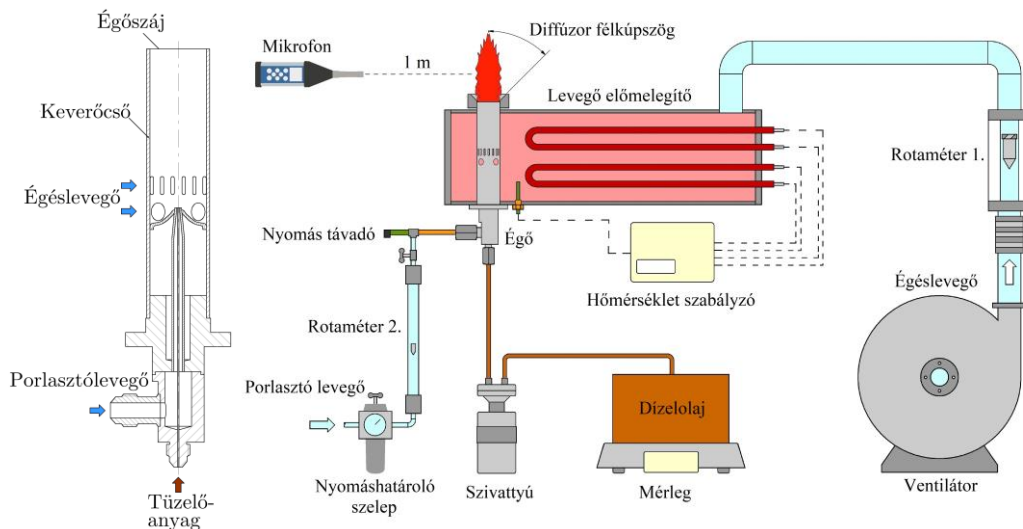
Lángalakok, balról jobbra: egyenes, átmeneti, V alakú.

A légfelesleg növelése lokálisan felső gyújthatósági határon kívül eső keveréket eredményez a lángfűvási határhoz közeledve, mely kvázistacionárius üzemet indukál. Ilyen üzemállapot esetén a periodikus hőfelszabadulás és a kialakuló periodikus nyomásmező összekapcsolódásából pozitív visszacsatolás alakulhat ki [5], ami instabillá teszi az égést. Így akár az üzemi nyomással összemérhető nyomáslengés kialakulása során rövid idő alatt tönkremehet az égőtér [1].

Jelen cikk a láng zajának spektrális elemzésére fókuszál. Singh és munkatársai részletes lángakusztikai vizsgálatot végeztek nem előkevert, propán láng esetén, koncentrikus, perdületes égőben [6]. Állandó égéslevegő tömegáram mellett változtatták a tüzelőanyag mennyiségét, így változtatva a légfelesleg-tényezőt. Az égési zaj esetükben 1500 Hz-ig tartott, e fölött tisztán a turbulens szabadsugár zaja dominált. A változó tüzelőanyag tömegáram – és így a légfelesleg – kis hatást gyakorolt a spektrumra, így indokolt egyéb üzemi paraméterek hatását is értékelni. Vizsgálatuk során azt tapasztalták, hogy a spektrális összetevők amplitúdója a frekvenciával nő egészen addig, amíg el nem érnek egy csúcshatárt, majd ez után a frekvenciával folyamatosan csökken a komponensek amplitúdója [6]. Mások kutatásai azt mutatják, hogy a csúcshatár égési zaj esetén a 200-1000 Hz-es tartományba esik [7, 8], azonban tapasztaltak már többszörös csúcsokat is [9], noha a többszörös csúcsok esetén mérlegelni kell, hogy a vizsgált geometria akusztikája, vagy a kapcsolódó hatások okozhatják-e azokat.

2. A MÉRŐRENDSZER BEMUTATÁSA

A vizsgálatunk során szabványos dízelolajat (EN 590:2014) tüzeltünk egy előkeveréses, perdületes, előpárolgató rendszerű égőben. Levegő segédközeges porlasztást alkalmaztunk, vagyis a tüzelőanyag vezetékkel koncentrikusan lép be a nagynyomású porlasztólevegő, és ez okozza a tüzelőanyag apró cseppekre bomlását. A jelen munkában bemutatott esetekben egy 15° félkúpszögű, 16 mm alkotójú diffúzort helyeztünk az égő szájára, mely a külső recirkulációs zóna kitöltésével elősegítheti a stabil V alak kialakulását és fenntartását. Az égő és a diffúzor geometriája a 2. ábra látható.



