

Porlasztás sebességképeinek elemzése statisztikai momentumok segítségével

Evaluation of the velocity profile of airblast spray with statistical momenta

RÁCZ Erika¹, MSc hallgató, Dr. JÓZSA Viktor², egyetemi docens

BME, Energetikai Gépek és Rendszerek Tanszék; 1111 Budapest, Bertalan Lajos u. 4-6. (D.épület) 208;
tel.:(+36 1) 463-2613; fax: (+36 1) 463-1762; honlap: <http://www.energia.bme.hu/>

¹racz@energia.bme.hu, ²jozsa@energia.bme.hu

Kivonat

Porlasztással a mérnöki tudományok számos területén találkozunk a mezőgazdaságtól kezdve az energetikai alkalmazásokig. Kutatásaink során egy mikrogázturbina égő által előállított permet Fázis Doppler Anemométeres mérés eredményeit vizsgáltuk. Jelen cikkben a képzett permetben kialakuló sebességprofil statisztikai momentumok segítségével történő értékelését tárgyaljuk különböző folyadékok, porlasztási feltételek és permetbeli pozíciók mentén.

Kulcsszavak: levegő segédközegeles porlasztás, PDA, sebesség, eloszlás, statisztikai momentum

Abstract

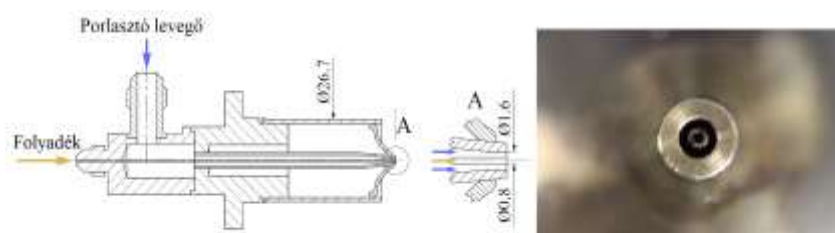
Atomization can be found in numerous fields of engineering sciences, from agriculture to applications in energy. During the present research, the analysis of a spray Phase Doppler Anemometer measurement data, generated by a micro gas turbine burner was performed. In this paper, the velocity profiles of the spray were evaluated by statistical momenta at various atomizing conditions, measurement locations, and liquid types.

Keywords: airblast atomization, PDA, velocity, distribution, statistical momentum

1. BEVEZETÉS

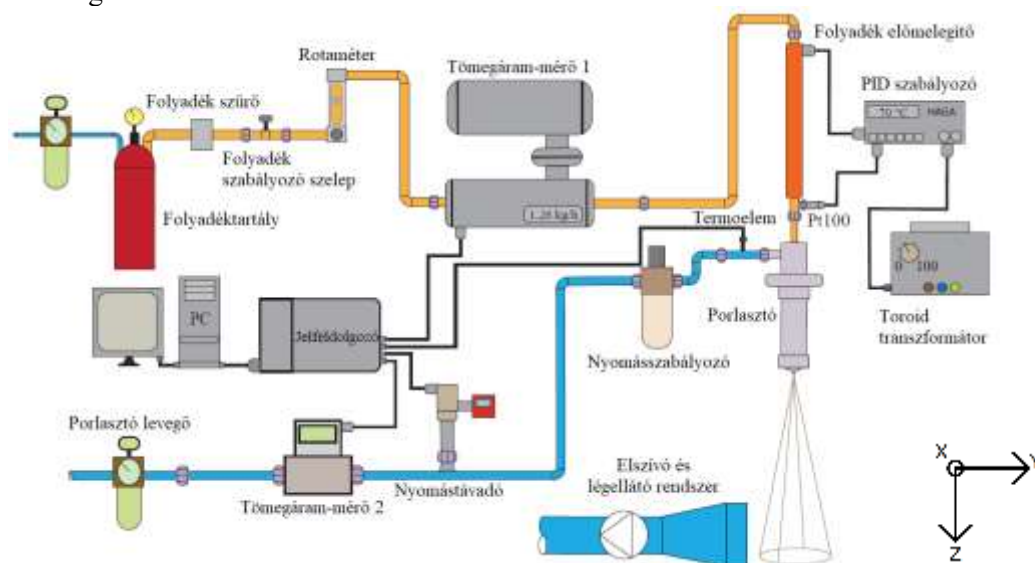
Számos ipari technológia használata során (pl. energiaipar, mezőgazdaság, orvostudomány, meteorológia) szükséges a folyadékok permetképzése, amelyre porlasztókat alkalmaznak. A folyadék cseppekké bontása történhet nagysebességű porlasztó gáz segítségével, ilyen berendezések a levegő segédközegeles porlasztók is. A porlasztás során kétfázisú, a gyakorlati alkalmazásokban elsősorban turbulens áramlás jön létre, amely analitikus becslése a kaotikus természete miatt nem lehetséges. A porlasztási technológiák során gyakran feltételeket szabnak a kialakult permetet jellemző tulajdonságokkal szemben, pl. elvárt átlagos vagy küszöb cseppméret, amelyek biztosítása a folyamatok ismerete nélkül nem lehetséges. A permet vizsgálatát a fentiekből kifolyólag elsősorban méréses úton szokás vizsgálni, amely eredményeit a permetképződés sztochasztikus jellege miatt statisztikai módszerekkel elemezhetünk [1,2].

