

JENEI ATTILA ZOLTÁN

TDK DOLGOZAT

„Mivel mindenki a maga módján látja a világot,  
a maga módján éli meg nehézségeit és a sikereit.  
Tanítani annyi, mint megmutatni a lehetőséget.  
Tanulni annyi, mint élni a lehetőséggel.”

Paulo Coelho

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



TDK DOLGOZAT

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

**JENEI ATTILA ZOLTÁN**

**TDK DOLGOZAT**

**Levegő segédközeges porlasztás PDA méréseken alapuló mintaszám  
analízise**

Témavezető:

*Urbán András*

Doktorandusz hallgató

Budapest, 2017

Szerzői jog © Jenei Attila Zoltán, 2017.

Szerzői jog © Urbán András, 2017.

## NYILATKOZATOK

### *Elfogadási nyilatkozat*

Ezen TDK dolgozat a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Energetikai Gépek és Rendszerek Tanszéke által a Diplomatervezési és Szakdolgozat feladatokra előírt valamennyi tartalmi és formai követelménynek maradéktalanul eleget tesz. E TDK dolgozat a nyilvános bírálatra és nyilvános előadásra alkalmasnak tartom.

A beadás időpontja: 2017. október 28.

*témavezető*

### *Nyilatkozat az önálló munkáról*

Alulírott, *Jenei Attila Zoltán* (NRDG11), a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem hallgatója, büntetőjogi és fegyelmi felelősségem tudatában kijelentem és saját kezű aláírással igazolom, hogy ezt a TDK dolgozatot meg nem engedett segítség nélkül, saját magam készítettem, és a TDK dolgozatban csak a megadott forrásokat használtam fel. Minden olyan részt, melyet szó szerint vagy azonos értelemben, de átfogalmazva más forrásból átvettem, egyértelműen, a forrás megadásával megjelöltem.

Budapest, 2017. október 28.

*szigorló hallgató*

# TARTALOMJEGYZÉK

Jelölések jegyzéke .....	viii
1. Bevezetés .....	1
2. Szakirodalmi áttekintés .....	3
3. A mérés és előkészületei.....	9
3.1. Mérőberendezés ismertetése .....	9
3.2. A Fázis Doppler Anemométer ismertetés .....	10
3.3. A porlasztó és a vizsgált sík bemutatása.....	12
4. Mintaszám analízis .....	14
4.1. A minta szűrése.....	14
4.2. Kiértékelés .....	15
4.2.1. Az eredeti minta szűrése .....	16
4.2.2. Nagyobb minta szűrése.....	35
4.2.3. Minimális mintaszám összefoglalása.....	44
5. Összefoglalás .....	45
6. Summary .....	46
7. Felhasznált források.....	47
8. Melléklet.....	49
8.1. Hibaszámítás.....	49

# ÁRBAJEGYZÉK

1. <i>ábra</i> – A kialakított mérőberendezés sematikus rajza [17].	9
2. <i>ábra</i> – A fényszórás jelensége.	11
3. <i>ábra</i> – A PDA mérőberendezés [17].	11
4. <i>ábra</i> - Levegő segédközeges porlasztó metszeti képe.	12
5. <i>ábra</i> - A vizsgált porlasztó [17].	13
6. <i>ábra</i> – A mérési sík.	13
7. <i>ábra</i> - Szűrő program	15
8. <i>ábra</i> – A 20000-es minta 50 mm távolságban vett SMD eloszlása.	17
9. <i>ábra</i> - Az 5000-es minta 50 mm távolságban vett SMD eloszlása.	17
10. <i>ábra</i> - 2000-es minta SMD alakulás 50 mm távolságban egy átmérőn tekintve.	18
11. <i>ábra</i> – 50 mm távolságban 0,3 baron vizsgált SMD változása a mintaszámra.	19
12. <i>ábra</i> – 50 mm távolságban 2,1 baros SMD vizsgálat.	20
13. <i>ábra</i> – 50 mm távolságban 0,9 baros SMD vizsgálat.	21
14. <i>ábra</i> - 50 mm távolságban 0,3 baron a 20000-es minta eloszlása.	22
15. <i>ábra</i> - 50 mm távolságban 0,3 baron a 10000-es minta eloszlása.	22
16. <i>ábra</i> - 50 mm távolságban 0,3 baron a 2500-es minta eloszlása.	23
17. <i>ábra</i> - 50 mm távolságban 2,1 baron a 20000 minta eloszlása.	24
18. <i>ábra</i> – 50 mm távolságban 2,1 baron a 10000 minta eloszlása.	24
19. <i>ábra</i> – 50 mm távolságban 2,1 baron a 2500 minta eloszlása.	25
20. <i>ábra</i> – Span változása 20000-es mintában különböző nyomásokon.	26
21. <i>ábra</i> – Span változása 2000-es minta esetén különböző nyomásokon.	26
22. <i>ábra</i> - 0,3 baron a span értékei különböző mintaszámra.	27
23. <i>ábra</i> – Span értékek alakulása 2,1 baron változó mintákra.	28
24. <i>ábra</i> – Span alakulása 0,3 baron százalékos eltérésben 50 mm távolságban.	29
25. <i>ábra</i> – Span alakulása 2,1 baron százalékos eltérésben 50 mm távolságban.	29
26. <i>ábra</i> - Span alakulása 0,9 baron százalékos eltérésben 50 mm távolságban.	30
27. <i>ábra</i> - 50 mm távolságban vett sebességtérkép 0,3 baron 20000-es mintára.	31
28. <i>ábra</i> - 50 mm távolságban vett sebességtérkép 0,3 baron 2500 minta esetén	31
29. <i>ábra</i> - 50 mm távolságban vett sebességtérkép 2,1 baron 20000 minta esetén.	32
30. <i>ábra</i> - 50 mm távolságban vett sebességtérkép 2,1 baron 2500 minta esetén.	32
31. <i>ábra</i> - 50 mm-en vett sebességek kiértékelt adatai 0,3 baron 20000 mintára.	33
32. <i>ábra</i> - 50 mm-en vett sebességek kiértékelt adatai 2,1 baron 20000 mintára.	34
33. <i>ábra</i> - 50 mm-en 0,3 baron vett százalékos eltérése a hosszirányú sebességnek.	34
34. <i>ábra</i> - 50 mm-en, 2,1 baron vett és szűrt minták százalékos alakulása.	35
35. <i>ábra</i> – 50 mm távolságban a 126000-es minta SMD alakulása radiális irányban.	36
36. <i>ábra</i> – 50 mm távolságban a 31500-as minta SMD alakulása radiális irányban.	37
37. <i>ábra</i> – 50 mm távolságban 2,1 baros SMD vizsgálat.	38
38. <i>ábra</i> – 50 mm távolságban, 0,3 baron 126000-es minta eloszlása.	39
39. <i>ábra</i> - 50 mm távolságban, 0,3 baron 3937-es minta eloszlása.	39
40. <i>ábra</i> - 50 mm távolságban, 2,1 baron 126000-es minta eloszlása.	40
41. <i>ábra</i> - 50 mm távolságban, 2,1 baron 3937-es minta eloszlása.	40
42. <i>ábra</i> – 50 mm-en 126000 és 31500 minta közötti span értékek alakulása.	41
43. <i>ábra</i> – 50 mm-en a span értékek alakulása a 126000-es mintánál.	42
44. <i>ábra</i> – 50 mm-en 0,3 baron nyomáson az RMS és az általános középérték alakulása százalékos eltérésben.	42
45. <i>ábra</i> - 50 mm-en 2,1 baron nyomáson az RMS és az általános középérték alakulása százalékos eltérésben.	43

## TÁBLÁZATJEGYZÉK

<i>1. táblázat - Jellemző átmérők és alkalmazási területei.</i>	5
<i>2. táblázat - Az alkalmazott diesel.</i>	10
<i>3. táblázat - A szűrt mintaszámok.</i>	16
<i>5. táblázat – a 126000-es minta szűrt értékei</i>	36
<i>4. táblázat – Minimális mintavételezési szám.</i>	44



## JELÖLÉSEK JEGYZÉKE

A táblázatban a többször előforduló jelölések magyar és *angol* nyelvű elnevezése, valamint a fizikai mennyiségek esetén annak mértékegysége található. Az egyes mennyiségek jelölése – ahol lehetséges – megegyezik hazai és a nemzetközi szakirodalomban elfogadott jelölésekkel. A ritkán alkalmazott jelölések magyarázata első előfordulási helyüknél található.

### Latin betűk

Jelölés	Megnevezés, megjegyzés, érték	Mértékegység
$d$	cseppátmérő	m
$DR$	adatráta	1
$x$	relatív jellemző	1
$v$	sebesség	m/s

### Indexek, kitevők

Jelölés	Megnevezés, értelmezés
$DR$	adatráta (Data Rate)
$i$	általános futóindex (egész szám)
$n$	sorszám
$N$	minta elemszám
$p$	mérési pontok száma
$\Gamma$	Gamma
$RR$	Rosin-Rammler
$NT$	Nukiyama-Tanasawa
$RMS$	Root Mean Square (négyzetes középérték)
$M$	Mean (átlag)

## 1. BEVEZETÉS

A porlasztás professzionális vizsgálatához szükséges eszközök a 21. században váltak elérhetővé, amely új lehetőségeket teremtett az eddigi eredmények felülvizsgálatára és új tudományos eredmények megalkotására.

A porlasztók vizsgálata fontosnak mondható, hiszen a hétköznapokban is találkozhatunk velük, amire jó példa az elektromos cigarettában található porlasztó. Működési elve alapján a porlasztó egység szimultán mód biztosítja a permetképzést és az elgőzölögtetést. A porlasztóban található akkumulátorról működő fűtőszál a folyadékot gőzzé alakítja, és levegő segédközeggel keveri, amit a felhasználója lélegez be [1].

Az egészségügy több területén is alkalmaznak porlasztókat. Ilyenek például a fertőtlenítés, az adott folyadék mechanikus porlasztásával, illetve az inhalátor esetében alkalmazott egység, ami a levegőbe porlasztja a gyógyszert.

Az autóiparban is használnak porlasztókat, ami hivatalosan karburátorként vagy gázosítóként is szerepel a köztudatban. Magyar vonatkozásban Csonka Jánost, mint társfeltalálót tisztelhetünk, aki Bánki Donáttal 1893 februárjában jelentették be szabadalmukat [2]. A kísérleteket egy, az általuk tervezett négyütemű, állóhengeres, izzócső-gyűjtésű<sup>1</sup> benzinmotoron végezték. Működését akkoriban a fűvókás permetezőéhez lehetett hasonlítani [3]. Voltaképpen levegő-tüzelőanyag keveréket állít elő, amit egy szikra gyújt be. A szívóhatást a csőben áramló gáz depressziós nyomása hozza létre, melyet a dugattyú mozgása biztosít. A tüzelőanyagot tartályból egy csővel csatlakoztatva juttatnak a gázhoz, amivel keveredhet. Az alapjáráshoz egy állandó keresztmetszetű, míg a gyorsításhoz, illetve lassításhoz egy túvel változtatható keresztmetszetű fűvókát építenek be, így szabályozva a tüzelőanyag mennyiségét. Emellett természetesen a gáz mennyisége is szabályozva van a megfelelő keverék előállításához [4]. Érdeemes megjegyezni, hogy a gépkocsikban többnyire átvette a karburátor szerepét a befecskendezés, viszont motorkerékpároknál még megtalálhatóak. Továbbá a gépjárművek festését is porlasztásos festékfújóval szokták megoldani. Számos egyéb példával találkozhatunk a hétköznapokban, így belátható, hogy milyen jelentős szerepet képvisel mindennapi életünkben a porlasztás.

---

<sup>1</sup> A lánggyújtás veszélyét és felügyeletét hivatott kiküszöbölni. Folyamata, hogy egy szigetelt rézcsövet petróleumlánggal hevítenek. Megfelelő idő után a láng eltávolítását követően már a keverék robbanása önmagában fenntartja az izzást.

Nagyobb méretekben a tüzelési technológiáknál alkalmaznak porlasztókat. Elterjedésének és fejlesztésének oka, hogy a folyékony tüzelőanyagok égése csak tüzelőanyagpára-levegő keverékként valósulhat meg, ezért a folyadékok fajlagos felületének növelése célszerű. Ezt minél finomabb cseppekre való bontással lehet a leghatékonyabban elérni. A tüzeléstechnikában még elkülöníthető két nagy felhasználási terület, melyek a kazánok blokkégői, illetve a gázturbinás egységek. Az erőművi gázturbinás egységek többnyire földgázzal üzemelnek, míg a JET és hasonló repülőgépek kerozin-hajtásúak, így a folyékony tüzelőanyagok alkalmazása gázturbinás környezetben megoldott.

A gázturbinákban két porlasztótípus terjedt el: a nyomásporlasztó és a levegő segédközeges porlasztó. A nyomásporlasztók hátránya viszont, hogy a fúvóka közelében koromképződés alakulhat ki a magas tüzelőanyag-koncentráció miatt. Ezért főleg repülőgép-gázturbinákban a levegő segédközeges porlasztó kiszorította a nyomásporlasztót [5].

A földgáz tüzelési hatásfoka közel tökéletesnek mondható, azonban az általánosan alkalmazott folyékony tüzelőanyagokra ez koránt sem mondható el. Külön igaz ez a magasabb viszkozitású megújuló alapú tüzelőanyagokra és növényi olajokra, melyek felhasználása további vizsgálatokat igényel az optimális üzemi paraméterek meghatározásának érdekében. Ez azért fontos és azért került előtérbe, mivel egyre nagyobb hangot kap a fosszilis tüzelőanyagok kimerülése, így szükségszerűvé válik alternatív opciók tesztelése. Különböző területen különböző típusú porlasztók kerülnek alkalmazásra, melyeknek más és más működési alapelvei vannak. Szóval különböző célok kiszolgálására a porlasztók széles skálája áll rendelkezésre.

A modern technológia eszközök sok kérdést vonnak maguk után, többek között a mintavételezési számot és mivel nincs egyetértés a témában ezért szükséges egy globális analízis elvégzése, amellyel iránymutatást tudunk biztosítani a porlasztás területét vizsgáló mérnökök számára. Egyfajta bemeneti peremfeltételt biztosít a megbízható mérések kivitelezhetőségére vonatkozóan, amely a mérés kivitelezésének idejét is optimalizálja, hiszen ha a nagy biztonság felé megyünk el, az nagyon sokáig tarthat és nem feltétlen éri meg ennyit mintavételezni. A másik végletben, a kevés minta torzító hatással lehet a cseppeket jellemző értékekre, melyek a reprezentatív átmérők, illetve sebességeik. Továbbá a mérések reprodukálhatóságában is bizonytalanságokhoz vezethet a különböző elemszámok használata. Munkánkban különböző elemszámú mintával kívánjuk elvégezni vizsgálatainkat az említett jellemző értékekre, illetve a reprodukálhatóság kérdésében is következtetést kívánunk levonni.

## 2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

Minden mérés során – legyen az akár laboratóriumi, akár terepen végzett - felmerül kérdés-ként, hogy minként történjen a mintavételezés. Ez esetben két számszerűsítendő kérdés van: milyen gyakorisággal és mennyit mintavételezzenek.

Az előbbi kérdésre több tanulmány és meghatározás is született, melyek főként a villamos-ságtechnika területén születtek. Erre a mintavételezési gyakoriság fogalma vezethető be (mintavételezési frekvenciának is nevezik), amely megadja, hogy az adott analóg-digitális átalakító mennyi mintát vesz az adott jelből másodpercenként. Erre született meg egy olyan meghatározás, hogy az adott jel frekvenciájának legalább kétszeresével történjen a mintavétel [6]. Emellett a gyakorlatban viszont még ennél is gyakoribb a mintavétel – akár öt-hatszoros – is lehet a pontosabb jelalak érdekében.

A második kérdés már vitatottabb, mivel vannak, akiknek az időhatékonyság fontosabb és vannak, akik a pontosság érdekében a minél nagyobb mennyiségre törekszenek. Viszont ez esetben előfordulhat, hogy akár feleslegesen sokat, avagy keveset mintavételeznek. E fejezetünkben több cikket is elemeztünk, hogy azok íróik hogyan vélekedtek a mérésről magáról és a minta mennyiségéről.

A Khalifa University of Science and Technology-ről és az Imperial Collage Londonról közösen 2017-ben született egy folyóiratcikk porlasztó képi vizsgálatáról, amire egy nagy sebességű fényképező rendszert, míg a jellemző cseppátmérőre és a sebességük mérésére pedig PDA-t (Phase Doppler Anemometry) használtak, ahol a porlasztott közeg víz-levegő keverék volt. Mérésükben a permet szerkezetét, folyadékszalagok felszakadását vizsgálták közelebbi, illetve távolabbi nézetben merőlegesen a levegő segédközeges porlasztóra. A cseppek méretét a permet középvonalán találták a legkisebbnek, szintén minimális értékű SMD (Sauter Mean Diameter)-vel, ami a középpontból kifelé haladva növekedett. SMD értékeik 55-80  $\mu\text{m}$  között változtak a kiértékelésnél, míg a cseppek sebességei 5-45 m/s között tartományban helyezkedtek el függően a csepp helyzetétől. A tanulmányuk átlagosan 10000 mintáról szól, amit a cseppméretekről és a sebességekről vettek fel a kiértékeléshez [7].

Egy spanyol egyetemről, a Universidad de Zaragoza-ról szintén 2017-ben jelent meg egy tudományos cikk, ahol nagysebességű porlasztást vizsgáltak. A képrögzítésre és mérésre egy lézeres elven működő mérőberendezést (laser diffractometer) használtak. A porlasztott közeg

szobahőmérsékletű glicerin, illetve víz volt, amit tangenciális hozzávezetésű levegővel porlasztottak. Különböző távolságokban készített képek mellett az SMD-t, mint jellemző átmérőt vizsgálták, ahol az átlagos mintaszám 12500 volt [8].

A harmadik cikkünk egy ausztriai egyetem, a Macquarie University cikke. 2016-ben született meg a tanulmány, ahol a mérőműszer LDA/PDA, amivel a cseppméretet vizsgálták nagy sebességű közegben, jelentős hangsúlyt fektetve a cseppeknél létrejövő nyíró hatásra, illetve a produkált instabilitásokra. Nagy sebességű mikroszkóp felvételeket készítettek levegő, illetve levegő nélküli porlasztás esetén is, vizsgálva a szélső helyzeteket. Kiértékelésükben áramlási profilokat vettek fel a turbulens szakaszok megállapítására, kevésbé fókuszálva jellemző méret (SMD) vizsgálatára. Az átlagos mintaszám itt 10000 volt [9].

Ipari égőkhöz használatos porlasztó optimalizálási vizsgálatát folytatta a Brno-i egyetem az égésből származó emisszió csökkentése érdekében 2015-ben. A porlasztó tervezése szintén az egyetemhez köthető, amit hasonlóan Fázis Doppler Anemométerrel mértek, hangsúlyt fektetve az SMD-re és a sebességek 3D-s eloszlásának vizsgálatára. A belső kétfázisú áramlás vizsgálatát előzetes megfigyelések alapozták meg, ahol a folyadék-gáz gravitációs szétválasztása igényelt további vizsgálatot a porlasztó vízszintes üzemében. Levegő segédközeggel könnyű fűtőolajat porlasztottak több nyomáson. A mintaszám, amit kiértékelésben használtak 20000 elem volt, kivéve, ahol túllépte volna a 30 másodpercet, mert annál a pontnál az addig begyűjtött mintával dolgoztak [10].

2014-ben megjelent egy porlasztó vizsgálatával foglalkozó cikk, melyet a Malaysiai és Cambridge-i egyetem egy-egy doktorandusz hallgatója publikált. Szintén levegő segédközeget diesel tüzelőanyagú porlasztót vizsgáltak, hogy milyen hatással van a permetre a hozzávezetett különböző sebességű levegő. A cseppek axiális irányú sebességének és jellemző méretének mérésére PDA-t használtak, amivel 50000 mintát vételeztek, ha 80 másodpercen belül megtörtént a mintavétel. Megállapították, hogy az SMD a porlasztás középpontjától távolodva növekszik, míg az axiális irányú sebesség csökkent a középpontban lévő csúcsértékhez képest [11].

Németországban egy 1997-ben megjelent műszaki cikk szerzője kutatócsoportjának 5 éves munkáját foglalja össze a turbulens porlasztás területén. Fő célja a csoportnak az Euler – Lagrange közelítés javítása és validálása a porlasztás numerikus leírására. Három különböző permetezési kialakítást vizsgáltak: gyűrűs porlasztás alacsony sebességű levegőbe, illetve gyűrűs és kúpszerű porlasztás hevített levegőbe. A jellemzők mérése PDA mérőberendezéssel történt, ahol a minta száma 20000-100000 között mozgott a körülményektől függően [12].

A fentiekben eltérés, hogy mi is került főként a vizsgálat középpontjába a mérésük során, illetve, hogy milyen mérőműszerrel mérték. Viszont a hasonlóság (az utolsó [németországi] cikk kivételével), hogy levegő segédközeges porlasztót vizsgáltak és minden kiértékelésben megjelent az SMD és a kiértékelt mintaszám, melyek 10000-100000 értékben eltérnek egymástól, ami indokoltta teheti az egyezményesebb mintaszám keresését.

A kiértékelésünk során a fontosabb vizsgálandó jellemzőnk (ahogy a fenti cikkek esetén is volt) az SMD érték, amit a felhasználási területek figyelembe vétele is indokol, és amiket részletesebben a következőkben mutatok be.

Dr Ing J. Sauterről 1926-ban elnevezett SMD azon jellemző átmérő, ami kapcsolatot teremtett a térfogat és a felület között. Az évek során több különböző jellemző átmérő született, amik közül az SMD a leginkább elterjedt és használatos, leggyakoribb jelölése pedig a  $D_{32}$ . Az 1. táblázat tartalmazza a különböző jellemző átmérők alkalmazási területeit, ahol megtalálható az általunk vizsgált SMD átmérő is, az anyagmozgás és reakció vizsgálatának területéről.

