

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



Levegő segédközeges porlasztás permetének jellemzése

Tézisfüzet

írta: Urbán András

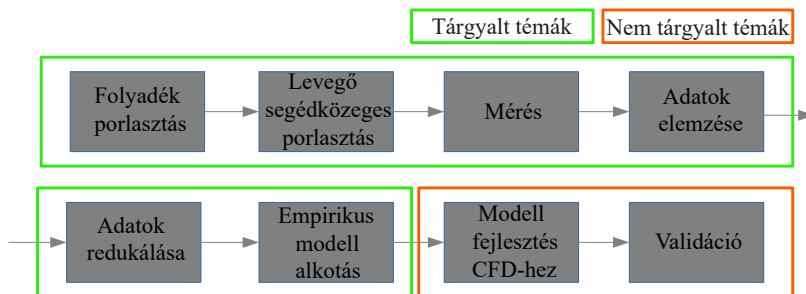
Témavezető
Dr. Józsa Viktor

Budapest, 2021

1. A téma ismertetése, célkitűzés

A gázturbinák fontos szerepet játszanak mind az energiatermelésben, mind a repülőiparban [1]. A legtöbb energiaszektorban üzemelő egység földgázzal üzemel, ami más tüzelőanyagokhoz képest magas égési hatékonyságot és alacsony szennyezőanyag-kibocsátást eredményez, mivel könnyen elegyedik a levegővel. A folyamat célja a homogén tüzelőanyagpára-levegő keverék biztosítása a lángfront előtt. Emiatt a porlasztás minőségének megfelelő megértése és javítása és tüzeléstechnika egyik alapköve. A porlasztók típusai közül a levegő segédközegetes porlasztót széles körben alkalmazzák a mérnöki gyakorlatban a festéstől a kohászatig, az orvosi alkalmazásoktól a gázturbináig [2, 3]. Gyakorlati relevanciája mellett ez a típusú porlasztó kiváló modellplatform a porlasztás jelenségének tanulmányozásához, mivel a porlasztó geometriája viszonylag alacsony hatással van a permetképződés folyamatára [4]. A folyadékporlasztás mechanizmusa alapvetően összetett folyamat, amely magába foglalja az anyag, az energia és a erő átadását. A folyamat kaotikus jellege miatt a legtöbb kutatás még mindig empirikus ezen a területen. A porlasztás két fő részre osztható, amelyek közül a folyadéksugár felbomlását primer, míg a távolabbi régióban történő aprózódását szekunder porlasztásnak nevezzük. A cseppképződés bonyolultságát jól szemlélteti az a tény, hogy a szakirodalomban ma csak empirikus és fél-empirikus összefüggések állnak rendelkezésre a Sauter középátmérő, *SMD*, becsléséhez. Számosságuk és a különböző vizsgálati tartományuk azonban megnehezítik a területen történő eligazodást [5].

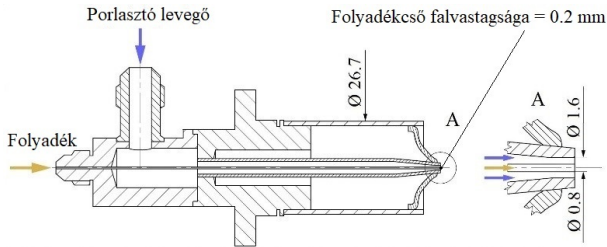
Az 1. ábra szemlélteti a disszertáció által érintett fő tématerületeket. A dolgozat a zöld szegéllyel jelölt jelenségeket tárgyalja.



1. ábra. A kutatási folyamat fő lépései.

Az általánosan feldolgozott téma a folyadékporlasztás, ahol a levegő segédközegetes porlasztás egy vizsgálati alcsoportnak tekinthető. A porlasztási folyamat értékelése elvégezhető mérésekkel és adatelemzéssel, ahol a hatal-

mas mennyiségű mérési eredmények megfelelő redukción eszközök bevonását igénylik. A végső cél olyan új empirikus modellek létrehozása, amelyek jobban illeszkednek és jobban hozzájárulhatnak a már meglévő formulákhoz. Végül ezeket az összefüggéseket be lehet építeni meglévő numerikus modellekbe, azok minőségének javítása érdekében. Ezután a modelleket a mérési eredményekkel összevetve a validációs résszel zárul be a disszertációban tárgyalt kutatás. A dolgozat keretein belül egy egyszerű sugaras levegő segédközeget porlasztót alkalmaztam különböző folyadékok porlasztására, melynek keresztmetszeti rajza a 2. ábrán látható.