2. MÉRŐRENDSZER BEMUTATÁSA



1. ábra. Capstone C-30 mikro-gázturbina porlasztójának metszete (balra) [3] és a fűvókacsúcs (jobbra)

Jelen cikk a Brno Műszaki Egyetemen korábban elvégzett mérés eredményeinek feldolgozásával és értékelésével foglalkozik. A vizsgálatot egy Capstone C-30 mikro-gázturbina égő egyszerű sugaras, levegő segédközeget porlasztóján végezték el Fázis Doppler Anemométer (PDA) segítségével. A porlasztó kialakítása az 1. ábrán látható, a sárga nyíllal jelölt, 0,4 mm átmérőjű csőben áramlik a porlasztott folyadék, míg a kék nyíllal jelölt, előzővel koncentrikus, 0,8 mm belső és 1,6 mm külső átmérőjű gyűrűben áramlik a porlasztólevegő.



2. ábra. Mérőrendszer felépítése [3]

A 2. ábra mutatja a mérőrendszert, mely esetén jelenlegi munkában a permet egy átmérő, szabványos dízelolaj (EN590:2017) és több porlasztónyomás szerint értékeltük. A rendszerben a folyadék a sárga, a porlasztó levegő pedig a kék csövekben áramlik, míg a fekete vonalak az adatkábeleket és elektromos vezetékeket jelölik. Az alkalmazott PDA mérés technika segítségével a permet vizsgálata annak megzavarása nélkül lehetséges, mely optikai úton mikrométer mérettartományú, gömbszimmetrikus részecskék méretének és sebességének detektálására alkalmas. Itt a porlasztó forgástengelyének irányában (Z irány) méretet és sebességet, és egy arra merőleges irányú sebességkomponens (Y irány) mentén sebességet mértek a fúvókacsúcstól három távolságban ($z = 20, 40$ és 60 mm) fekvő merőleges keresztmetszeten, összesen 90 pontban. Az adatgyűjtés 40.000 egyedi csepp detektálásáig vagy 15 s időlimitig tartott pontonként. A mérést 0,3; 0,6; 0,9; 1,2; 1,8 és 2,4 bar porlasztási túlnyomás esetén végezték el, a 25 °C-os dízelolaj tömegárama minden esetben 1,28 kg/h volt. Jelen vizsgálataink során a regisztrált Z irányú sebességkomponens adatsorokat értékeljük. Az X irányú léptetés mellett az Y irányú sebességkomponenst is bár mértük, ez mindössze néhány m/s értékű volt, így ettől eltekinttünk.