*1. táblázat - Jellemző átmérők és alkalmazási területei.*

Jellemző átmérő	Neve	Alkalmazási terület
$D_{10}$	Számtani vagy lineáris	Párolgás
$D_{20}$	Felületi	Felszíni terület vizsgálata (pl.: abszorpció)
$D_{30}$	Térfogati	Térfogati vizsgálat (pl.:hidrológia)
$D_{21}$	Terület-hosszúság	Adszorpció
$D_{31}$	Térfogat-hosszúság vagy párolgási	Molekuláris diffúzió, párolgás
$D_{32}$	Sauter	Hatékonysági tanulmányok, anyag mozgás, reakciók
$D_{43}$	De Brouke	Égési egyensúly

Képletes megfeleltetése az SMD számításának az (1)-es egyenlet.

$$D_{32} = \frac{\sum_{i=1}^{N_i} n_i d_i^3}{\sum_{i=1}^{N_i} n_i d_i^2} \quad (1)$$

A többi gyakorlatban alkalmazott reprezentatív átmérő is hasonlóan számolható kis különbségekkel, melyeket a (2) – (7) egyenletek definiálnak.

$$D_{10} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N_i} n_i d_i \quad (2)$$

$$D_{20} = \left( \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N_i} n_i d_i^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

$$D_{21} = \frac{\sum_{i=1}^{N_i} n_i d_i^2}{\sum_{i=1}^{N_i} n_i d_i} \quad (4)$$

$$D_{30} = \left( \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N_i} n_i d_i^3 \right)^{\frac{1}{3}} \quad (5)$$

$$D_{31} = \left( \frac{\sum_{i=1}^{N_i} n_i d_i^3}{\sum_{i=1}^{N_i} n_i d_i} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

$$D_{43} = \frac{\sum_{i=1}^{N_i} n_i d_i^4}{\sum_{i=1}^{N_i} n_i d_i^3} \quad (7)$$

A reprezentatív átmérők számítása mellett fontos számunkra a cseppek nagyságának gyakorisági eloszlása is, melyek számszerűsítésére a következőket definiáljuk:  $D_{v0.1}$ ,  $D_{v0.5}$ ,  $D_{v0.9}$  és a  $D_{v0.98}$  értékek, angol nevükön általánosan fraction volume diameters. Ezen értékek adják meg azt a jellemző átmérőt, aminek előfordulása a mintában adott százalék. Például  $D_{v0.9}$  jeleníti azt, hogy a teljes mintában található cseppek 90%-a kisebb ennél az értéknél. Vizsgálatunkban ezek is kiértékelésre kerülnek, mivel jellemzik a szűrt minta eloszlását.

Végül az eloszlás tartományának jellemzésére a span definícióját szükséges bevezetni, amely az eloszlás hisztogram 90 és 10 százalék valószínűségeknél lévő átmérők különbségének az 50 %-ban előforduló átmérővel vett hányada.

$$span = \frac{D_{v0.9} - D_{v0.1}}{D_{v0.5}} \cdot 100\% \quad (8)$$

A cseppek jellemző méretére vonatkozóan többen foglalkoznak eloszlásuk vizsgálatával, alakulásukat különböző függvényekkel igyekeznek leírni, valamilyen törvényszerűség megállapítása végett. Ezek a függvények a sűrűségfüggvények, melyek bevezetését az alábbiakban ismertetem. Maga az eloszlás vizsgálatának fontossága a porlasztásban alkalmazásfüggő,

ugyanis igény szerint szükség lehet keskeny, de akár szélesebb permetre, illetve a permetben lévő cseppek nagysága is igényként jelentkezhethet, mivel befolyással van például a porlasztmány elégetésével az emisszióra vagy pedig a tüzelőberendezés hatásfokára. Az eloszlásvizsgálat során így jellemző méret csoportokat képeznek, amiknek az előfordulási gyakoriságát vizsgálják a mintában, melyekre peremfeltételek figyelembevételével sűrűségfüggvényt illesztnek.

A levegő segédközeges porlasztó karakterisztikus jellemzésére legelterjedtebben a Gamma, a Rosin-Rammler és a Nukiyama-Tanasawa valószínűségi sűrűségfüggvények használatosak, melyek a (9)-(11)-ben kerültek definiálásra [13]. Ezek a diszkrét valószínűségi függvény módszer bemeneti jellemzői, ami az empirikus közelítéseket igyekezett kiváltani analitikus voltjával (a maximum entrópia módszer mellett) a cseppméret eloszlásának modellezésére. A maximum entrópia módszer (ME) elterjedését több publikáció is segítette, ami a sztochasztikus folyamatként szemléli a permet képződését [14]-[15]. A módszer legfontosabb része a cseppméreteloszlás korlátainak, azok helyes megfogalmazásának előre vetítése. Ezen tanulmányon belül ennek vizsgálatával nem foglalkozunk.

$$f(D)_G = \frac{D^{a-1}}{[b^a \Gamma(a)] \cdot e^{-\frac{D}{b}}} \quad (9)$$

$$f(D)_{RR} = \frac{b}{a} \cdot \left(\frac{D^{b-1}}{a}\right) \cdot e^{-\left(\frac{D}{a}\right)^b} \quad (10)$$

$$f(D)_{NT} = aD^c \cdot e^{-bD^q} \quad (11)$$

A (9) és (10)-es egyenletek kétparaméteresek (a, b), a (11)-es pedig négyparaméteres. Ezen függvények illesztése lesz látható az eloszlásdiagramokon a 4. fejezetben. Fontos megjegyezni, hogy ezen sűrűségfüggvények hitelességének két kritériuma van: a függvényértéknek a jellemző méretre pozitív értéket kell adnia, illetve normalizált legyen, azaz a függvény integráljának 0 és a végtelen között 1 értéket kell adnia. Ennek megfelelően fontos, hogy a függvény egyáltalán illeszkedjen a minta eloszlására, ugyanis az illeszkedés nélkül is teljesülhet az integrál feltétel [16]. Továbbá a cseppek mérete nem alakul a végtelenig, vagyis egy korlátolt érték, az integrál 0-tól egy adott értékig tart, ahol a legnagyobb cseppátmérő relatív gyakorisága már csekély hozzájárulást fog eredményezni az integrál értékéhez.



A geometria vizsgálata mellett a cseppek sebessége is elemzés alá kerül, amire további két fogalmat szükséges bevezetni. Az első az RMS (Root Mean Square), mely a (12)-ben kerül leírásra.

$$v_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N |v_n|^2} \quad (12)$$

A második pedig az átlagérték (mean), amely a (13)-ban került definiálásra.

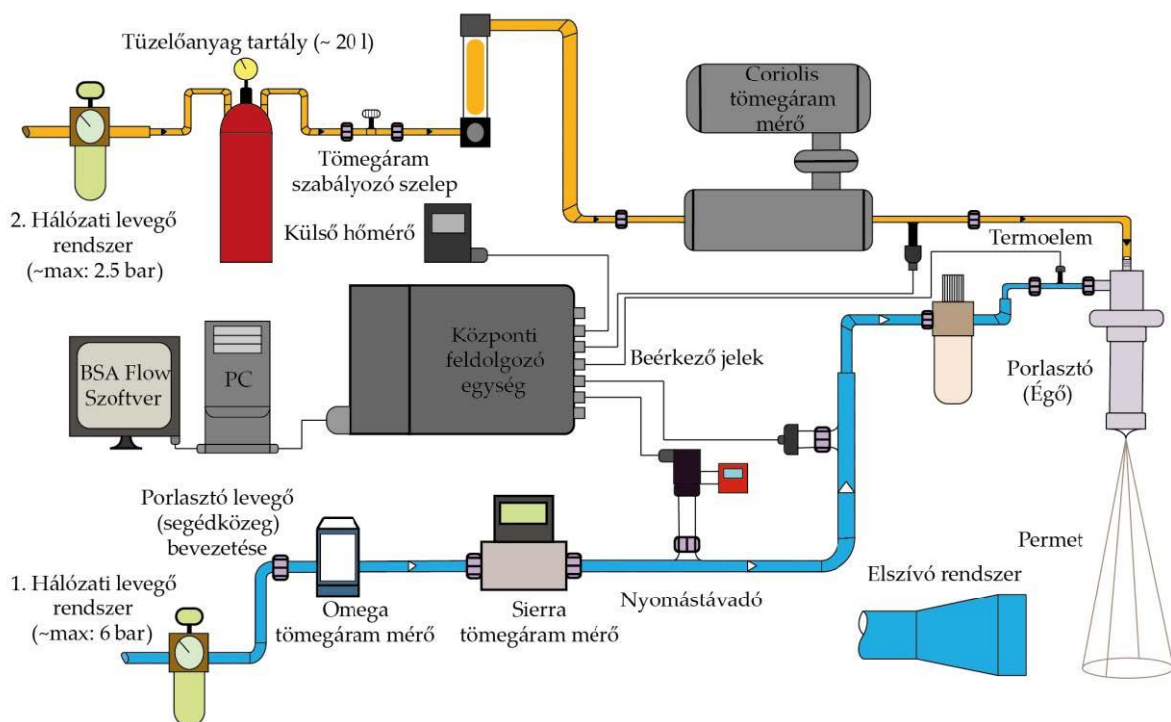
$$v_M = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N v_i \quad (13)$$

A (12)-(13)-as egyenletek jellemzik a csepp dinamikus tulajdonságát, melyek különböző sebességkomponensekre egyenként értelmezhetőek.

### 3. A MÉRÉS ÉS ELŐKÉSZÜLETEI

#### 3.1. MÉRŐBERENDEZÉS ISMERTETÉSE

A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem porlasztójának vizsgálatában több kollégával témavezetőm is részt vett, melynek mérési mintáit vizsgálom ezen dolgozatban. Az 1. ábrán látható mérési kialakításon a kék színnel jelölt rendszerben áramlott a hozzávezetett levegő nagynyomású hálózatról, melynek tömegáramát két mérőműszer is mérte (Omega és Sierra). Erre azért volt szükség, mert a különböző porlasztónyomások különböző légáramlatokat produkáltak és a két műszer eltérő tartományokban adott pontosabb értékeket. Ezután egy beépített digitális nyomástávadóval szolgáltatva a nyomásértéket, amihez a térfogatáram manuálisan állítható volt. Ezután a nyomás stabilitása érdekében nyomásszabályzó szelep került beépítésre. E szakasz végén egy termoelem mérte a közeg hőmérsékletét.



1. ábra – A kialakított mérőberendezés sematikus rajza [17].

A második (narancssárga) szakasz a tüzelőanyag útját mutatja, amit már egy alacsonyabb nyomású hálózat táplál. A hálózati ingadozás elkerülésére és a tüzelőanyag átmeneti tárolására egy mérőórával ellátott tartály szolgált, melynél az alacsony nyomás lehetővé tette a pontos

sabb szabályozást. A tüzelőanyag tömegáramát a porlasztó maximális üzemének 40%-hoz választották. Tömegáram szabályzó szelepeken keresztül állítható volt a tüzelőanyag tömegárama, melyet az azt követő Coriolis tömegárammérővel ellenőrizhettek. Az alkalmazott tüzelőanyag standard diesel (EN 590:2014) volt, melynek tulajdonságait a 2. táblázat tartalmazza:

*2. táblázat - Az alkalmazott diesel.*

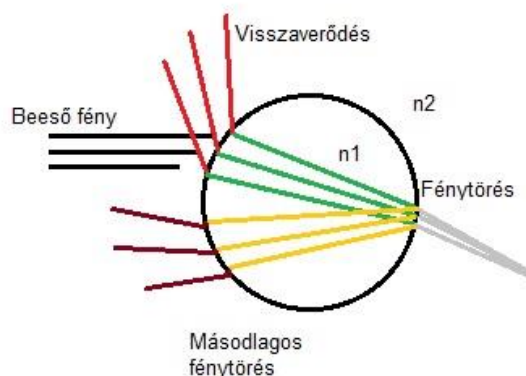
Meghatározás módja	Sűrűség [g/cm <sup>3</sup> ]	Kinematikai viszkozitás [mm <sup>2</sup> /s]
Mérés	<b>0,825</b>	<b>3,5</b>
Katalógus [18]	<b>0,82-0,86</b>	<b>1,9-4,1</b>

A 2. táblázatban szereplő értékek közül a kinematikai viszkozitás és a sűrűség értéke a téma-vezetőm által kimérésre került egy korábbi cikk feldolgozása során. Ahol a viszkozitás meghatározására az Ostwald-féle viszkoziméter, míg sűrűségének meghatározására Coriolis tömegárammérő berendezés került felhasználásra [19]. A viszkoziméter mérési módszere a Hagen-Poiseuille törvényen alapszik, amely kapcsolatot teremt a vizsgált folyadék áramlása és a nyomáskülönbség között. A sűrűség mérésére alkalmazott Coriolis tömegárammérő alapja a Coriolis-erő, amiből az áramló közeg tömegárama határozható.

### *3.2. A Fázis Doppler Anemométer ismertetés*

A lézerelven működő anemométer érintésmentes mérést biztosít a gázok és folyadékok áramlásvizsgálatában. E lézeroptikai elven működő mérőeszköz a hatvanas években kezdett kifejlődni gázok áramlási viszonyainak vizsgálatának köszönhetően. Már korábban is vizsgálták az áramló közegek jellemzőit, viszont a lézeroptikának köszönhetően javult nagy mértékben a hatékonysága a méréseknek [20]. Ez a mérőberendezés (Phase Doppler Anemometry - PDA) képes gömbszimmetrikus részecskék sebességének és méretének mérésére, akár időben egyszerre. Továbbá képes a részecskék koncentrációjának elemzésére és az egyedi cseppekre jellemző méret és sebesség statisztikai eloszlásának vizsgálatára az adott térben. A második fejezetben a cikkek tárgyalásánál említésre került az LDA, vagyis a Lézer Doppler Anemométer, ami a PDA-hoz hasonló azzal a különbséggel, hogy nem képes a részecskék méretének mérésére.

A mérés a fényszórás elvén alapszik. Vagyis, a fény elérve a cseppet annak egy része visszaverődik, egy része elnyelődik, egy része pedig áthalad. Továbbá a részecske homogenitásából fakadóan ezek ismétlődhetnek (pl.: másodlagos fénytörés). Ennek egy illusztrált képe a 2. ábrán látható.

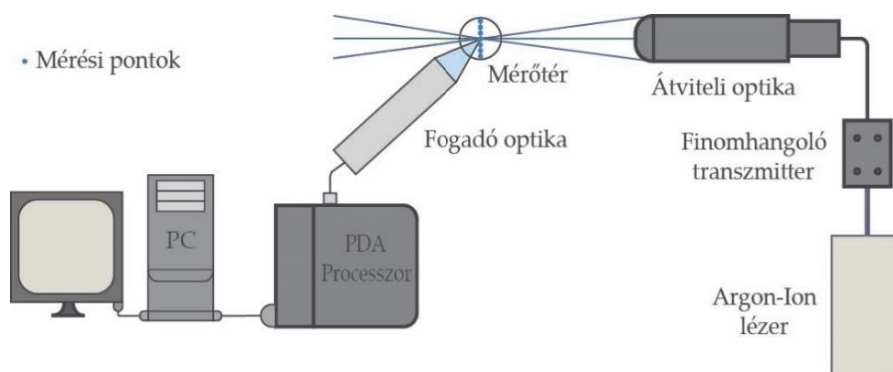


2. ábra – A fényszórás jelensége.

Az ábra az  $n_1 > n_2$  esetet szemlélteti, ahol  $n$  az anyagra jellemző érték. A (9)-ben definiált összefüggés tehát megadja a 2-es közeg 1-re vonatkozó törésmutatóját.

$$n_{2,1} = \frac{n_2}{n_1} \quad (9)$$

Ezt az elvet használja ki a PDA az alábbi módon, ahol egy lézerrel világítják meg a porlasztott cseppeket, a cseppekről szóródó fény feldolgozására egy bizonyos szögben beállított fogadó optikát helyeznek el a fókusz távolság biztosításának függvényében, ami a szórt lézert detektálja és jelet küld a PDA processzorának, amely egy PC egységgel áll kapcsolatban az adatok valós idejű feldolgozásának céljából. A lézeroptikai mérőrész sematikus ábrája, annak segédberendezéseivel a 3. ábrán látható [17].



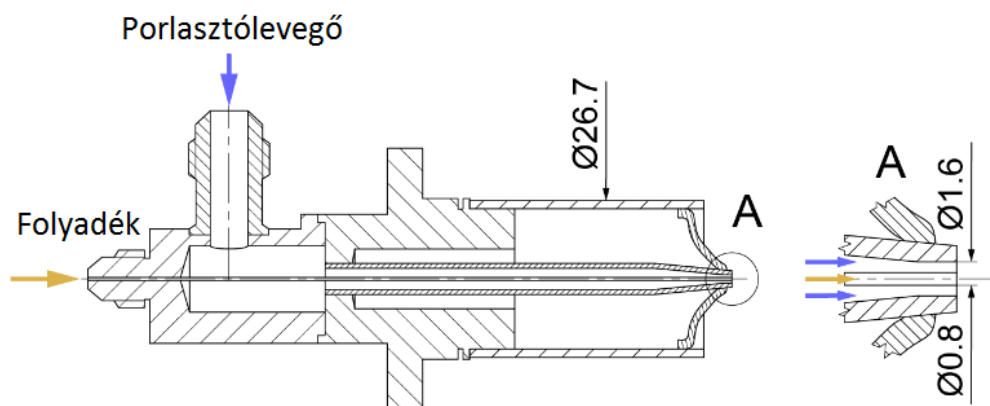
3. ábra – A PDA mérőberendezés [17].

A mérésünk során 20000 minta vételezése volt beállítva a mérőberendezésen, viszont ez bizonyos tartományokban sok időt vett volna igénybe, ezért időbeni korlátozás volt szükséges, ami 15 másodperc volt. Ezek a bizonyos helyek a vizsgált profil szélső helyei voltak (megtól távol eső helyek), ahol már kevés folyadékcsepp volt jelen. Egyszerűen tehát 20000 mintát gyűjtött a mérőberendezés, viszont ha ezt az értéket nem érte el 15 másodperc alatt, akkor ez

idő után a következő mérési pontra lépett a berendezés. Később viszont nagyobb elemszámú mérés is történt a vizsgált elméletünk alátámasztására. Ugyanis előzetes vizsgálataink - melyeket a 4.2. fejezetben tárgyalunk – hozták a várt feltevést, viszont nem biztosíthattak arról, hogy nagyobb elemszám esetén nem is hasonló eredményeket kapunk, ezért volt indokolt a nagyobb mintavételezés alkalmazásának vizsgálata is.

### 3.3. A porlasztó és a vizsgált sík bemutatása

Mint fent említésre került, a segédközegetes porlasztók nagyobb számban alkalmazottak, mivel szélesebb üzemi tartományon működnek, mint más porlasztók.



4. ábra - Levegő segédközegetes porlasztó metszeti képe.

A kialakítását tekintve egy körgyűrűben áramlik a segédközeg és ezzel koncentrikus belső csőben a tüzelőanyag. A tüzelőanyag folyadék fázisban van, amit a tőle nagyobb sebességű levegő bont cseppekre. Így megvalósítható az, hogy a tüzelőanyag viszonylag kis, állandó sebességgel, míg a levegő terheléstől függően változó sebességgel rendelkezzen. A levegő sebességét általában egy kompresszor nyomásával lehet szabályozni. Továbbá leírható, hogy minél nagyobb a segédközeg sebessége (azaz a kinetikus energiája), annál finomabb cseppekre képes bontani a tüzelőanyagot [17]. Ugyanis ezen segédközeg kinetikus energiája adódik át a tüzelőanyagnak, ami ennek megfelelően relatíve kis sebességgel is áramolhat. Ez adja ennek a típusú porlasztónak a széleskörű alkalmazását, mivel a segédközeg sebességének megválasztása nagyobb tartományon történhet, mint például egy nem segédközegetes porlasztók esetén, míg a sűrűbb tüzelőanyag sebessége alacsony maradhat (nem szükséges többletmunkát a tüzelőanyag sebességének növelésére fordítani).

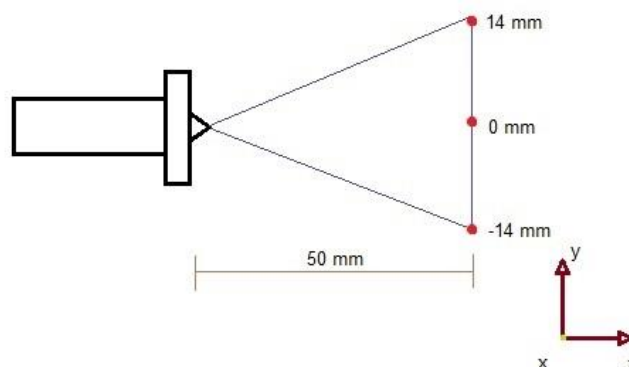
Az 5. ábrán látható segédközegetes porlasztó került alkalmazásra a mérés során, amely indítóégőként funkcionált. A Capstone C-30-as általános levegő segédközegetes porlasztóhoz hasonló azzal az eltéréssel, hogy levágásra került a keverőcsatorna, amely a szekunder levegő

betáplálására is lehetőséget biztosított, így teljes mértékben csak a permetképződés jellegzetességeivel tudunk foglalkozni.



5. ábra - A vizsgált porlasztó [17].

A mérést 9 porlasztási nyomáson végezték el 0,3 bartól 3,1 barig nagyobb hangsúlyt fektetve a szubszonikus tartományra. Itt tapasztalható volt a fenti leírás, miszerint a nyomás növekedésével a levegő sebessége is nőtt, míg a cseppek mérete csökkent, vagyis finomabb lett a porlasztmány. Négy távolságban vettek fel mérési pontokat (10; 15; 26,7; 50 mm), melyek közül 50 mm-nél tapasztalták a permet közel kifejltségét, valószínűleg e távolság közelében lehet a szekunder porlasztás vége, ami további vizsgálatokat igényelne [21]. A 26,7 mm azért került kiválasztásra, mert volt az égő keverőcsatornájának átmérője, ami levágásra került. Vizsgálatunkat ezért az 50 mm-es távolságra végeztük el. A porlasztó beállítását követően minimális gyártástechnológiából fakadó aszimmetria volt tapasztalható, mely elhanyagolásával szimmetrikusnak tekinthetjük a porlasztást az átmérőkre nézve, ezért elegendő egy tengely mentén két szélső pont között felvenni mérési helyeket, ahogy azt a 6. ábra szemlélteti. Jelen esetben, a fúvókától 50 mm-es távolságban lévő síkon a 14 és -14 mm között tartomány kerül kiértékelésre, melyek között 2 mm-es lépésköz került alkalmazásra.



6. ábra – A mérési sík.

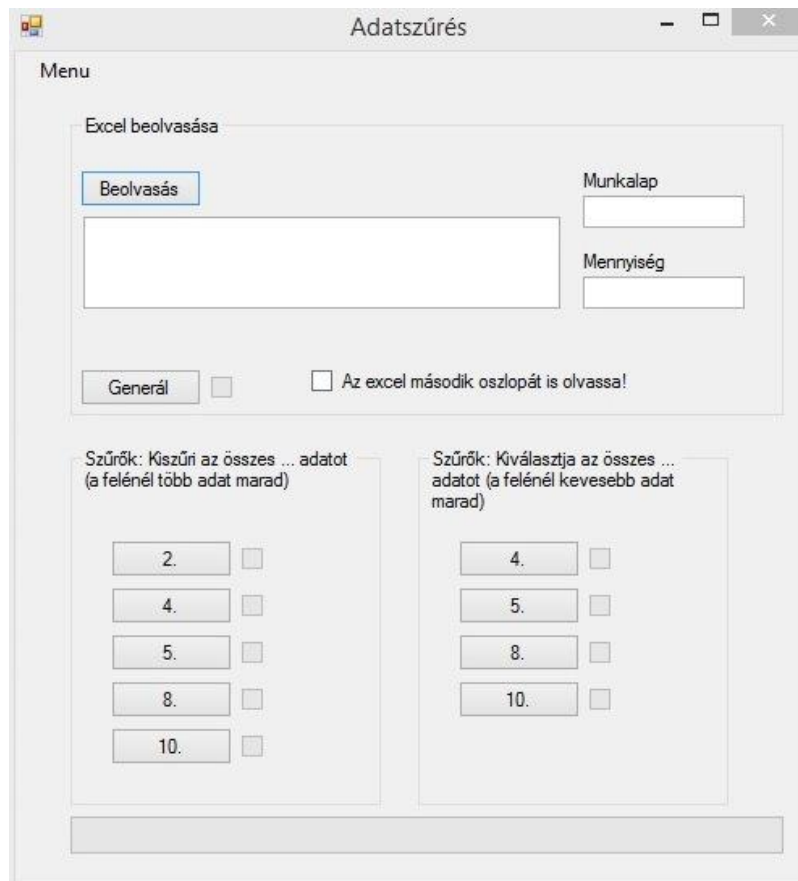
## 4. MINTASZÁM ANALÍZIS

Ezen dokumentáció keretén belül a fentiekben leírt mérés során nyert mintákat és azok kisebb elemszámra való szűrését végeztük, és vizsgáltuk, hogy ez hogyan hat a származtatott értékekre, leginkább az SMD-re és a cseppek sebességeire. Először a mintaszűrő program, majd a kiértékelő programok kerülnek bemutatásra, melyek rendre Visual Studio és MatLAB környezetben íródtak. Majd a kiértékelés részre térünk át, ahol elsőként az eredeti 20000-es mintát vizsgáljuk kisebb elemszámokkal a jellemző reprezentatív átmérőket, azok közül is az SMD-t kiemelve, illetve az eloszlást leíró span értékeit. A cseppek sebességméréséből pedig a vizsgált síkra merőleges sebességkomponens kerül kiemelésre. A mérés reprodukálhatóságának szükségessége további feltétel mellett, hogy a méréseket eltérő időben végezve megegyező eredményekre jussunk. Részben a reprodukálhatóságra, részben a nagyobb mintaszám vizsgálatára az előbbieken leírtak szerint egy a 20000-hez képest 2 évvel később mért 126000 minta került kiértékelésre.