2. ábra. A vizsgált porlasztó keresztmetszeti rajza.

A jelenlegi vizsgálati esetben a keverőcsövet eltávolítottuk a porlasztó elkülönítésének érdekében, illetve a folyadék falon történő felhalmozódásának elkerülése végett. A folyadék 0.4 mm belső átmérőjű központi csövön keresztül áramlik, míg a porlasztólevegő egy 1.6 mm külső és 0.8 mm belső átmérőjű koncentrikus gyűrűn halad át. Ezt a porlasztót több más kutató is vizsgálta az egyszerű geometriája és működése miatt [6, 7].

Tüzelés esetén a viszkózus folyadékok előmelegítést igényelnek, ezért az előmelegítés hatását is vizsgáltam, mivel a nagyon viszkózus megújuló folyadékok egyre nagyobb figyelmet kapnak. Másrészt a lézeres mérési technológia is jelentősen fejlődött, ezért időszzerűvé vált az *SMD* meglévő összefüggéseinek újbóli áttekintése is. Eközben a porlasztásnak olyan jellemzői is vannak, amelyeket még egyik kutató sem publikált a levegő segédközeget porlasztóra vonatkozóan, ilyen például a porlasztási félkúpszögére vonatkozó empirikus összefüggés. Ennek bemutatását a disszertáció keretein belül a korábban említett hőmérséklet-függőséggel együtt tárgyalom.

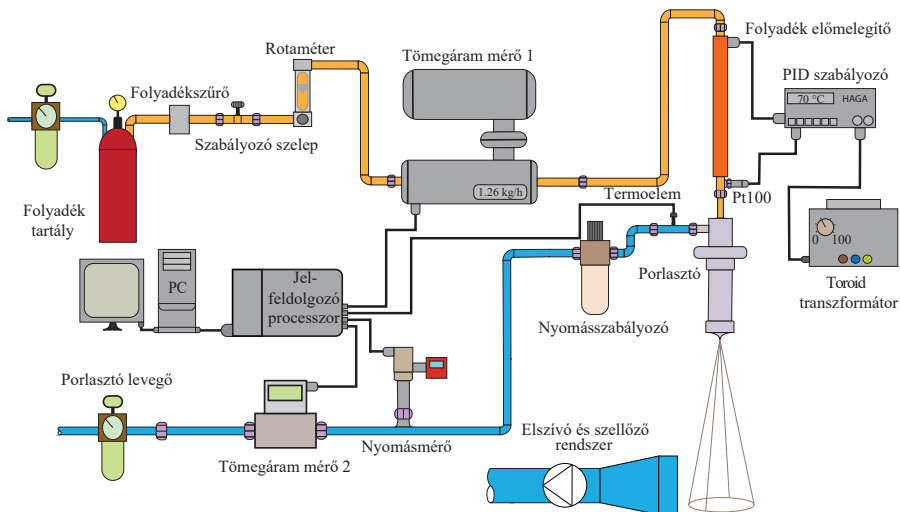
Ezenkívül az *SMD* nem képes önállóan leírni a méreteloszlást, ezért a valószínűségi sűrűség függvényeket (PDF) is felhasználtam a permet értékelése során. A vonatkozó PDF-ekről és a porlasztás területén történő alkalmazhatóságukról a jelenleg rendelkezésre álló szakirodalom nagyon korlátozott, viselkedésüket az üzemi paraméterek függvényében nem tárgyalják [8]. Ezért a legmegfelelőbbek a különböző üzemi paraméterek függvényében rangoso-

lásra kerültek. Azonban, kininomultabb statisztikai eszközök bevonásának segítségével az eredmények kibővíthetőek. Ilyen például a likelihood-analízis, melynek segítségével a cseppek méreteloszlására általánosságban jobban illeszkedő görbéket kapunk.

