

DOKTORI ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

Alagútbordás légsugaras vetülékbevitel áramlástechnikai és szövés technológiai vizsgálata

Készítette:

Szabó Lóránt

okleveles gépészmérnök

Témavezető:

Dr. habil. Patkó István

dékán, intézetigazgató

Sopron
2011

1. Az értekezés tárgya, célkitűzése

Az értekezés a hazai szövődékekben is használatos légsugaras szövőgépek hatékonyabb működésének érdekében végzett tudományos kutató- és fejlesztő munkát foglalja össze.

A légsugaras szövőgépek szakaszos működésűek, szövés során a vetüléket az áramló levegő hatásába helyezve fektetik be a szádnyílásba. A központi légtartályból a szövőgéphez vezetett levegő nyomásából származó energia a fő- és segédfűvókában mozgási energiává alakul, amely felgyorsítja és szállítja a vetüléket a különböző módon kialakított légvezetési csatornákban. A fűvókából kilépő hengeres szabadsugár az álló levegővel keveredve lelassul, a fűvókától távolodva sebessége rohamosan csökken.

A légsugaras vetülékbevitelhez szükséges műszaki megoldások:

- szövőgép gazdaságos levegőellátásának biztosítása,
- vetülékbevitelhez tiszta szádnyílás létrehozása,
- bevetésre kerülő vetülék hosszának lemérése, lefejtése a hossz mérős vetüléktárolóról és bevetése a szádnyílásba,
- légsugár létrehozása és fenntartása a bevetés vonalában.

A légsugaras szövőgépeken a nagy vetüléksebesség és a nagyobb szövetségesség elérése végett a fűvókától távolabb a vetéspálya vonalában a légsebességet fenn kell tartani:

- konfúzor lamellásoros légcsatornával, amely lehet
 - nyitott fém
 - zárt műanyaglamellákkal ellátott,
- profilbordákkal és segédfűvókákkal.

A vetülékbevetés folyamatának megértéséhez és a technológiai módosításokhoz szükségesek a minél pontosabb fizikai és matematikai modellek, mérések, ezeknek kiértékelése, valamint numerikus megoldása. Disszertációm fő célkitűzései az alábbiak:

- az áramlási mezők vizsgálata a különböző légvezetések esetén,
- a különböző légvezetési megoldások tengelyirányú áramlási sebességeinek zárt alakú matematikai formulákkal való leírása,
- mérési módszer kidolgozása a felületi súrlódási együtthatót leíró $c_f = f\left(\frac{u}{u_0}\right)$ függvény meghatározására multifilament vetülékre,
- számítási módszer kidolgozása a vetülékre ható erő meghatározására a bevetés során az

$$F^* = f\left(\frac{x}{r_0}, \frac{u}{u_0}\right) \text{ függvénykapcsolat leírásával,}$$

- a két vizsgált légvezetési mód vetülékcsatornájában létrejövő áramlástanai viszonyok összehasonlítása, az ebből levonható dinamikai következtetések a légcsatornában mozgó vetülékre,
- vetülékbevetési hibák csökkentésének lehetőségei a fő- és segédfüvőkák nyomásának és működtetési idejének változtatásával.

A vetülék bevetését a fűvőkák vezérlése által létesített áramlási mező és a bordaláda mozgása valamint a tiszta szádnyílás figyelembe vételével lehet megvalósítani. A vetüléket bevető légáram alapos ismeréséhez az alábbi helyeken kell vizsgálni légsebességet:

- a fűvőka kilépési keresztmetszeténél,
- a légvezető csatorna tengelye mentén a távolság függvényében.