### 4.1. A minta szűrése

A minták szűrésére alkalmazott program Visual Studio 2013 szoftverkörnyezetben került elkészítésre. A program Visual Basic nyelven íródott Windows ablakban megjelenő felhasználói felület, ahol az eredeti minta kisebb elemszámra való szűrése történik. A program úgy íródott, hogy megfelelően strukturált excel beolvasásával megadott matematikai elven adott arányban szűr. A program felhasználó felületének megjelenését a 7. ábra szemlélteti.

Az első részen (felül) olvasható be az excel, ami a mintát tartalmazza. Megadható, hogy melyik munkalapról olvasson be, illetve a beolvasandó minta mennyisége. Külön bepipálható „Az excel második oszlopát is olvassa!” opció, ami a sebességek szűrésére lett létrehozva, ugyanis a sebességet a PDA is két komponensre felbontva mérte (y, z irányú), ezért célszerű volt az excelben is egymás mellé rakni a két sebességet, amit így egyszerre képes szűrni. Majd a beolvasás gombbal megnyitja a betallózott excelt.



7. ábra - Szűrő program

Ezek alatt látható két blokkban a szűrőfelület, ahol a két blokkot aszerint különítettem el, hogy a minta felénél több vagy kevesebb lesz a szűrt minta, mivel egyébként a gombok nevei megegyeznének. A szűrés matematikai elven alapszik mivel a minta sorszámainak törtszám-mal történő szorzása került elvégzésre, ahol az alkalmazott szűrőparaméterek rendre 0.5, 0.4, 0.25, 0.125 és 0.1 voltak. A sorszámok ezen számokkal vett szorzatának vizsgálatával a nem egész számok kiszűrhetővé váltak. A felénél több vagy kevesebb szűrés kivitelezésre egy eldöntendő függvény igaz, illetve hamis ágán alapszik, amely biztosítja, hogy az igaz ágon eltávolításra kerüljenek a kívánt értékek (jobb oldal) vagy megtartásra (bal oldal). Ezeket a szűrt mintákat a felhasználó által megadható helyre és néven menti a program minden elemszám esetére vonatkozóan.

#### 4.2. Kiértékelés

Ebben a fejezetben a PDA-val kapott minták szűrését és kiértékelését részletezem. Bemutatásra kerül az eredeti minta vizsgálata először geometriai, majd a cseppek sebességének tárgyalásában. Az ebből vont következtetések alapján egy eltérő elemszámú minta vizsgálatát is bemutatom, ami két hipotézis igazolására is szolgál.



#### 4.2.1. AZ EREDETI MINTA SZŰRÉSE

A kapott szűrt mintákat kiértékeljük, hogy lássuk a változásukat, ugyanis a sejtésünk az volt, hogy egy szűrt mintaszám után szignifikáns változás jelenik meg a jellemzők értékeiben az eredeti 20000-es mintához képest.

A vizsgálandó mennyiségek a 2. fejezet (1)-(8) egyenletei, melyek meghatározásához egy MatLAB szoftverkörnyezetben írt kódot használtuk. Ezen programkód adott porlasztónyomásra és mintaszámra meghatározta az összefüggések értékeit az y irányú -14 - +14 mm-en vett pontokra, melyek összegzett eredményeit táblázatos formában mentette ki. A zöld fény hullámhossztartományának megfelelő átmérőknél kisebb értékek egy előszűrés segítségével eltávolításra kerültek a kiértékelendő mintából a hibák minimalizálásának érdekében. Ugyanis a cseppek mért átmérői kisebb mértékben nano-, nagyobb részt mikrométer nagyságúak, így beleeshetnek az őket pásztázó zöld fény hullámhossz tartományába. Ezen tartomány így méréshez is nevezhető, mivel a mérésre használt fény hullámhosszánál kisebb cseppméret mérése elméletileg nem lehetséges. A sebesség mérése a PDA kék fényt használt, így ez esetben ilyen jellegű probléma nem állt elő.

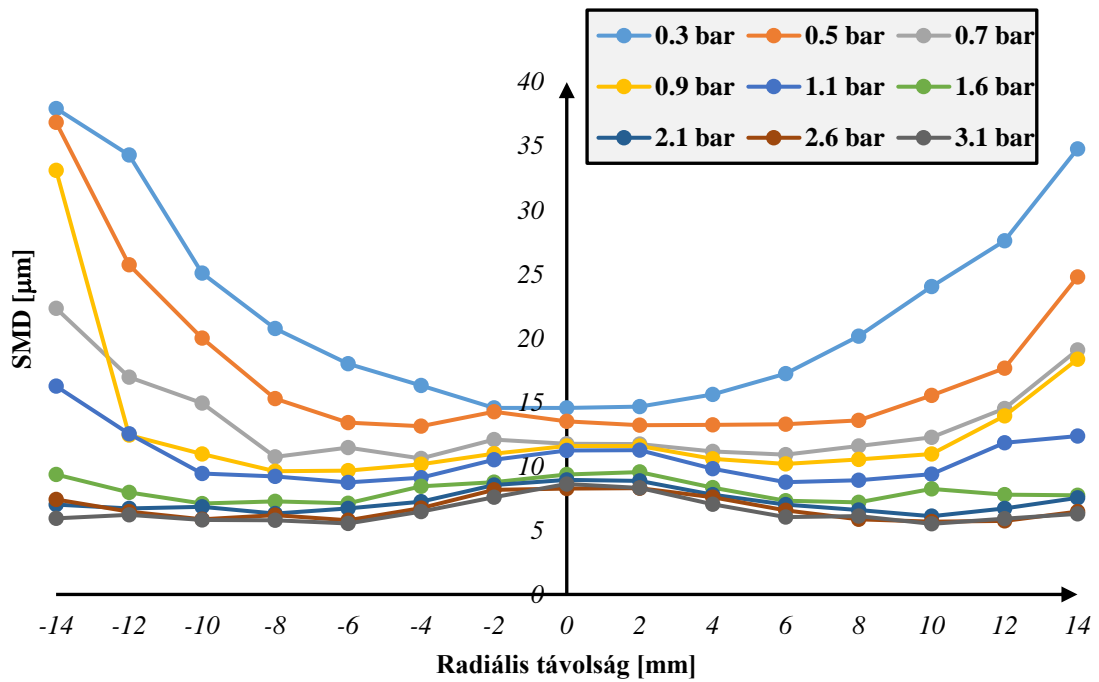
A 3. táblázat tartalmazza a 4.1. fejezetben leírt program által megvalósítható mintaértékeket 20000-es kiinduló minta esetén.

*3. táblázat - A szűrt mintaszámok.*

Szűrt minták	18000	17500	16000	15000	10000	5000	4000	2500	2000
-----------------	-------	-------	-------	-------	-------	------	------	------	------

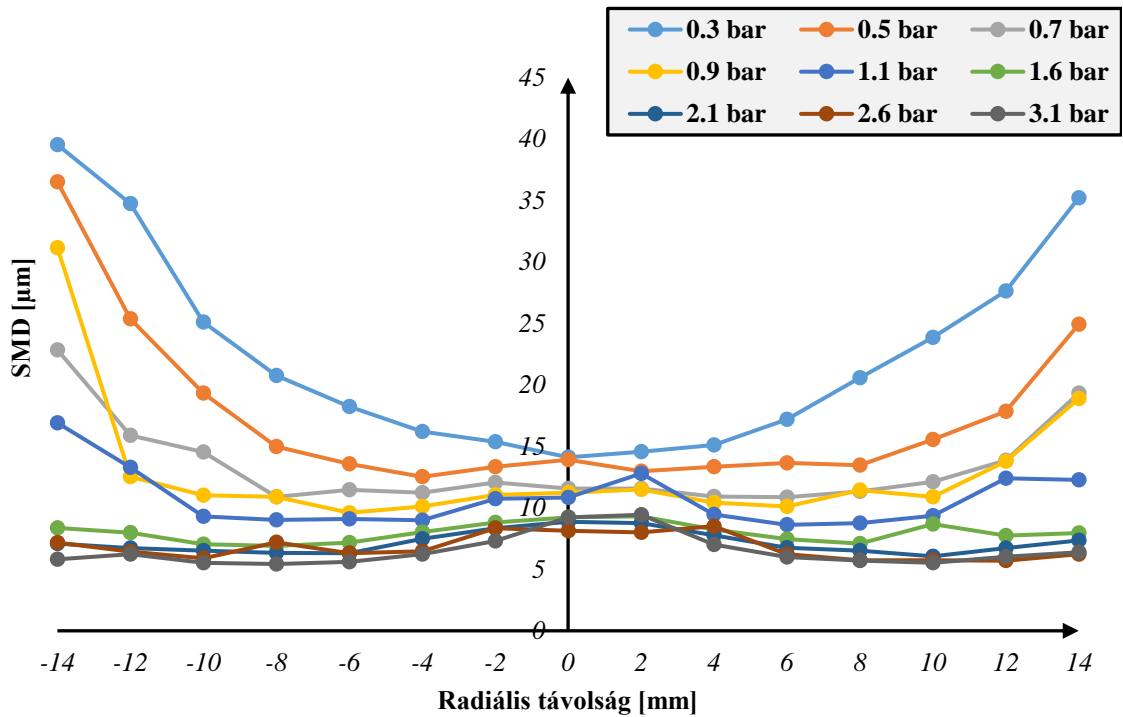
Később láthatjuk e fejezetben, hogy ennyi minta kiértékelése szemléletes, viszont nem szükséges több ok miatt sem. Így a vizsgálat jelentős részében a zöld színnel megjelölt mintaszámokat alkalmazzuk.

Első megközelítésként az eredeti és a szűrt minták által meghatározott jellemző átmérők közül az SMD-t emeljük ki vizsgálatra, mivel elterjedten használatos az anyagmozgás, reakció területen, ahogy a 2. fejezetben tárgyalt cikkeknel is látszik. A 8. ábrán a mérési pontok SMD értékeinek alakulása látható. Az alacsony nyomáson a porlasztás középpontjában vannak a legkisebb jellemző átmérőjű cseppek, míg a szélső pontokban (-14 és 14 mm-en), alacsony nyomáson jelentősen nagyobbak. A porlasztónyomás növelésével a szélső helyen mért cseppek finomodnak, míg a nagyobb nyomás közelében a görbék ellaposodnak és a perem felé kisebb SMD értékek lesznek, mint a középpontban.

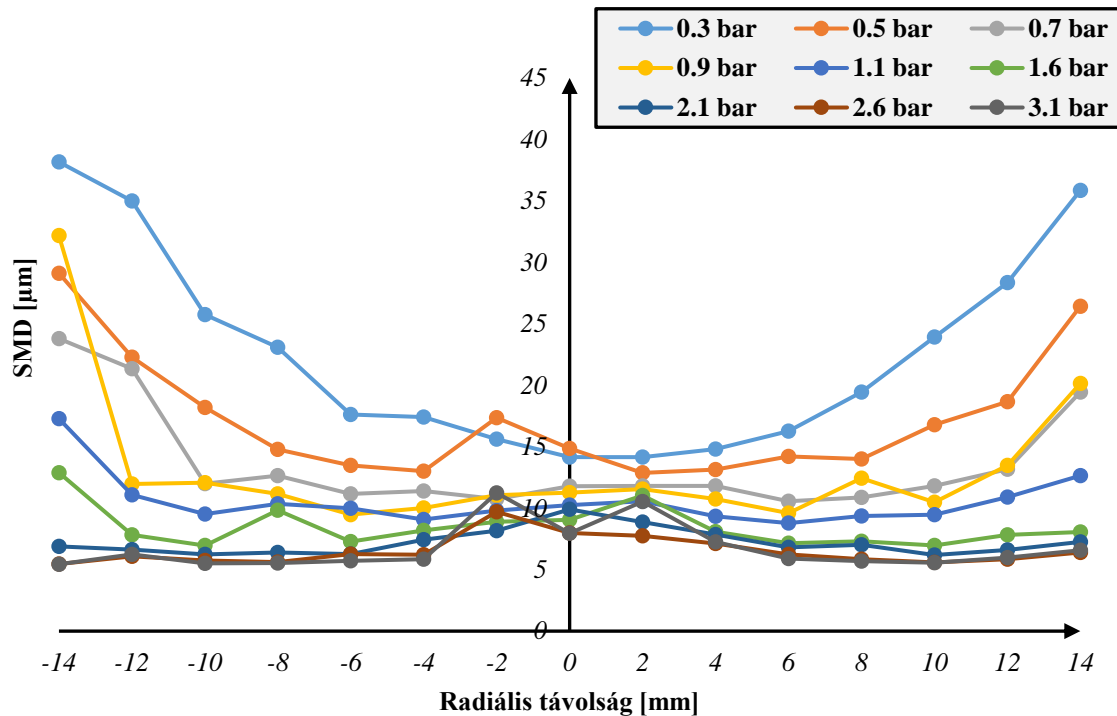


8. ábra – A 20000-es minta 50 mm távolságban vett SMD eloszlása.

Csökkenő mintaszám esetén (9. és 10. ábra) a görbék szabályossága romlik, 0,5 bar nyomásnál a -2 mm radiális távolságban kiugrást figyelhetünk meg, de ilyen esetek a 2,6 és 3,1 baron látható kiugrás is.



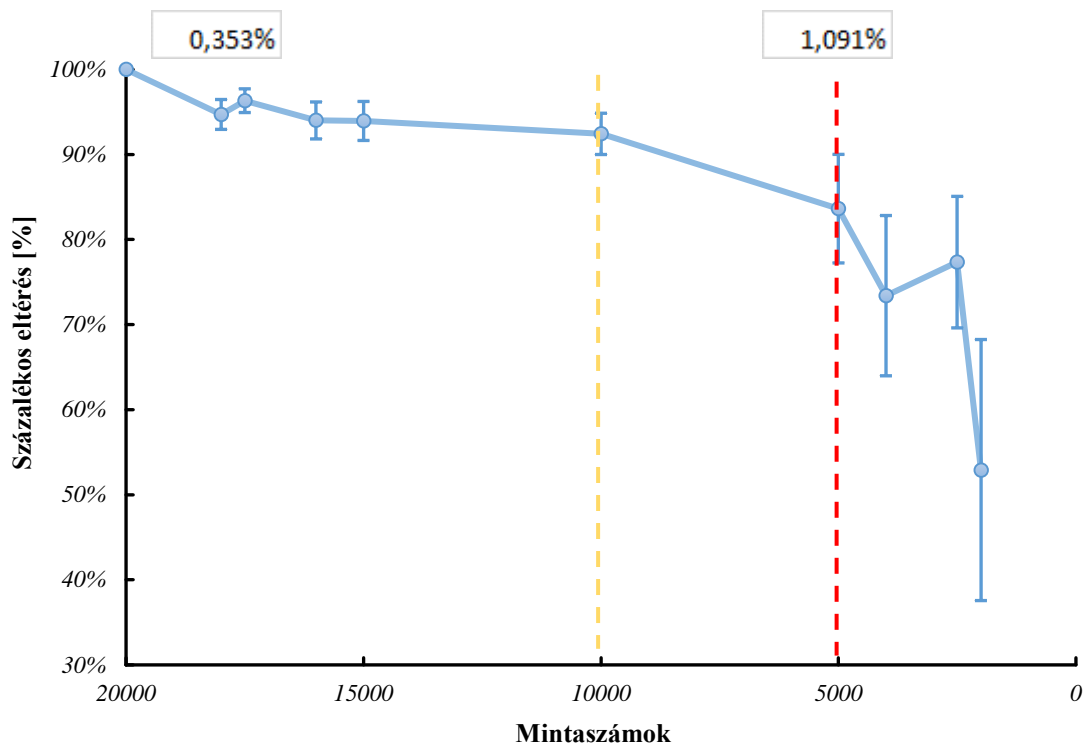
9. ábra - Az 5000-es minta 50 mm távolságban vett SMD eloszlása.



10. ábra - 2000-es minta SMD alakulás 50 mm távolságban egy átmérőn tekintve.

Ezen diagramok alapján nem lehet egyértelmű mintaszámot kiemelni, mivel ezek egyrészt szélső esetek, másrészt a görbékben lévő szabálytalanság minimálisan minden mintában megtalálható. Így szükség volt egy mélyebb vizsgálatra, ami erősebb szabályt követ. Ezért a szűrt minták SMD értékeit arányosítottuk az eredeti minta SMD értékével, majd vettük az 1-től való eltérésüket összegezve az összes y irányban vett pontra, amiket szintén kivontunk 1-ből, hogy az eltérés szemmel láthatóbb legyen. Ezek közül egy szub-, illetve szupersonikus nyomásra végzett vizsgálat látható a 11. és a 12. ábrán. Ez esetben viszont minden mérési pont ugyanolyan arányban vesz részt az eltérésben, ami torzítja az eredményt, ugyanis a szélső pontokban nem tekinthetünk teljes permetképződést, illetve a minta mennyisége is kevesebb volt a középső (0 mm radiális távolság) mérési ponthoz képest. Ezért, hogy megfelelő arányban járuljanak az egyes pontok a minta csökkenésének nagyságához, az adott pont adatrátájával súlyoztuk az SMD arányokat. Ez a megoldás az össze relatív százalékos eltérés ábrázolásánál igaz.

Még a legtökéletesebb megmunkálás esetén sem produkál egy porlasztó adott nyomáson ugyanolyan átmérőjű cseppeket ugyan azokban a pontokban, vagyis az adott pontban vételezett minta értékeiben eltérés lesz a jellemző átmérők nagyságában (ez adja a minta változékonyságát). Amin keresztül változnak a kisebb minták felé a számolt SMD értékek.



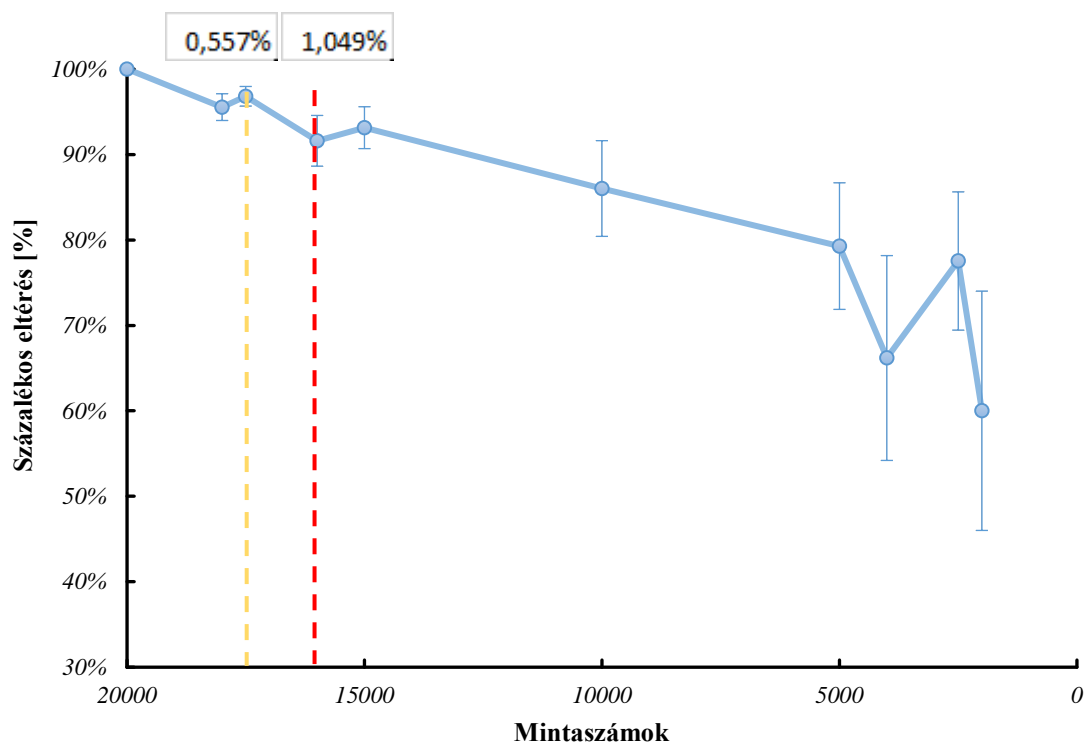
11. ábra – 50 mm távolságban 0,3 baron vizsgált SMD változása a mintaszámra.

A 11. és 12. ábra vízszintes tengelyén a mintaszámok láthatók az eredeti 20000 mintától a legkisebb 2000-es mintáig. A függőleges tengelyen a kisebb minták SMD értékeiből (100%) kivont összes eltérés (ami az összes mérési pont SMD-inek eltérése az eredeti mintához képest) utáni értékek láthatóak százalékos értékben. Vagyis minél nagyobb a százalékos érték, annál közelebb van az eredeti minta SMD értékeihez. A 0,3 és 2,1 bar mellett a többi nyomáson is hasonló jellegű görbék adódtak nagyobb, kisebb letörésekkel. Továbbá a minta csökkentésével egyre jobban eltérünk az eredeti mintától, aminek mértékét a szórás tovább befolyásol, az alacsonyabb mintáknál egyre jelentősebben, ami az össze eredeti mintától való relatív eltérés diagramon látható.

A diagramokon látható hibaszávok a MatLAB-bal kapott vizsgált jellemző értékek és az adatrátával súlyozott változataik eltéréséből számolt nagyság, aminek menetét a „Hibaszámítás” mellékletben mutatok be.

