

TURBULENS PERDÜLETES LÁNG AKUSZTIKAI DIAGNOSZTIKÁJA

ACOUSTIC DIAGNOSTICS OF A SWIRLING TURBULENT FLAME

Novotni Gergely István¹, Józsa Viktor²

BME Gépészmérnöki Kar, Energetikai Gépek és Rendszerek Tanszék, 1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3., Magyarország; Telefon: +36-1-463-2596;

¹*novigeri93@gmail.com,* ²*jozsa@energia.bme.hu*

Abstract

In order to fulfill the continuously stringent emission standards, lean premixed flames are used. However, such an operation results in an operation near the lean blowout limit which can be diagnosed by acoustic devices. During the investigation, a 15 kW lean premixing prevaporizing-type swirl burner was used. Diesel oil was utilized as fuel which was atomized by an airblast atomizer. Depending on the swirl number, straight, V-shaped, and in the transition regime both can be observed. Therefore, a bistable region separates the two regimes in which the equivalent sound pressure level was investigated and its relation to the flame shapes.

Keywords: flame stability, swirl number, turbulent flame, liquid fuel combustion, acoustics

Összefoglalás

A folyamatosan szigorodó emissziós normák teljesítése érdekében szegény keverékű, előkevert lángokat alkalmazunk. Viszont az ilyen üzem a lángfűvési stabilitási határhoz igen közel esik, melyet akusztikai eszközökkel diagnosztizálhatunk. A vizsgálathoz egy 15 kW-os szegény keverékű, előkeveréses, előpárolgató rendszerű perdületes égőt alkalmaztunk. A tüzelőanyag dízelolaj volt, amit egy levegő segédkezes porlasztóval porlasztottunk. A perdület-paraméter függvényében egyenes, V-alakú, illetve az átmenet során mindkét lángalak megfigyelhető, tehát egy bistabil régió választja el a két tartományt. Ezekben vizsgáltuk az egyenértékű hangnyomásszintet és ennek kapcsolatát a lángalakokkal.

Kulcsszavak: lángstabilitás, perdület-paraméter, turbulens láng, folyadéktüzelés, akusztika

1. Bevezetés

A folyamatosan szigorodó emissziós normák miatt a tüzeléstechnikában a szegény keverékű tüzelés dominál, mivel így lehet tartani az előírt nitrogénoxid koncentrációt. Azonban minden határon túl nem szegényíthető a keverék, hiszen az égés mindössze a 2-es légfelesleg-tényezőig tartható fent [1]. A lángfűvési határhoz

közeledve egyre csökkenő frekvenciájú oszcilláció figyelhető meg a hőfelszabadulás- és a nyomásjelben is [2]. Tehát a lángakusztikai tervezés napjainkban igen kritikusává vált. Korábban a széles körben alkalmazott diffúz lángok esetében ilyen probléma nem merült fel, így a rendelkezésre álló irodalom igen szűkös. A lángakusztikai jelenségek ismeretében viszont már megfelelő szabályzó- és on-line felügyeleti

rendszerek telepíthetők a működés közben tartása érdekében.

A tüzelőberendezésekben alapvetően két oka van a zaj keletkezésének. Az egyik a turbulencia, ami eleve spektrális jelenség, míg a másik a hőfelszabadulás, ami a turbulens áramképpel való interakciója miatt szintén széles frekvenciatarománnyal jellemezhető [3]. Az égési zaj fontos zajforrás többek között ipari kemencékben és tüzelőberendezésekben, fáklyázásnál, repülőgép hajtóműveknél, gázturbináknál és diesel motoroknál [4].

Perdületes áramlások, így égések összehasonlítására a perdület-paramétert alkalmazzuk, melynek számítása (1) szerint történik [5]:

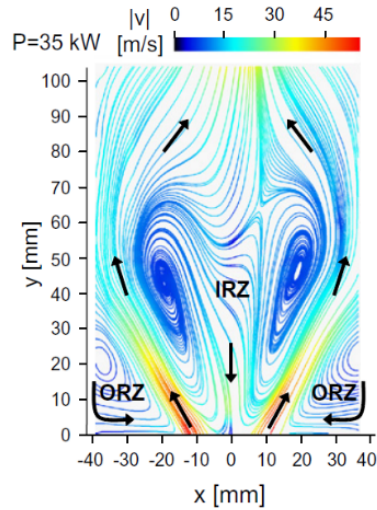
$$S = \frac{G_\phi}{G_x \cdot R} \quad (1)$$

ahol G_x a közeg perdületének a tengelyirányú komponense, G_ϕ az axiális irányú impulzuserő és R az áramcső sugara. Ennek számértéke alapján beszélhetünk gyengén perdületes ($S < 0,6$), illetve erősen perdületes áramlásokról ($S > 0,6$).