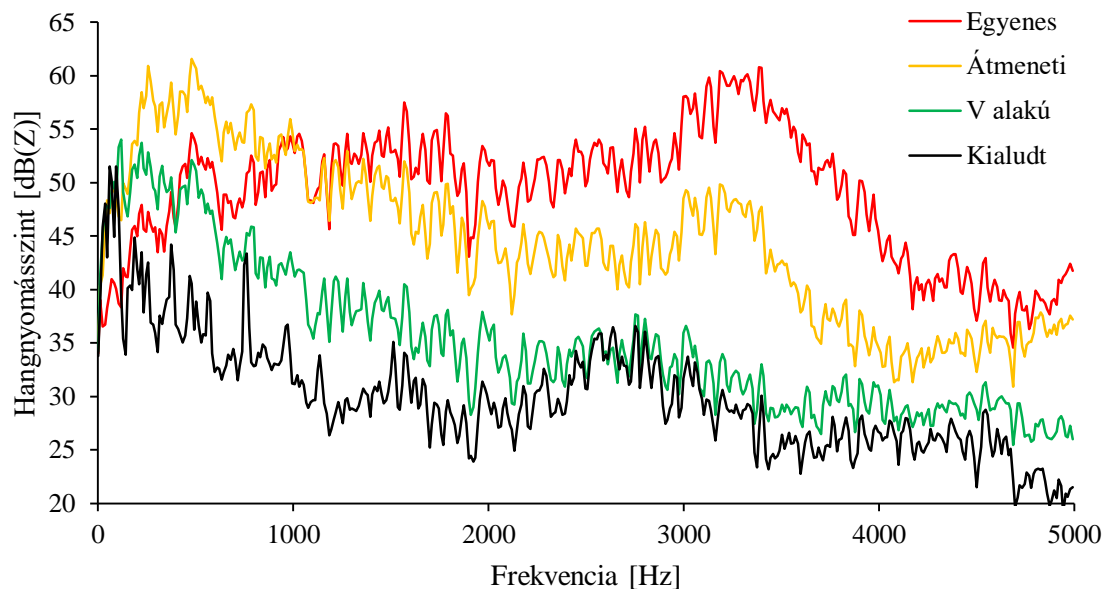
2. ábra

Az égő (balra) és a mérőrendszer (jobbra) felépítése.

A levegő segédközeges porlasztás után a keverőcsőbe az égő geometriájának köszönhetően tisztán radiális, illetve tangenciális (az 2. ábra bal oldalán lévő égőn rendre a kör illetve a téglalap alakú nyílások) égéslevegő bevezetés történt, így az égő szájának elérése előtt megtörtént az elpárolgás és elkeveredés, valamint kialakult a perdületes áramlás. Az 2. ábra a mérőrendszer elvi felépítését mutatja. Levegő segédközeggel porlasztottuk a dízelolajat és egy ventilátor segítségével 400 °C-ra előmelegített levegőt vezettünk be, valamint egy mikrofont helyeztünk el 1 m-re a lángtól, mely 12 kHz-es mintavételezési frekvenciával rögzítette az égési zajt. A mérés során egy porlasztónyomás beállítása után növeltük az égéslevegő térfogatáramát 10 m³/h-tól a láng lefűvásáig 2 m³/h-s lépésekben, mely a perdületszámot is változtatta. Így először egyenes lángot tapasztaltunk, majd megjelent az átmeneti szakasz, végül stabilizálódott a V alak.