3. ÉRTÉKELÉSI MÓDSZER

Először az axiális sebességek adatsorainak szűrését végeztük el. A PDA Z irányban zöld lézerefények segítségével mér, amely hullámhossza 0,532 μm , ebből kifolyólag az ennél kisebb átmérővel rendelkező cseppek detektálására fizikailag alkalmatlan, így ennél kisebb cseppeket kiszűrtük. Második lépésben az adatsorokból kilógó elemeket a Matlab szoftver isoutlier [4] függvényének segítségével szűrtük ki. Ezzel a lépéssel a maradék adat modellezés szempontjából homogénebben viselkedik, az eltávolított adatok pedig kis valószínűségi folyamatok eredményei. Mivel az axiális sebességek eloszlásai egy mérési pontban a porlasztónyomástól függően eltérő sebességtartományba esnek, így szórásuk és átlaguk eltérő. Emiatt az összehasonlításukhoz dimenziótlanítást végeztünk az adatsorokon (1) segítségével:

$$v_{tr,i} = \frac{v_i - E(V)}{D(V)}, \quad (1)$$

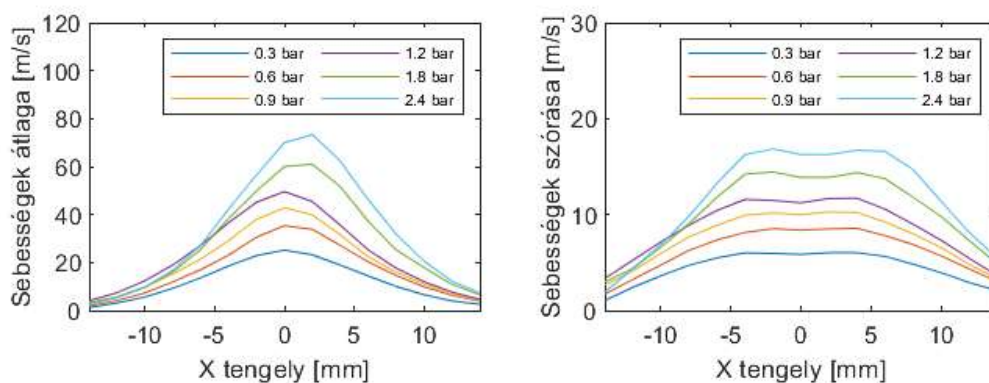
ahol V egy mérési pontban regisztrált cseppek axiális sebességkomponensinek halmaza, v_i a V halmaz eleme, $E(V)$ annak várható értéke, $D(V)$ a szórása, $v_{tr,i}$ pedig v_i elem transzformált, dimenziótlan sebessége. Így az eloszlások átlaga nulla, szórása egységnyi lesz.

A mérőpontok elhelyezkedése szintén befolyásolja a sebességeloszlások tulajdonságait, alakjuk jelentősen torzulhat a peremen elhelyezkedő mérési pontokban. A statisztikában általában négy mutatót használunk az eloszlások jellemzésére, ezek a már említett átlag és a szórás, illetve centrális momentumok.