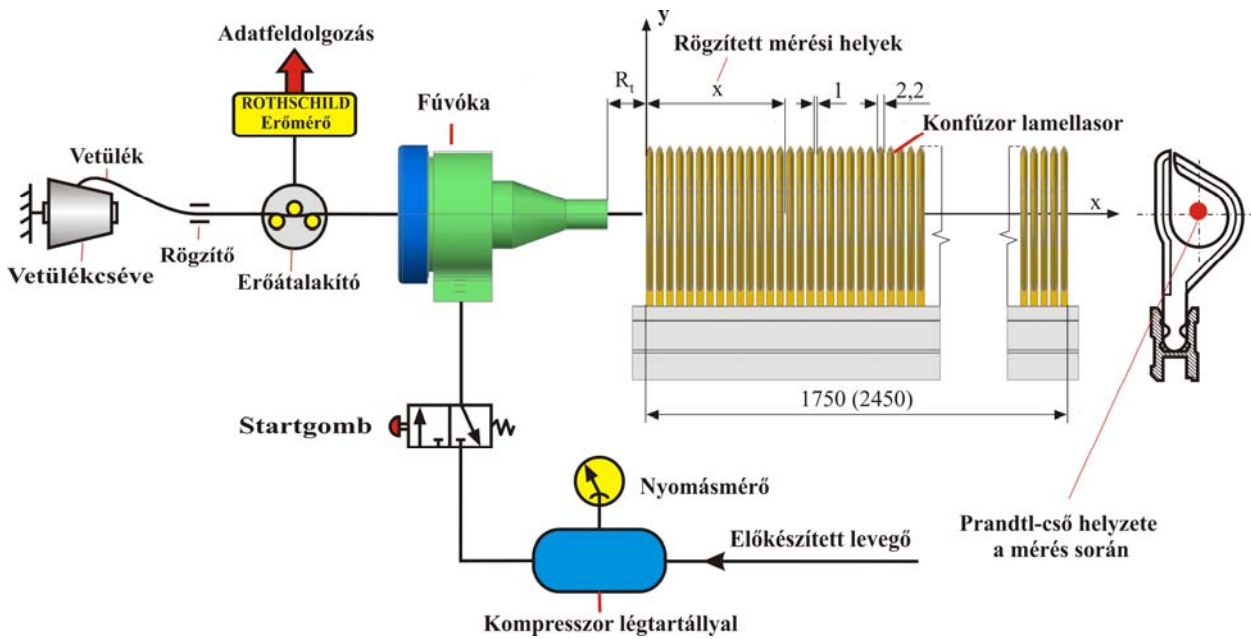
Bevetés során az áramlást a konfúzor lamellásoros szövőgépen periodikusan másodpercenként kb. nyolcszor hozzák létre, amely 60,25 ms-ig tart. A legújabb profilbordás gép esetén a szövőgép főtengelyének fordulatszámától függően másodpercenként húsz bevetés is lehetséges, ami 25 ms-ig tart. Az áramlási jellemzők meghatározását követően a vetülék és a légáram erőtani kapcsolatát vizsgáltam. Az áramlás a vizsgálatok szempontjából kvázistacionáriusnak tekinthető.

A hazai textilipar nagymérvű visszaesésével a kutatási és publikációs lehetőségek is korlátozódtak. A disszertáció ezt a hiányt is pótolni kívánja. Világviszonylatban a légsugaras szövőgépeket széleskörűen alkalmazzák és folyamatosan fejlesztik. A várható gazdasági fellendülés a textilipar munkahelyteremtő hatása hazánkban is remélhetően érzékelhető lesz, ami a szövőipar és ezen belül újabb légsugaras szövőgépek alkalmazásában is megnyilvánul.

2. A kutató munka módszerei

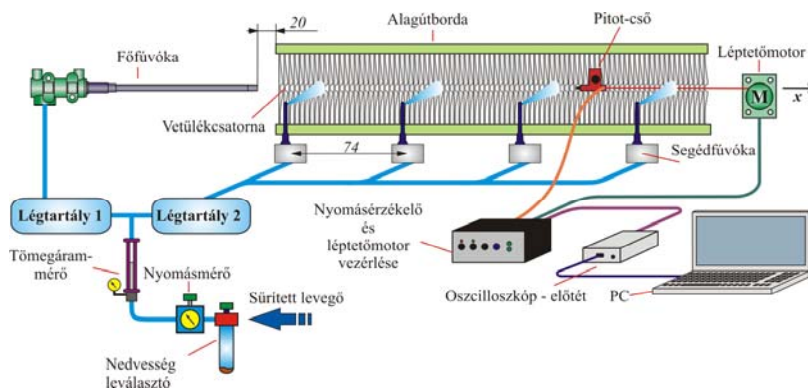
Kutató munka megkezdése előtt a vetülék és az áramlás kapcsolatának tisztázására a témával kapcsolatos előzetes szakirodalmi kutatást folytattam. Az Óbudai Egyetem Textiltechnológiai Műhelyében a légsugaras szövőgépek áramlástanai és erőtani viszonyainak mérésére, a különböző kialakítású légvezetési módok vizsgálatára mérőrendszereket állítottam össze, és ezeken végeztem el a laboratóriumi méréseket. Az ipari méréseket a Csárda-Text Kft. telephelyén végeztem.

A fűvőkák légfogyasztásának tömegáramát GEMÜ RTS típusú légfogyasztásmérő műszerrel mértem. A konfúzor lamellásoros kialakítású légcsatorna tengelyében a rögzített mérési helyeken a folyamatos légáram dinamikus nyomását Prandtl- csővel mértem (1. ábra).



1. ábra. Légsebesség mérése és a vetülékre ható erő meghatározásának mérési elrendezése

Egy-egy bevetés ideje a szövőgép fordulatszámától függően 25-60 ms, ami alatt nem végezhető el a mérés. A bevetés tengelye mentén kialakuló áramlás gyakorlatilag független folyamatos légáram esetén a bevetési időtől. A dinamikus nyomásból a Bernoulli – egyenlet alapján meghatározható az áramlási sebesség. A profilborda vetülécsatornájában léptetőmotorral állandó sebességgel mozgatott Pitot-csőhöz kapcsolódó 140PC típusú nyomásérzékelővel történt a dinamikus nyomás meghatározása. A dinamikus nyomással arányos villamos feszültséget DSO 2090 oszcilloszkóp-előtét közbeiktatásával mértem, amely személyi számítógéphez csatlakozott (2. ábra).