2. Vizsgálati módszerek

A porlasztás jelenségének mérésés úton történő vizsgálatát egy Fázis Doppler Anemométer (PDA) segítségével végeztük el tüzelésmentes esetben. A porlasztás szekunder szakaszának vizsgálatához a PDA biztosítja számunkra a legalkalmasabb mérőrendszert, mivel a tipikus cseppméret mikrométeres tartományban van, továbbá a módszer nem zavarja meg az áramlás folyamatot. Segítségével folyamatosan meghatározható a gömbszimmetrikus részecskék, cseppek, buborékok sebessége, mérete és koncentrációja [9]. A magyarországi korlátozott hozzáférhetőség miatt a kutatáshoz kapcsolódó mérősortozatot a Brno-i Műszaki Egyetemen 2015-ben és 2017-ben végeztük el. Az első mérések során a dízelolaj (D) porlasztására fókuszáltunk szub- és szuperszonikus áramlási körülmények között egyaránt. A vizsgálat fő célja azon valószínűségi sűrűségfüggvények meghatározása volt, amelyek a legjobban illeszkednek a különböző fúvókától mért távolságokban mérhető várható értékhez. A 2017-es mérések során a mérőrendszert folyadékélelmelegítő rendszerrel kibővítettük, amely alapvetően a porlasztólevegő nyomásának megváltoztatása mellett az előmelegítési hőmérséklet változásával a nagy viszkozitású folyadékok vizsgálatára is alkalmassá vált. A vizsgálatokat négy különböző folyadékra végeztük el, ahol a desztillált víz (W) főként referenciamérések alapjául szolgált. Ezenkívül az előmelegítés hatásának vizsgálatához értékeltük továbbá a dízel (D), a nyers repceolaj (RO) és a könnyű fűtőolaj (LHO) porlasztását egyaránt értékeltük. A cél a meglévő *SMD*-re vonatkozó összefüggések értékelése volt, hogy az eredeti képletekben szereplő anyagjellemzők hőmérsékletfüggését elégséges-e figyelembe venni, vagy további tagokkal szükséges bővíteni a meglévő összefüggéseket. A permet a fúvókától mért 50 mm axiális távolságból már kifejlettnek tekinthető. A kísérleti atmoszférikus tesztkörnyezet, amelyet elsősorban a cseppek méretének és sebességének meghatározására használtam, a 3. ábrán látható.

Az alkalmazott porlasztási túlnyomás értékek, p_g , korábbi égéses körülmények mérési tapasztalatainak alapján lettek kiválasztva [10], érintve a szub- és szuperszonikus régiókat. Számszerűen: 0.3, 0.6, 0.9, 1.2, 1.8 és 2.4 bar. A folyadék egy előmelegítő rendszeren keresztül érkezett a porlasztóhoz, amelyet minden egyes folyadék esetén alkalmaztam. A következő előmelegítési hőmérsékleteket, t_p , vizsgáltam D, LHO és RO esetében 25, 40, 55, 70 és 100 °C. A W volt az egyetlen kivétel, mivel a maximális hőmérséklet ebben az



3. ábra. A mérőberendezés sematikus rajza, amely tartalmazza a folyadék és porlasztó levegő ágait és a vonatkozó műszerezettséget.

esetben 90°C volt, annak érdekében hogy elkerüljem a forrásközeli állapotot, de minden más alacsonyabb t_p értékek megegyeznek a többi folyadék esetében alkalmazottakkal.