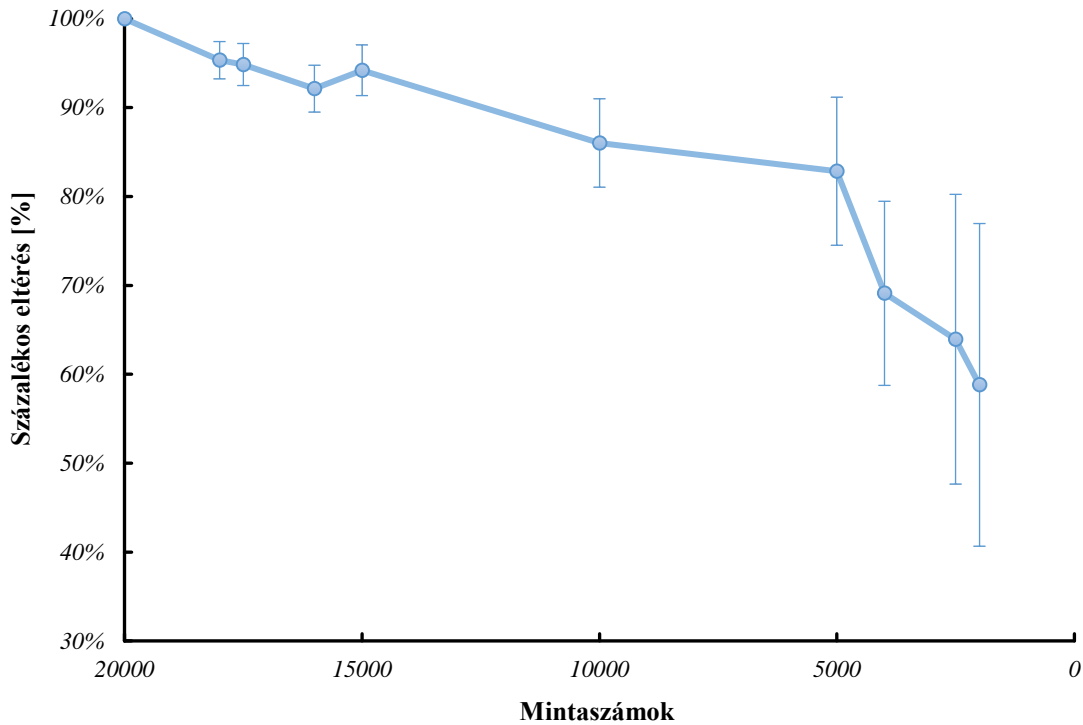
Továbbá ábrázolásra került a szűrt mintáknak a 20000-es mintához vett eltérésének átlaga a teljes vizsgált síkot tekintve, ami segítséget ad a minimális mintaszám meghatározásához. Ennek alkalmazása azért lehetett iránymutató számunkra, mivel más területek is használják különböző határok meghúzására, mint például a kavitációs – vagy folyáshatár felvételére [22]-[23]. A kavitációs határként 3-5 % emelőmagasság-esést, míg folyáshatára 1 % nyúlást

állapítottak meg. Ezek alapján az SMD pontonkénti relatív eltérésére 1 % került megállapításra. A diagramokon a 18000-hez tartozó relatív súlyozott átlagos eltérést tüntetjük fel, illetve annak a szűrt mintának a relatív súlyozott átlagos eltérését, ahol ez az érték átlépi az 1 %-ot. Ez utóbbi különböző mintaszámoknál fordul majd elő a porlasztási nyomás változásával. Reprezentálva, a piros szaggatott vonal jelzi azt a szűrt mintát, ahol a relatív súlyozott átlagos eltérés meghaladja az 1 %-ot, vagyis ami alatti mintavétel nem javasolt. A sárga szaggatott vonalig a fenntartásokkal kezelendő mintavételezési tartományt jelöli. A feletti mintavétel tekinthető megbízhatónak. 0,3 bar esetén az 5000-es mintánál, míg 2,1 baron a 16000-es mintánál láthatunk 1% feletti értéket.



**12. ábra** – 50 mm távolságban 2,1 baros SMD vizsgálat.

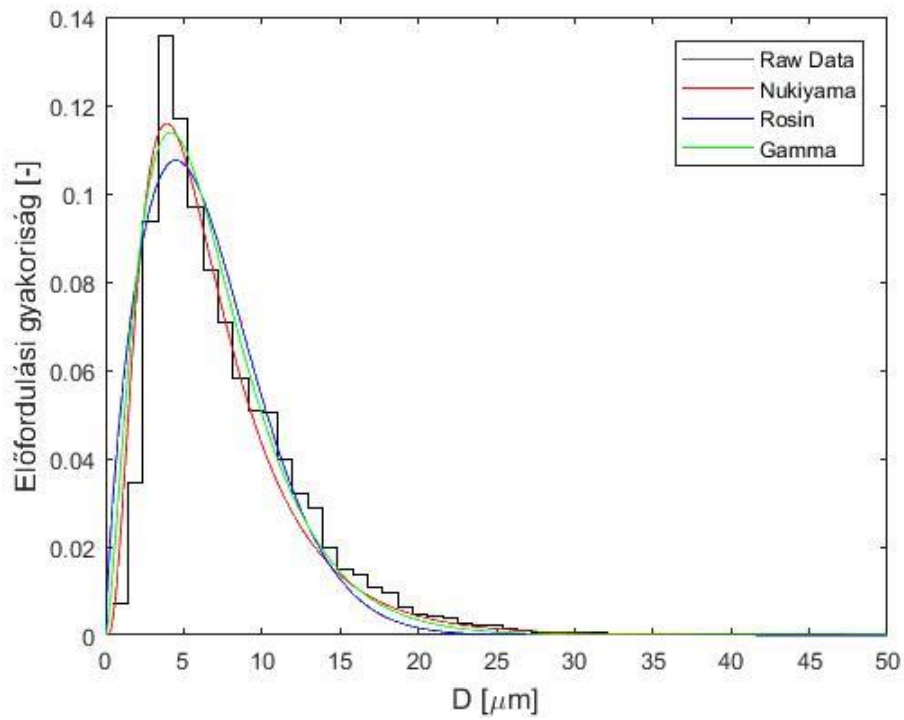
Ennek szemléltetésére hasonló ábrázolásban egy 0,9 bar nyomáson történő porlasztás mintáinak kiértékelése látható a 13. ábrán. A görbe lefutása hasonló a 0,3 és a 2,1 bar nyomáson látott görbékéhez, ami így átmenetet szemlélteti a szub- és szuperszonikus nyomásértékek között. Továbbá az is látszik, hogy a porlasztónyomás növekedésével a 20000-es mintától kevesebb minta használata (például 10000) nagyobb SMD eltérést okoz, ami jelentheti nekünk azt, hogy nagyobb nyomásokon érzékenyebb a mintaszámra a rendszer. Megfigyelhető, hogy a nagyobb nyomásnál az okozott hiba is jelentősebb, ami párhuzamba vonható az említett érzékenységgel.



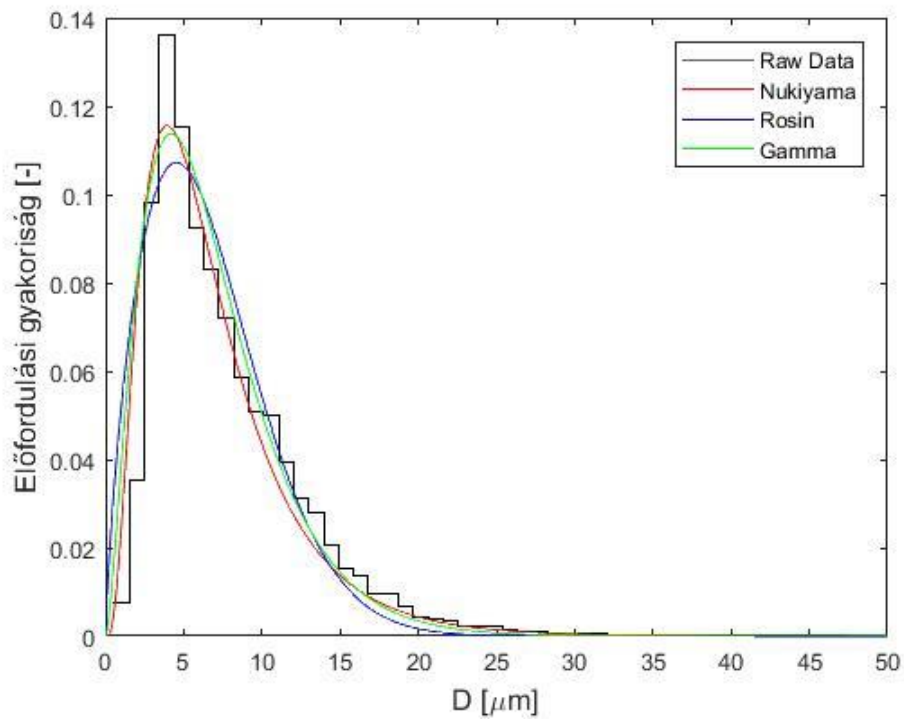
**13. ábra** – 50 mm távolságban 0,9 baros SMD vizsgálat.

A 11. - 13. ábrán megfigyelhetjük, hogy a mintaszám csökkentésével az eltérések növekednek, hiszen elvettünk az eredeti mintából átlagolandó értékeket. Így ezen diagramokban érdemes meghúzni egy százalékos határt, amit elfogadunk. Persze ez esetben engedékenyebbek is lehetünk (85 %) mivel az átmérőn vizsgált mindannyi pont összes eltérése került ábrázolásra. Viszont az 5000-es minta környezetében nagyobb meredekségű csökkenés tapasztalható az előző pontokhoz képest, ami minden diagramon megfigyelhető. Ezek alapján feltételezhetjük, hogy e minta már nem alkalmas minimális mintaszámnak. Továbbá a hiba nagyságát is érdemes figyelemmel követni, mivel a kisebb minták felé növekszik. Ezért a minimális mintavételezési számot úgy érdemes megválasztani, hogy elfogadunk mellette egy bizonyos nagyságú – hibából fakadó – szórást. Mivel a 0,9 bar pusztán szemléltetés céljából került bemutatásra, ezért itt nem szerepelnek minimális mintaszám meghatározására alkalmas értékek és határok.

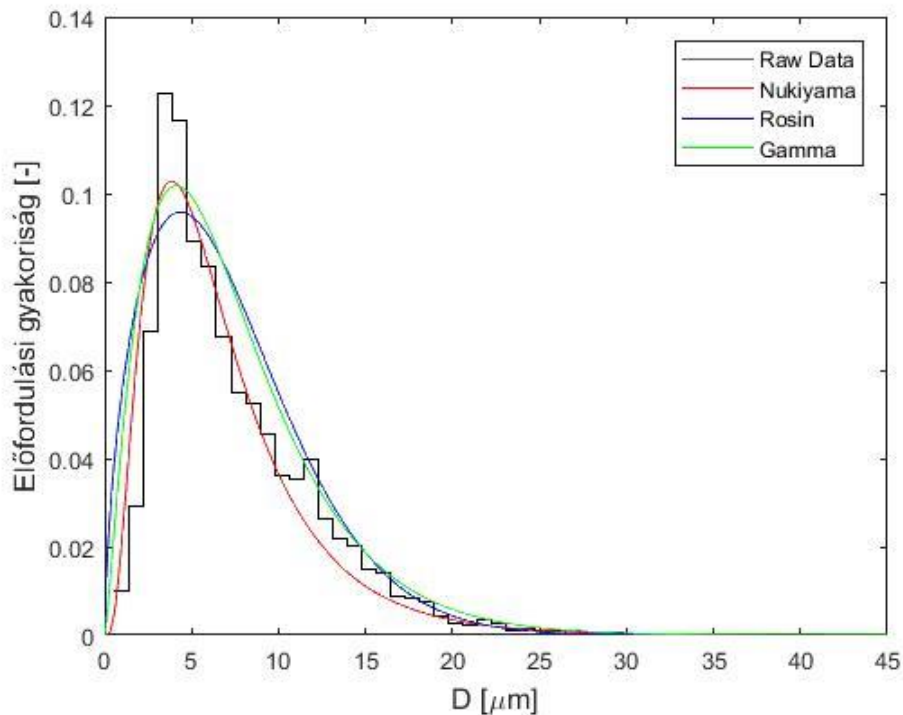
Láthattuk, hogy az SMD értékek hogy alakulnak az eredeti mintához képest több nyomáson, illetve radiális távolságban. Ebben a bekezdésben az SMD eloszlásokkal és a valószínűségi függvények illeszthetőségével foglalkozunk a mintaszámok csökkenésének hatását vizsgálva, kiemelve itt is egy szub- és szupersonikus (0,3 és 2,1 bar) nyomást.



14. ábra - 50 mm távolságban 0,3 baron a 20000-es minta eloszlása.



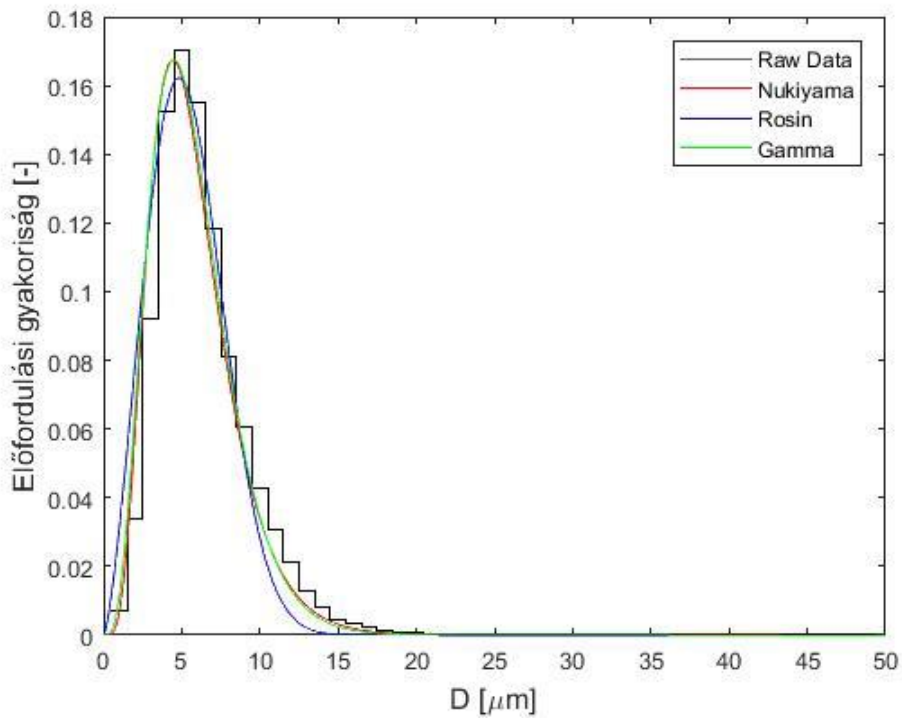
15. ábra - 50 mm távolságban 0,3 baron a 10000-es minta eloszlása.



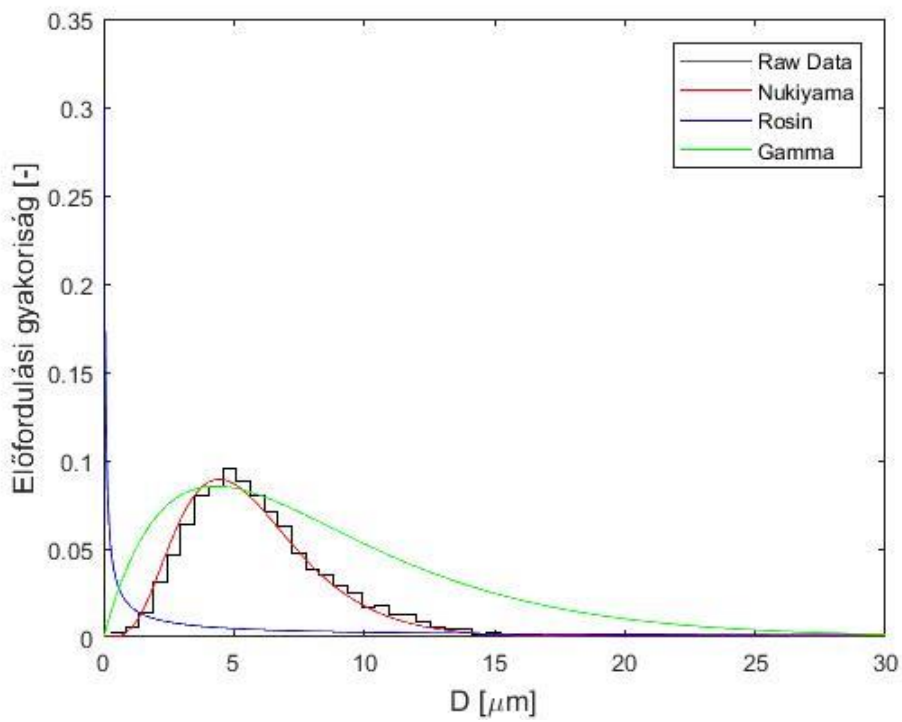
**16. ábra-** 50 mm távolságban 0,3 baron a 2500-es minta eloszlása.

A 14. - 16. ábrán látható diagramokon a cseppméretek előfordulási gyakorisága látható, ahol a permetben előforduló cseppek a tartomány teljes hosszát tekintve 50 egyenlő szakaszra lett felosztva, amelyek mindegyike egy cseppméret osztályt jelképez. A kiértékelés a porlasztás középpontjára történt, vagyis a radiális távolság 0 mm-es pontjában. Ezen szubszonikus nyomáson az előfordulási gyakoriság maximális értéke csökken az alacsonyabb minta felé. Továbbá a cseppméret osztályok előfordulási gyakoriságban követik egymást magasabb mintaszámnál, vagyis egy cseppméret osztály előfordulási gyakorisága kisebb, mint egy nálánál kisebb cseppméret osztály esetén. Amiben hasonlítanak, hogy az előforduló cseppek gyakorisága szinte ugyan akkor maradt, illetve a sűrűségfüggvények mindhárom diagramon illeszkednek az eloszlásra. Egyedül a cseppátmérő osztályokhoz tartozó előfordulási gyakoriság, ami a mintaszám csökkenésével látványosabban változott.

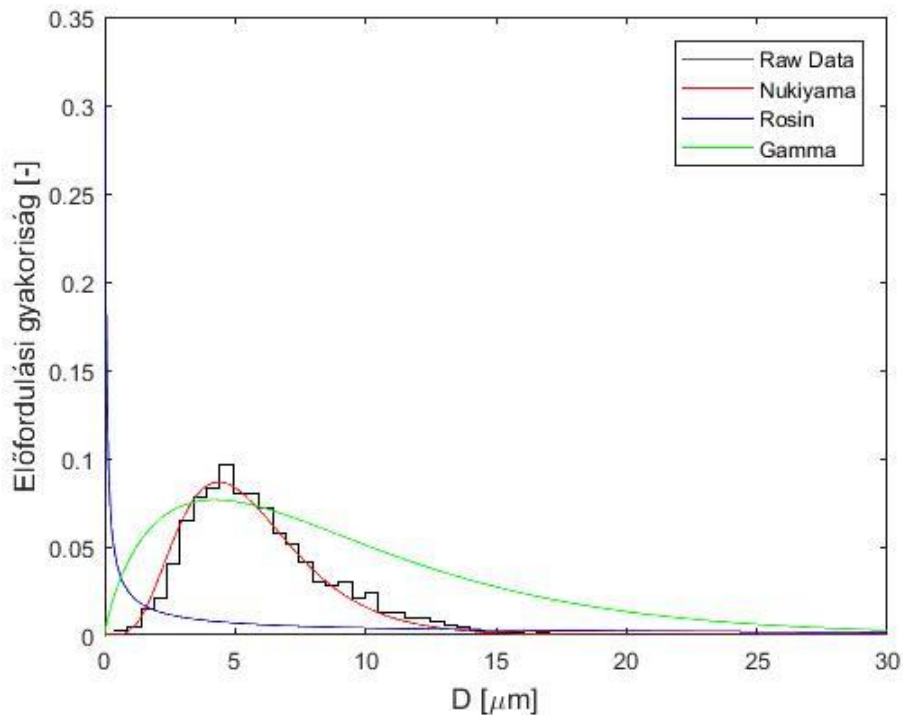




17. ábra - 50 mm távolságban 2,1 baron a 20000 minta eloszlása.



18. ábra - 50 mm távolságban 2,1 baron a 10000 minta eloszlása.



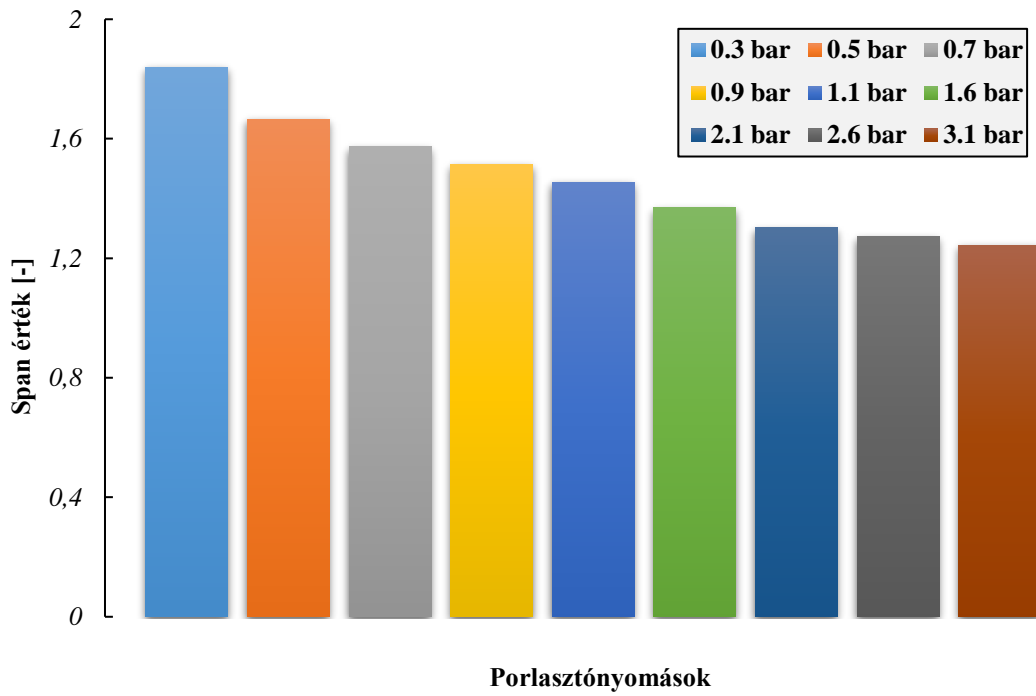
19. ábra– 50 mm távolságban 2,1 baron a 2500 minta eloszlása.

A 2,1 baron történő eloszlás látható a 17-19. ábrán. Itt már csökkenés figyelhető meg a cseppméret osztályok tartományán. A sűrűségfüggvények illeszkedése már a 10000-es minta esetén sem teljesül maradéktalanul. A Nukiyama féle sűrűségfüggvény képes még az ilyen kevés minta esetén is az eloszlásra való illeszkedésre, amit a négyparaméteres jellege magyarázhat, míg a Rosin-Rammler és a Gamma sűrűségfüggvények kétparaméteresek. Továbbá itt is megfigyelhető az egymást követő cseppméret csoportok előfordulási gyakoriságában a szabálytalanság. Viszont a Nukiyama sűrűségfüggvényt fenntartással érdemes kezelni, mivel pont a négyparaméteres jellege okozhatja azt, hogy matematikailag jó az illeszkedése, viszont fizikai feltétele nem teljesül.