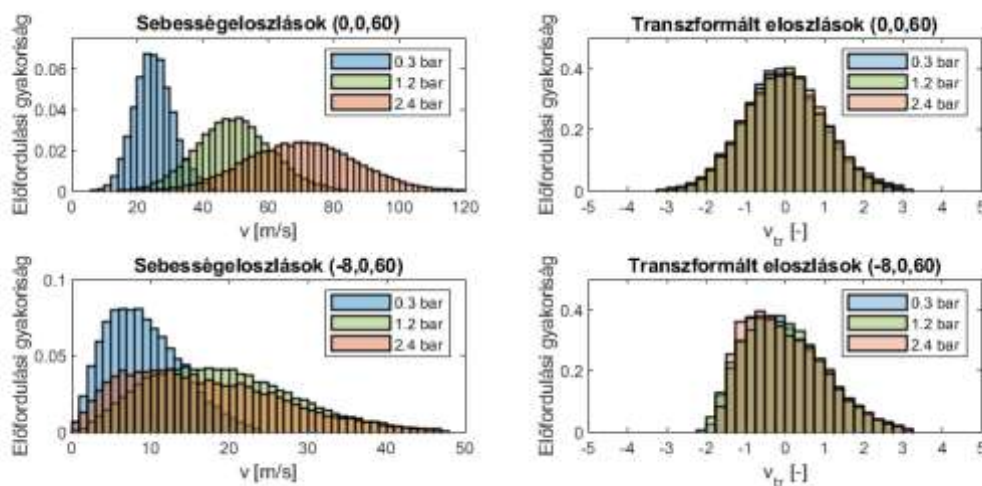
A harmadik momentum a ferdeség, amely segítségével az eloszlás szimmetriáját vagy aszimmetriáját vizsgálhatjuk meg, a negyedik pedig a kurtózis, amely számszerűen megadja a vizsgált eloszlás normál eloszláshoz viszonyított csúcsosságát vagy lapultságát [5]. Ezek számítását a Matlab beépített mean, std, skewness és kurtosis függvényeivel végeztük el [4].

4. EREDMÉNYEK BEMUTATÁSA

A $z = 60$ mm keresztmetszeten, X irányban kijelölt pontokban regisztrált cseppek axiális sebességeloszlásait jellemző átlag és szórás értékek a 3. ábrán láthatóak. A fúvókából csak axiális erő származik, a radiális keveredésért a turbulencia felelős [6]. A sebességeloszlások átlagai és szórásai a fúvókacsúcshoz közeledve ($z = 20$ és 40 mm), illetve a porlasztónyomás növelésével növekednek. A $z = 60$ mm keresztmetszet, $x = -5$ mm és 5 mm tartományában minden porlasztónyomáson megfigyelhető, hogy a szórás értékekben nincs jelentős változás. A $z = 20$ mm keresztmetszeten ilyen jelleg nem tapasztalható, mivel a permet ebben a távolságban még kifejtetlen, a gyűrűs porlasztó légsugár hatása jól megfigyelhető [7].

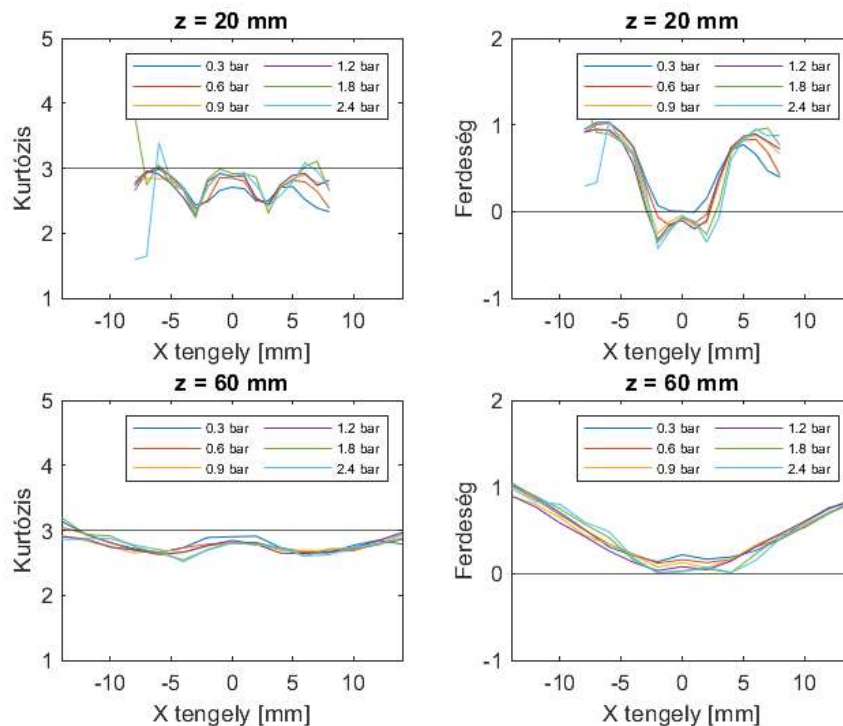


3. ábra. $z = 60$ mm mérési pontok sebességeloszlásainak átlaga (bal) és szórása (jobb)