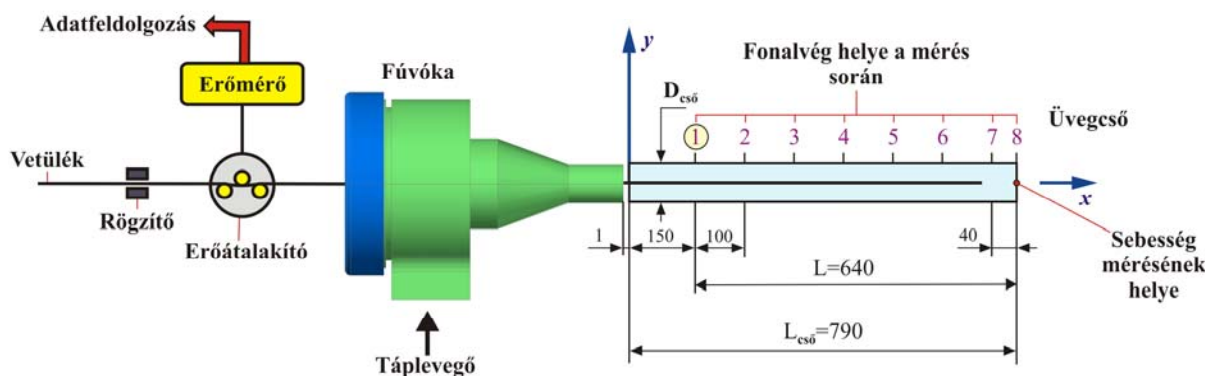


2. ábra. Profilbordás légsugaras szövőgép sebességeloszlásának és légfogasztásának mérési elrendezése

Az eddigiekhez képest, a kifejlesztett mérési módszerrel, a Pitot-cső állandó sebességű mozgatásával a profilborda csatornájában a folyamatos méréssel teljesebb információ nyerhető az áramlási viszonyokról, különös tekintettel a segéd-fúvókák elszennyeződéséről és helytelen beállításukról.

A dinamikus nyomás mérését a bordaszélesség mentén vetülékfonal nélkül végeztem. Stacionárius légáramba fektetett vetülékre ható erő mérésére ROTHSCCHILD R-1192 típusú erőmérő állt rendelkezésemre. A dimenziótlan felületi súrlódási együttható $c_f = f\left(\frac{u}{u_0}\right)$ meghatározását a 3. ábrán látható mérési elrendezéssel végeztem el.

Vezetőgyűrű



3. ábra. Laboratóriumi mérőrendszer a felületi súrlódási együttható meghatározására

A közelítő függvényeket és a korrelációs együtthatókat Microsoft Excel programmal határoztam meg.

3. Új eredmények összefoglalása, tézisek

A matematika módszerének megfelelően a fizikai mennyiségeket dimenziótlan formában kezeltem, amelyeket úgy kaptam meg, hogy a vizsgált fizikai mennyiségeket a hozzá tartozó állandó (pl. maximális) értékeivel osztottam. Mérési eredmények alapján meghatározható - laboratóriumi és ipari viszonyok esetén is – a légsebesség és a

- légvezetési mód,
- bordaszélesség,
- tápnyomás,
- fúvóka típus,
- fonalra ható felületi súrlódási erő,

közötti kapcsolat.

1. Tézis

A laboratóriumi sebességmérés eredményeit a fúvóka kilépési keresztmetszetében mért legnagyobb áramlási sebességgel, a bordaszélesség hosszát a konfúzor lamellásor esetén alkalmazott fúvóka belső sugarának értékével dimenziótlanítottam.

Így az alábbi függvénykapcsolat adódott a dimenziótlanított sebességeloszlásra, amely nem függ a tartálynomástól és a bordaszélességtől:

$$\frac{u}{u_0} = \frac{f_p \left(\frac{x}{r_0} \right)}{\frac{x}{r_0}} \quad (1)$$