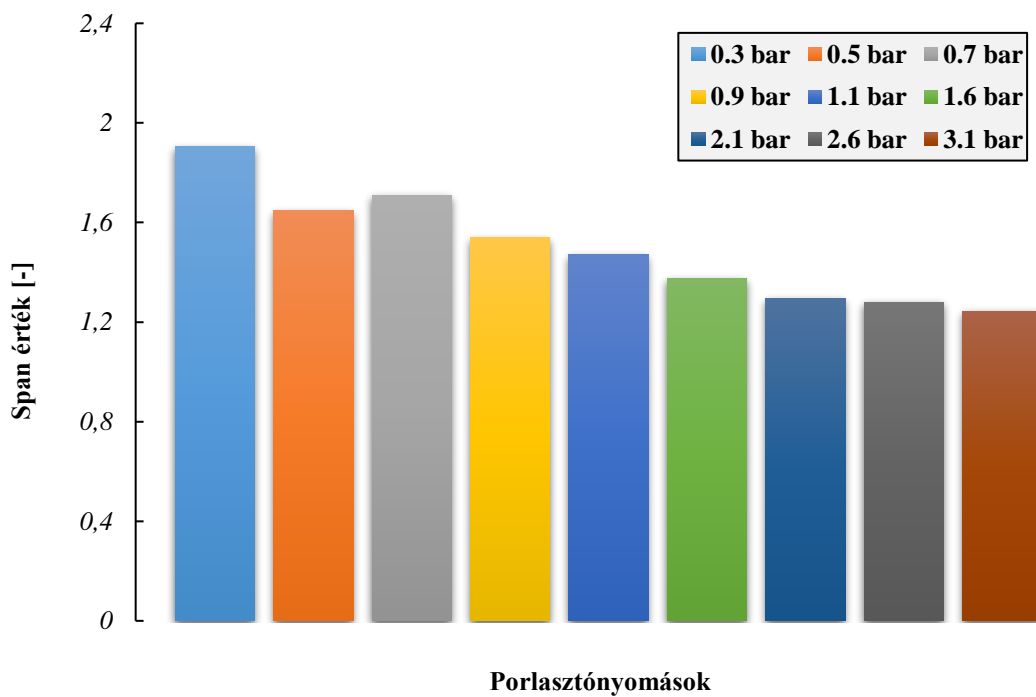
A két nyomásértéken való porlasztás eloszlása között megfigyelhető, hogy a szuperszonikus nyomáson kisebb a cseppméret csoport tartománya, ami a nagy nyomás következtében történő aprózódást jelenti. A 2,1 baron keletkező cseppek adott cseppméret osztályba eső relatív gyakoriságának értéke nő, amely igazolja a cseppek méretének egyenletességét.

A cseppméret eloszlásánál maradván a tartomány jellemzésére használható a span érték, aminek vizsgálatát mutatjuk be. Az eredeti minta vizsgálataként megállapítható, hogy a porlasztónyomás növekedésével a span értéke csökken, aminek magyarázata, hogy a nagyobb

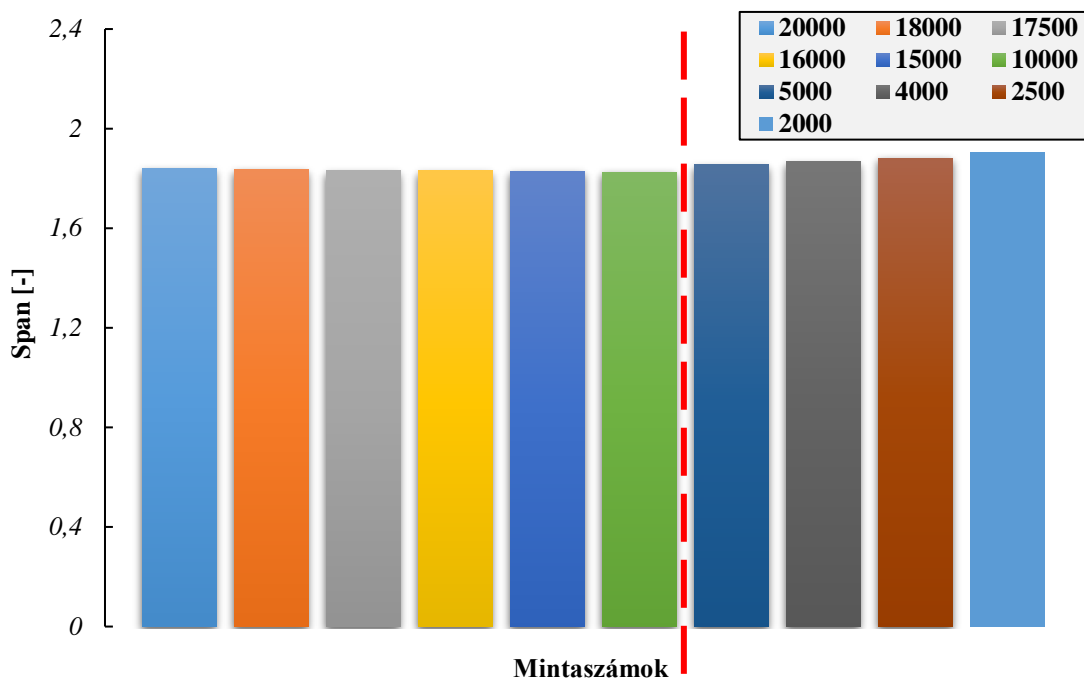
nyomás egyenletesebb cseppméret eloszlást produkál a vizsgált síkon, így csökken a csep-  
pátmérő tartomány, illetve a szélsőséges (nagy) cseppek mennyisége a 20. ábra szerint.



20. ábra – Span változása 20000-es mintában különböző nyomásokon.

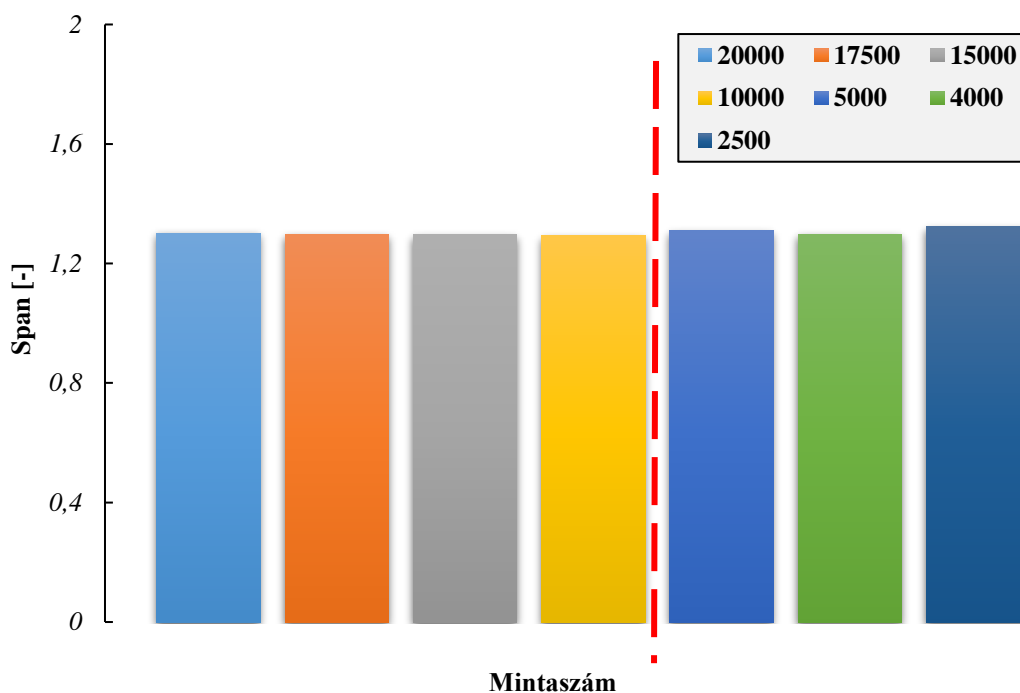


21. ábra – Span változása 2000-es minta esetén különböző nyomásokon.



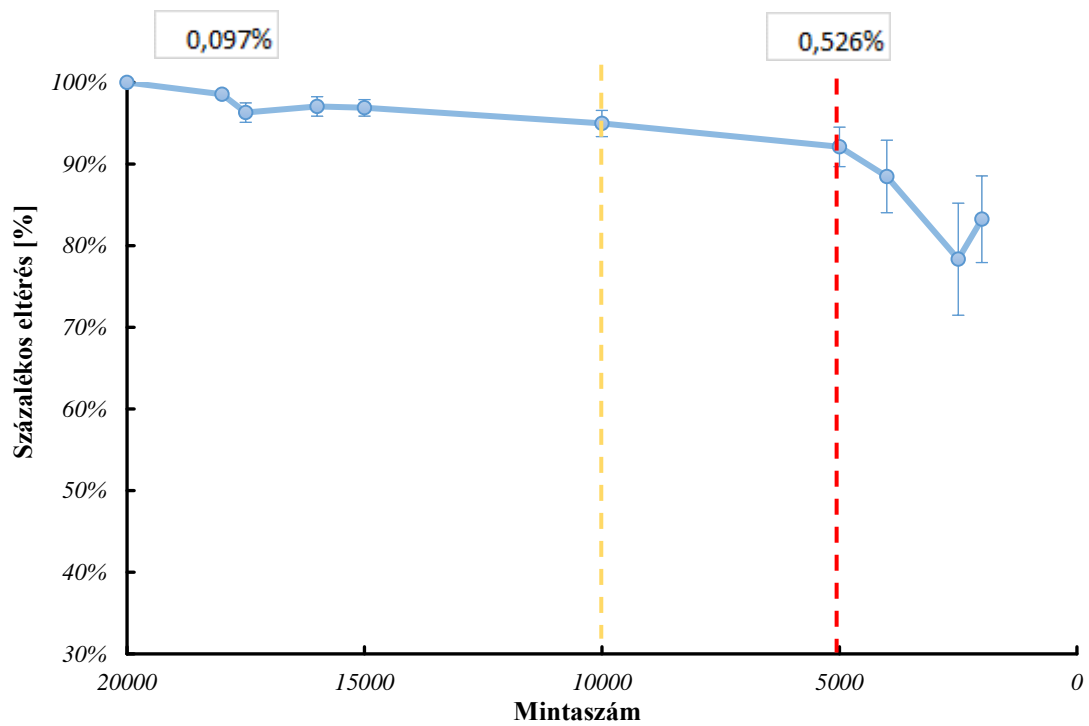
22. ábra - 0,3 baron a span értékei különböző mintaszámra.

A 21. ábra is hasonló csökkenést mutat egy kis eltéréssel a 0,5 bar porlasztónyomáson, ami a kevés mintából való átlagolás következménye lehet. Emellett a 20. ábrához hasonló csökkenést követi. A 22. ábrán látható a span értékek alakulása 0,3 baron az egyre kisebb minta esetén. Itt a legfontosabb az értékkészlet, mivel látható, hogy 1,91 és 1,82 között alakul, illetve, hogy a 18000-es és a 2000-es minta span értéke között közel 0,1 érték eltérés van. Ez a diagramok alapján nem nagy eltérés, viszont relatív hibaként meghaladja az 5 %-ot, ami azért tekinthető nagynak, mivel a jellemző átmérő eloszlás tartományának nagyságát jellemzi a képnek megfelelően. Illetve a 10000-es és az előtte lévő mintaszámok esetén a span értékek közel megegyeznek, ami jelzi, hogy a mintaszám addigi csökkentésével minimális a torzulás az eloszlásban. A szubszonikus nyomásra az oszlopdiagramok alapján a 10000-es mintánál húzható meg a mintavételezési határ.

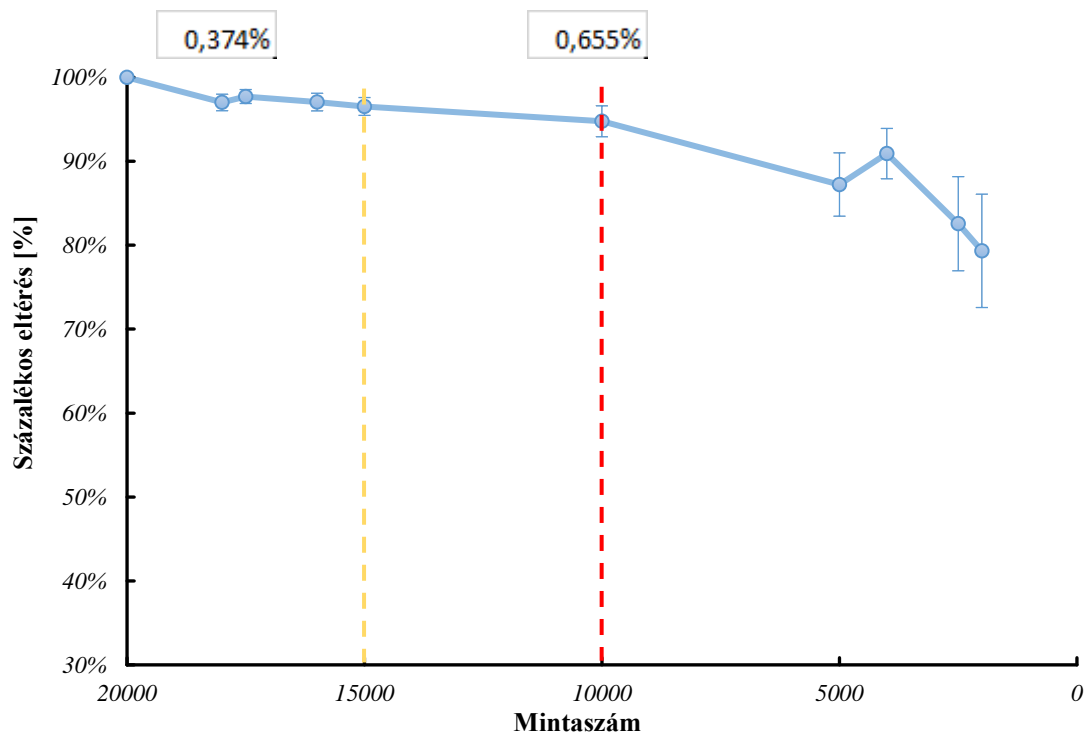


23. ábra – Span értékek alakulása 2,1 baron változó mintákra.

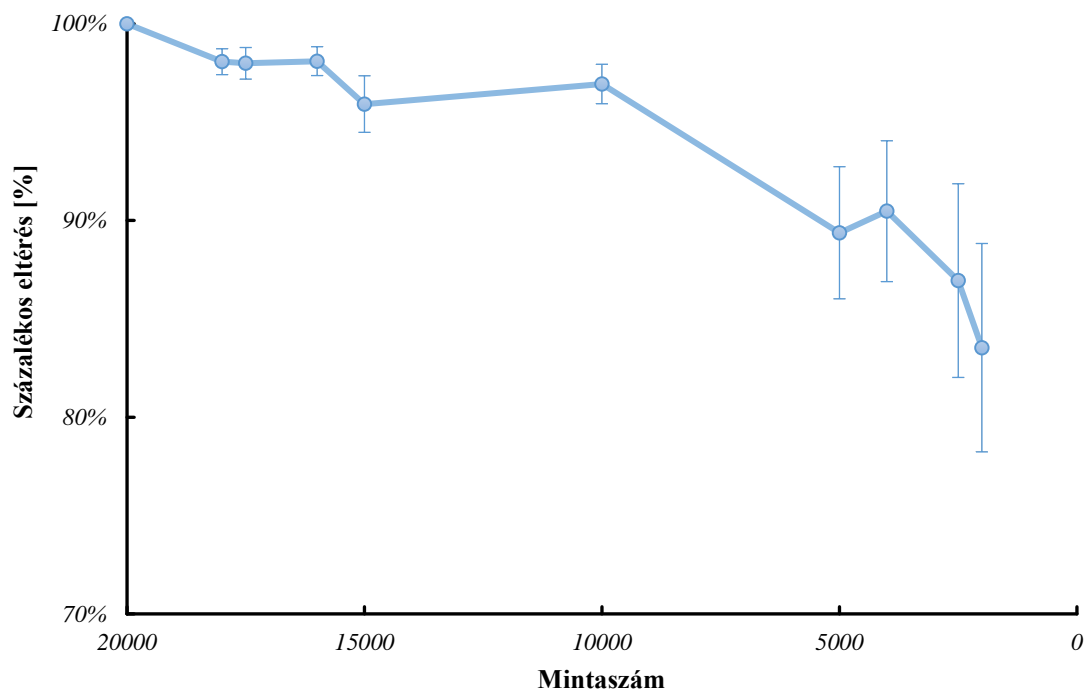
A 23. ábrán a 2,1 bar nyomáshoz tartozó mintaszámok alakulása látható. A 22. ábrához hasonlóan van egy állandó értékkel jellemzett szakasz, ami a 10000 és a feletti mintaszámok esetén igaz, illetve egy változóbb szakasz, amit a kisebb mintaszámok hoznak létre. Így itt is hasonlóan meghúzható egy elfogadható határ, ami a 10000 mintaszám. Illetve a relatív eltérés a szubszonikus nyomáson látott eltéréshez képest kisebb, százalékos értékben 5 % körüli. Megállapítható, hogy nagyobb nyomáson a sokkal nagyobb valószínűségű kisebb cseppek számának növekedése a span értékére kisebb hatással van, mint a terjedelmesebb kisebb nyomások esetében. A span érték a mintaszám csökkenésével elkezd instabilan változni, viszont teljes intervallumot tekintve csak századokat változik, ami hozzávetőlegesen 5 % körüli. A következő ábrákon megvizsgáljuk a szűrt mintaszámok az eredeti mintához való eltérését a span értékekben, ahogy azt az átmérők esetén is vizsgáltuk. A vizsgálat itt is a teljes síkra vetítve történik, így az eltérések itt is összeltérések. A számolási módszer teljesen megegyezik a 11. - 13. ábrán látható kiértékelés módjával. Láthatjuk, hogy a görbe alakja jellegre hasonlít is a 11. - 12. ábra görbéire. Mivel az átlagolandó értékek sokkal kisebb értékek, mint az SMD, így relatív értelemben a kisebb változások nagyobb befolyással vannak a vizsgálandó jellemzőre. Így a span jellemzőre nem engedjük meg az 1 % eltérést, ehelyett a 0,5 %-ot választjuk.



24. ábra – Span alakulása 0,3 baron százalékos eltérésben 50 mm távolságban.



25. ábra – Span alakulása 2,1 baron százalékos eltérésben 50 mm távolságban.

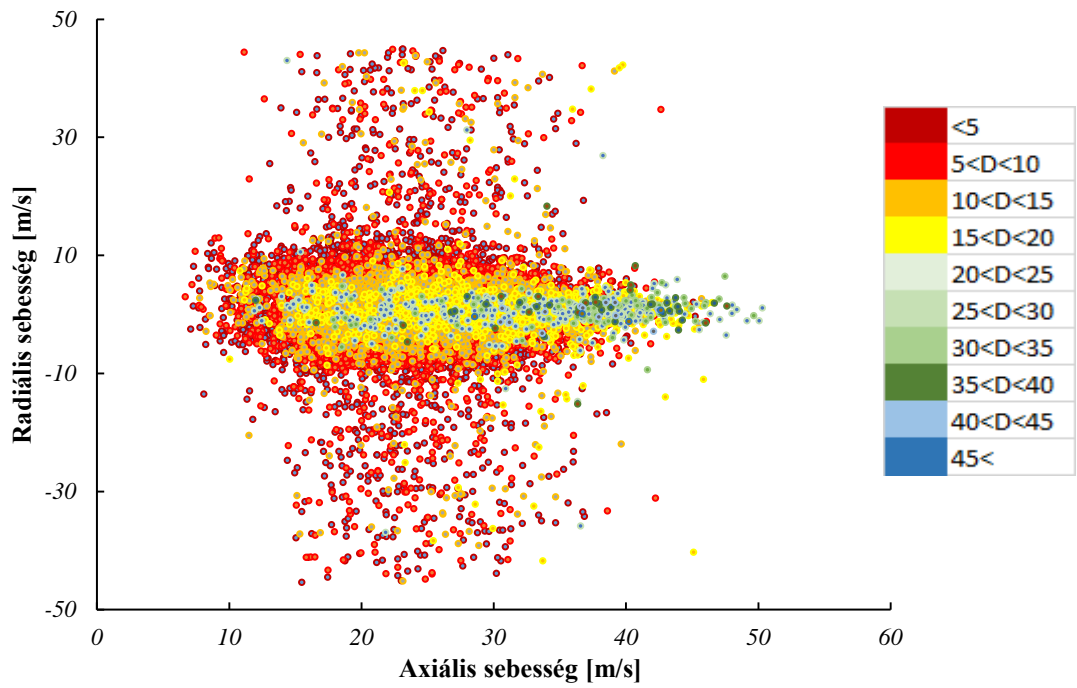


26. ábra - Span alakulása 0,9 baron százalékos eltérésben 50 mm távolságban.

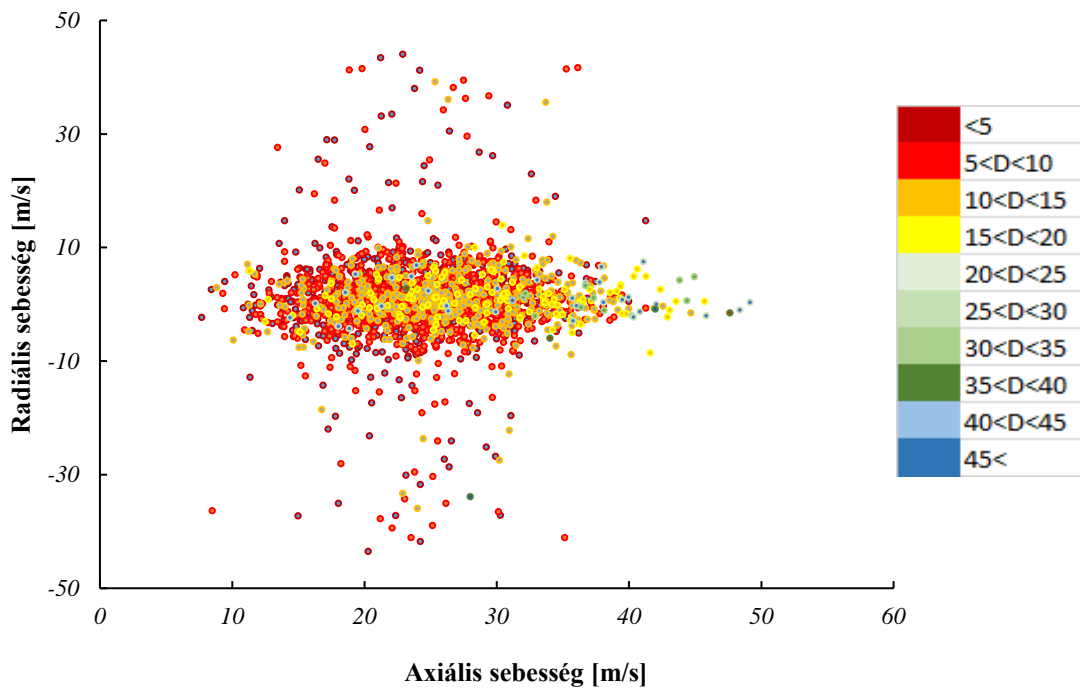
A 0,9 baron való span változása mértékében hasonlóan viselkedik, mint az SMD százalékos változása esetén. Szintén nem kerül mélyebb analízis alá.