4. ábra. $(0,0,60)$ és $(-8,0,60)$ mm koordinátájú pont sebességeloszlásai és transzformált alakja

Dimenziótlanítás után a mérési pontokban a különböző porlasztónyomásokhoz tartozó transzformált sebességeloszlások hasonlóságot mutatnak, ez látható a 4. ábrán. A permet szélső pontjaiban az eloszlások alakja torzul, ezért az összehasonlításhoz szükség van a ferdeség és kurtózis mutatókra is, számszerű értékeik az 5. ábrán láthatóak. A szimmetrikus eloszláshoz tartozó ferdeség mutató értéke nulla, a negatív ferdeséggel rendelkező eloszlások jobbra, míg a pozitív ferdeségű eloszlások balra dőlnek. A permet középpontjában az eloszlások jellemzően szimmetrikusak, míg a perem felé haladva az eloszlások balra dőlnek, az alacsonyabb értékek felé. A normál eloszláshoz tartozó kurtózis a használt módszer esetén három értékű [4], az ennél alacsonyabb kurtózis értékű eloszlások laposabbak, míg a magasabb értékűek csúcsosabbak [5].



5. ábra. $z = 20$ és 60 mm mérési pontok eloszlásainak további jellemzői

5. ÖSSZEFOGLALÁS

A statisztikai dimenzióatlanítási módszer segítségével a különböző porlasztónyomásokon egymáshoz hasonló eloszlások előállítása történt, így adott mérési pontokban a sebességek átlaga és a porlasztónyomás korrelál. A négy kiválasztott statisztikai mutató eredményeinek összevetésével megfigyelhető egy olyan tartomány, ahol a szórás, ferdeség és kurtózis értékei jelentősen nem változnak. Ezeken a tartományokon a megfigyelt sebességeloszlások regularitást mutatnak, ezért lehetséges olyan összefüggések megalkotása, amelyek segítségével a permet egyedi cseppjei statisztikailag helyesen modellezhetők.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Jelen cikk a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal támogatásával, az NKFI Alapból az OTKA-FK 124704 projekten keresztül valósult meg, Rácz Erika részvételét az OGÉT 2021 konferencián az Emberi Erőforrás Támogatáskezelő NTP-HHTDK-20 pályázata támogatta.

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] Lefebvre A.H., McDonnell V.G. *Atomization and Sprays*, Second Edition. 2017. <https://doi.org/10.1201/9781315120911>.
- [2] Faeth G.M., Hsiang L.P., Wu P.K. *Structure and breakup properties of sprays*. International Journal of Multiphase Flow 1995; 21:99–127. [https://doi.org/10.1016/0301-9322\(95\)00059-7](https://doi.org/10.1016/0301-9322(95)00059-7).
- [3] Urbán A., Malý M., Józsa V., Jedelský J. *Effect of liquid preheating on high-velocity airblast atomization: From water to crude rapeseed oil*. Experimental Thermal and Fluid Science 2019; 102:137–51. <https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2018.11.006>.
- [4] MathWorks. MATLAB, Statistics Toolbox Release 2020b 2020.
- [5] Fazekas I. *Bevezetés a matematikai statisztikába*. Debrecen: Kossuth Egyetemi Kiadó; 2000.
- [6] Lajos T. *Az áramlástan alapjai*. 4th ed. Budapest: Lajos Tamás; 2008.
- [7] Urbán A., Groniewsky A., Malý M., Józsa V., Jedelský J. *Application of big data analysis technique on high-velocity airblast atomization: Searching for optimum probability density function*. Fuel 2020;273:117792. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117792>.