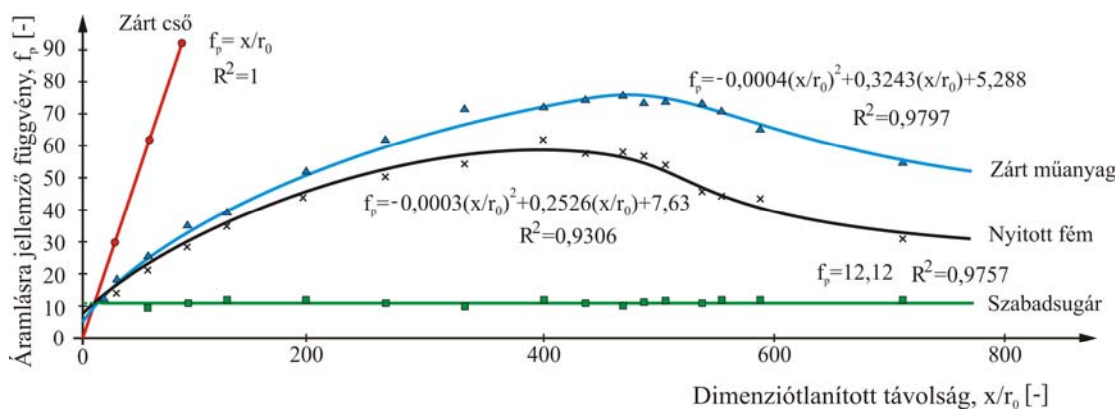
ahol:

u	: a légvezetési megoldás tengelye mentén az áramlás sebessége	[m/s],
u_0	: a fúvóka kilépési keresztmetszetében mért áramlási sebesség	[m/s],
f_p	: az áramlásra jellemző dimenziótlanított függvény	[-],
x	: a mérési pont helye a légvezetési csatorna tengelyében	[mm],
r_0	: a fúvóka belső sugara	[mm].

A függvény lefolyását csak az áramlást fenntartó légvezetési megoldás kialakítása befolyásolja, amely lehet:

- cső,
- szabadsugár,
- nyitott fém konfúzor lamellásor,
- zárt műanyag konfúzor lamellásor.

Zárt cső esetére a mérési eredmények $tg\alpha = 1$ meredekségű egyenessel, míg szabadsugár esetén egy vízszintes egyenessel közelíthetők. Zárt műanyag és nyitott fém lamellák esetén a mérési eredményeket egy-egy másodfokú polinommal közelítettem (4. ábra).



4. ábra. Különböző légvezetési módokra jellemző zárt matematikai függvények

A 4. ábrán látható függvénykapcsolatok segítségével a vizsgált légvezetési megoldások áramlási tengelyének tetszőleges helyén meghatározható a dimenzióatlanított áramlási sebesség az (1) összefüggés alapján. Zárt műanyag lamellakor esetén, ha $\frac{x}{r_0} > 7,8$:

$$\frac{u}{u_0} = \frac{f_p}{\frac{x}{r_0}} = \frac{-0,0004\left(\frac{x}{r_0}\right)^2 + 0,3243\frac{x}{r_0} + 5,288}{\frac{x}{r_0}} = -0,0004\frac{x}{r_0} + 5,288\frac{r_0}{x} + 0,3243. \quad (2)$$

Zárt műanyag lamellakor tengelyirányú sebessége a (2) egyenlet alapján határozható meg:

$$u = \frac{-0,0004\left(\frac{x}{r_0}\right)^2 + 0,3243\frac{x}{r_0} + 5,288}{\frac{x}{r_0}} \cdot u_0 = \left(-0,0004\frac{x}{r_0} + 0,3243 + 5,288\frac{r_0}{x}\right) \cdot u_0 \quad (3)$$

Nyilvánvaló, hogy a textilipari gyakorlatban a hatékony vetülékbevitel lehetséges műszaki megoldásai a cső és a szabadsugár közötti légvezetési módok közötti tartományban találhatók.

2. Tézis

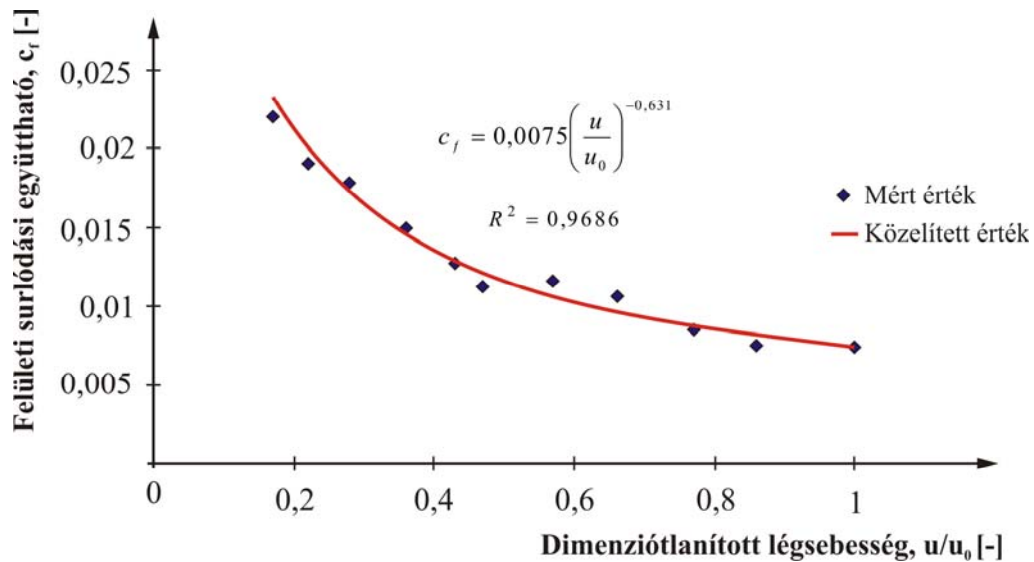
A 3. ábrán látható mérési módszerrel - lamináris áramlás esetén - a vetülék felületi súrlódási együtthatója az alábbi formában határozható meg:

$$c_f = f\left(\frac{u}{u_0}\right) \quad (4)$$

A dimenzióatlan felületi súrlódási együttható függ:

- a vetülékfonal tulajdonságaitól,
- a vetüléket szállító légáramlás fizikai jellemzőitől (sebesség, sűrűség).

Egy adott fonaltípus (multifilament 80 tex) és levegő állapot esetére a mértékegység nélküli felületi súrlódási együttható a mérési eredmények alapján az 5. ábrán láthatóan alakul a dimenzióatlanított sebesség függvényében.



5. ábra. A felületi súrlódási együttható változása hatványközelítés esetén

A vizsgált multifilament vetülék esetén a mérési eredményeket hatvány függvénnyel közelítve - a vizsgált $30 \text{ m/s} \leq u \leq 174,3 \text{ m/s}$ légsebesség tartományban - a determinációs együttható (R^2) értéke jónak mondható. Így a közelítő függvény:

$$c_f = 0,0075 \left(\frac{u}{u_0} \right)^{-0,631} \quad (5)$$

A felületi súrlódási együttható a sebesség növekedésének függvényében (5) csökken, amelynek magyarázata, hogy a növekvő sebesség megváltoztatja a vetülékfonal alaki tulajdonságait.

3. Tézis

A dolgozat elméleti úton határozza meg a vizsgált vetülékre ható dimenziótlantított erő nagyságát a dimenziótlantított bordaszélesség függvényében műanyag konfúzor légvezetési mód esetén.

Az elemi vetülék hosszra ható elemi felületi súrlódó erő:

$$dF_f = \frac{1}{2} \rho \cdot c_f \cdot D \cdot \pi \cdot u^2 \cdot dx. \quad (6)$$

A (6) egyenletet u_0 és r_0 értékekkel dimenziótlantítva:

$$dF_f = \frac{1}{2} \rho \cdot D \cdot \pi \cdot u_0^2 \cdot r_0 \cdot c_f \cdot \left(\frac{u}{u_0} \right)^2 \cdot d \left(\frac{x}{r_0} \right) \quad (7)$$

Behelyettesítve (7) egyenletbe a (2) és (5) dimenziótlantított kifejezéseket:

$$dF_f = \underbrace{\frac{1}{2} \rho \cdot D \cdot \pi \cdot u_0^2 \cdot r_0 \cdot 0,0075}_{K=0,95 \cdot 10^{-3} \text{ N}} \cdot \left(\frac{u}{u_0}\right)^{-0,63} \cdot \left(\frac{u}{u_0}\right)^2 \cdot d\left(\frac{x}{r_0}\right) = K \cdot \left(\frac{u}{u_0}\right)^{1,37} d\left(\frac{x}{r_0}\right), \quad (8)$$

ahol:

- ρ a levegő sűrűsége: $1,2 \text{ kg/m}^3$,
- D a 80 tex-es multifilament vetülék átlagos átmérője: $6,34 \cdot 10^{-4} \text{ m}$,
- u_0 a vetülékcsatorna kezdeti keresztmetszetében mért áramlási sebesség: $174,3 \text{ m/s}$,
- r_0 a vizsgált fúvóka sugara: $3,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}$,
- c_f a felületi súrlódási együttható [-],
- u a légsebesség a konfúzor lamellator tengelyében [-].

A $z = \left(\frac{x}{r_0}\right)$ behelyettesítéssel és műanyag lamellator vizsgálva a (2) összefüggés alapján a vetülékfonalra ható elemi erőt az alábbi összefüggéssel számolható:

$$dF_f = K \cdot \left(-0,0004z + \frac{5,288}{z} + 0,3243\right)^{1,37} dz. \quad (9)$$

A (9) egyenlet mindkét oldalát integrálva $z_0 \rightarrow z$ kapjuk:

$$F_f(z) - F_f(z_0) = K \cdot \int_{z_0}^z \left(-0,0004z + \frac{5,288}{z} + 0,3243\right)^{1,37} dz. \quad z_0 = 7,8 \quad (10)$$

Bevezetve az alábbi helyettesítéseket és K értékével osztva:

$F_f(z_0) = F_0$: a légvezetési mód kezdeténél a vetülékre ható mért erő [N], az 1. ábrán bemutatott mérés alapján: $F_0 = 2 \cdot 10^{-2} \text{ N}$.