Láthattuk, hogy az oszlopdiagramoknál 0,3 bar és a 2,1 bar esetén is a 10000-es minta volt meghúzóható határnak. Emellett a relatív eltérés göbéiből rendre 5000 és 10000 adódott. Mivel a relatív eltérés diagram egy mélyebb vizsgálat eredménye, ezért elsősorban ez tekinthető iránymutatónak, míg az oszlopdiagram esetén pusztán a span változás indukált egy határt.

A cseppek sebességeinek jellemzésére a 2. fejezetben bevezetett RMS és közönséges átlag (Mean) jellemzőket használjuk, melyek kiszámolására a (12)-es és a (13)-as összefüggés szolgál. A sebességkomponensek alakulására egy axiális-radiális sebességtérképet vettünk fel mind 0,3 baron (27. ábra) mind a 2,1 baron (28. ábra). A 20000-es mintán látható, hogy a nagyobb méretű cseppek középen helyezkednek el, azaz legnagyobb arányban axiális sebességgel rendelkeznek, míg a kisebb cseppek esetén a radiális sebességkomponens is jelentős. A 28. ábra ugyanezen 20000-es minta 2500 mintára való szűrését ábrázolja, melyen a nagy cseppek néhány kivétellel teljesen eltűntek. Legnagyobb számban a kis cseppek maradtak meg. Fontos megjegyezni, hogy nem arányos a csökkenése a cseppeknek méret szerint, mivel az eredeti mintában sem egyenletesen vannak a cseppméretek, még ha a szűrés egyenletesen is szűr. Ilyen sebességtérkép hasonlóan a 2,1 baros porlasztásra is felvehető, amit a 29. és a 30. ábra mutat.

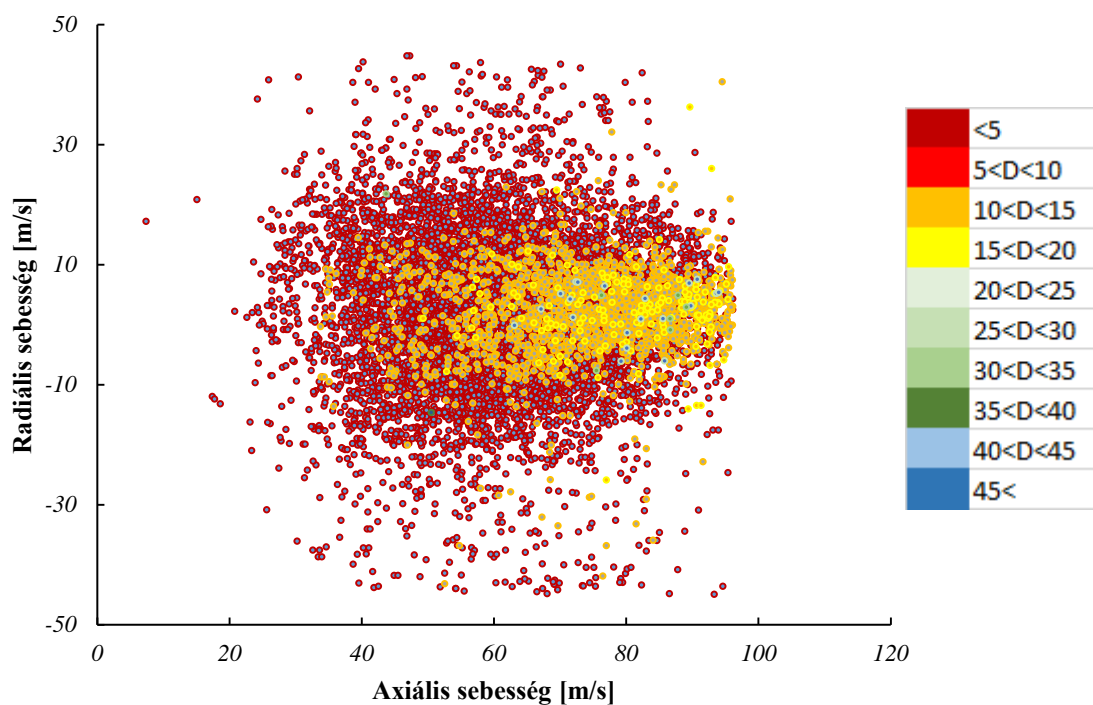


27. ábra - 50 mm távolságban vett sebességtérkép 0,3 baron 20000-es mintára.

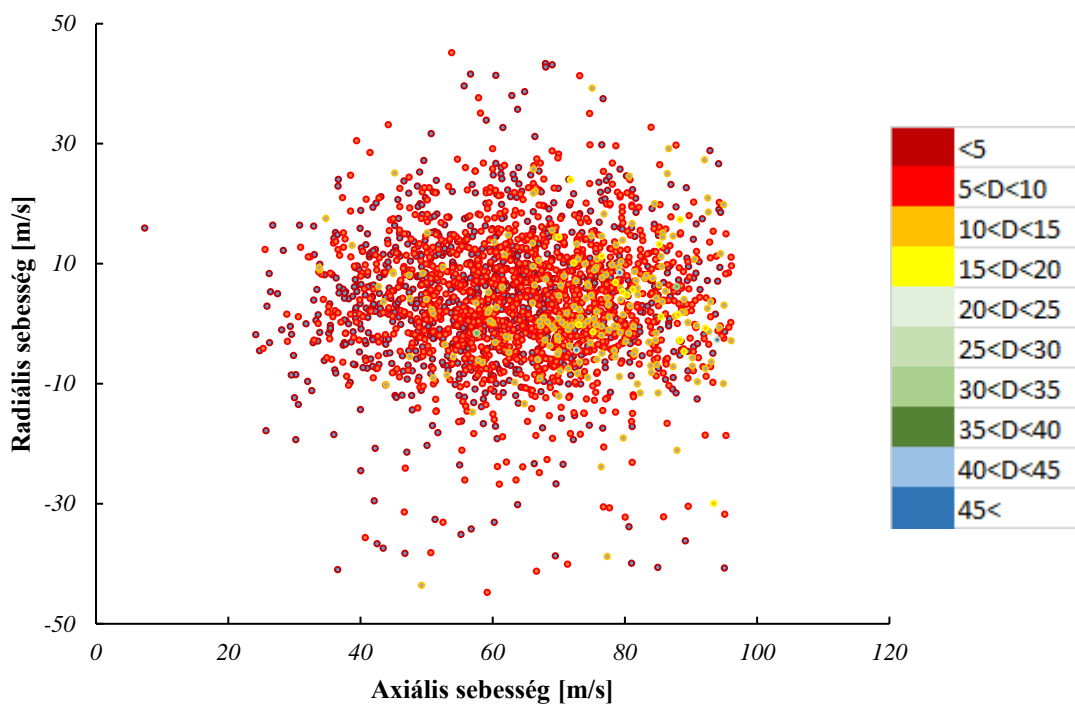


28. ábra - 50 mm távolságban vett sebességtérkép 0,3 baron 2500 minta esetén





29. ábra - 50 mm távolságban vett sebességtérkép 2,1 baron 20000 minta esetén.



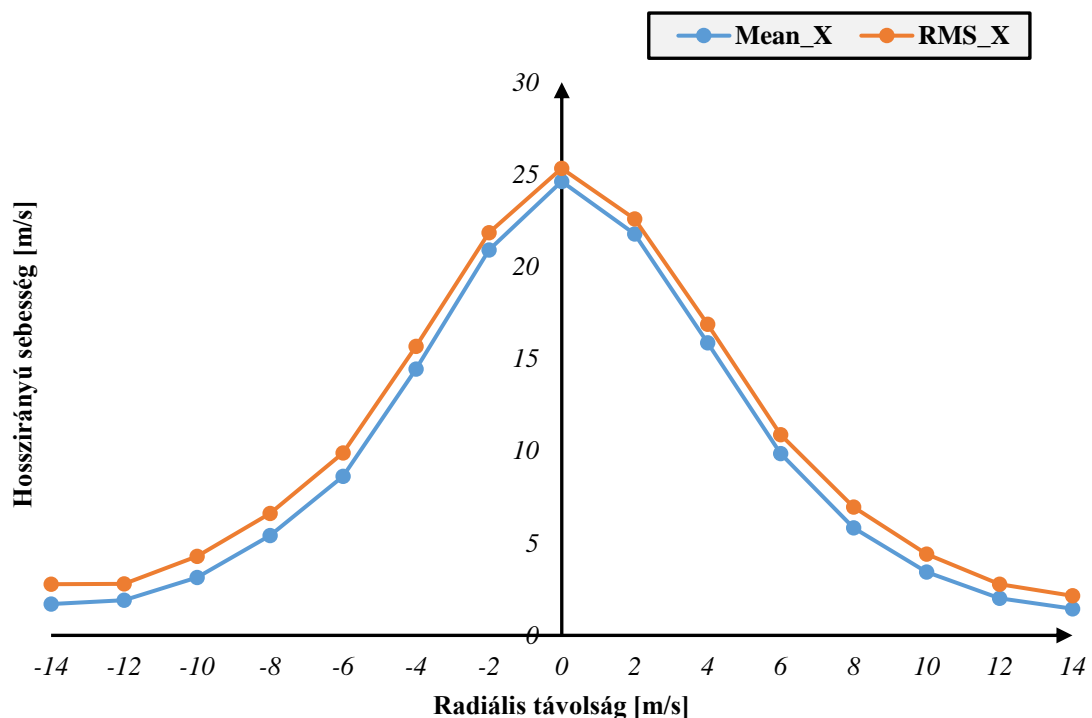
30. ábra - 50 mm távolságban vett sebességtérkép 2,1 baron 2500 minta esetén.

A különbség a 0,3 és a 2,1 baron vett minta között elsődlegesen a cseppek mérete, ami a nagyobb nyomáson kisebb, amit a segédközeg nagy kinetikus energiája okoz. Másrészt a sebes-

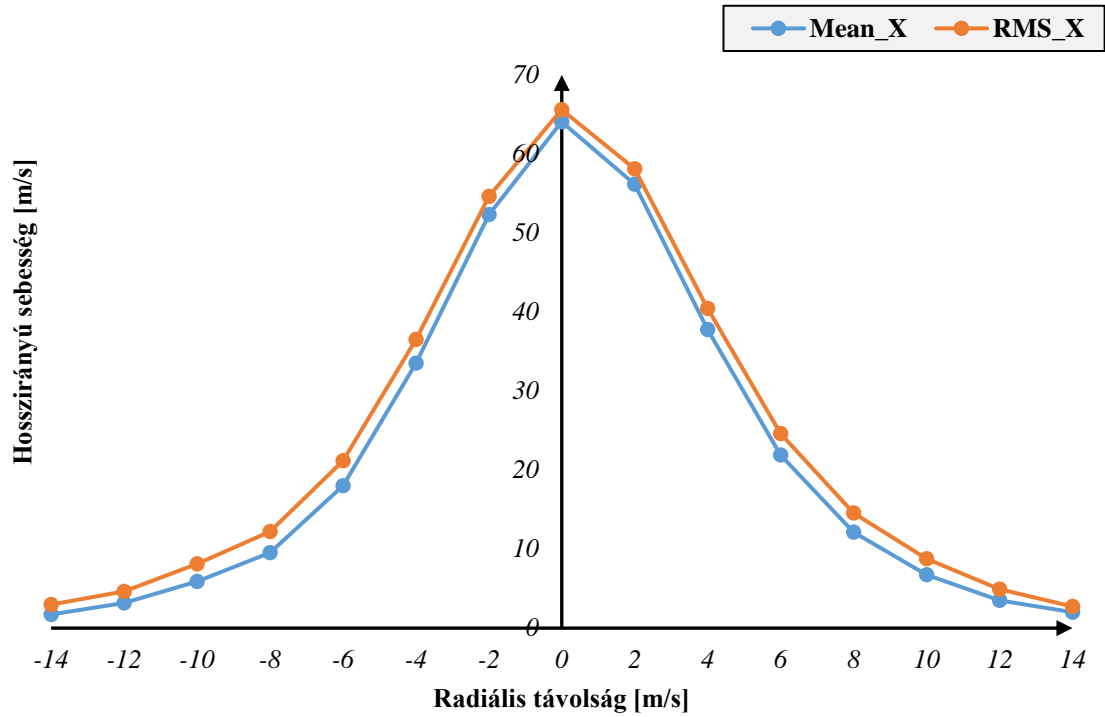
ségek nagyságában láthatunk változást, ami igaz mindkét sebességkomponensre. Az axiális sebesség megnő (tartománya kibővül), ami mellett a cseppek relevánsabb radiális sebességgel is rendelkeznek, ahogy a cseppek eloszlásán is látható a sebességtérképeken. A 2500-as minta itt már kevésbé hasonlít az eredeti minta szerint kirajzolt térképre, ellentétben a szubszonikus nyomáson vizsgált esetben.

Hasonlóan egy MatLAB kiértékelővel meghatároztuk a cseppek hossz- és keresztirányú sebességének átlagát és négyzetes középértékét az 50 mm távolságon vizsgált síkban vett pontoknak. Ebből a z irányú, azaz a hosszirányú komponens, amit tüzetesebben vizsgálunk, mivel a mérnöki gyakorlatban is meghatározóbb, például tüzeléstechnikában.

Az eloszlást tekintve szimmetrikusnak mondható a 31. ábra két görbéje a függőleges tengelyre. Vízszintes tengelyen a porlasztás középpontjától való eltérés, függőleges tengelyen a hosszirányú sebességkomponens átlagolt értékei. Látható, hogy az átlag értékek és az RMS értékek közel követik egymást. Nagy eltérést akkor tapasztalnánk, ha például a keresztirányú sebességet átlagolnánk ki, ugyanis abban találhatunk negatív sebességkomponenseket is, ahhoz képest, hogy a sebességvektor a koordinátatengelyhez képest merre mutat.

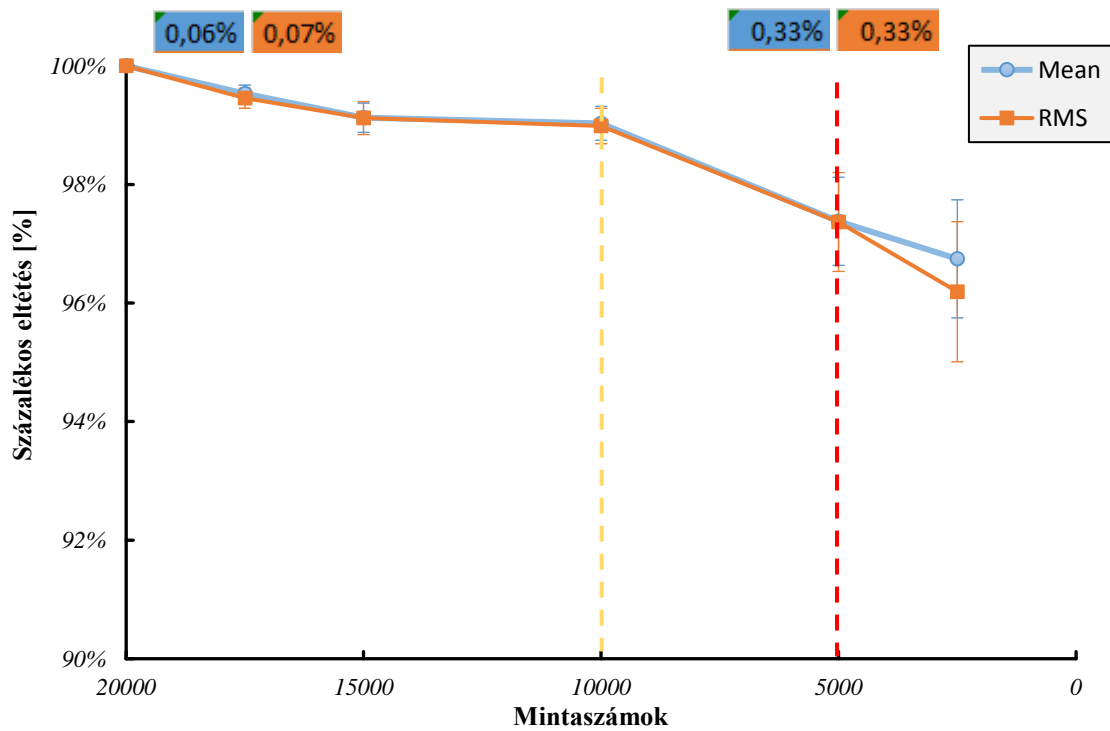


31. ábra - 50 mm-en vett sebességek kiértékelt adatai 0,3 baron 20000 mintára.



32. ábra - 50 mm-en vett sebességek kiértékelt adatai 2,1 baron 20000 mintára.

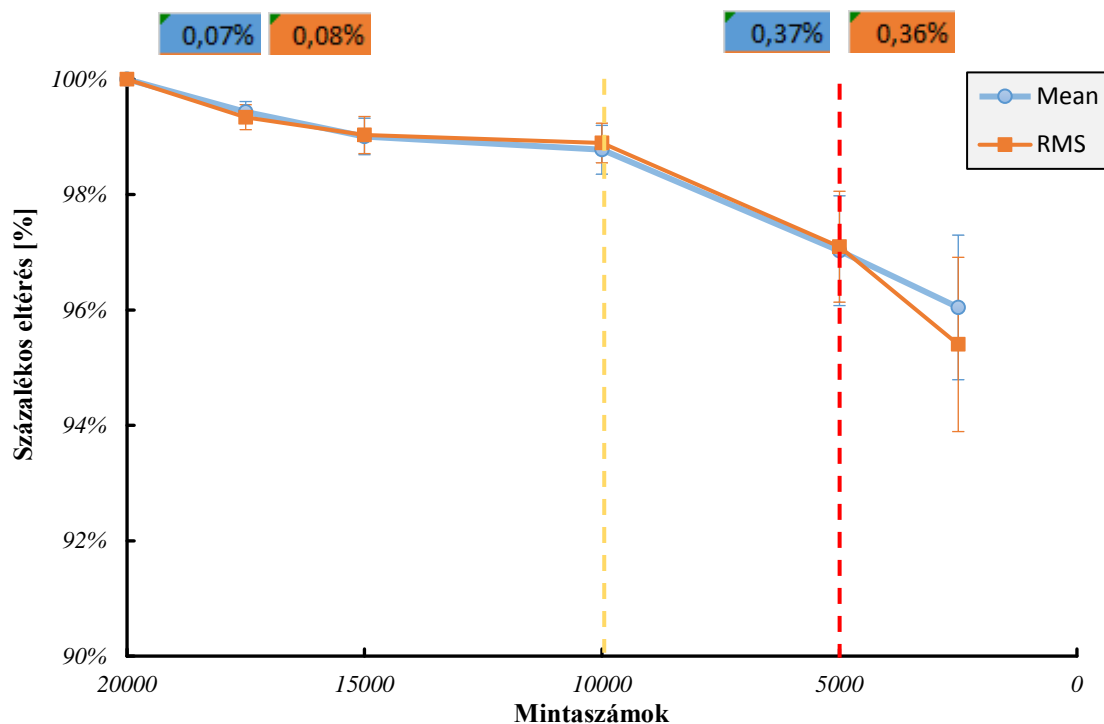
A 32. ábra már egész kicsit aszimmetrikus, illetve láthatóak az előző bekezdésben tárgyalt jellemzők, miszerint növekvő nyomáson a hosszirányú sebesség is növekszik.



33. ábra - 50 mm-en 0,3 baron vett százalékos eltérése a hosszirányú sebességnek.

Ábrázolva a 0,3 és 2,1 bar-on vett 2500 mintára szűrt átlagolásokat, eloszlásban szinte alig tért el rendre a 31. és 32. ábrától, ezért már rögtön az SMD alakuláshoz használt százalékos eltérés számításával számolt értékeket ábrázoltam az adott nyomáson (33-34. ábra).

Itt az látható, hogy 0,3 bar esetén kevésbé változtat az értékeken még a 2500-as minta is. Ennek oka lehet, hogy nagy sebességértékekkel történt a számolás. Hasonló módszerrel ábrázolva a 2,1 barhoz tartozó százalékos értékeket a 34. ábrán látható diagramot kapjuk. A letörés mértékéből becsülhető, hogy 2500 minta alatt erősebb esés következhet.



34. ábra - 50 mm-en, 2,1 baron vett és szűrt minták százalékos alakulása.

A sebességek esetén a kis százalékos esés miatt a relatív súlyozott átlagos eltérés toleranciaértékének 0,3 %-ot vettem fel. Ábrázolásra így a 0,3 %-os érték került ábrázolásra, ami az 5000 mintát jelenti, illetve a 17500-as mintához tartozó átlagos értéket szemléltetésként. A szövegdobozok színei görbéknek megfelelően lettek választva.

#### 4.2.2. NAGYOBB MINTA SZÜRÉSE

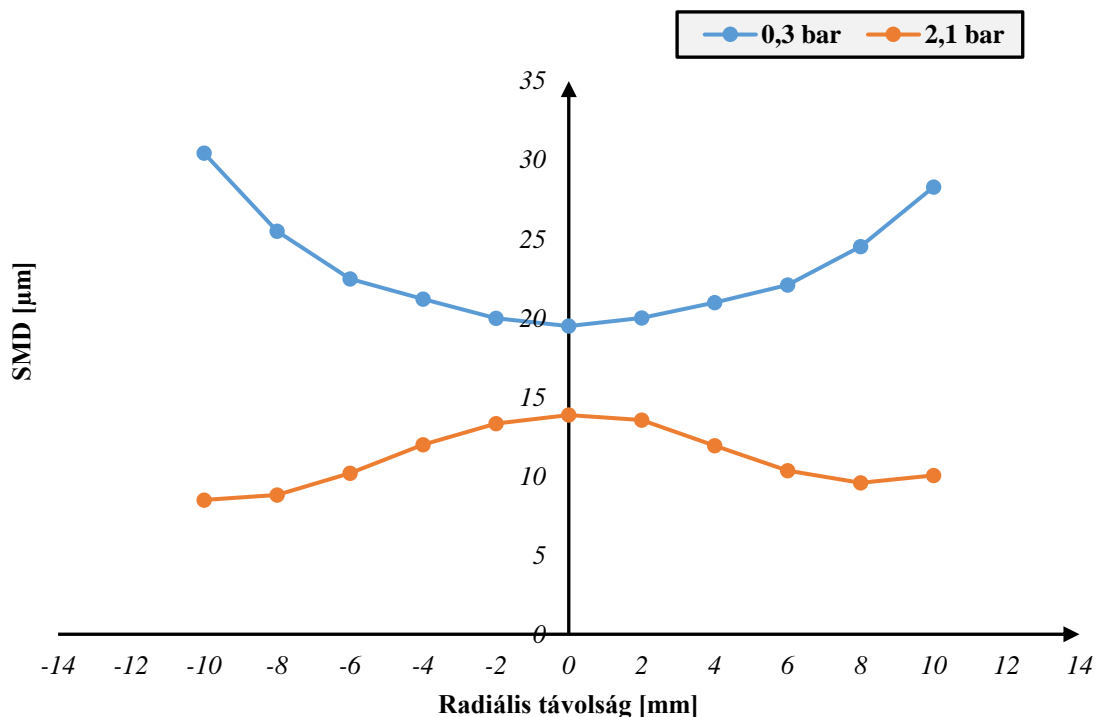
E fejezet eddigi részében a 20000-es kiinduló mintáinkat vizsgáltuk egy-egy szub-és szuperzonikus nyomásra fókuszálva. A cseppek geometriájára kiértékeljük az SMD-t, a jellemző átmérők eloszlását és a span értékeket. A cseppek sebességvizsgálatában kitértünk a RMS és a közönséges átlag alapján kapott értékre. Ezen jellemzőkre sikerült egy mintaszámot meghatá-

rozni, ami a minimálisan ajánlott a méréseknél. A fejezet következő részében egy nagyobb minta (126000 elem) kiértékelése kerül bemutatásra ugyanazon jellemzőkre, mint a 20000-es esetén. Ennek alapja elsődlegesen, hogy kizárjuk a túlzottan lokális vizsgálatot, miszerint hogy a 20000-es minta is kevés minta egy segédközege porlasztó vizsgálatára. Másrészt a nagyobb minta eltérő időben lett vételezve, ami a mérés reprodukálhatóságára adja meg a választ. A 126000-es minta azért bizonyult megfelelőnek a vizsgálatokra, mert kellően nagy (vagyis távol van a 20000-től), illetve mert matematikailag a Renard-sor 5. tagja. Maga Renard francia katonai mérnök volt, aki repülőgépek fejlesztésén dolgozott a hadászati időszakában. Továbbá maradandót alkotott a szabvány rendszerek megalkotásában, ami hatására a ma ismert nemzetközi ISO 3-as szabvány az ő nevét viseli [24].