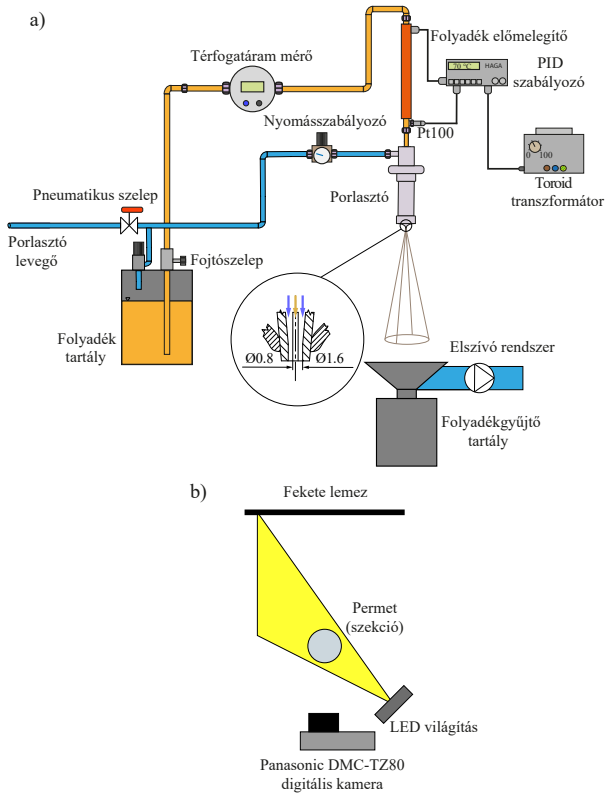
Egy további mérőkör került kialakításra a porlasztási félkúpszög, SCA , meghatározásának céljából, amelyet a 4a ábra mutat be. A permetet egy digitális fényképezőgép segítségével fényképeztem. A permet mögött egy fekete lemezt helyeztem el, illetve előlről kis szögben megvilágította egy LED-es reflektor, melynek sematikus rajza a 4b ábrán látható.

3. A kutatás eredményei és a tézisek ismertetése

Az (1) egyenlet a porlasztás irodalmában jól ismert összefüggés az SMD becslésére egyszerű sugaras levegő segédközeges porlasztókra.

$$SMD = d_0 \cdot \left(1 + \frac{1}{ALR}\right) \cdot \left(A \cdot We_A^C + B \cdot Oh_L^E\right), \quad (1)$$

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 , B , C és



4. ábra. Vázlatos rajz a(z) a) folyadék és porlasztó levegő ágak és azok vonatkozó műszerezettségéről, és b) *SCA* mérésre vonatkozó optikai beállításokról.

D folyadékfüggő konstansok. A C és D konstansok általánosan használt értékei rendre -0.5 és 1 . Ebből az összefüggésből és más kutatók által publikált formulákból kiderül, hogy a viszkozitás hatását kevésbé hatékonyan kezelik.

A kapott vizsgálati eredményekből következtetve általános megfigyelés volt, hogy amikor a folyadékok viszkozitása egy bizonyos viszkozitási határ alá kerül, akkor az összes már publikált összefüggés korrekt becslést ad az *SMD* értékére. Ezenkívül A paraméter értéke állandó maradt az alacsony viszkozitású folyadékok esetén a teljes vizsgálati tartományon. A nagy viszkozitású folyadékok esetén azonban többnyire lineáris hőmérsékletfüggés fedezhető fel. Létezik egy átmeneti pont, amelynek meghatározása a könnyű fűtőolajon keresztül a leglátványosabb. Itt $t_p = 70$ °C érték esetén értük el

azt, amikor a folyadék további előmelegítése már nem befolyásolja A paraméter értékét. Ebből kifolyólag bevezethető a határviszkózitásnak nevezett jelenség. Ez azt jelenti, hogy létezik egy olyan viszkózitásérték, amely alatt a folyadék viszkózitásának további csökkentése már nem befolyásolja az SMD értékét az összefüggésben már alaphő szereplő hőmérsékletfüggő anyagtulajdonságokon túlmenően. Ezért ez a határ egyértelműen meghatározza a folyadék előmelegítés mértékét az egyes alkalmazásokban. A határviszkózitás $\nu_{L,\text{lim}} = 4.21 \text{ mm}^2/\text{s}$ értékre adódott a jelenlegi mérési konfigurációban és $56 \text{ }^\circ\text{C}$ -on található LHO esetén.

Ezen eredmények és mérési adatok alapján a következő tézis összefoglalja az SMD becslésének kibővítését nagysebességű porlasztás esetén:

1. Tézis

Levegő segédközeget porlasztás esetén a határviszkózitás felett a Lefebvre által felírt SMD becslő összefüggésben található We szám együtthatója hőmérsékletfüggést mutat az összefüggésben található hőmérsékletfüggő anyagjellemzők mellett. A We együtthatója mellett az Oh együtthatója is hőmérsékletfüggő, azonban ez a határviszkózitástól függetlenül folytonos változást mutat a referenciahőmérséklethez viszonyított viszkózitáshányadoson keresztül. Így a bővített, hőmérsékletfüggést is figyelembe vevő SMD becslő összefüggés a következőképpen definiálható:

$$\frac{SMD}{d_0} = \left(1 + \frac{1}{ALR}\right) \left[A_{t_r} \cdot \begin{cases} \frac{t_p}{t_r}, & \text{if } \nu_L > \nu_{L,\text{lim}} \\ 1, & \text{if } \nu_{L,t_r} \leq \nu_{L,\text{lim}} \\ \frac{(t_p \text{ at } \nu_{L,\text{lim}})}{t_r}, & \text{if } \nu_L \leq \nu_{L,\text{lim}} \end{cases} \cdot We_A^{-0.5} + B_{t_r} \left(\frac{\nu_{L,t_r}}{\nu_L}\right)^{0.5} Oh_L \right],$$

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_{t_r} és B_{t_r} a folyadék előmelegítés függvényében definiált konstansok.

Az érvényességi tartomány $ALR = 0.78 - 2.07$, $Ma = 0.62 - 1.45$, és $t_p = 20 - 100 \text{ }^\circ\text{C}$ D, LHO, and RO folyadékokra vonatkozóan illetve $t_p = 20 - 90 \text{ }^\circ\text{C}$ W esetén. [P1, P6, P7, P8]

Annak ellenére, hogy az SCA a permet egy könnyen megfigyelhető mak-

roszkopikus jellemzője, a jelenlegi tudományos szakirodalom nem biztosít általános meghatározást. Az összefüggés az *SCA* és az üzemi paraméterek között méréses úton lett meghatározva, mellyel új empirikus összefüggést definiáltam. Számos kutató foglalkozott az *SCA* mérésével az elmúlt évtizedekben, ezért már meglévő empirikus összefüggések rendelkezésre állnak más porlasztótípusokra vonatkozóan, amelyek az alapjait képezhetik a levegő segédközege porlasztóra vonatkozó összefüggésnek [11]. Ezen korábbi vizsgálatok alapján a fúvóka geometriája, a folyadék tulajdonságai és a környező közeg sűrűsége befolyásolja a legnagyobb mértékben az *SCA* értékét. Az előzetes kísérleti eredmények szerint az *SCA* fordítottan arányos a porlasztónyomás hatványával a 10-800 kPa tartományon, és 1 MPa felett nem észlelhető jelentős változás [12]. A nyomáshoz hasonlóan a környezeti közeg sűrűségének növekedése is növeli az *SCA* értékét. Mindazonáltal a permet egyéb tulajdonságai, beleértve az *SMD*-t is, befolyásolható a folyadék tulajdonságain keresztül, ide tartozik a felületi feszültség, a viszkozitás és a sűrűség. Az *SCA* esetében azonban a felületi feszültség változásának nincs jelentős hatása.

A megfelelő összefüggés megtalálásának érdekében egy képfeldolgozó algoritmust fejlesztettem, amely magába foglalja a feldolgozandó képek forgatását, kalibrálását, vágását, szükséges korrekcióit, a tisztítási folyamatokat és az *SCA* konzisztens mérését. A képkorrekciós részben egy threshold algoritmust fejlesztettem ki a nem teljesen éles porlasztási határok felismerésének javítására. Mindazonáltal ennek a résznek a végső célja egy olyan empirikus összefüggés meghatározása volt, amely megfelelően becsüli az *SCA* értékét a levegő segédközege porlasztásra vonatkozóan széles tartományon értelmezett üzemi körülmények között. Több lehetséges független dimenziótlan szám bevonásával meghatároztam a porlasztási félkúpszög összefüggését a p_g és t_p függvényében. Az eredmények alapján fogalmaztam meg a második tézist:

2. Tézis

Levegő segédközege porlasztás esetén a permet kúpszögét, *SCA*, a következő összefüggés írja le:

$$SCA = A \cdot \tilde{\rho}_L \cdot ALR^B,$$

ahol $\tilde{\rho}_L$ a referenciahőmérsékleten vett folyadéksűrűség és az előmelegítési hőmérsékleten vett folyadéksűrűség hányadosa. *ALR* a levegő és tüzelőanyag tömegáramainak aránya. Továbbá, *A* és *B* paraméterek. *A* paraméter szolgál a vonatkozó porlasztónyomás változásának leírására, míg *B* paraméter a folyadék előmelegítés hatásának hozzájárulását foglalja magába. A fenti empirikus összefüggés folyadékról folyadéokra történő alkalmazása a következő paraméterkészlet felhasználásával lehetséges:

	Konst.	D	LHO	RO	W
<i>ALR</i>	A	20.7	25.0	25.1	24.3
	B	-0.20	-0.19	-0.18	-0.07

Konstans párok különböző folyadékok esetén.