$F_f(z) = F$: $z > 7,8$ esetén a konfúzor lamellator tengelyében a vetülékre ható elméleti felületi súrlódási erő [N].

Az integrálásra alkalmas dimenziótlanított egyenlet:

$$F^* = F_0^* + \underbrace{\int_{z_0}^z \left(-0,0004z + \frac{5,288}{z} + 0,3243\right)^{1,37} dz}_{F_z^*} = F_0^* + F_z^* \quad (11)$$

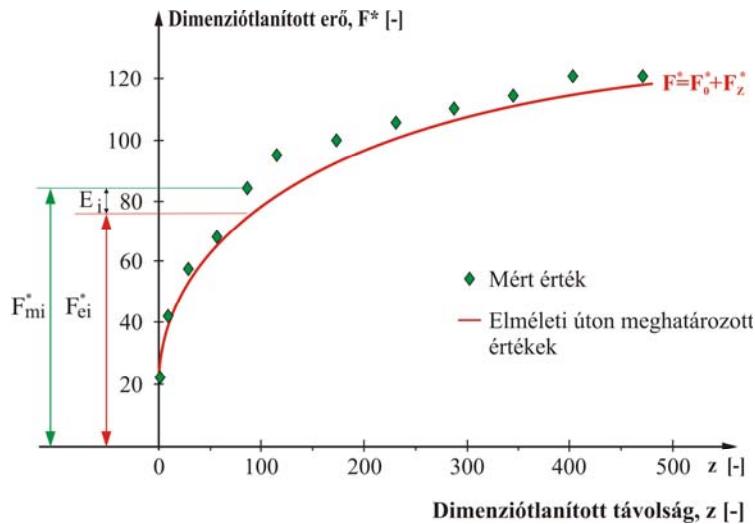
ahol:

$z_0 = 7,8$: az integrálás kezdeti értéke [-],

$F^* = \frac{F}{K}$: a vetülékre ható elméleti dimenziótlanított erő a konfúzor lamellasorban [-],

$F_0^* = \frac{F_0}{K} = \frac{2 \cdot 10^{-2} \text{ [N]}}{0,95 \cdot 10^{-3} \text{ [N]}} = 21 \text{ [-]}$: lamellasor kezdeti keresztmetszetében a dimenziótlanított erő [-].

Maple programmal végeztem el a (11) egyenlet integrálását. A mért és számolt elméleti értékeket a 6. ábra tartalmazza.



6. ábra. Zárt műanyag lamellasor esetén a mért és az elméleti úton kapott eredmények összehasonlítása

A 6. ábrán látható dimenziótlanított erők: $F_{mi}^* = \frac{F_{mi}}{K}$ és F_{ei}^*

ahol:

F_{mi}^* a mért dimenziótlanított erők a zárt műanyag lamellasor tengelyében [-],

F_{mi} a konfúzor lamellasor tengelyében kialakult áramlásba helyezett álló vetülékre ható mért erők értékei [N],

K a vizsgált vetülékre jellemző konstans [N],

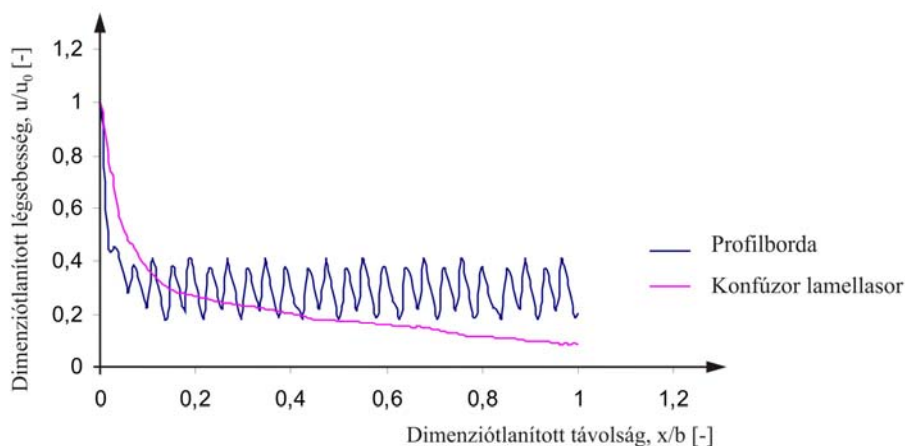
F_{ei}^* az elméleti dimenziótlanított erők [-].