A mérésünk során alapvetően három lángstabilitási fázist különböztetünk meg, melyek perdület-paramétertől függenek. A gyengén perdületes áramlások esetén egyenes lángalakról beszélünk, míg erősen perdületes áramlásoknál a precesszáló örvénymag leszakad és egy külső-, valamint egy belső recirkulációs zóna (ORZ és IRZ) alakul ki [5], ami az **1. ábrán** látható. Ekkor a láng V alakot vesz fel, mivel az intenzív égés a két zóna határán történik. Az egyenes és a V alakú lángok közt az átmenet egy bistabil régióval jellemezhető, melyben a lángalakok változása kaotikus, azonban átlagosan az a lángalak figyelhető meg tovább, amelyik stabil formához közelebb vagyunk.

Jelen cikkben az említett lángalakok egyenértékű hangnyomásszintre kifejtett hatását vizsgáljuk, mely eredmények direkt

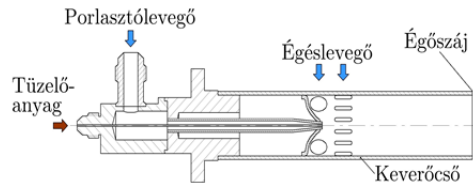
módon használhatóak a tüzeléstechnikai tervezéshez.



1. ábra. Áramlási kép V alakú láng esetén [6].

2. A mérés menete

A méréseket egy szegény keverékkel üzemelő, előkeveréses, előpárolgató rendszerű, perdületes égővel végeztük, melynek metszete a **2. ábrán** látható. A tüzelőanyag szabványos dizelolaj (EN 590:2014) volt, melyet egy levegő segédközeges porlasztóval porlasztottunk. Itt a központi tüzelőanyag vezetékkel koncentrikusan lép be a nagysebességű porlasztólevegő, mely a folyadéksugarat cseppekre bontja. Az égéslevegő négy tisztán radiális kör keresztmetszetű és tizenöt 45°-os téglalap keresztmetszetű nyíláson keresztül lép be a keverőcsőbe [7]. Ez utóbbi nyílások felelősek a perdületes áramlás kialakulásáért.



2. ábra. A mérés során használt égő metszete

A láng stabilitásának növelése érdekében egy 30°-os félkúpszögű diffúzort illesztettünk az égő szájára. Az itt bemutatott eredmények esetében csak ezt a konfigurációt elemezzük. A lángstabilitás fentebb említett három fázisát a **3. ábra** szemlélteti.



3. ábra. Balról jobbra: Egyenes, bistabil és stabil V alakú láng.

Az égéslevegőt 400°C-ra melegítve juttattuk be a keverőcsöbe. Az égési zajt egy SVAN 971 típusú zaj analizátor segítségével mértük, melyet a lángtól 1 m-re helyeztünk el oldalirányban. A mikrofon mintavételezési frekvenciája 12 kHz volt. Az egyenértékű hangnyomásszint mellett a minimum, illetve maximum hangnyomásszintet is mértük. Spektrális szempontból Z szűrőt alkalmaztunk, mely egyformán súlyozza az összes frekvenciát.

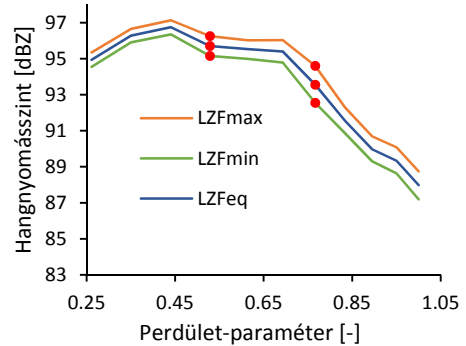
A mérés során 0,75 bar állandó porlasztónyomás mellett fokozatosan növeltük az égéslevegő tömegáramát 11,91 kg/h-tól a láng lefűvásáig, 2,38 kg/h-s lépésközzel.

3. Az eredmények értékelése

A mérési sorozatból nyert adatok feldolgozásának és kiértékelésének gondolatmenete a lángalak hatásának vizsgálata a keletkező zajra. Az eredmények a **4. ábrán** láthatóak. Mérési pontonként 30 másodperc mintavételezés logaritmikus átlagát tüntetjük fel a minimum, maximum és egyenértékű Z hangnyomásszint szerint.

A vízszintes tengelyen a geometriai paraméterek és peremfeltételek segítségével

meghatározott perdület-paraméter található. A piros jelölők a lángstabilitási határokat jelzik. 0,52-es perdület-paraméterig egyenes, 0,77-ig bistabil, e fölött pedig V alakú lángot tapasztaltunk.