Az összefüggés a felhasznált paraméterkészlettel 0.78 – 2.07 *ALR* és 0.62 – 1.45 *Ma* szám közötti tartományon érvényes. Az előmelegítés érvényességi tartománya D (Diesel olaj), LHO (könnyű fűtőolaj) és RO (nyers repceolaj) esetén 20 – 85 °C, míg W (desztillált víz) esetén 20 – 70 °C. [P2, P9]

Manapság a cseppméret-eloszlás statisztikai elemzése egyre fontosabb a gyakorlati alkalmazásokban. Ennek a résznek a fő motivációja a folyékony tüzelőanyagok tüzeléses körülmények között vett vizsgálataiból származik, ahol a permet párolgási folyamata [13] hatással van a szennyezőanyag-kibocsátásra [8, 14]. Ezenkívül az általános célú festés és a filmréteges technológiák meglehetősen érzékenyek a permet [15] méreteloszlására. A cél a különböző valószínűségi sűrűségfüggvények (PDF) illesztése és értékelése, a legnagyobb valószínűsége összpontosítva. Ez a módszer akkor hasznos, ha meg kell határozni egy átlagos cseppméret-eloszlást, például az *SMD*-t. Ezen elemzés keretén belül két szélsőséges esetet vizsgáltam meg p_g szempontjából. Mindkét esetben két különböző fúvókától mért távolságot értékeltem, melyek rendre egy fejlődő és egy kifejlett permetet reprezentálnak. A levegő segédközeges porlasztás irodalmát követve 3 PDF-t emeltem ki a kvalitatív R^2 kiértékeléséhez. Az elemzést kiterjesztettem más PDF típusokra is, és számos más PDF típus is jó eredményt szolgáltatott az illesztés minőségét illetően. Végül arra a következtetésre jutottam, hogy a szakirodalomban leggyakrabban használt PDF-ek biztosítják a legjobb illeszkedést. Ennek ellenére négy további PDF típus is alkalmas az egyszerű sugaras levegő segédközeges porlasztás cseppméret-eloszlásának megfelelő becslésére. Az elért eredmények kombinálásával a harmadik tézis a következőképpen határozható meg:

3. Tézis

A levegő segédközeges porlasztás 0.3–3.1 bar porlasztási túlnyomás tartományában, dízelolaj esetén a kétparaméteres valószínűségi sűrűségfüggvények közül a Gamma biztosítja a legjobb minőségű illeszkedést a determinációs együttható szempontjából. Ezt követik a Rosin-Rammler és a Log-normal PDF típusok abban az esetben, amikor a függvény várható értékének meghatározása a cél. Az il-

leszkesedés minősége bár több paraméter alkalmazásával javítható, a fizikai viselkedés helyes értékelése érdekében az *SMD*-t a túllillesztés elkerülése végett nem célszerű kettőnél több paraméterrel rendelkező valószínűségi sűrűségfüggvénnyel közelíteni. A megállapítás unimodális eloszlásokra érvényes. Az érvényességi tartomány $ALR = 0.78 - 2.32$, $Ma = 0.62 - 1.57$. Továbbá a megállapítás alacsony viszkozitású folyadékokra és nagysebességű porlasztás esetén érvényes. [P3, P4]

A statisztikai analízis kiterjesztésének egyik eszköze a log-likelihood, amely a különböző PDF-ek illesztési minőségéről ad információt, különös tekintettel a méreteloszlásra összpontosítva, nem csak egy tetszőlegesen meghatározott várható értékre. Az ehhez a részhez köthető fejezetben 18 PDF-et vizsgáltam meg a log-likelihood analízis segítségével. Hét PDF típus kiemelkedő volt a többiekkel szemben, amelyeket tovább vizsgáltam. Az eredmények egymással szemben történő összehasonlításához teljesítménytérkép alapú módszertant alkalmaztam. A valószínűségi eredményeket 0 és 100 között skáláztam, amely a függvények globális teljesítményét reprezentálják a legrosszabb és a legjobb teljesítményhez viszonyítva. A relatív log-likelihood eredményeket egy színskála táblázatban foglaltam össze, minden PDF típus esetén külön-külön. Ezen eredmények alapján a következő tézist mondtam ki:

4. Tézis

A levegő segédközeges porlasztás permeteloszlását általánosan egyetlen valószínűségi sűrűségfüggvény segítségével sem lehetséges jól közelíteni, mivel a permet különböző régiókban jellegre jelentősen eltérő eloszlásokat kapunk. Összességében a log-likelihood analízis alapján a Burr háromparaméteres valószínűségi sűrűségfüggvény bizonyul a legjobbnak 0,3-2,4 bar porlasztási túlnyomás esetén víz, dízelolaj, könnyű fűtőolaj és nyers repceolaj esetén. Azonban a permet közepének vizsgálatánál 0.6 bar porlasztónyomás felett a Generalized Extreme Value valószínűségi sűrűségfüggvény homogén módon a legjobb illeszkedést biztosítja. A kétparaméteres valószínűségi sűrűségfüggvények közül általánosan a Nakagami a legjobb választás. A porlasztás irodalmában széleskörűen alkalmazott Rosin-Rammler PDF jelentősen alulteljesített más PDF típusokhoz képest. [P5]

4. Az eredmények alkalmazása

A mérnöki gyakorlatban levegő segédközeges porlasztást széles körben alkalmaznak a festésben, a kohászatban, de egészen az orvosi felhasználásokon keresztül a gázturbináig számos különböző helyen találkozhatunk velük. Gyakorlati relevanciája mellett ez a típusú porlasztó kiváló modellplatformot biztosít a porlasztás jelenségének tanulmányozásához, mivel a porlasztó geometriája viszonylag kis hatást gyakorol a permetképződésre. Ezenkívül, ezt a porlasztótípust széles körben alkalmazzák az egyszerű geometriájuk, alacsony gyártási költségük és könnyű karbantartásuk miatt. A porlasztás folyamatát többnyire méréses úton tanulmányozzák a jelenség kaotikus jellege miatt. Ebből kifolyólag, ebben a dolgozatban a fő hangsúly az volt, hogy új technológiai eszközök kerüljenek kifejlesztésre. A már meglévő eszközök továbbfejlesztése és kiterjesztése ugyancsak kiemelt jelentőséggel bír a mérnökök körében.

A korábban bemutatott eredmények nagyrészt kísérleti megfontolásokra összpontosítanak, ezért az elért eredmények következetesen más hasonló levegő segédközeges porlasztók esetén is felhasználhatóak. Ezenkívül az átfogó elemzés utat nyithat a véges térfogat alapú numerikus modellek finomításához. A vizsgált folyadékokat úgy választottuk ki, hogy az anyagtulajdonságok széles skáláját képviseljék, és mint modellfolyadékok kezelhetőek legyenek különböző alkalmazásoknál.

Hivatkozások

- [1] A. H. Lefebvre and V. G. McDonell. *Atomization and Sprays*. CRC Press, Boca Raton, second edition, 2017.
- [2] Alireza Dalili, Sanjeev Chandra, Javad Mostaghimi, H. T. Charles Fan, and Joseph C. Simmer. Bubble entrapment and escape from sprayed paint films. *Progress in Organic Coatings*, 97:153–165, 2016.
- [3] Walter Scheefer, Simon Rosenkranz, Felix Brinckmann, and Cameron Tropea. Analysis of pneumatic atomizer spray profiles. *Particuology*, 29:80–85, 2016.
- [4] Viktor Józsa and Krisztián Dr. Sztankó. Capstone C-30 levegő segédközeges porlasztójának numerikus áramlástanai szimulációja. *Energiagazdálkodás*, 55(1):5–7, 2014.
- [5] A. H. Lefebvre. *Atomization and Sprays*. Hemisphere Publishing Corporation, 1989.