Az elméleti úton kapott megoldás jól közelíti a mért értékeket a vizsgált vetülék esetén. Kijelenthető, hogy az F_0 megmérésével jó közelítéssel meghatározható a vetülékre ható erő z-től függően a konfúzor lamellasor légcsatornájában, amennyiben ismert: a vizsgált légvezetési módra meghatározott dimenziótlan sebességeloszlás (lásd 1. tézis), a vetülékátmérő és felületi súrlódási együttható (lásd 2. tézis).

4. Tézis

A vizsgált konfúzor lamellásoros és profilbordás légvezetési módok áramlási viszonyaira és a vetülékre ható erőkre az alábbi megállapításokat tettem (7. ábra):

- A konfúzor lamellásoros légvezetési mód esetén az áramlás sebessége a bevetés irányában $\frac{x}{b} < 0,1$ tartományban exponenciálisan csökken, hasonlóan a hengeres szabad sugar kezdeti áramlásához. Az $\frac{x}{b} > 0,2$ esetén a konfúzorsorban az áramlási sebesség közel lineárisan csökken, de értéke kisebb, mint a profilborda csatornájában a légáram átlagsebessége, ezáltal a fonalra kisebb, de egyenletes felületi súrlódási erő hat.
- A profilbordás légvezetési mód esetén, ha $\frac{x}{b} > 0,1$ az áramlási sebesség változása a segéd fűvókák hatása miatt periodikusnak tekinthető a vetülékcsatorna tengelyében. A bevetési légsebesség középértéke a bordaszélesség mentén nem változik. A mozgó vetülékre ható erő a sebesség periodikus ingadozásából eredően változik.



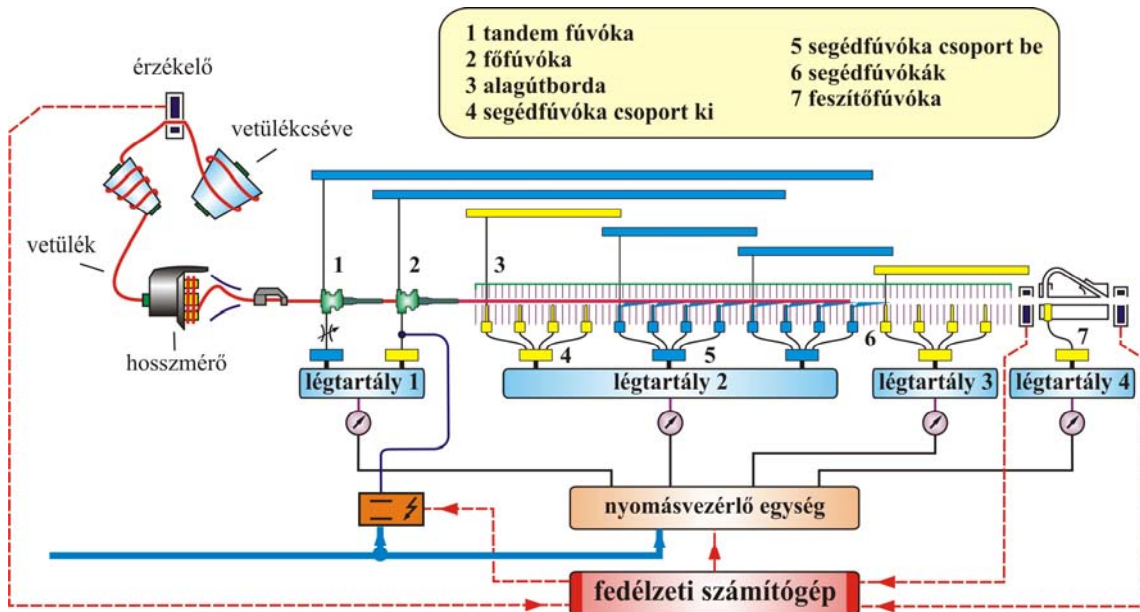
7. ábra. A vizsgált légvezetési módok légáramainak összehasonlítása

5. Tézis

A vetülékbeviteli hibák és a légfogyasztás csökkentésére elméleti, tapasztalati megfontolásaim és mérési eredményeimből az alábbi feltevés tehető:

- A profilbordás légsugaras szövőgépek segéd fűvókák csoportjai kezdetben öt segéd fűvókából álltak. Az ipari körülmények között vizsgált Dornier légsugaras szövőgépen négyes csoportokban működtetik a segéd fűvókákat (8. ábra). A segéd fűvókák által létesített légáram - amely a vetüléket szállítja - egyenletesebbé tételére javaslom, hogy az áramlási mezőt a segéd fűvókák minél kisebb csoportú, illetve egyenkénti stafétaszerű vezérlésével

célszerű megvalósítani. A fűvási szakasz hosszának rövidítésével a sűrített levegő felhasználása csökkenthető.