Mivel a 126000-es mintaszám egy kiegészítő elemzés az eredeti 20000-es mintához, ezért a TDK dolgozatban kizárólag a 0,3 és a 2,1 bar kerül kiértékelésre. A vizsgálat során továbbra is az 50 mm távolságban maradunk a porlasztási fúvókától. Az elemzés során alkalmazott minta szűrt értékeit a 4. táblázat tartalmazza.

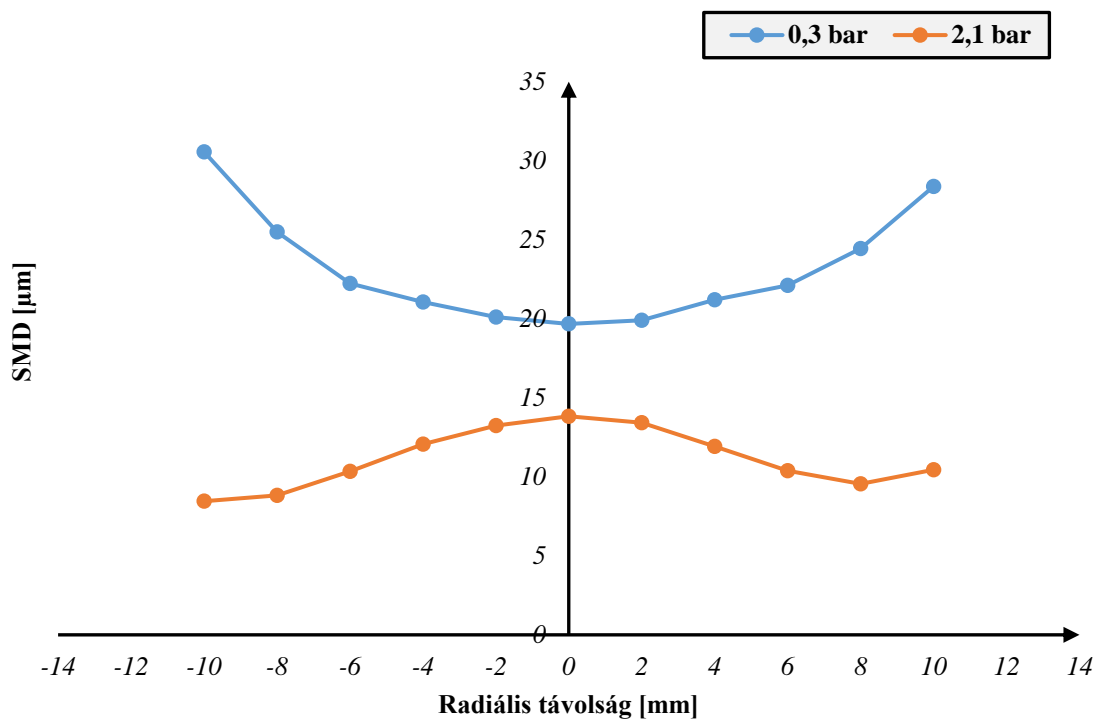
4. táblázat – a 126000-es minta szűrt értékei

Szűrt minták	91500	63000	31500	15750	3937
--------------	-------	-------	-------	-------	------



35. ábra – 50 mm távolságban a 126000-es minta SMD alakulása radiális irányban.

A 35. ábrán a 126000-es minta az 50 mm távolságban lévő síkban mutatja az SMD radiális irányú változását. Különbség a 20000-hez képest, hogy a 2,1 baron a szélső pontokon (-14 és 14 mm) nem történt mérés, mivel azon pontokban már nem volt teljes permetképződés, így nem lettek volna reprezentatívak a kiértékelés során. A -12 és 12 mm továbbá azért nem lett ábrázolva, mivel míg -12 mm esetén megfelelőnek bizonyult volna az értéke, 12 mm-en túlságosan eltért nagyságában a többi értéktől. Feltételezhetően már azon a két ponton sem történt meg a teljes permetképzés. A 31500 elemszámra szűrt minta eloszlása a 36. ábrán látható. A 20000-es minta radiális irányú SMD eloszlásával összevetve itt a 31500-ra is egyenletes a változás a síkon, aminek így akár a 20000-es minta folytatása lehet. A függvényen látható kis aszimmetria ekkora elemszámnál már feltehetően a fejezet elején említett gyártástechnológiai aszimmetria, amit nem vettünk figyelembe.

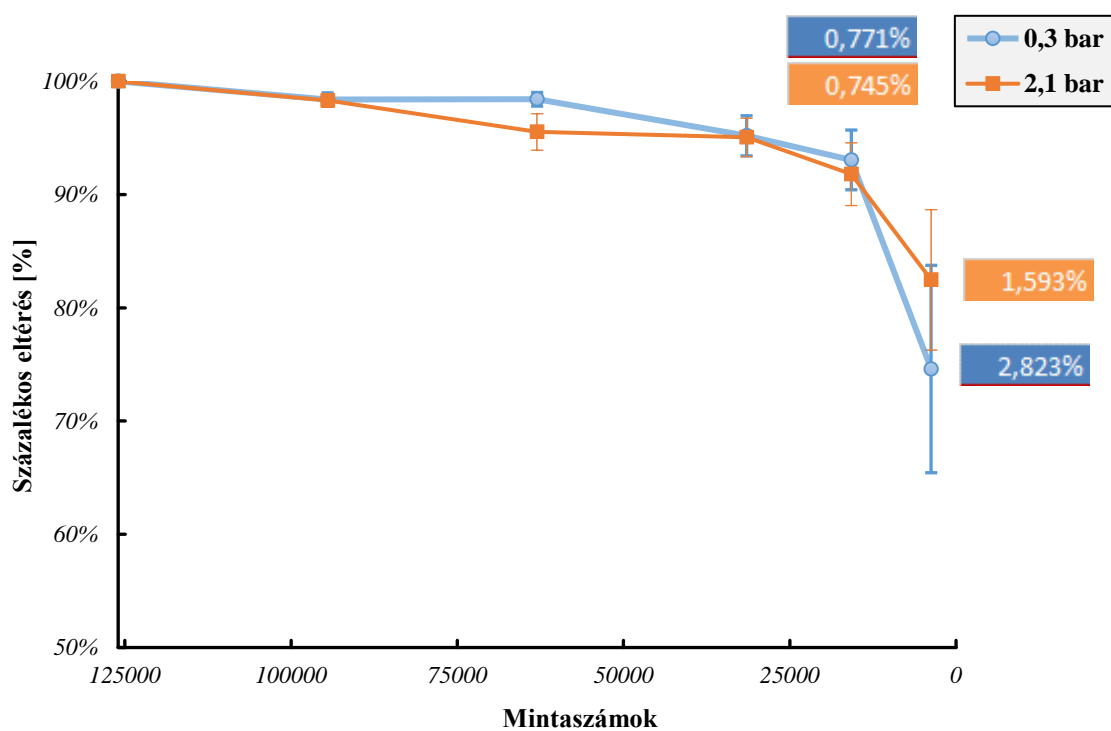


**36. ábra** – 50 mm távolságban a 31500-as minta SMD alakulása radiális irányban.

Ugyanazt a számolási módszert folytatva, mint a 20000-es minta SMD eloszlásánál használtunk, a 37. ábrán látható görbéket kapjuk. Továbbra is az elfogadott teljes síkra látható az eltérés, így egy-egy pontra szintén kevesebb százalékos eltérés jut. Az elfogadott sík a -10 és 10 mm radiális távolság, aminek így összeltérése látható az ábrán. Mindkét görbe esetén a csökkenés a 31500-as mintaszámig nem haladja meg a 10 %-ot. A mintaszám csökkentése mindenképp eltérést fog vonni maga után, mivel a PDA-s mintavétel nem egyenletes az mért értékekben, még ha a szűrés a mintában az is volt. Így elkerülhetetlen, hogy a kevesebb minta esetén se változzanak meg az átlagolt értékek. A legnagyobb és a legkisebb minta között

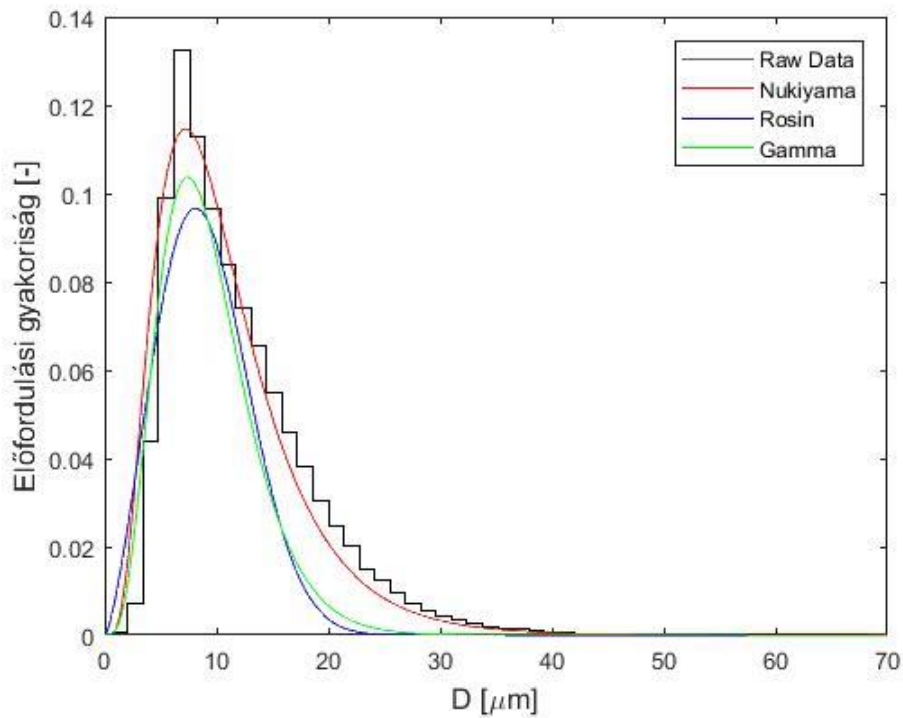
94500 elem a különbség, amekkora csökkenés okozhat ekkora százalékos eltérést. Érdeemes továbbá megfigyelni, hogy a minta szórása itt is a szuperszonikus nyomásnál jelentősebben jelentkezik, ami a nagyobb érzékenységre utal, míg a szubszonikus nyomáson csak a 31500-as mintánál lesz jelentős.

Hasonlóan növekvő hibával terheltlen kapjuk a kisebb minták származtatott értékeit. Továbbá hasonlóan ábrázolásra kerültek a relatív súlyozott átlagos eltérések a 15750 és a 3937 mintára, szemléltetesként az alacsony mintaszámnál történő eltérés növekedését. A 2000-es mintánál vett 1 %-os határ itt is teljesül, ami a reprodukálhatóság feltételét biztosítja az elvégzett vizsgálatoknak.

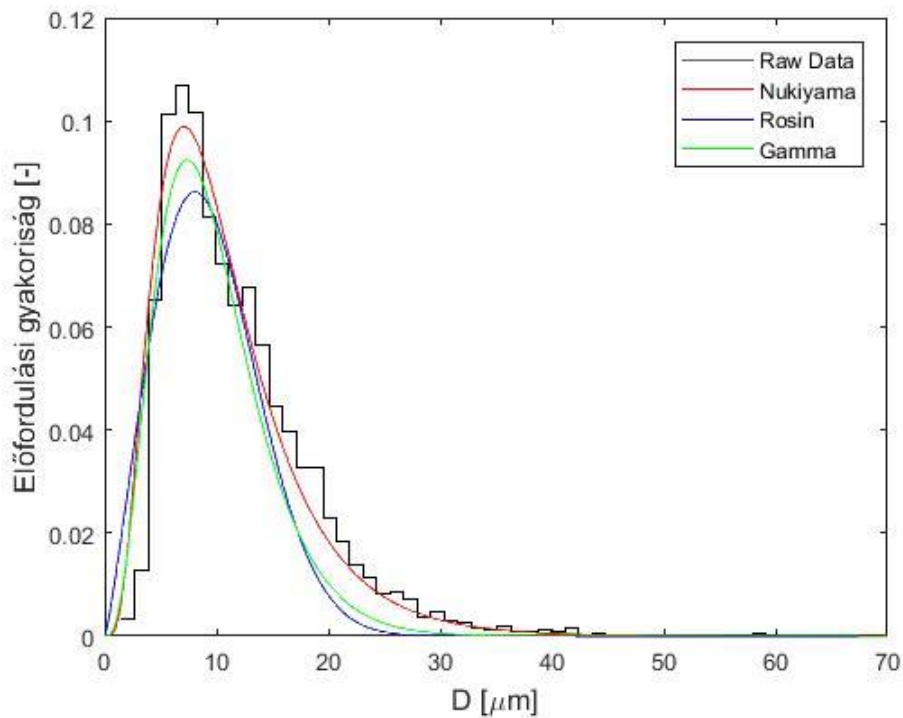


37. ábra – 50 mm távolságban 2,1 baros SMD vizsgálat.

Az eloszlás vizsgálata itt is ugyan úgy történt, mint a 4.2.1. fejezetben, vagyis a szub- és szuperszonikus nyomáson vizsgáltuk a jellemző cseppméret eloszlását a porlasztás közép-pontjában (radiális távolság 0 mm). A 38. ábra a 126000-es, míg a 39. ábra a 31500-as mintát szemlélteti.



38. ábra – 50 mm távolságon, 0,3 baron 126000-es minta eloszlása.

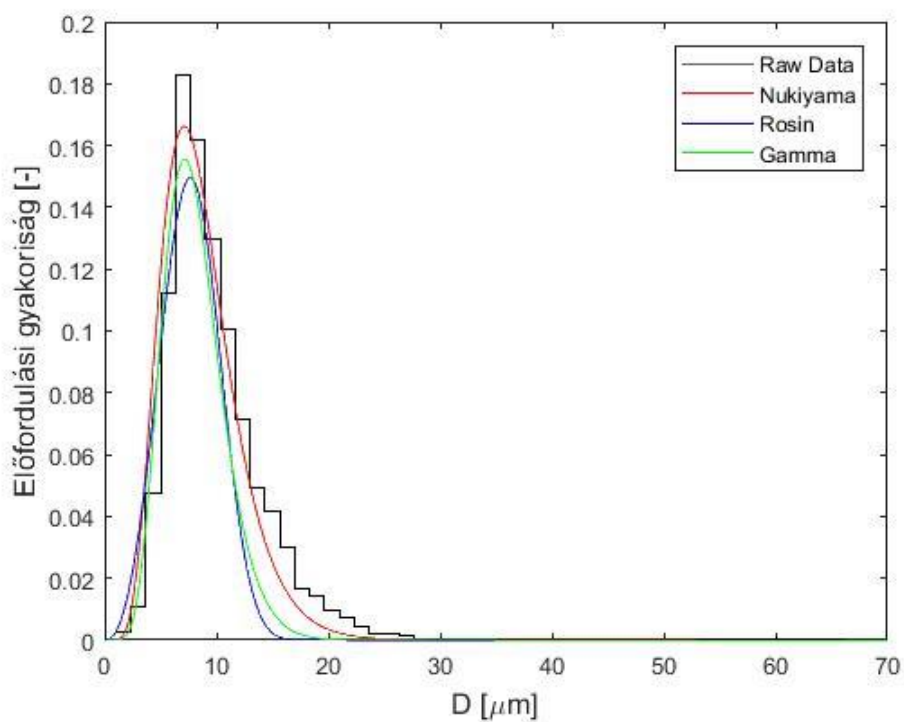
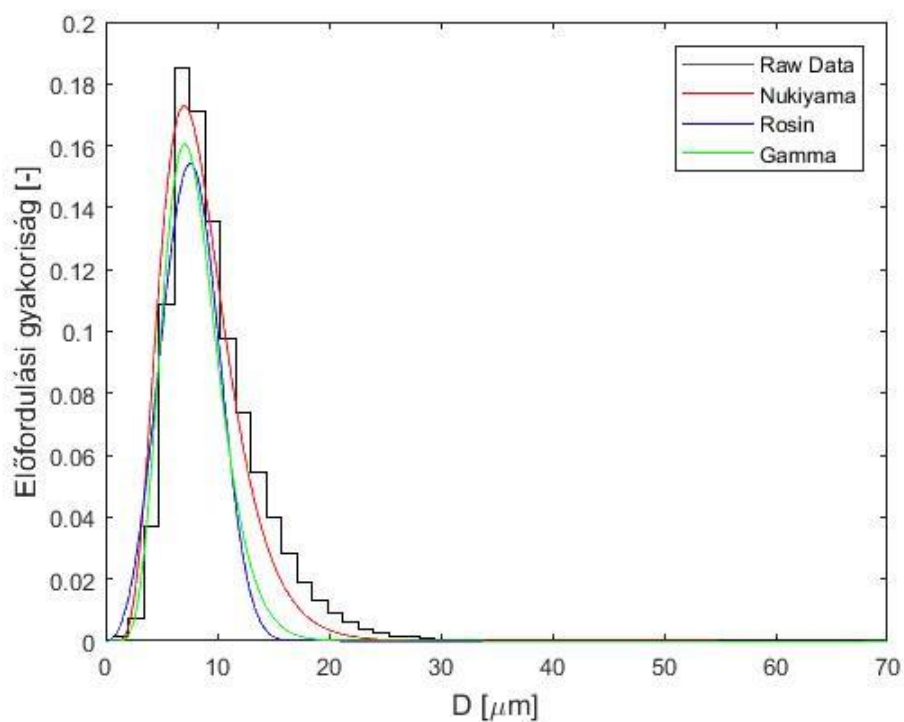


39. ábra - 50 mm távolságon, 0,3 baron 3937-es minta eloszlása.

Látható, hogy mind a 38. és a 39. ábrán az előfordulási gyakoriság folyamatosan csökken a cseppméret növekedésével és nem lép fel szabálytalanság, mint például a 2500-as minták ese-

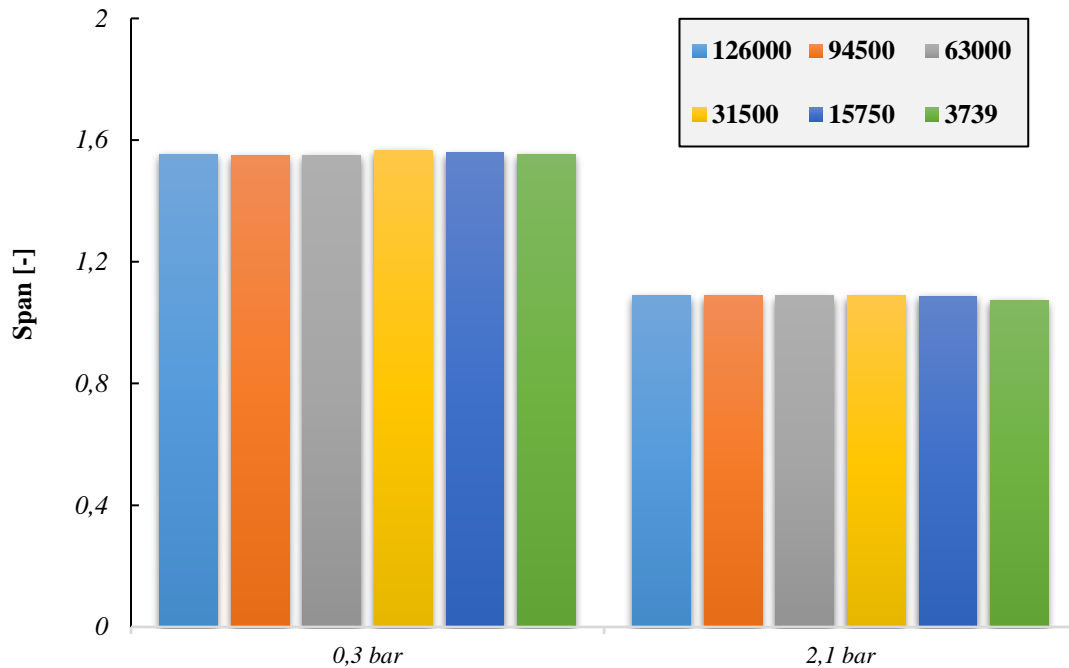


tében történt. A sűrűségfüggvények képesek voltak illeszkedni az összes vizsgált minta esetében.