3. AZ EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE

A 3. ábra három égési viselkedés, illetve a kialvás utáni állapot (vagyis az égés nélkül kiáramló tüzelőanyag-levegő keverék) logaritmikus, átlagolt spektrumát mutatja. Az ordináta mértékegységében a Z a súlyozás nélküli esetet jelöli. Látható, hogy a három lángalak esetén egyértelműen eltérnek a spektrumok egymástól, míg korábbi eredményekből kiderül, hogy a stabil lángalakok (egyenes és V-alakú) esetén, különböző üzemi paraméterek mellett (nyomás, perdületszám, légfelesleg-tényező) elenyésző a különbség [10]. Egyenes láng esetén a spektrum nagy részén jelentős összetevők találhatóak 500 Hz-től 4 kHz-ig, valamint a 3,4 kHz körüli komponensek dominálnak. Ezzel szemben V alaknál már a spektrum jelentős része (főleg 2 kHz fölött) nem mutat számottevő eltérést a kialvás utáni zajtól, illetve a domináns frekvenciák néhány száz Hz-en találhatóak, a csúcs általában 220 Hz-re adódott. Az átmeneti szakaszban a nagyobb frekvenciájú összetevők fokozatosan elhalnak, illetve látjuk, hogy 500 Hz körül néhány összetevő megerősödik az átmeneti szakaszhoz közeledve, nagyobb amplitúdót elérve, mint egyenes lángnál, majd V alakú esetben gyengülnek. Itt a perdületszámtól függően kisebb értékek mellett 500 Hz-es csúcs, nagyobb értékek mellett, azaz a V alakhoz közeledve egyre inkább a 220 Hz-es komponens válik uralkodóvá. A két említett érték a precessáló örvénymag viselkedéséből származtatható [11].

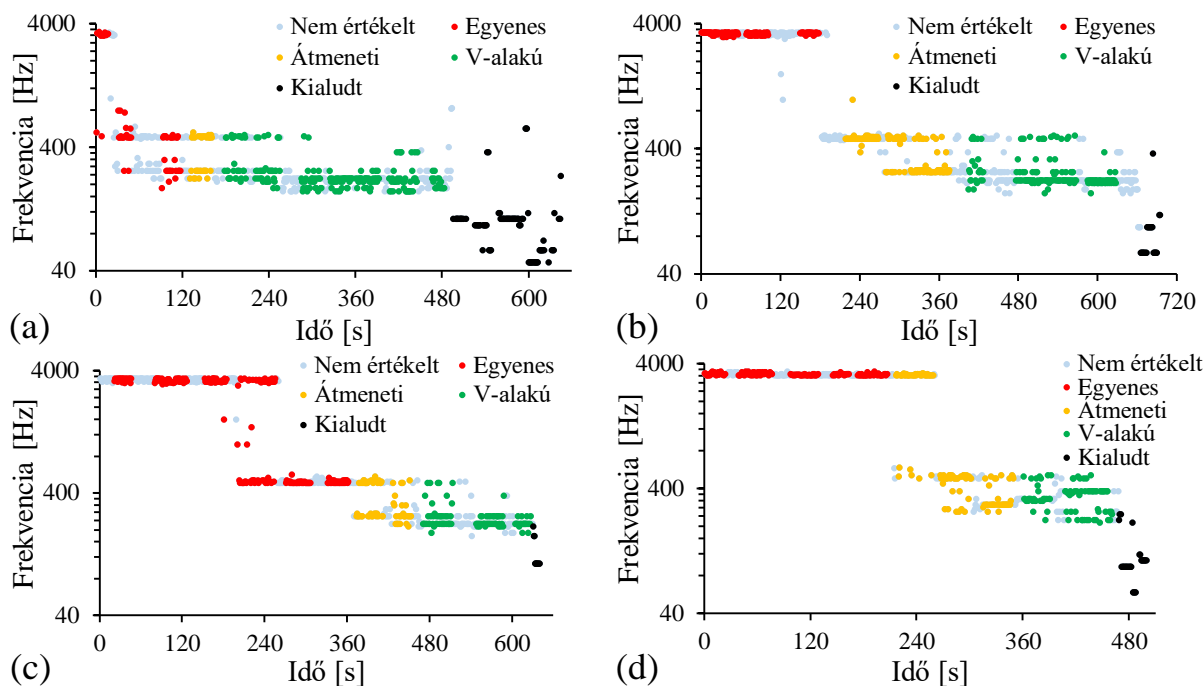


3. ábra

Különböző lángalakok spektrumai 0,83 bar porlasztónyomás esetén.

A 4. ábra a vizesésdiagramból származtatható. Esetünkben az alkalmazott Fourier transzformáció paraméterei: mintaszám: 1024, átfedés: 0%, ablak típusa: Hanning. Az ábrán csak a legnagyobb amplitúdójú összetevőt jelöltük, V lángalak esetén a ventilátor üzemének zajából származó összetevőket egy felüláteresztő szűrővel távolítottuk el. Az ábrán a beállt állapotokat jelöltük színessel, a szürke pontok közöttük a két mérési pont közötti átállást jelölik.