8. ábra. A vizsgált szövőgép levegőrendszere

4. A kutatómunkával kapcsolatos fontosabb publikációk

Folyóiratcikkek magyar és angol nyelven:

1. Szabó L.: Légsugaras szövőgépek fejlesztése.
Magyar Textiltechnika, 2007/5. pp. 130-133.
2. Szabó L., Szabó R.: Szálasanyag statisztikák.
Textil Forum, 2008. XVIII. évf. 353. szám. pp. 22-23.
3. Szabó L., Szabó L.: Tribológia a textiliparban.
Magyar Textiltechnika, 2008/2. pp. 61-64.
4. Szabó L., Szabó L.: A pneumatika textilipari alkalmazása.
Magyar Textiltechnika, 2008/3-4. pp. 75-77.
5. Patkó I., Szabó L.: Vetülékbeviteli elvek összehasonlító elemzése.
Magyar Textiltechnika, 2008/5. pp. 108-118.
6. Szabó L.: A sűrített levegő a textiltechnológiában.
Magyar Textiltechnika, 2009/1. pp. 4-8.
7. Patkó I., Szabó L.: A szövés és áramlás kapcsolatának vizsgálata légsugaras szövőgépeken.
Magyar Textiltechnika, 2009/5. pp. 194-200.
8. Patkó I., Szabó L.: Légsugaras szövőgépek vetülékbevitelének erőtani vizsgálata.
Magyar Textiltechnika, 2010/1. pp. 6-11. (HU ISSN 2060-453X)
9. Patkó I., Szabó L., Várkövi J.: Alagútbordás légsugaras szövőgépek fő- és segéd fűvókáinak áramlási vizsgálata.
Magyar Textiltechnika, 2010/2. pp. 66-68. (HU ISSN 2060-453X)
10. Patkó I., Szabó L.: Alagútbordás légsugaras szövőgépek vetülékbevitelének vizsgálata.
Magyar Textiltechnika, 2010/4. pp. 153-156. (HU ISSN 2060-453X)
11. Szabó, L., Patkó, I., Oroszlány, G.: The Dynamic Study of the Weft Insertion of Air Jet Weaving Machines.
Acta Polytechnica Hungarica, Vol.7, No.3, 2010. pp. 93-107. (ISSN 1785-8860)
12. Patkó I., Szabó L., Szabó L.: Vetülékbeviteli hibák elemző vizsgálata légsugaras szövőgépeken.
Magyar Textiltechnika, 2010/5. pp. 205-209. (HU ISSN 2060-453X)
13. Patkó, I., Szabó L.: Légsugaras szövőgépek áramlástanai vizsgálata.
Gép, LXI. évfolyam, 2010/8. pp. 38-42. (ISSN 0016-8572)
14. Szabó L., Szabó L.: Légsugaras szövőgépeken alkalmazott hossz mérős vetüléktárolók.
Magyar Textiltechnika, 2011/1. pp. 13-15. (HU ISSN 2060-453X)
15. Bodor Á., Szabó L.: Profilbordás légsugaras szövőgép segéd fűvókájának áramlástanai szimulációja.
Magyar Textiltechnika, 2011/2. pp. 55-57. (HU ISSN 2060-453X)

Konferencia előadások:

1. Dénes J., Szabó L., Szabó R.: Légsugaras vetülékbevitel elemzése. IN-TECH-END'05 konferencia Budapest, 2005. szeptember 8-9.
2. Szabó L.: Légsugaras szövőgépek áramlástani vizsgálata. Galamb József Integrált Projekt Szakkollégium Oktatói Nap, Budapest, BMF, 2009. nov. 06.
3. Patkó, I., Szabó, L.: The Study of the Flow Conditions of Air Jet Weaving Machines 10th International Symposium of Hungarian Researchers, Budapest Tech, 2009. november 12-14.
4. Szabó, L.: Pneumatic Weft Insertion of Profile Reed in Air Jet Looms International Joint Conference on Environmental and Light Industry Technologies, Óbuda University Budapest, 2010. november 18-19.
5. Szabó L.: Áramlási viszonyok vizsgálata a profilbordás légsugaras szövőgép vetülékcsatornájában Galamb József Integrált Projekt Szakkollégium Oktatói Nap, Budapest, ÓE, 2010. december 17.

Konferencia kiadványok:

1. Dénes J., Szabó L., Szabó R.: Légsugaras vetülékbevitel elemzése. IN-TECH-END'05 5th International Conference Proceedings 8-9 september 2005 Budapest, pp. 157-168. (ISBN 963 9397 067)
2. Patkó, I., Szabó, L.: The Study of the Flow Conditions of Air Jet Weaving Machines 10th International Symposium of Hungarian Researchers, Budapest Tech, 2009. november 12-14. pp. 391-492. (ISBN 978-963-7154-96-6)
3. Szabó, L.: Pneumatic Weft Insertion of Profile Reed in Air Jet Looms International Joint Conference on Environmental and Light Industry Technologies, Óbuda University Budapest, 2010. november 18-19. pp. 117-128. (ISBN 978-615-5018-08-4)