- [6] C.D. Bolszo. Investigation of Atomization, Mixing and Pollutant Emissions for a Microturbine Engine. Technical Report VIII, University of California, Irvine, 2005.
- [7] Sosuke Nakamura, Vince McDonell, and Scott Samuelsen. The Effect of Liquid-Fuel Preparation on Gas Turbine Emissions. *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, 130(2):021506, 2008.
- [8] A. H. Lefebvre and D. R. Ballal. *Gas turbine combustion*. CRC Press, Boca Raton, third edition, 2010.
- [9] Dantec Dynamics A/S. *LDA and PDA Reference manual*. Dantec Dynamics, Skovlunde, Denmark, 2011.
- [10] Attila Kun-Balog, Krisztián Sztankó, and Viktor Józsa. Pollutant emission of gaseous and liquid aqueous bioethanol combustion in swirl burners. *Energy Conversion and Management*, 149:896–903, 2017.
- [11] A. H. Rizk, N. K., and Lefebvre. Internal flow characteristics of simplex swirl atomizers. *AIAA J. Propul. Power*, 1(3):193–199, 1985.
- [12] De Corso SM., Kemeny GA. Effect of ambient and fuel pressure on nozzle spray. *Trans ASME*, 79:15, 1957.
- [13] Viktor Józsa and Dávid Csemány. Evaporation of Renewable Fuels in a Lean Premixed Prevaporized Burner. *Periodica Polytechnica, Mechanical Engineering*, 60(2):82–88, 2016.
- [14] Cheng Tung Chong, Meng Choung Chiong, Jo Han Ng, Mooktzeng Lim, Manh Vu Tran, Agustin Valera-Medina, and William Woei Fong Chong. Oxygenated sunflower biodiesel: Spectroscopic and emissions quantification under reacting swirl spray conditions. *Energy*, pages 804–813, 2019.
- [15] Rozen Grace B. Madera, Melanie M. Martinez, and Magdaleno R. Vasquez. Fabrication of oxidized CuO and spray-pyrolyzed TiO₂ heterojunction thin film. *Results in Physics*, 13(April):0–3, 2019.

Publikációk

- [P1] András Urbán, Milan Malý, Viktor Józsa, and Jan Jedelský. Effect of liquid preheating on high-velocity airblast atomization: from water to crude rapeseed oil. *Experimental Thermal and Fluid Science*, vol. 102 pages 137-151, 2019.

- [P2] András Urbán, Bálint Katona, Milan Malý, Jan Jedelský, and Viktor Józsa. Empirical correlation for spray half cone angle in plain-jet airblast atomizers. *Fuel*, vol. 277, 2020, 118197.
- [P3] András Urbán and Viktor Józsa. Investigation of fuel atomization with density functions. *Periodica Polytechnica Mechanical Engineering*, vol. 62(1), pages 33-41, 2018.
- [P4] András Urbán, Matouš Zaremba, Milan Malý, Viktor Józsa, and Jan Jedelský. Droplet dynamics and characterization of high-velocity airblast atomization. *International Journal of Multiphase Flow*, vol. 95 pages 1-11, 2017.
- [P5] András Urbán, Milan Malý, Axel Groniewsky, Viktor Józsa, and Jan Jedelský. Application of big data analysis technique on high-velocity airblast atomization: searching for optimum PDF *Fuel*, vol. 273, 2020, 117792.
- [P6] Valér Gottlasz, András Urbán Viktor Józsa, and Attila Guba. Possibilities of air-blast atomization measurement with PIV/LIF (in Hungarian). *Energiagazdálkodás*, vol. 59, 2018.
- [P7] András Urbán, Matouš Zaremba, Milan Malý, Viktor Józsa, and Jan Jedelský. Uncertainty analysis of an atmospheric fuel spray with Phase Doppler Anemometry measurement (in Hungarian). *Energiagazdálkodás*, vol. 58, 2017.
- [P8] Viktor Józsa and András Urbán. Measurement and estimation of the Sauter mean droplet diameter of a plain-jet airblast atomizer (in Hungarian). *Energiagazdálkodás*, 2016.
- [P9] András Urbán, Bálint katona, and Viktor Józsa. Experimental analysis of the spray half cone angle of airblast atomization. *14th International Conference on Energy for a Clean Environment*, Funchal, Madeira, Portugal, 2019.