Látható, hogy egyenes láng esetén a kezdeti csúcsok mindig 3400 Hz körül voltak, majd az átmenetivé válás előtt hol már a 480 Hz körüli összetevő volt a domináns, hol még a 3400 Hz-es, V alakú esetben pedig 220 Hz közelében található a csúcsfrekvencia. Átmeneti esetben hol a V alaknál tapasztalható 220 Hz, hol a nagyobb perdületszámú egyenes lángoknál már megjelenő 480 Hz dominál, melynek a magyarázata az, hogy a két lángalak felváltva van jelen. A 4. c és d ábra esetén jobban kivehető, hogy az átmeneti szakasz elején főleg a 480 Hz-es összetevő a csúcsfrekvencia, a V alak felé pedig már egyre ritkábban domináns, ez is mutatja az átmeneti szakasz fokozatos viselkedését. Természetesen ezek nem éles frekvenciacsúcsok, mivel a folyamat erősen változó és az égési folyamat alapvetően szélessávú jelenség, azonban mégis elég jól elhatárolható egymástól a jellemző csúcsfrekvenciák tartománya a három különböző lángalak esetén. A kiemelt csúcsok tehát egyenes láng esetén 3200-3400 Hz, átmeneti esetben 480-500 Hz, V-alakú esetben pedig 220-250 Hz közé esnek.



4. ábra

A spektrumszeletek csúcsai a, 0,29 bar ; b, 0,83 bar ; c, 1,12 bar ; d, 1,54 bar porlasztónyomásokon.

4. ÖSSZEFOGLALÁS

A különböző vizsgált lángalakok jól definiálható frekvencia csúccsal jellemezhetők. Egyenes láng esetén a csúcsfrekvencia 3400 Hz környékén van és az ennél kisebb komponensek is aránylag nagy amplitúdóval rendelkeznek, majd amint közeledünk az átmeneti szakaszhoz, a 480 Hz-es összetevő válik dominánssá. Átmeneti esetben 220 Hz és 480 Hz között felváltva tapasztaljuk a csúcsot, mely jól magyarázható azzal, hogy hol az egyenes, hol a V alakú láng fordul elő, majd amikor stabilizálódnak a V alak, akkor már zömében a 220 Hz-es összetevő a domináns.

Köszönetnyilvánítás

Jelen cikk az Emberi Erőforrások Minisztériumának az ÚNKP-17-2-I számú Új Nemzeti Kiválóság Programja és a Bolyai János Kutatási Ösztöndíj támogatásaival készült.

Irodalmi hivatkozások

- [1] Y. Huang and V. Yang, "Dynamics and stability of lean-premixed swirl-stabilized combustion," *Prog. Energy Combust. Sci.*, vol. 35, no. 4, pp. 293–364, 2009.
- [2] I. Glassman and R. Yetter, *Combustion*, 4th ed. Burlington: Academic Press, 2008.
- [3] J. M. Beér and N. A. Chigier, *Combustion aerodynamics*. London: Robert E. Krieger publishing company, inc., 1972.
- [4] G. Novotni and V. Józsa, *XXII. Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszaka*. Kolozsvár, 2017.03.23 - 2017.03.24: Erdélyi Múzeum-Egyesület, 2017.
- [5] J. Rayleigh, *The theory of sound*, 2nd ed. New York: Dover, 1945.
- [6] A. V Singh, M. Yu, A. K. Gupta, and K. M. Bryden, "Investigation of noise radiation from a swirl stabilized diffusion flame with an array of microphones," vol. 112, pp. 313–324, 2013.
- [7] J. R. Mahan, "A Critical Review of Noise Production Models for Turbulent, Gas-Fueled Burners," *NASA Contract. Rep. 3803*, 1984.
- [8] S. Kotake and K. Takamoto, "Combustion Noise: Effects of the shape and size of burner nozzle," *J. Sound Vib.*, vol. 112, pp. 345–354, 1987.
- [9] R. N. Kumar, "Further experimental results on the structure and acoustics of turbulent jet flames," *AIAA Pap.*, no. 1975–523, pp. 483–508, 1975.
- [10] Novotni G. I. és Józsa V., "Turbulens, perdületes dízelolaj láng akusztikai spektrumának elemzése," *Energiagazdálkodás*, vol. 58, no. 6, pp. 37–40, 2017.
- [11] D. Durox, T. Schuller, and J. P. Moeck, "Dynamics of Swirling Flames."