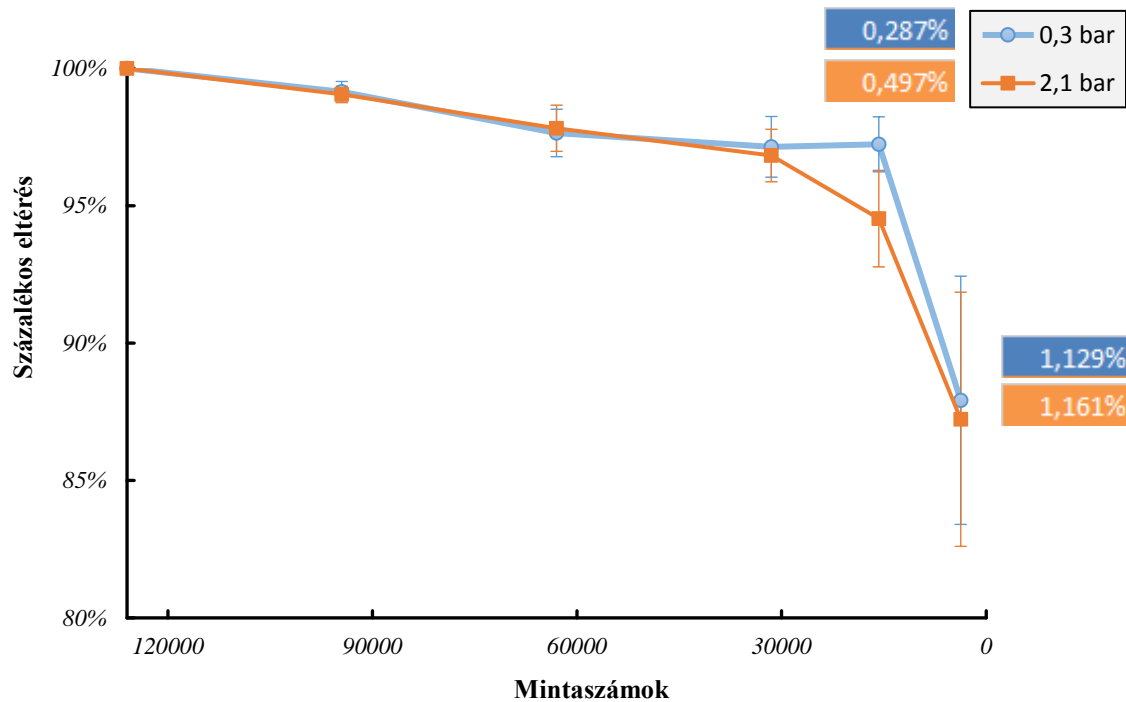
A 40. és a 41. ábráról is hasonlóan elmondhatók a fentebb említettek, miszerint folyamatos a csökkenése a nagyobb cseppeknek, még a 3937-es elemszámnál is. A sűrűségfüggvények illeszkedését tekintve látható, hogy itt is megfelelő.

Ezen hisztogramok szélességének változása kevésbé látható ugyanazon a nyomáson az ábrákról, így érdemes a span értékeket vizsgálni, amit a 42. ábra szemléltet.



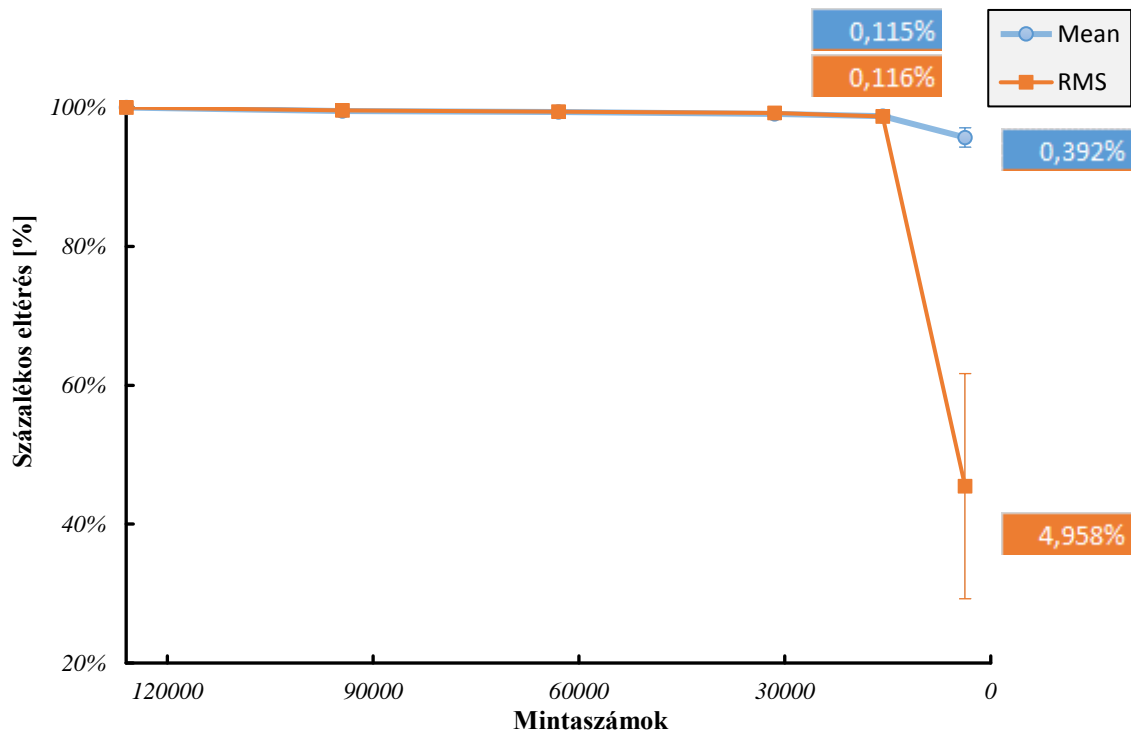
**42. ábra** – 50 mm-en 126000 és 31500 minta közötti span értékek alakulása.

A span értékek szintén a 0 mm radiális távolságon kerültek kiértékelésre, amiről látható, hogy minimális az eltérésük. Ezért érdemes a számunkra releváns teljes síkre elemezni, amit a 43. ábra mutat, mivel láthattuk a 20000-es minta vizsgálatánál is, hogy az egyszerű eltérés egy adott pontban nem írja le megfelelően a vizsgált síkot. Mint azt az SMD százalékos eltérésénél is megjegyeztük, itt is az összeltérés került ábrázolásra, aminek csökkenését -10 és 10 mm közötti mérési pontokra értékeltünk ki. Látható, hogy a csökkenés egyik nyomásértéknél sem haladja meg az 5 %-ot, mely eltérést a minta kevés mennyisége is okozhat. Hasonlóan feltűntettük a relatív súlyozott átlagos eltérést, ami szintén mutatja, hogy a 3937-es mintánál már nem elfogadható, mivel a 20000-es minta esetén a span-re elfogadott határ 0,5 % volt. Továbbá látható, hogy a 2,1 barhoz tartozó görbe esetén a 15750-es mintánál már majdnem eléri ezt a határt, ami jól reprezentálja, hogy a szuperszonikus nyomásra a szubszonikustól eltérően 15000-es minta szükséges.



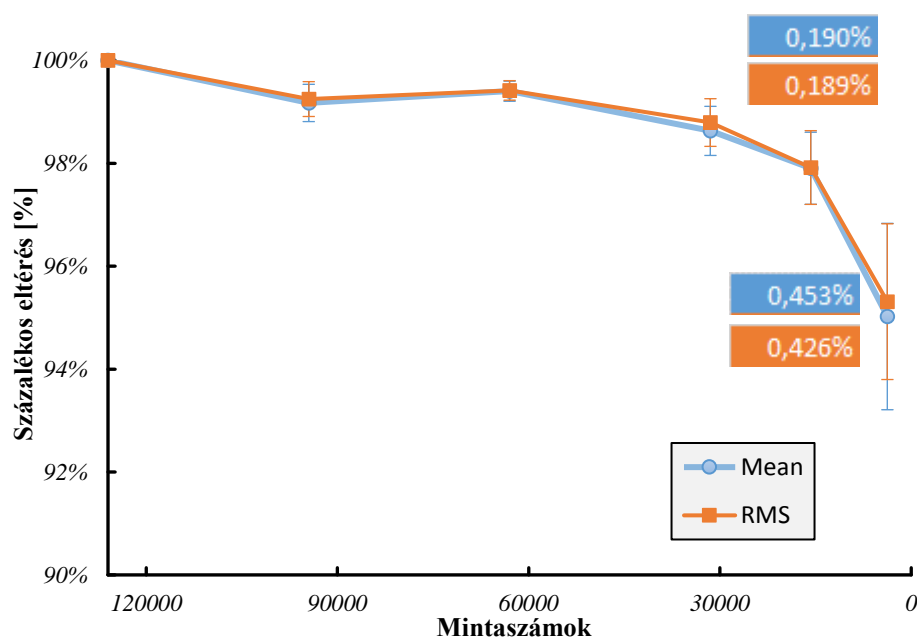
43. ábra – 50 mm-en a span értékek alakulása a 126000-es mintánál.

A geometria vizsgálata után a cseppek sebességének hosszirányú alakulását vizsgáltuk 0,3 bar nyomáson RMS és általános középértékre. Radiális irányú eloszlásban a 20000-es minta eloszlásához hasonló haranggörbét kapunk, mind a 126000-es, mind a 31500 minta esetén szubszonikus nyomáson.



44. ábra – 50 mm-en 0,3 baron nyomáson az RMS és az általános középérték alakulása százalékos eltérésben.

Viszont számunkra több információt hordoznak a százalékos eltérés görbéi, melyek bemutatásra kerülnek a 44. ábrán 0,3 bar nyomásra, 45. ábrán a 2,1 baros nyomásra. Az eltérések ez esetben is -10 és 10 mm radiális távolság-beli pontokat jelenti. A 126000-es mintától a 31500-as mintáig nincs 1 %-os változás a kiinduló mintához képest, ami valószínűleg a mintaszám-csökkenésből ered. Ezt jól mutatja a relatív súlyozott átlagos eltérés is, ami a 3937-es mintánál megnő, főleg a szubszonikus esetre az RMS értékben. Ezzel jól mutatja, hogy ilyen kis mintaszám esetén eltérhet kis mértékben (nem sokkal meghaladva a határt), de eltérhet szignifikánsan nagy értékben is. A 20000-es minta esetén a sebességekre 0,3 % eltérés volt a megengedett, ami a 126000-es mintánál az elvártnak megfelelően alakult, vagyis a 3937-es mintánál túllépte a határt.



45. ábra - 50 mm-en 2,1 baron nyomáson az RMS és az általános középérték alakulása százalékos eltérésben.

A 45. ábra a 2,1 bar nyomáshoz tartozó teljes relatív sebességváltozást látjuk a képletek alapján. Látható, hogy 3% esés csak a legalacsonyabb mintánál következik be, ami a meghúzott határnak már amúgy sem tenne eleget.

Összefoglalva elmondható, hogy a nagyobb minta szűrésében pusztán az adatmennyiség csökkenése volt tapasztalható, míg a csökkenésből fakadó torzítások nem jelentkeztek. Az adatmennyiség csökkenése a 37.-45. ábrákból láthatóan pár százalékos változást mutatnak a 126000-es mintához képest. A vizsgált sík viszont szűkült 4 mérési ponttal a 20000-es minta kiértékelésében lévő pontokhoz képest, mivel ezen pontok esetében nem került begyűjtésre a maximálisan meghatározott mintaszám, így az egységes kezdeti feltételek biztosításának érdekében eltávolításra kerültek. A radiális irányú távolságokban vizsgált hosszirányú sebesség

és SMD eloszlása szintén az eredeti mintához volt hasonló. Az SMD relatív gyakoriság-eloszlás diagramra mindhárom sűrűségfüggvény illeszthető volt.

#### 4.2.3. MINIMÁLIS MINTASZÁM ÖSSZEFOGLALÁSA

A 4.2.2.-es fejezetben láthattuk, hogy a 20000-es mintaszám vizsgálata megfelelő volt a minimális mintavételezés kutatására, mivel nagyságrendileg is nagyobb mintában pusztán a mintacsökkenés hatását fedeztük fel az átlagolás során.

Így a 20000-es minta vizsgálatának végére felállítható egy összefoglaló táblázat, ami a jellemző értékekre vonatkozóan tartalmazza a megengedett relatív súlyozott átlagos eltérést és az ennek megfelelő minimális minta nagyságát (4. táblázat).

5. táblázat – Minimális mintavételezési szám.

	Relatív súlyozott átlagos eltérés határ [%]	Alsó határ (piros vonal)		Biztonsági határ (sárga vonal)	
		0,3 bar	2,1 bar	0,3 bar	2,1 bar
SMD	1	5000	16000	10000	17500
Span	0,5	5000	10000	10000	15000
RMS	0,3	5000	5000	10000	10000
Mean	0,3	5000	5000	10000	10000

Látható, hogy eltérő relatív súlyozott átlagos eltérés értékeket használtunk határnak a különböző jellemzők esetén, mivel a mintaszám csökkentésére különböző mértékben reagáltak. A legnagyobb változás százalékban az SMD értéknél jelentkezett, ami megkívánta az 1 %-os határt. A többi esetén kevésbé voltak jelentősek az esések, éppen ezért követelt kisebb tolerancia értéket.

A két határ feltüntetése azért fontos, mert az alkalmazott módszerrel kapott határ (piros vonal), ami alatt egyáltalán nem megengedhető a mintavételezés, viszont azon a mintaszámon és környezetében még bizonytalan. Ezért érdemes a biztonság irányába elmozdulni és a következő mintavételezést alkalmazni (sárga vonal), ami a biztonsági határ lesz. Ennél nagyobb biztonságot is szem előtt lehet tartani és még ennél is nagyobb mintaszámot is lehet alkalmazni, viszont a 126000-es minta szűréséből láthattuk, hogy relevánsan nem befolyásolja a jellemző értékeket a nagy elemszámú minta vételezése.

## 5. ÖSSZEFOGLALÁS

A segédközege porlasztó vizsgálatával kapcsolatos szakirodalmi munkákban látható, hogy széles skálán eltérő mintavételezést alkalmaztak és használtak fel a mérés során és a származtatott értékek vizsgálatánál. A TDK dolgozat célja, egy minimális mintaszám meghatározása a porlasztásra jellemző értékek vizsgálatával, amit a szub- és szuperszonikus nyomásra külön kívántunk meghatározni a nyomásnagyság befolyásoló jellege miatt. Továbbá az is cél, hogy egy módszert biztosítsunk a minimálisan elfogadható mintaszám elemzésére.

Főként egy 20000-es mintával dolgoztunk, amit először szűrtük különböző mintaszámokra, majd vizsgáltuk, hogy hogyan befolyásolja a mintaszám csökkenése a geometriai jellemzőket (SMD, span), illetve a porlasztott cseppek sebességét (RMS, Mean). Az adatrátával vett súlyozással kiemelhetjük a porlasztás középpontjának befolyásolását, ami a legtöbb felhasználási területen releváns. A százalékos eltérés görbéken szemmel látható volt a feltevésünk, miszerint a túl kevés mintaszámnál mutatózó letörés, aminek hitelességét más területeken is használt százalékos eséshatár meghúzásával igazoltunk.

A 126000-es mintát hasonló módszerrel vettünk vizsgálat alá, aminek elsődleges szerepe a túlzottan lokális problémakezelés kizárása. Emellett a mérés reprodukálhatóságát is alátámasztja, mivel a két mérés (20000-es és a 126000-es) eleget tesz a reprodukálhatóság feltételeinek, miszerint eltérő időben, azonos mérési körülmények között mérték ki és így is hozta a kívánt eredményeket a kiértékelés során.

Így elmondható, hogy a 4. táblázat szerint megállapíthatunk minimális mintanagyságot a jellemzők vizsgálatára, illetve sikerült egy másik méréssel validálnunk az eredeti minta vizsgálatát és megállapítást tehetünk a mérés reprodukálhatóságával kapcsolatban is.

Ezen kidolgozott vizsgálati módszer egységes mintaszám használatot eredményezhet a porlasztás területét kutató szakemberek körében, amellyel sikerült feloldani az eddigi vitatott kérdés-kört a mintaszám kapcsán, mivel ezen számok ajánlásként szolgálnak a minimális mintaszámra vonatkozóan. Továbbá e vizsgálatokat érdemes lehet más típusú porlasztókon is elvégezni akár egy komplex kapcsolatrendszer felépítése is lehetővé válik a későbbiekben.

## 6. SUMMARY

In the literature on the auxiliary atomiser testing, it can be seen that sampling on a wide scale was used during the measurement and the evaluation of derivative values. The purpose of the TDK thesis was to determine a minimum sample number by examining the characteristics of atomization, which was determined for sub- and supersonic pressures due to the influence of the pressure magnitude. Furthermore, it is also a goal to provide a method for analyzing the minimum acceptable sample size.

We worked mainly with a 20000 sample, which was first filtered to different sample numbers, and then examined how the decrease of the sample size influences the geometry characteristics (SMD, span) and the speed of atomized droplets (RMS, Mean). By weighting with the data rate, we could highlight the influence of the atomization center, which is most relevant in most applications. The percentage deviation curves showed our assumption that too few sample numbers could be chamfered, which proved its authenticity by tightening the percentages of margins used in other areas.

The 126,000 sample was subjected to a similar method, the primary role of which being the exclusion of excessively local problem management. In addition, it supports the reproducibility of the measurement as the two measurements (20000 and 126000) satisfy the conditions of reproducibility, which measured at different times under the same measurement conditions and thus produced the desired results during the evaluation.

Thus, it can be stated that a minimum sample size can be determined according to Table 4 and the validation of the original sample was validated by another measurement and we could also establish the reproducibility of the measurement.

This elaborated test method can result in a uniform pattern of use among the investigators in the field of spraying, which has been able to resolve the controversial issue circle in relation to the sample number as these numbers serve as a recommendation for the minimum sample size. In addition, these tests may be useful for other types of atomizers, and even the construction of a complex system of connections will be possible later.

## 7. FELHASZNÁLT FORRÁSOK

- [1] “Az elektromos cigaretta.” [Online]. Available: <http://www.vaper.hu/info/az-elektromos-cigareta-mkoedese.html>. [Accessed: 02-Aug-2017].
- [2] “A magyar autógyártás hőskora,” 2009. [Online]. Available: <http://tortenelemportal.hu/2009/10/a-magyar-autogyartas-hoskora/>. [Accessed: 10-Aug-2017].
- [3] Csonka János Alapítvány, “Az automatikus csögyújtó,” 2011. [Online]. Available: [http://www.csonkamuzeum.hu/index.php?option=com\\_content&view=article&id=125%3Aaz-automatikus-csgyujto&catid=54%3Amunkassaga&Itemid=141](http://www.csonkamuzeum.hu/index.php?option=com_content&view=article&id=125%3Aaz-automatikus-csgyujto&catid=54%3Amunkassaga&Itemid=141). [Accessed: 11-Aug-2017].
- [4] “A karburátor működése,” 2009. [Online]. Available: <http://www.mzclubhungary.com/index.php?id=541>. [Accessed: 10-Aug-2017].
- [5] D. P. Antal and Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem - Energetikai gépek és Rendszerek Tanszék, *Tüzeléstechnika - Egyetemi jegyzet*. 2014.
- [6] Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki kar, and R. Varga, “Mérés, jelfeldolgozás, elektronika,” pp. 1–32.
- [7] Y. Xia, L. Khezzar, M. Alshehhi, and Y. Hardalupas, “Droplet size and velocity characteristics of water-air impinging jet atomizer,” *Int. J. Multiph. Flow*, vol. 94, pp. 31–43, 2017.
- [8] J. A. García, A. Lozano, J. Alconchel, E. Calvo, F. Barreras, and J. L. Santolaya, “Atomization of glycerin with a twin-fluid swirl nozzle,” *Int. J. Multiph. Flow*, vol. 92, pp. 150–160, 2017.
- [9] A. Kourmatzis, A. Lowe, and A. R. Masri, “Combined effervescent and airblast atomization of a liquid jet,” *Exp. Therm. Fluid Sci.*, vol. 75, pp. 66–76, 2016.
- [10] J. Jedelský and M. Jícha, “Spray characteristics and liquid distribution of multi-hole effervescent atomisers for industrial burners,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 96, pp. 286–296, 2016.
- [11] C. T. Chong and S. Hochgreb, “Effect of Atomizing Air Flow on Spray Atomization of an Internal-Mix Twin-Fluid Atomizer,” *At. Sprays*, vol. 25, no. 8, pp. 657–673, 2015.
- [12] M. Sommerfeld, “Analysis of isothermal and evaporating turbulent sprays by phase-Doppler anemometry and numerical calculations,” *Int. J. Heat Fluid Flow*, vol. 19, no. 2, pp. 173–186, 1998.



- [13] U. András, Z. Matous, M. Milan, J. Viktor, and J. Jan, “Droplet dynamics and size characterization of high-velocity airblast atomization,” *Int. J. Multiph. Flow*, vol. 95, pp. 1–11, Oct. 2017.
- [14] R. W. Sellens and T. A. Brzustowski, “A prediction of the drop size distribution in a spray from first principles,” *At. Spray Technol. (ISSN 0266-3481)*, vol. 1, no. 2, pp. 89–102, 1985.
- [15] S. T. Richard and L. Xiangou, “Droplet Size Distribution: A Derivation of a Nukiyama-Tanasawa Type Distribution Function,” pp. 65–76, 1987.
- [16] T. Paloposki, “The Physically Relevant Parameter Space of the Nukiyama- Tanasawa Distribution Function,” pp. 287–293, 1991.
- [17] U. András, “Levegő segédközeges porlasztás permetképének elemzése,” *Diplomatervezés*, pp. 1–3, 2016.
- [18] Dennis J. O’rear, “Low melting point triglycerides for use in fuels,” 2010. [Online]. Available: <https://encrypted.google.com/patents/WO2010075222A2?cl=en&hl=hu>. [Accessed: 25-Sep-2017].
- [19] Urbán András, “Levegő segédközeges porlasztó vizsgálata Fázis Doppler Anemométer segítségével,” *TDK, Energ. 1. szekció*, 2015.
- [20] Dantec Dynamics A/S, “LDA and PDA,” pp. 110–124, 2011.
- [21] J. Viktor and U. András, “Egyszerű sugaras levegő segédközeges porlasztó Sauter közepes cseppátmérőjének mérése és becslése,” *Energiagazdálkodás*, vol. 57.évf., no. 3–4. szám, pp. 2–6, 2016.
- [22] Hidrodinamikai Rendszerek Tanszék, “Szivattyú kavitációs vizsgálata,” 2017. [Online]. Available: <http://www.hds.bme.hu/letoltesek/targyak/BMEGEVGAG02/Kav.pdf>. [Accessed: 15-Oct-2017].
- [23] D. C. Imre, dr. C. Ferencné, and Széchenyi István Egyetem - Műszaki Tudományi Kar, “Anyagvizsgálat 2.” [Online]. Available: <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:BWHGpN2a6XEJ:fk.sze.hu/downloadmanager/download/nohtml/1/id/37/+&cd=1&hl=hu&ct=clnk&gl=hu>. [Accessed: 15-Oct-2017].
- [24] “Charles Renard.” [Online]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Charles\\_Renard](https://en.wikipedia.org/wiki/Charles_Renard). [Accessed: 13-Oct-2017].

## 8. MELLÉKLET

### 8.1. Hibaszámítás

A kiindulási mintától való relatív eltérés diagramokon alkalmazott hibaszámítás az alábbiak szerint történt.

1. Képeztem az arányosított értékek adatrátás súlyozását, ami a relatív százalékos eltérés diagramokon ábrázolásra került, a megfelelő arányosítás miatt. A relatív jellemző például a 18000-es minta és az eredeti 20000-es minta SMD értékeinek hányada az adott mérési pontban.

$$x_{DRi} = \frac{DR_i \cdot x_i}{\sum_1^p DR_i} \quad (14)$$

2. Majd a relatív és a súlyozott relatív jellemzőből szórás-négyzetet számoltam, ahol a relatív jellemző az adatrátás súlyozása nélküli MatLAB-bal számolt érték.

$$\sigma_i^2 = (x_i - x_{DRi})^2 \quad (15)$$

3. Végül összegezve a vizsgált síkra és gyököt vonva kapható a szórása az adott pontnak:

$$\sigma = \sqrt{\sum_1^p \sigma_i^2} \quad (16)$$