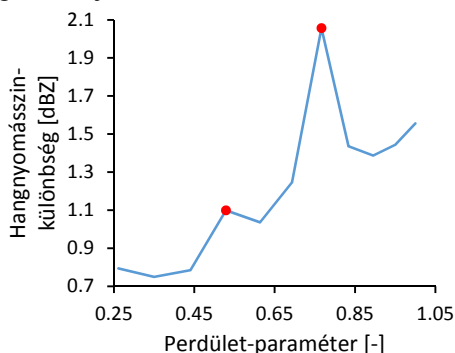


4. ábra. Hangnyomásszint a perdület-paraméter függvényében.

Az első szakasz elején enyhén emelkedik a hangnyomásszint, ami azzal magyarázható, hogy a perdület-paraméter növekedésével intenzívebbé válik a tüzelőanyag és a levegő keveredése, ami növekvő nyírőfeszültséget eredményez a közegben, növekvő zajkibocsátást eredményezve. Az enyhe csökkenés, illetve stagnálás, ami a bistabil zóna közel végéig tart, a megfelelően homogén keverék kialakulása miatt tapasztalható. Mivel a bistabil zóna egy átmenet az egyenes és a V alakú láng között, ezért mivel utóbbi felé tartunk, ami jóval kevésbé zajos, látható egy letörés. A perdület-paraméter növelése, ami esetünkben a légfeszültség-tényező növelését is jelenti, a szegényebb keverék felé haladva közel lineáris zajcsökkenést mutat, egészen a lángkialvásig. Érdemes megjegyezni, hogy a logaritmikus skálán a minimális és a maximális átlagos hangnyomásszint értékek közt közel 10 dB a különbség, ami igen jelentősnek mondható.

A **4. ábrán** látható egy érdekes jelenség, miszerint a maximális és minimális görbék kissé távolodnak egymástól. Ezt emeli ki az

5. ábra, tehát a maximális és a minimális súlyozatlan hangnyomásszintek különbségét láthatjuk.



5. ábra. Hangnyomásszint különbség a perdület-paraméter függvényében.

Itt a bistabil szakasz felé tartva nő a hangnyomásszint-különbség. A bistabil és a V alakú láng határán pedig egy csúcshoz érkezőnk, ami a két lángalak közti gyors váltakozás eredményeképp alakul ki. A két lángalak közti váltás frekvenciája kb. 1-3 Hz között változott, így a gyors időátlagolás eredményeképp mért minimális és maximális hangnyomásszintekben már mind a két lángalak elég hosszan megjelenik. Így a zajosabb egyenes lángalak és a kevésbé zajos V alakú lángalak közti különbséget láthatjuk. Ezt a pontot elhagyva a V alakú láng hangnyomásszint-különbsége visszaesik, azonban a kiindulási pont közel duplája figyelhető meg itt. Ennek oka a keverék szegénységére vezethető vissza, mivel a keverék gyulladása kvázistacionáriussá válik.

4. Következtetések

A tanulmány során bemutattuk a perdületes turbulens láng megfigyelhető alakjait és ezeket akusztikai szempontból jellemeztük.

Az egyenes lángalak zaj szempontjából kevésbé érzékeny a perdület-paraméterre. Itt az üzemet egyenletes zajkibocsátás jel-

lemzi, így a minimum és maximum hangnyomásszintek különbsége 1 dB körül mozgott. A bistabil zóna a hangnyomásszint-különbségek segítségével jól körülhatárolhatóvá vált. Ez az érték jelentősen visszaesett a tisztán V alakú láng esetén, míg az egyenértékű hangnyomásszint közel lineáris csökkenést mutatott, ami az egyenes lángalakhoz képest nem egészen 10 dB csökkenést jelentett.

Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnénk megköszönni az Emberi Erőforrások Minisztériumának, hogy az ÚNKP-16-II. kódszámú, Új Nemzeti Kiválóság Program keretében támogatta a kutatást.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] I. Glassman, R. Yetter: *Combustion*, 4. kiadás, Elsevier Academic Press, Burlington, 2008.
- [2] Y. Huang, V. Yang: Dynamics and stability of lean-premixed swirl-stabilized combustion, *Prog. Energy Combust. Sci.*, vol. 35, no. 4, pp. 293–364, 2009.
- [3] W. C. Strahle: Combustion noise, *Prog. Energy Combust. Sci.*, vol. 4, no. 3, pp. 157–176, 1978.
- [4] A. H. Lefebvre, D. R. Ballal: *Gas turbine combustion*, 3. kiadás, CRC Press, Boca Raton, 2010.
- [5] J. M. Beér, N. A. Chigier: *Combustion aerodynamics*. Robert E. Krieger publishing company, London, 1972.
- [6] M. Stöhr, és mások: Experimental study of vortex-flame interaction in a gas turbine model combustor, *Combust. Flame*, vol. 159, no. 8, pp. 2636–2649, Aug. 2012.
- [7] Gy. Hidegh, V. Józsa: Diffúzor alkalmazása perdületes égő lángfűvési stabilitásának növelésére, *Energiagazdálkodás*, vol. 57, no. 3–4, pp. 17–20, 2016.